

Biodiversité et stocks de carbone dans les différents peuplements forestiers d'Isangi, RD Congo

[Biodiversity and carbon stocks in different forest stands from Isangi, DR Congo]

Célestin ADEITO MAVUNDA¹⁻², Faustin BOYEMBA BOSELA³, Adrien DJOMO⁴, and John KATEMBO MUKIRANYA¹⁻²

¹Institut Supérieur d'Etudes Agronomique de Bengamisa, Section de Gestion des Ressources Naturelles Renouvelables, B.P. 202 Kisangani, RD Congo

²Laboratoire d'Ecologie et Aménagement Forestier de l'Université de Kisangani à la Faculté des Sciences, B.P. 2012 Kisangani, RD Congo

³Université de Kisangani, Faculté des Sciences, Département d'Ecologie et Gestion des Ressources Végétales, Laboratoire d'Ecologie et Aménagement Forestier, B.P. 2012 Kisangani, RD Congo

⁴Université de Queen's, Département de Géographie, Kingston, ON K7L3N6, Canada

Copyright © 2019 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: *Description of the subject.* In tropical Africa, relations between biomass, diversity and floristic composition are poorly understood and rarely addressed in studies of forest ecology.

Objectives. The aim of this study carried out in the forest of Isangi (latitudes 00°30'00"N and 01°05'00"N and longitudes 23°40'00"E and 24°30'00"E) was to test the floristic, structural (density, basal area, diameter structure) variability and carbon stocks between the different forest types of the area and to analyze the relationship between biomass and species richness and species composition.

Methods. Data were recorded on trees with dbh \geq 10 cm in 145 plots of 50 x 50 m² installed in different land use classes (fallow of different ages, secondary forest, mixed forest on dry land, mixed primary forest on hydromorphic soils and monodominant forest with *G. dewevrei*). Non-symmetric correspondence analysis (NSCA) allowed discriminating the floristic composition in different groups.

Results. This study showed the presence of floristic and structural variability and the difference in total biomass between the four forest types studied. There was also positive correlation between biomass and standardized species richness, density and basal area.

Conclusion. This study shows the importance of the upper stratum (dbh \geq 30 cm) in the accumulation of biomass (about 85% of storage).

KEYWORDS: Floristic diversity, biomass, forest type, forest of Isangi, DR Congo.

RÉSUMÉ: *Description du sujet.* En Afrique tropicale, les relations entre la biomasse, la diversité et la composition floristique sont mal connues et rarement abordées dans les études d'écologie forestière.

Objectifs. Le but de cette étude était de tester dans la région forestière d'Isangi, (en République Démocratique du Congo) en évaluant la variabilité floristique, structurale et la biomasse forestière entre les différents types forestiers et ; d'analyser les relations entre la biomasse d'une part et la richesse et la composition spécifique d'autre part.

Méthode. Les mesures ont été effectuées sur les arbres à dhp \geq 10 cm dans 145 parcelles de 50 x 50 m² installées dans les différents types forestiers (Jachères de différents âges, forêt secondaire, forêt primaire mixte sur terre ferme, forêt primaire

mixte sur terre hydromorphe et forêt monodominante à *Gilbertiodendron dewevrei*). L'analyse non symétrique de correspondance (NSCA) a permis de discriminer les différentes formations forestières.

Résultats. Les résultats trouvés montrent la présence d'une variabilité floristique et structurale et la différence de biomasse entre les types forestiers étudiés. Cette étude montre aussi des corrélations positives entre la biomasse d'une part et la richesse spécifique standardisée, la densité (N/ha) et la surface terrière d'autre part.

Conclusion. Cette étude montre l'importance de la strate supérieure (dhp \geq 30 cm) dans l'accumulation de la biomasse (près de 85 % de stockage).

MOTS-CLEFS: Diversité floristique, biomasse, type forestier, forêts d'Isangi, RD Congo.

