

Diversité floristique et estimation du stock de carbone organique des forêts adultes et des forêts secondaires du district de Dongou, Département de la Likouala, République du Congo

Saint Fédriche NDZAI, Félix KOUBOUANA*, Luc KIMPOLO, Eduarda Karen Ornella KIMPOSSO

Université Marien Ngouabi, Ecole Nationale Supérieure d'Agronomie et de Foresterie (ENSAF), Laboratoire de Géomatique et d'Ecologie Tropicale Appliquée (LGETA), BP 69, Congo

* Correspondance, courriel : koubouanafelix@gmail.com

Résumé

L'étude réalisée dans le Département de la Likouala, district de Dongou a pour objectif de connaître la composition floristique et de comprendre le fonctionnement des différents types forestiers de cette zone. La méthodologie a consisté à délimiter deux parcelles d'un hectare chacun dans chaque type forestier, subdivisées chacune en quatre placettes de 2500 m². Tous les individus de DBH \geq 5 cm ont été inventoriés dans chaque placette. Un échantillon de sol a été prélevé à l'aide d'une tarière sur les horizons de 0-5 cm. Au total 5692 arbres appartenant à 156 espèces dont 44 familles ont été dénombrés dans les types forestiers étudiés. Les familles des Fabaceae-Caesalpinioideae sont les plus représentées dans les forêts adultes à Lophira et à Guiboutia. Les Myristicaceae et les Fabaceae-Caesalpinioideae caractérisent la forêt adulte à Celtis. Les forêts secondaires à Macaranga et à *Musanga cecropioides* sont caractérisées respectivement par les Euphorbiaceae et les Urticaceae. La valeur de la surface terrière moyenne est élevée dans la forêt adulte à Celtis (31,99 m²/ha), la plus faible dans la forêt secondaire à Macaranga (16,09 m²/ha). Le carbone organique, la matière organique et le rapport carbone/azote sont plus élevés dans la forêt adulte à Guiboutia ($14,00 \pm 14,63$ tC/ha, $25,66 \pm 26,65$ %, $20,44 \pm 5,82$ %) et plus faible dans la forêt secondaire à Musanga ($2,22 \pm 0,89$ tC/ha, $2,75 \pm 1,05$ % et $12,64 \pm 1,11$ % respectivement).

Mots-clés : *diversité floristique, indice de diversité, carbone du sol, Likouala, Congo.*

Abstract

Floristic diversity and estimation of the organic carbon stock of mature and secondary forests in Dongou district, Likouala Department, Republic of Congo

The aim of the study carried out in the Likouala Department, Dongou District, is to know the floristic composition and understand the functioning of the different forest types in this area. The methodology consisted in delineating two plots of one hectare each in each forest type, each subdivided into four 2500 m² plots. All DBH \geq 5 cm individuals were inventoried on each plot. A soil sample was taken using an auger on the A0 to A2 horizons. 5692 trees belonging to 156 species of which 44 families were counted in the forest types studied. The Fabaceae-Caesalpinioideae families are the most represented in the mature forests in Lophira and Guiboutia. Myristicaceae and Fabaceae-Caesalpinioideae characterize the mature forest at Celtis.

Secondary forests at Macaranga and Musanga cecropioides are characterized by Euphorbiaceae and Urticaceae respectively. The mean basal area value is high in the mature forest at Celtis (31.99 m²/ha), the lowest in the secondary forest at Macanga (16.09 m²/ha). Organic carbon, organic matter and carbon/nitrogen ratio are highest in the mature forest at Guiboutia (14.00 ± 14.63 tC/ha, 25.66 ± 26.65 %, 20.44 ± 5.82 %) and lowest in the secondary forest at Musanga (2.22 ± 0.89 tC/ha, 2.75 ± 1.05 % and 12.64 ± 1.11 % respectively).

Keywords : floristic diversity, diversity index, soil carbon, Likouala, Congo.

1. Introduction

Les forêts couvrent environ 4 milliards d'hectares soit 30 % de la surface émergée de la Terre. A toutes les échelles spatiales, du local au global, les arbres et les forêts jouent un rôle essentiel dans les moyens de subsistance des populations humaines ainsi que dans le bon fonctionnement des écosystèmes [1, 2]. La forêt reste tout de même l'objet d'étude privilégiée en particulier sur les aspects qui portent sur son mode de gestion, sa protection, sa valorisation à des échelles intraspécifique et interspécifique ainsi qu'à la diversité des écosystèmes et des paysages et en particulier la diversité de la strate arborée [3]. Cependant, il sied de faire ressortir la perte de la biodiversité et l'augmentation des émissions des Gaz à Effet de Serre (GES) liées à la déforestation et la dégradation des forêts dues aux actions anthropiques en zone tropicale [4 - 6]. Les forêts gérées durablement ont de nombreuses fonctions socio-économiques et environnementales particulièrement importantes à l'échelle mondiale, nationale et locale [7, 8]. Toutes les solutions envisagées aujourd'hui pour la conservation des forêts tropicales humides, la mise en place de réserves biologiques, l'exploitation forestière durable, la restauration des forêts dégradées ou la création de plantations forestières, nécessitent un approfondissement des connaissances sur la composition floristique, l'écologie et la dynamique de la régénération des espèces d'arbres dans ces écosystèmes [9]. Outre la forêt, le sol constitue une ressource non renouvelable du patrimoine naturel. C'est pourquoi, il convient d'adopter une gestion qui garantisse le maintien de sa fertilité [10]. Ainsi, la gestion durable de ces forêts requiert une bonne connaissance de ces écosystèmes, ce qui ne peut se faire que par des études approfondies [7]. Quelques travaux ont été déjà effectués dans l'ensemble de département de la Likouala, notamment ceux de [11 - 16] et très peu sur le carbone organique du sol à l'exception de ceux de [12, 17]. La végétation de notre zone d'étude comprise entre la ville d'Impfondo et le village Bondzalé, est constituée des forêts inondée à *Guibourtia demeusei*, inondable à *Lophira alata* et sur terre ferme à *Celtis adolfo-fredericii* qui sont relativement connues par les travaux de [11, 15]. C'est dans cet optique que ce travail a été réalisé avec pour objectif général de distinguer les divers types forestiers suivant les paramètres floristiques, structuraux et pédologiques. Il s'agit plus précisément de : (i) caractériser les différents types forestiers de la zone d'étude ; (ii) comparer les paramètres structuraux des différents types forestiers ; (iv) caractériser les paramètres pédologiques de ces types forestiers.

2. Matériel et méthodes

2-1. Site d'étude

Le milieu dans lequel cette étude a été menée est localisé dans le Nord-Est du Congo, Département de la Likouala et plus précisément dans le district de Dongou (**Figure 1**). Deux sites ont été choisis suivant leur type de forêts (adultes et secondaires) pour réaliser cette étude notamment : Dongou et Bondzalé. Ce

Département couvre une superficie environ 64.044 km². Du point de vue géographique, le Département de la Likouala est limité, au Nord par la République Centrafricaine, au Sud par le Département de la Cuvette et de la Sangha et à l'Est par le fleuve Oubangui qui le sépare par la République Démocratique du Congo. Il y règne un climat équatorial avec les précipitations relativement modestes allant de 1600 mm à 1800 mm par an [18]. Cette zone ne connaît presque pas la saison sèche c'est-à-dire qu'il pleut presque toute l'année malgré un ralentissement des pluies observé entre décembre et février ainsi qu'en juin-juillet. La température moyenne annuelle oscille autour de 25° à 26 °C avec une amplitude annuelle faible de 1 à 2 %, des écarts diurnes sont un peu plus marqués 9 à 14 %. Les travaux de [19] permettent de distinguer deux types de sol dans le Département de la Likouala. Les sols ferrallitiques : ces sols se subdivisent en trois, à savoir : les sols ferrallitiques typiques, les sols ferrallitiques lessivés et les sols faiblement ferrallitique ou sols remaniés. Les sols hydromorphes : ce sont les sols qu'on rencontre le plus souvent dans les zones où se produit une inondation, soit en surface, soit en profondeur. La végétation de la zone d'étude est constituée des forêts matures avec des espèces dominantes suivantes : *Guibourtia demeusei*(Harms) Léon., *Lophira alata*Banks ex C.F.Gaertn., *Celtis adolfi-friderici* Engl. etc [11, 13, 15] et des forêts secondaires comprenant des espèces héliophytes telle que : *Macaranga monandra* Mull- Arg. et *Musanga cecropioides* R. Br. [13]. La couverture végétale subit une régression significative due aux activités anthropiques liées à : l'agriculture itinérante sur brûlis, le feu de brousse annuel, la culture de rente (Palmier à huile, Cacao), la culture vivrière intensive (Manioc), l'infrastructure de communication physique [11]. Faisant partie intégrante de l'unité structurale de la Cuvette congolaise, le Département de la Likouala a un relief relativement moins accidenté avec des altitudes n'excédant pas 500 mètres et des dénivellations inférieures à 50 m entre les interfluvies et les fonds de vallées ne s'élevant qu'au Nord-ouest en direction des plateaux Oubanguiens [20].

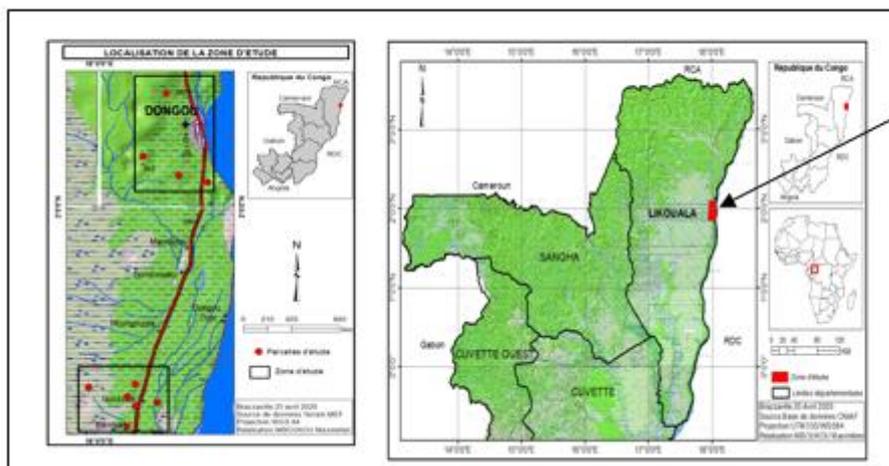


Figure 1 : Localisation de la zone d'étude

2-2. Méthodes

Les parcelles expérimentales ont été installées dans les forêts de terre ferme d'une part et d'autre part dans les forêts marécageuses (inondée et inondable), situées entre les villes d'Impfondo et Dongou. Dix parcelles d'un hectare chacune, ont été installées à l'aide d'une boussole, dans les cinq types forestiers observés, soit deux parcelles par type forestier. Pour mieux inventorier les forêts étudiées, chaque parcelle a été subdivisée en quatre placettes de 50 m de côté soit 2500 m² chacune. En suivant la démarche de la référence [15] dans la même zone, tous les arbres ayant un DHP (Diamètre à Hauteur de Poitrine) supérieur ou égale à 5 cm à

1,30 m du sol ont été identifiés et leurs diamètres a été mesurer à l'aide d'un compas forestier dans chaque placette et dans chaque type de forêt. Les échantillons du sol ont été prélevés au centre des placettes de 2500 m² à l'aide d'une tarière racinaire de 15 cm de hauteur et 8 cm de diamètre dont l'horizon de 0 à 15 cm de profondeur. Un point de collecte par placette soit quatre (4) points par parcelle d'un 1 ha a été réalisé. Au total, nous avons prélevé 40 échantillons du sol dans dix (10) parcelles. Après prélèvement, de ces carottes du sol ont été conservés dans des sacs plastique et étiqueté pour une meilleure organisation.

2-3. Traitement des données

Les données recueillies sur le terrain saisies à l'ordinateur, ont permis de créer une base de données dans le tableur Microsoft Excel 2013. L'identification de la plupart des espèces d'arbres a été faite sur le terrain par les noms pilotes, les noms vernaculaires et les noms scientifiques à partir de leurs caractéristiques biologiques et de certains manuels [14, 21 - 23], D'autres espèces ont été identifiées à l'herbarium national à partir des échantillons d'herbiers.

2-4. Analyse des données

2-4-1. Richesse spécifique

La richesse spécifique est le nombre total d'espèces de la distribution observée [24].

2-4-2. Densité relative d'une espèce ou d'une famille

Les densités relatives d'une espèce ou d'une famille ont été calculées par les **Formules** suivantes [25] :

$$DRe (\%) = \frac{nie}{NTe} * 100 \quad (1)$$

$$DRf (\%) = \frac{nif}{NTf} * 100 \quad (2)$$

Avec : nie étant le nombre d'individus par espèce, NTe le nombre total d'individus des espèces, nif le nombre d'individus par famille et NTf le nombre total d'individus des familles.

2-4-3. Dominance relative d'une espèce ou d'une famille

$$DoRe (\%) = \frac{ge}{GTe} * 100 \quad (3)$$

$$DoRf = \frac{gf}{GTf} * 100 \quad (4)$$

Avec : ge étant la surface terrière d'une espèce, GTe la surface terrière totale des espèces, gf la surface terrière d'une famille et GTf la surface terrière totale des familles.