1 INTRODUCTION

En Afrique tropicale humide, les forêts sont caractérisées par une diversité d'habitats structurés. Cette diversité entraîne une hétérogénéité floristique spatiale dans sa végétation forestière qui s'exprime dans une large mesure par des changements incessants dans la composition floristique et/ou dans la structure des espèces tant à l'échelle locale qu'à l'échelle régionale [1].

Dans cette hétérogénéité floristique et structurale, certains arrangements préférentiels sont facilement perceptibles, par exemple des groupements de types biologiques spécifiques : des groupements des arbres dans certaines positions topographiques ou physiographiques et même des groupements d'espèces dus à des biotopes particuliers [1].

De nombreuses études ont tenté d'expliquer les causes de cette diversité végétale à travers la prise en compte des facteurs tels que le climat, le sol, la dispersion de diaspores et le tempérament des espèces [2], [3] et [4].

Des études forestières réalisées dans le milieu tropical ont mis en évidence l'influence des propriétés du sol sur la répartition spatiale des espèces [5].

L'approche phyto-écologique, basée sur l'analyse de données floristiques, structurales ou sur une combinaison des deux, a permis d'identifier plusieurs types de facteurs expliquant l'hétérogénéité des forêts tropicales humides. Cependant, les facteurs écologiques (mode de dissémination, barrière écologique, types de substrats, microclimat...) sont considérés comme pouvant exercer une influence majeure sur la structure et la composition des peuplements à différentes échelles. Ceci a été vérifié pendant longtemps dans des systèmes fortement contrastés tels les sols hydromorphes et/ou inondables sur terre ferme [6] et [4].

La présente étude analyse la variabilité floristique et structurale (densité (N/ha), surface terrière, structure de diamètres) et des stocks de carbone entre les différents types forestiers. Elle compare aussi les relations qui existent entre la biomasse, et la richesse et la composition floristique dans ces formations forestières.

2 MATERIEL ET METHODES

2.1 LOCALISATION GÉOGRAPHIQUE

Cette étude a été menée dans la zone du Projet Pilote REDD Géographiquement Intégré d'ISANGI (PPRGII) située dans le territoire d'ISANGI, province de la TSHOPO de la République Démocratique du Congo, à 125 km à l'Ouest de la ville de Kisangani entre les latitudes 00°30' 00"N et 01°05'00"N et longitudes 23°40'00"E et 24°30'00"E. La zone du projet est traversée par le fleuve Congo de l'Est-Ouest sur une distance de 96,6 km ; les rivières LOMAMI et LOKOMBE ont également leurs embouchures dans la zone du projet. La superficie de la zone du projet est de 2.850,97 km² (285.097 ha), soit 20,7 % de la superficie totale du Territoire d'ISANGI.

2.2 COLLECTE ET ANALYSE DES DONNÉES

2.2.1 COLLECTE DES DONNÉES

L'approche méthodologique de mise en place des parcelles d'inventaire était basée sur le protocole du projet REDD+ [7]. Les données de cette étude étaient récoltées dans 145 parcelles de 50 m x 50 m réparties sur l'ensemble des strates forestières et non forestières de la zone du projet. L'échantillonnage était dirigé (orienté), puis aléatoire en tenant compte de l'hétérogénéité observée dans le massif forestier, de la superficie des strates, et des critères d'accessibilité et de

représentativité de la zone du projet. Ainsi sur les 145 parcelles, 62 (15,5 ha) se trouvaient dans la forêt dégradée (jachères de tout âge, forêt secondaire), 2 (0,5 ha) en forêt primaire mono-dominante à *G. dewevrei*, 19 (4,75 ha) en forêt primaire mixte sur terre ferme et 62 (15,5 ha) en forêt primaire mixte sur terre hydromorphe. Le nombre peu élevé de parcelles dans la forêt monodominante à *G.dewevrei* était dû à sa faible représentativité dans la zone d'étude. Ainsi, au total, 37 parcelles étaient sur la rive droite du fleuve Congo dans les forêts de LILANDA et 108 sur la rive gauche dans les forêts de YALOSUNA et YATUMBO (Figure 1).