2-4-4. Fréquence relative (Fr)

La Fréquence relative permet d'apprécier l'hétérogénéité de la composition des espèces d'une zone donnée [25].

$$Fre (\%) = \frac{nre}{NTR} * 100 \quad (5)$$

$$Frf(\%) = \frac{nrf}{NTR} * 100 \quad (6)$$

Avec : Fre étant la fréquence relative de l'espèce, nre le nombre de relevés dans lesquels l'espèce a été comptée, NTR le nombre total des relevés, Frf la fréquence relative de la famille et nrf le nombre de relevés dans lesquelles la famille a été comptée.

2-4-5. Indices des valeurs d'importance des taxons (Espèces et familles)

$$IVIe = DRe + DoRe + Fre \quad (7)$$

$$IVIf = DRf + DoRf + Frf \quad (8)$$

IVIe étant l'indice des valeurs d'importance de l'espèce et IVIf l'indice des valeurs d'importance de la famille.

Ces indices permettent d'identifier les entités dominantes d'une communauté végétale, c'est-à-dire, les espèces et les familles ayant une forte valeur écologique. Ils ont l'avantage de combiner les aspects floristiques et les aspects structuraux pour bien mettre en valeur l'importance de chaque taxon dans l'écosystème forestier étudié [15, 26].

2-4-6. Analyse en Composantes Principales (ACP)

L'ACP a été réalisée à partir d'un tableau à double entrée regroupant les caractéristiques floristiques et structurales des diverses forêts étudiées. Pour une meilleure manipulation, une codification spécifique a été appliquée, notamment Forêt Adulte à Lophira (FAL), Forêt Adulte à Celtis (FAC), Forêt Adulte à Guibourtia (FAGU), Forêt Secondaire à Musanga (FSMUS) et Forêt Secondaire à Macaranga (FSMAC) prises en observation. Les variables utilisées sont : la densité (Dens), le carbone organique du sol (CO), le rapport C/N, la matière organique (MO), la surface terrière (G) et le taux de régénération des espèces (TR).

2-4-7. Coefficient la similarité

Le coefficient de similarité de Sorensen permet de savoir si deux parcelles a et b comparées sur le plan floristique appartiennent à la même communauté végétale. Il s'agit du pourcentage d'espèces communes dans deux parcelles. Pour une valeur de Sorensen (K) supérieure à 50 %, on peut conclure que les deux parcelles comparées appartiennent à une même communauté végétale. Dans le cas contraire, les parcelles appartiennent à des communautés végétales différentes [27] :

$$K (\%) = \frac{2C}{A+B} * 100 \quad (9)$$

Avec : A : le nombre d'espèces de la parcelle a ; B : le nombre d'espèces de la parcelle b et C : le nombre total des espèces communes aux parcelles a et b.

2-4-8. Densité à l'hectare

Elle est déterminée par le nombre de tiges à l'hectare [27] et s'évalue suivant la **Formule** :

$$D = \frac{ni}{S} \quad (10)$$

ni étant le nombre d'individus (arbres) et S la superficie totale.

2-4-9. Surface terrière

La surface terrière totale est égale à la somme de toutes surfaces de toutes les espèces présentes dans l'échantillon inventorié par hectare. Elle est d'autant plus élevée que l'arbre est gros. Celle d'un peuplement est d'autant plus élevée que celui-ci est dense [28]. La surface terrière est exprimée en m² par ha [29]. Elle se calcule à l'aide des relations suivantes.

$$g = \pi * \frac{Di^2}{4} \quad (11)$$

Di étant le diamètre du ligneux i et $\pi = 3,14$,

$$G = \sum_{i=1}^n \left(\frac{\pi D^2}{4} * \frac{d}{n} \right) \quad (12)$$

G étant Surface terrière du peuplement en m²/ha, d la densité du peuplement à l'hectare et n l'effectif de la population dans la parcelle.

2-4-10. Structure diamétrique des groupements

Elle permet d'apprécier le degré de perturbation ou de conservation d'un biotope. Les arbres inventoriés dans chaque milieu sont groupés dans des classes de diamètres suivantes : [5-9,9 cm] classe 0 ; [10-19,9 cm] classe I ; [20-29,9 cm] classe II ; [30-39,9 cm] classe III ; [40-49,9 cm] classe IV, etc. La configuration des histogrammes de la structure diamétrique du peuplement de chaque biotope renseigne, par la forme de la courbe produite, sur le potentiel de régénération du milieu. Ainsi, la forme de «J» inversé indique un milieu perturbé avec un bon potentiel de régénération, une forme de «J» normal traduit un milieu bien conservé avec un mauvais état de régénération [30].

2-4-11. Taux de régénération (Tr)

Il permet d'évaluer le potentiel de régénération des espèces ligneuses dans chaque biotope. Lorsque Tr est supérieur à 50 %, le nombre des juvéniles s'élève par rapport au nombre des individus adultes qui tend vers 0 [27]. Il s'exprime par la **Formule** :

$$Tr = \frac{n}{N} * 100 \quad (13)$$

n étant le nombre total des individus juvéniles de diamètre inférieur ou égal à 10 cm et N le nombre total d'individus de l'unité de végétation.

2-4-12. Estimation du stock de carbone organique du sol

Nous avons déterminé le stock de carbone organique par la **Formule** :

$$SC = Ci * Da * 10 * E \quad (14)$$

SC étant le stock de C, en g/m², Da la densité apparente, en g/cm³, E l'épaisseur de l'horizon, en cm et Ci le teneur en carbone organique de la couche en %

Le rapport C/N a été mesuré grâce aux analyses des teneurs en carbone organique et de l'azote total [6] des 40 échantillons. Le taux de matière organique est obtenu en multipliant la teneur en carbone par 1,724.

3. Résultats

3-1. Richesse floristique

L'inventaire floristique et structural effectué dans la zone de Bondzalé et Dongou, a permis de dénombrer 5692 arbres appartenant à 156 espèces réparties en 44 familles. Le **Tableau 1** montre que les forêts sur terre ferme sont plus diversifiées floristiquement et plus riches en nombre d'arbres de DBH \geq 5 cm. La composition floristique est plus importante dans la forêt adulte à Celtis (85 espèces et 1349 individus) suivis de la forêt secondaire à Macaranga (83 espèces et 1332 individus), la forêt secondaire à Musanga (84 espèces et 1187 individus). La diversité floristique est particulièrement plus importante dans la forêt inondable à *Lophira alata* (87 espèces et 1116 individus). La forêt inondée à *Guibourtia demeusei* est la moins riche avec un sous-bois clairsemé.

Tableau 1 : Composition floristique des différentes forêts étudiées

Types de forêts	Individus	Espèces	Familles
FAL	1116	87	31
FAC	1349	85	37
FSMA	1332	83	36
FSMU	1187	84	37
FAGUI	708	52	22

FAL = Forêt Adulte à *Lophira* ; FAC = Forêt Adulte) *Celtis* ; FSMA = Forêt Secondaire à *Macaranga* ; FSMU = Forêt Secondaire à *Musanga* ; FAGUI = Forêt Adulte à *Guibourtia*

3-2. Indice de Valeur d'Importance (IVI)

Les résultats de cette étude montrent sur les 44 familles inventoriées, l'IVI varie d'une famille à une autre (**Figure 2**).