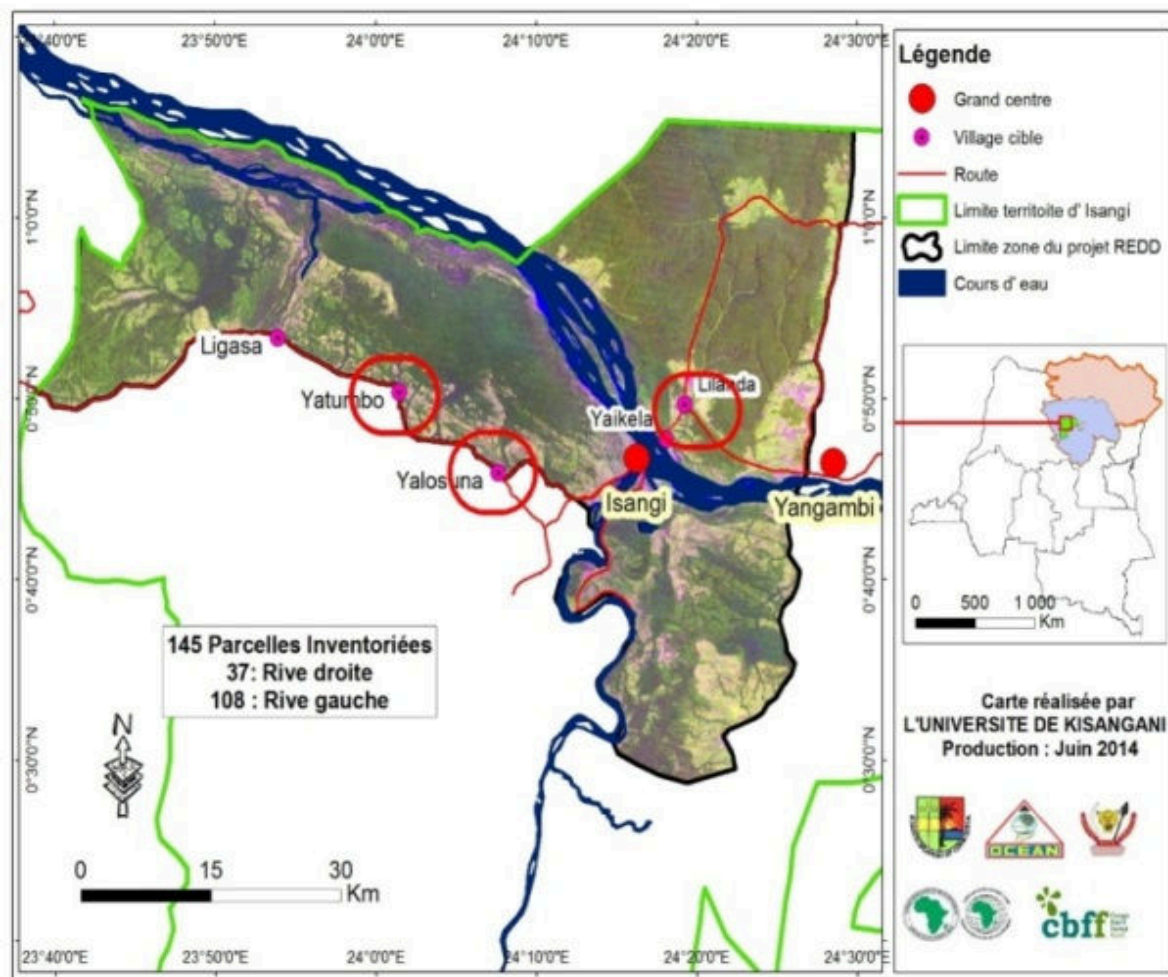


Fig. 1. Localisation des villages dans lesquels les 145 parcelles d'inventaire forestier ont été installées [7]