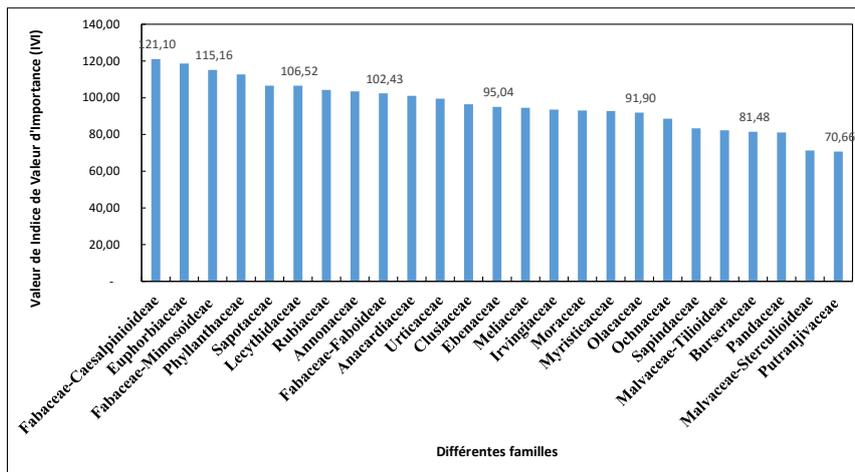


Figure 2 : l'Indice de valeur d'Importance par famille

La famille des Fabaceae-Caesalpinioideae est la plus représentée dans cette zone avec comme espèce principale *Guibourtia demeusei*(Harms) Léon., suivie de la famille des Euphorbiaceae avec l'espèce principale

Macaranga monandra Mull- Arg. Les résultats de calcul de l'IVI des 15 espèces les mieux représentées écologiquement (**Tableau 2**) montrent que *Pseudospondias microcarpa* (100,69), suivi de *Musanga cecropioides* (98,97), *Klainedoxa gabonensis* (92,22), *Lophira alata* (87,73), *Staudtia kamerounensis* *Macaranga monandra* (84,53) sont les plus abondamment représentées.

Tableau 2 : Indice de Valeur d'Importance par espèce

Espèces	IVI	DR (%)	Dor (%)	Fr (%)
<i>Pseudospondias microcarpa</i> (A.Rich.) Engl.	100,69	0,30	0,39	100,00
<i>Musanga cecropioides</i> R. Br.	98,97	13,79	15,18	70,00
<i>Klainedoxa gabonensis</i> Pierre ex Engle.	92,22	0,44	1,78	90,00
<i>Lophira alata</i> Banks ex C.F.GaertN.	87,73	2,14	5,58	80,00
<i>Staudtia kamerounensis</i> Warb. Var. <i>gabonensis</i> Fouilloy	86,01	4,73	1,29	80,00
<i>Macaranga monandra</i> Mull- Arg.	84,53	11,82	2,71	70,00
<i>Garcinia punctata</i> Oliv.	84,09	3,25	0,84	80,00
<i>Cleistanthus itsoghensis</i> Pellegr.	82,66	0,72	1,93	80,00
<i>Duboscia macrocarpa</i> Brocq.	82,23	1,44	0,79	80,00
<i>Pycnanthus angolensis</i> (Welv.) Exell	81,68	1,16	0,52	80,00
<i>Macaranga spinosa</i> Müll-Arg.	81,30	1,04	0,26	80,00
<i>Panda oleosa</i> Pierre	80,95	0,51	0,44	80,00
<i>Trichilia gillettii</i> De Wild.	80,91	0,65	0,26	80,00
<i>Petersianthus macrocarpus</i> (P.Beauv.) Liben	75,76	3,04	2,72	70,00
<i>Dialium pachyphyllum</i> Harms	75,38	3,78	1,61	70,00

3-3. Identification de la similitude des différents relevés

La **Figure 3** représente les résultats de calcul du coefficient de Sorensen.

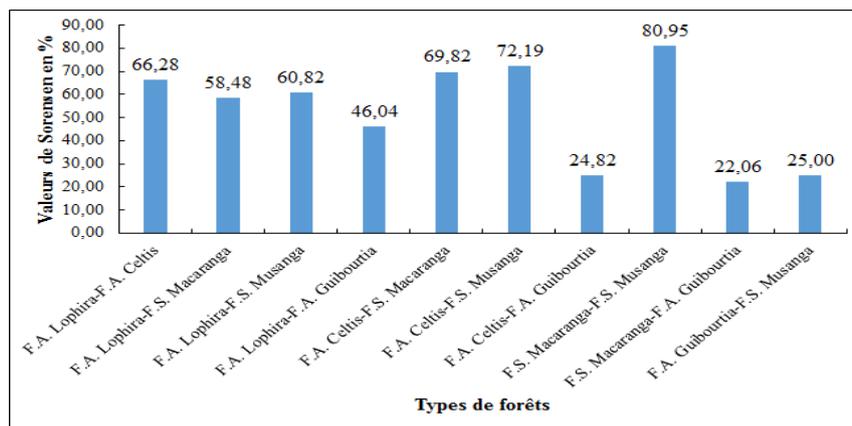


Figure 3 : Les valeurs du coefficient de Sorensen

Il apparaît que les valeurs les plus élevées du coefficient de Sorensen sont observées entre les forêts sur terre ferme (F.S. Macaranga-F.S. Musanga avec 80,95 %, F.A. Celtis-F.S. Macaranga avec 72,19 % et F.A. Celtis-F.S. Macaranga avec 69,82 %). La valeur du coefficient de Sorensen est supérieure à 50 % entre la forêt temporairement inondée (F.A. Lophira) et les forêts sur terre ferme (F.A. Celtis, F.S. Macaranga et F.S. Musanga). Par contre la valeur de cet indice est inférieure à 50 % entre la forêt inondée (F.A. Guibourtia) et les forêts sur terre ferme (F.A. Celtis, F.S. Macaranga et F.S. Musanga).

3-4. Densité à l'hectare et la surface terrière des différentes forêts

Les valeurs de la Surface Terrière (G) par types de forêts et par parcelles sont représentées dans le **Tableau 3** ci-dessous. Il en résulte que, la valeur moyenne de G la plus élevée est obtenue dans la forêt adulte à Celtis (31,99 m²/ha), suivi de la forêt adulte à Guibourtia (29,77 m²/ha), de la forêt adulte à Lophira (28,48 m²/ha). Les faibles valeurs ont été notées dans les forêts secondaires (28,27 m²/ha pour la FSMUS et 16,09 m²/ha pour la FSMAC). Cependant la densité moyenne à l'hectare est obtenue dans la forêt à Celtis (675 arbres/ha), suivi de la forêt à Macaranga (666 arbres/ha), la forêt à Musanga (594 arbres/ha). Par contre, la forêt Adulte à Guibourtia présente la densité moyenne la plus faible soit 354 arbres/ha.

Tableau 3 : Les valeurs de la Surface terrière (G)

Types de forêts	Parcelles	Densité/effectif	G (m ² /ha)	Moy. G (m ² /ha)
F. A. Celtis	P1	663	26,98	31,99
	P6	686	36,99	
F. A. Guibourtia	P3	335	33,01	29,77
	P7	373	26,54	
F. S. Musanga	P5	556	32,04	28,27
	P2	631	24,49	
F. A. Lophira	P8	449	24,34	28,48
	P4	667	32,63	
F.S. Macaranga	P9	675	18,21	16,09
	P10	657	13,97	

3-5. Structure diamétrique de tous types de forêts

La structure diamétrique des différentes forêts étudiées est de façon générale en forme exponentielle décroissante (forme de L). C'est-à-dire il y a plus d'individus de petit diamètre que les gros (**Figure 4**).

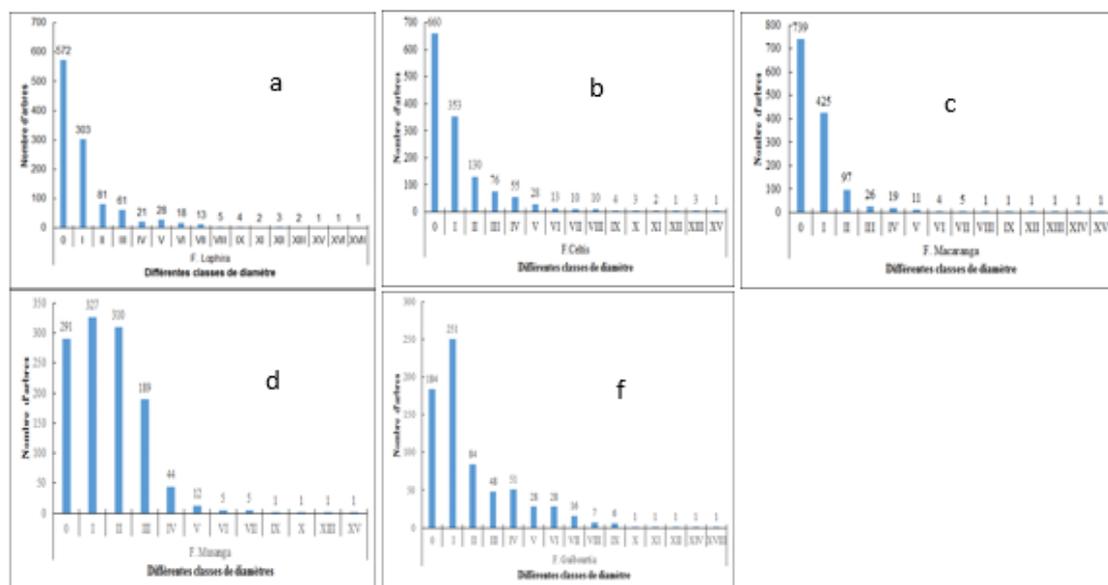


Figure 4 : Distribution diamétrique de tous les types de forêts : a) Forêt adulte à Lophira ; b) forêt adulte à Celtis ; c) forêt secondaire à Macaranga ; d) forêt secondaire à Musanga et f) forêt adulte à Guibourtia

La structure diamétrique est bien représentée dans la FAL, FAC, et FSMA Par contre, la forêt secondaire à Musanga et la forêt adulte à Guibourtia présente un déficit des jeunes individus exprimant une instabilité relative de ces forêts.

3-6. Taux de régénération (Tr)

Les résultats du calcul du taux de régénération dans les différentes forêts étudiées sont présentés dans le **Tableau 4**. Le taux de régénération le plus élevé est noté dans la forêt à Macaranga avec une moyenne de 43,69 %, suivi de la forêt à Lophira (39,2 %) et dans la forêt à Celtis (37,55 %). Les faibles taux de régénération sont observés dans la forêt à Musanga (26,03 %) et dans la forêt à Guibourtia (30,72 %).

Tableau 4 : Taux de régénération dans les différents types de forêt

Types de Forêts Classes de diamètre	F.A Lophira	F.A Celtis	F.S. Macaranga	F.S. Musanga	F.A Guibourtia
Classe 0	51,25 %	48,93 %	55,48 %	24,52 %	25,99 %
Classe I	27,15 %	26,17 %	31,91 %	27,55 %	35,45 %
Moyenne	39,2 %	37,55 %	43,69 %	26,03 %	30,72 %

3-7. Carbone organique moyen, Rapport Carbone/Azote et la Matière Organique dans les différentes forêts étudiées

Les résultats de calcul du carbone organique, du rapport C/N et de la matière organique (**Tableau 5**) montrent que le stock de carbone organique moyen le plus important est obtenu dans la F.A Guibourtia ($14,00 \pm 14,63$ tC/ha), suivi de la F.A Lophira ($8,17 \pm 3,22$ tC/ha), F.S Macaranga ($4,92 \pm 1,42$ tC/ha) et la F.A Celtis ($3,49 \pm 1,83$ tC/ha). Par contre, la F.S Musanga présente un stock faible soit ($2,22 \pm 0,89$ tC/ha). Le test statistique montre une différence significative entre ces stocks de carbone ($p = 0,01$). Le rapport carbone azote (C/N) des cinq types de forêts révèle une valeur moyenne plus importante dans la F.A Lophira soit ($22,91 \pm 6,71$), la F.A Guibourtia présente ($20,44 \pm 5,82$), la F.S Macaranga ($17,57 \pm 2,27$), la F.A Celtis ($14,17 \pm 2,14$) et la dernière valeur dans la F.S Musanga ($12,64 \pm 1,11$). La différence est très hautement significative ($p = 0,000$). Les résultats moyens de la matière organique (MO) sont plus élevés dans la F.A Guibourtia ($25,66 \pm 26,65$ %), moins faibles dans F.A Lophira ($14,47 \pm 6,81$ %), la F.S Macaranga ($7,01 \pm 2,13$ %), la F.A Celtis ($4,42 \pm 2,60$ %) et la plus faible dans la F.S Musanga ($2,75 \pm 1,05$ %). L'analyse des tests statistiques révèle une différence significative ($p = 0,004$).

Tableau 5 : Valeurs du stock moyen de carbone, du rapport carbone/azote (C/N) et la Matière Organique (MO)

Type de forêts	Stock moyen de carbone en tC/ha	C/N	Moyenne MO (%)
F.A Lophira	$8,17 \pm 3,22$	$22,91 \pm 6,71$	$14,47 \pm 6,81$
F.A Celtis	$3,49 \pm 1,83$	$14,17 \pm 2,14$	$4,42 \pm 2,60$
F.A Guibourtia	$14,00 \pm 14,63$	$20,44 \pm 5,82$	$25,66 \pm 26,65$
F.S Macaranga	$4,92 \pm 1,42$	$17,57 \pm 2,27$	$7,01 \pm 2,13$
F.S Musanga	$2,22 \pm 0,89$	$12,64 \pm 1,11$	$2,75 \pm 1,05$

3-8. Résultats de l'ACP

En regroupant les caractéristiques floristiques, structurales et écologiques des différentes forêts étudiées, nous avons effectuées une ACP qui a donné les résultats suivants (*Figure 5*):

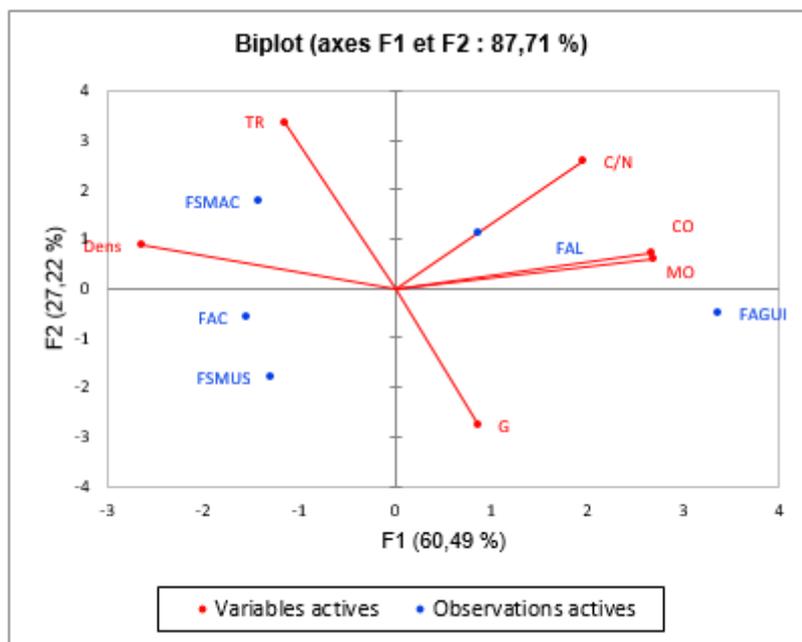


Figure 5 : Résultats de l'ACP

Cette *Figure* montre que le plan principal (F1 et F2) explique à lui seul 87,74 % de l'information sur la caractérisation des forêts de la zone étudiée. L'axe F1, qui explique 60,49 % de l'information, discrimine les types forestiers étudiés en deux groupes :

- Le premier groupe est constitué de la forêt adulte à Lophira (FAL) et la forêt à Guibourtia (FAGUI) qui sont situées dans la partie positive de l'axe F1. Ce sont des forêts inondée (FAGUI) et inondable (FAL) caractérisées par les paramètres pédologiques élevés notamment une concentration de la matière organique (MO), du carbone organique (CO) et d'un Rapport C/N élevé ;
- Le second groupe est constitué de la forêt adulte à Celtis (FAC), la forêt secondaire à Macaranga (FSMAC) et de la forêt secondaire à Musanga (FSMUS) qui sont des forêts sur terre ferme caractérisées par leur densité élevée en arbres et des forts taux de régénération.

4. Discussion

4-1. Paramètres floristiques

L'inventaire floristique effectué dans la zone de Dongou a permis de distinguer cinq types forestiers : la forêt adulte à Celtis, la forêt secondaire à Macaranga et la forêt secondaire à Musanga qui sont des forêts sur terre ferme ; la forêt adulte à Lophira et la forêt à Guibourtia qui sont respectivement des forêts inondable et inondée. Nos résultats montrent que la diversité floristique est plus importante dans les forêts sur terre ferme que dans les forêts marécageuses. Sur le plan quantitatif, nos premiers travaux effectués dans la zone d'étude [15] ont permis de dénombrer 114 espèces d'arbres de DBH supérieur ou égal à 5 cm, réparties dans 83 genres

et 37 familles dans une superficie de 3,75 ha. Ces résultats sont en deçà de ce que nous avons obtenu dans ce travail car l'échantillonnage a concerné 10 ha. De même, les travaux effectués dans la même zone [12] ont produit des résultats nettement inférieurs aux nôtres car il a recensé 2630 individus de dbh supérieur ou égal à 10 cm représentant 105 espèces, 80 genres et 33 familles. Cette différence pourrait être expliquée par le fait que nous avons recensé des individus d'arbres de $dbh \geq 5$ cm, tandis qu'il n'a pris en compte que les individus de $dbh \geq 10$ cm. Les valeurs de l'Indice de Valeur d'Importance (IVI) ont permis de montrer que de façon générale les Fabaceae constituent la famille la plus importante tant sur le plan qualitatif que quantitatif. Ce résultat confirme ceux de la référence [13] qui affirme que du point de vue physiologique, les forêts du Nord-Congo sont des forêts à Meliaceae, par contre du point de vue diversité floristique, la famille des Fabaceae est la plus abondante dans ces forêts. Les valeurs du coefficient de Sorensen ont montré des valeurs élevées de plus de 60 % entre les forêts inventoriées sur terre ferme. Les affinités observées entre la forêt secondaire à Musanga et la forêt secondaire à Macaranga d'une part et entre la forêt adulte à Celtis et ces forêts secondaires d'autre part, permet d'affirmer que ces forêts appartiennent à une même communauté. Les forêts secondaires à Musanga et Macaranga constituent des étapes alternatives de la dynamique de reconstitution de la forêt adulte à Celtis secondarisée par les activités humaines. Les faibles valeurs du coefficient de Sorensen ont été observées entre les forêts marécageuses (FAGUI et FAL) ce qui confirme une différence de communauté végétale, l'écologie joue un rôle primordial dans la répartition des espèces forestières [14]. Ce résultat des valeurs du coefficient de Sorensen est confirmé par l'analyse en composantes principales qui discrimine l'ensemble des types forestiers étudiés en deux groupes ; le groupe des forêts sur terre ferme et le groupe des forêts marécageuses.

4-2. Paramètres structuraux

La densité moyenne calculée dans les forêts étudiées varie entre 354 à 675 arbres/ha. La densité des individus dans les forêts tropicales [29] varie entre 300 et 750 arbres/ha, ce qui correspond bien avec nos résultats. En ce qui concerne les forêts étudiées, cette densité est faible dans les forêts marécageuses et forte dans les forêts de terre ferme. Elle est particulièrement plus forte dans les forêts secondaires sur terre ferme. La faible densité dans les forêts marécageuses peut s'expliquer par le fait que, selon les travaux de [30] est la présence d'eau en permanence où la majorité d'espèces ne supporte pas l'étouffement et meurent par asphyxie. Les valeurs de la surface terrière moyenne varient de 16,09 à 31,99 m²/ha. Elles sont plus fortes dans les forêts adultes et faibles dans les forêts secondaires, du fait du nombre important d'arbres à gros diamètre dans les forêts adultes. La structure diamétrique donne des indications relatives à l'état de régénération et de l'équilibre ou non d'une formation forestière. Nos résultats montrent de façon générale, une structure diamétrique est en forme de « J » renversée traduisant ainsi une bonne régénération des forêts étudiées. Le taux de régénération est plus élevé dans les forêts secondaires que dans les forêts adultes du fait des conditions propices à la germination des espèces héliophiles. Dans la forêt Adulte à Lophira, temporairement inondée, le taux de régénération est élevé également. Ceci pourrait s'expliquer par le fait que l'inventaire a été effectué pendant la période de saison sèche, favorable à la germination de nombreuses semences. Par contre, dans la forêt Adulte à Guibourtia, forêt inondée, le taux de régénération reste faible du fait des conditions asphyxiques du sol.

4-3. Paramètres pédologiques

La quantité et la qualité de la matière organique sont directement liées aux différents types de végétation et à leur productivité végétale qui amène au sol la matière organique fraîche sous forme de litière aérienne [31]. La quantité de la MO est plus importante dans les forêts marécageuses (FAGUI et FAL). Elle est plus faible dans les forêts sur terre ferme et plus particulièrement dans les forêts secondaires étudiées. A cet effet, le

type de végétation influence les stocks de carbone dans les sols par la production de litière et la vitesse à laquelle se décomposent les composés organiques des différentes espèces. Les quantités importantes de la MO dans les forêts marécageuses montrent la stabilité et la durabilité de ces écosystèmes dont les activités humaines sont quasiment absentes [32, 33]. Il faut noter que le type de végétation (forêts vieilles et intactes) favorise l'accumulation de la MO au sol [34]. De même les quantités de carbone organique sont plus élevées dans les forêts marécageuses que dans les forêts sur terre ferme. Ces résultats montrent que le carbone du sol se minéralise plus rapidement dans les forêts sur terre ferme que dans les forêts inondées. De même, plusieurs études réalisées en zone tropicale montrent que le stock de carbone est plus important dans les tourbières et les sols noirs [6], ce qui confirme une légère augmentation du stock de carbone dans la forêt Adulte inondable à Lophira qui possède un sol noir. Les faibles quantités de carbone observé dans les forêts secondaires sont dues non seulement par le degré de perturbation d'humaine, mais aussi par la rapidité de sa minéralisation. Le rapport C/N indique la vitesse de minéralisation des amendements humiques apportés au sol, le degré d'évolution de la matière organique, l'activité biologique et le potentiel de fourniture d'azote par le sol. Il oriente aussi la décomposition de la matière organique soit vers la minéralisation ou vers l'humification. Le rapport C/N est d'autant plus élevé que la vitesse de décomposition de la matière organique est moins rapide. Inversement, il est d'autant plus faible que la vitesse de décomposition est rapide [35]. Les résultats obtenus pour cette étude montrent que le C/N est plus élevé dans les forêts marécageuses (expliquant ainsi l'accumulation des matières organiques) que dans les forêts sur terre ferme (avec une minéralisation plus rapide de la matière organique).

5. Conclusion

L'inventaire floristique réalisé dans la zone d'étude a permis de distinguer les forêts marécageuses (la forêt adulte à Guibourtia et la forêt adulte à Lophira) et les forêts sur terre ferme (forêt adulte Celtis, forêt secondaire à Musanga et forêt secondaire à Macaranga). Les valeurs de l'indice de valeur d'importance (IVI) ont montré que les Fabaceae représentent la famille la plus abondante dans la zone d'étude. Les valeurs de l'indice de Sorensen ont permis de confirmer les affinités entre les forêts de terre ferme d'une part et celles des forêts marécageuses d'autre part. Les valeurs les plus élevées ont été notées entre les forêts sur terre ferme montrant ainsi leur appartenance à une même communauté végétale. L'analyse en composantes principales a confirmé l'ensemble des relevés floristiques en deux groupes de forêts : les forêts sur terre ferme et les forêts marécageuses. Le taux de régénération est plus important dans les forêts sur terre ferme. Le rapport C/N est plus élevé dans les forêts marécageuses, indiquant la faible vitesse de minéralisation de matière organique. Par contre dans les forêts sur terre ferme, le C/N est faible et la vitesse de minéralisation est rapide.

Références

- [1] - FAO, Changement d'utilisation des terres forestières mondiales 1990 - 2005. Rome, Italie, (2012) p 1
- [2] - P. F. CHEVET, Synthèse n°1. Forêt et changement climatique. Direction générale de l'énergie et du climat / Service du climat et de l'efficacité énergétique / Sous-direction du climat et de la qualité de l'air (2009) 3 - 7
- [3] - A. B. BOUDELAL MAHMOUD, Relations structure des peuplements forestiers, biodiversité au niveau du Parc National de Tlemcen. Mémoire de Master, Université Abou Bekr Belkaid, Algérie (2014) 120 p.

- [4] - Q. MOLTO, Estimation de biomasse en forêt tropicale humide : Propagation des incertitudes dans la modélisation de la distribution spatiale de la biomasse en Guyane française. Thèse : Physiologie et biologie des organismes, populations, interactions, Université des Antilles et de la Guyane (2012) 184 p.
- [5] - Y. E. BOCKO, S. A. IFO et J. J. LOUMETO, Quantification des stocks de carbone de trois pools clés de carbone en Afrique Centrale : cas de la forêt marécageuse de la Likouala (Nord Congo). *European Scientific Journal*/vol.13 (5) (2017) 1857 - 743
- [6] - FAO, Carbone Organique du Sol: une richesse invisible. Rome, Italie (2017) 90 p.
- [7] - FAO, Evaluation des ressources forestières mondiale. Rapport national Congo (2010) 6 - 19
- [8] - H. OUZENNOU, Indice de qualité de station des pressières noires irrégulières. Mémoire de Maitrise. Université Laval, Québec (2007) 46 p.
- [9] - J. EBUY, J. P. MATE, J. P. MUKANDAMA et Q. PONETTE, Chute des litières et fertilité des sols sous plantations forestières dans le bassin du Congo : cas de la station I.N.E.R.A/Yangambi en R.D.C. *Journal of Animal & Plant Sciences*, Vol.31 Issue 1, (2016) 4843 - 4860
- [10] - J. RANGER et C. NYS, La qualité des sols forestiers français. INRA Centre de Nancy, Unité Biogéochimie des Ecosystèmes Forestiers, 54280 Champenoux. Etude et Gestion des sols, Volume 10, 4, (2003) 263 - 285
- [11] - S. A. IFO, J. M. MOUTSAMBOTE, F. KOUBOUANA, J. YOKA, S. F. NDZAI, L. N. BOUETOU-KADILAMIO, H. MAMPOUYA, C. JOURDAIN, Y. BOCKO, A. B. MANTOTA, M. MBEMBA, D. MOUANGA-SOKATH, R. ODENDE, R. MONDZALI, E. YETO, W. MAMPOUYA, B. C. OUISSIKA and J. J. LOUMETO, Tree Species Diversity, Richness, and Similarity in Intact and Degraded Forest in the Tropical Rainforest of the Congo Basin : Case of the Forest of Likouala in the Republic of Congo. *Hindawi Publishing Corporation. International Journal of Forestry Research* Volume (2016), <http://dx.doi.org/10.1155/2016/7593681>
- [12] - Y. E. BOCKO, Variation spatiale des stocks de carbone des forêts marécageuses de la Likouala (Nord - Congo). Thèse pour l'obtention du grade de Docteur en Biologie et Physiologie Végétales. Université Marien Ngouabi, Brazzaville, Congo (2018) 131 p.
- [13] - J. M. MOUTSAMBOTE, Etude écologique, phytogéographique et phytosociologique du Centre et du Nord-Congo, Brazzaville, (Plateaux, Cuvette, Likouala et Sangha). Thèse d'Etat, Université Marien Ngouabi, Brazzaville (2012) 632 p.
- [14] - D. HARRIS, J.-M. MOUTSAMBOTE, E. KAMI J. FLORENCE, S. G.M. BRIDGEWATER et A. H WORTLEY, Introduction aux arbres du Nord-Congo (2011) 208 p.
- [15] - F. KOUBOUANA, S. A. IFO, S. F. NDZAI, S. BITSANGOU et R. MONDZALI LENGUYA, Étude comparative d'une forêt Adulte et d'une forêt dégradée au Nord de la République du Congo par référence à la structure des forêts tropicales humides. *Revue Scientifique et Technique Forêt et Environnement du Bassin du Congo* Volume 11, Octobre (2018) 11 - 25, Print ISSN: 2409-1693 / Online ISSN: 2412-3005
- [16] - Y. E. BOCKO, G. DARGIE, S. A. IFO, J. YOKA et J. J. LOUMETO, Répartition spatiale de la richesse floristique des forêts marécageuses de la Likouala, Nord-Congo. *Afrique SCIENCE*, 12(4) (2016) 200 - 212, <http://www.afriquescience.info>
- [17] - C. D. GRETA, S. L. LEWIS, I. T. LAWSON, T. A. EDWARD, MITCHARD, S. E PAGE, Y. E BOCKO & S. A. IFO, Age extent and carbon storage of the central Congo Basin peatland complex doi (2017) 10.1038/nature 21048
- [18] - P. VENNETIER, Géographie du Congo Brazzaville : la couverture végétale et les sols du Congo (1968) 41
- [19] - N. MOUKOLO, Etat des connaissances actuelles sur l'hydrogéologie du Congo Brazzaville (1992) 12 p.
- [20] - CERAPE, Monographie du Départementale de la Likouala. Etude du secteur agricole, République du Congo (2011) 95 p.
- [21] - J. VIVIEN et J. J FAURE, Arbres des forêts denses d'Afrique Centrale, espèces du Cameroun : Agence de Coopération Culturelle et Technique (1985) 565 p.
- [22] - Y. TAILFER, La forêt dense d'Afrique Centrale : identification pratique des principaux arbres, Tome 2 (1989) 465 - 1271

- [23] - C. WILKS et Y. ISSEMBE, Guide pratique d'identification : les arbres de la Guinée Equatoriale. Région continentale. CUREF, Bata, Guinée Equatoriale (2000) 546 p.
- [24] - J. R. NGUEGUIM, L. ZAPFACK, E. YOUNBI, B. RIERA, J. ONANA, B. FOAHOM et J. G. MAKOMBU, Diversité floristique sous canopée en plantation forestière de Mangombe-Edea (Cameroun). *Biotechnol. Agron. Soc. Environ*, 14 (1) (2010) 167 - 176
- [25] - B. SONKE, Etudes floristiques et structurales des forêts de la réserve de faune du Dja (Cameroun). Thèse de doct. ULB. Labo. *Bot. Syst & Phyt*, (2005)
- [26] - B. NSANGUA MPOSO, H. NSHIMBA NSEYA, F. BOYEMBA, R. KATUSI, F. MBAYO et L. MBUYU, Etude de la variabilité structurale et floristique des forêts sur terre ferme en chefferie de Bahema-Boga (Province de l'Ituri, RDC). *European Scientific Journal*, Vol.14, No.30 (2018) ISSN : 1857-7881 (Print) e - ISSN 1857-7431
- [27] - D. KONAN, A. BAKAYOKO, F. H. TRA BI, B. G. A. BITIGNON & S. C. PIBA, Dynamisme de la structure diamétrique du peuplement ligneux des différents biotopes de la forêt classée de Yapo-Abbé, Sud de la Côte d'Ivoire. *Journal of Applied Bio sciences* 94 (2015) 8869 - 8879, ISSN 1997-5902
- [28] - A. C. AMANI, K. H. MIKELENGE, J. LISINGO et H. NSIMBA, Analyse floristique et impact du déterminisme édaphique sur l'organisation de la végétation dans les forêts de l'île Kongolo, RD Congo. *Géo. Eco. Trop*, 37(2) (2013) 255 - 272
- [29] - J. P. PASCAL, Notion sur les structures et dynamique des forêts tropicales humide (2000) 13 p.
- [30] - J. L. DOUCET, Alliance de la gestion forestière et de la biodiversité dans les forêts du centre Gabon. Thèse de doctorat. Faculté universitaire des sciences agronomiques de Gembloux (2003) 323 p.
- [31] - M. Robert et B. Saugier, Contribution des écosystèmes continentaux à la séquestration du carbone. *Eudaphologia* Vol 11 (1) (2004) 45 - 65
- [32] - S. T. GOWER, J. G. VOGEL, J. M. NORMAN, C. J. KUCHARICK, S. J. STEELE et T. K. STOW, Carbon distribution and aboveground net primary production in aspen, jack pine, and black spruce stands in Saskatchewan and Manitoba, Canada. *Journal of Geophysical Research*, Vol 12 (1997) 2029 - 29041
- [33] - S. A. Quideau, O. A. Chadwick, A. Benesi, R. C. Graham and M. A. Anderson, A direct link between forest vegetation type and soil organic matter composition. *Geoderma*, Vol 14 (2001) 41 - 60
- [34] - A. VERSINI, Effet de la manipulation des litières aériennes sur les cycles du C et de N dans les sols en plantation d'Eucalyptus au Congo. Thèse, Univ. Lorraine (2012) 224 p.
- [35] - J. BOULAIN, Remarques sur quelques notions élémentaires de la pédologie : 1. Pédon, profil et sol. 2. Les horizons. 3. La variabilité latérale des sols. *Cahiers ORSTOM.Série Pédologie*, 19 (1) (1982) 29 - 41. ISSN 0029-7259