Tous les arbres à dhp ≥ 10 cm étaient identifiés et mesurés (circonférence), à 1,30 m du sol, ou le cas échéant, au-dessus des contreforts ou d'un gros défaut, à l'aide d'un ruban métrique. Le positionnement précis des parcelles était effectué à l'aide d'un GPS de haute précision (Garmin 60 CSX) aux quatre coins et au centre. Cela a permis notamment la reclassification de la parcelle dans chaque type de forêt.

La base de données internationale (DRYAD) fournit les densités spécifiques des bois d'espèces selon leur zone géographique [8]. Ainsi, dans le cadre de cette étude, la densité du bois à l'échelle du genre était estimée à partir de la moyenne de la densité du bois des espèces qui s'y trouvent [9] ou à partir de l'espèce [10]. Dès lors que les arbres inventoriés n'étaient pas identifiés ou si l'espèce relevée n'avait pas une densité connue, nous avons utilisé soit les informations taxinomiques connues (genre, famille, etc.) soit les données locales des densités de bois des arbres proches [11] et [12].

2.2.2 ANALYSE DES DONNÉES

Nous avons réalisé une analyse non symétrique de correspondance (NSCA) sur un tableau d'abondance croisant parcelles × espèces. La NSCA permet de déterminer les principaux axes de structuration et fournit ainsi une bonne approximation de la réponse des espèces à un facteur du milieu [13].

La formule suivante nous a permis de calculer la surface terrière (G) :

$$G = \frac{\pi D^2}{4} \quad [14]$$

Où G représente la surface terrière et D, le diamètre à 1,30 m au-dessus du niveau du sol.

Pour caractériser certains paramètres structuraux, nous avons utilisé le box plot(x) ou boîte à moustaches ; cette boîte montre le premier et le troisième quartile de même que la médiane qui est illustrée par une ligne à l'intérieur de la boîte ; les moustaches (whisker en anglais) montrent les valeurs des minimum et maximum. S'il y a des valeurs aberrantes ou 'outliers' sont illustrées au-dessus du maximum.

Afin de déterminer les espèces dominantes pour chaque formation d'étude, nous avons calculé l'Indice de Valeur d'Importance (IVI). Cet indice représente pour chaque espèce i, la somme de sa densité relative (DR), de sa dominance relative (DoR) et de sa fréquence relative (FR). Cet indice varie entre 0 et 300 ; permet de classer les espèces par ordre d'importance écologique en intégrant la fréquence, l'abondance et la dominance relative [15], [4] et [16]. Cet indice a été évalué en utilisant la formule ci-dessous :

$$IVI(i) = DR(i) + DoR(i) + FR(i)$$

L'indice de diversité (H') de [17] a été calculé pour chaque type forestier, enfin d'apprécier l'hétérogénéité et la diversité d'un biotope [18] en utilisant la formule $H' = -\sum(n_i/N) \times \ln(n_i/N)$, où n_i est le nombre d'individus d'une espèce i et N le nombre total d'individus de toutes les espèces du biotope considéré. L'équilibre entre les espèces, qui donne une valeur forte de H', est considéré comme caractéristique d'une bonne biodiversité, susceptible de se maintenir durablement [18].

Pour mesurer la diversité spécifique, l'indice de [19] a été utilisé [20]. Cet indice a été calculé avec la formule $D = \frac{\sum_{i=1}^s n_i(n_i-1)}{N(N-1)}$; où s représente le nombre total d'espèces, n_i la fréquence de l'espèce i, N la somme des fréquences de toutes les espèces dans l'échantillon et D l'indice de Simpson.

L'indice de diversité alpha de Fisher (α) a été calculé afin de comparer la diversité de différents types forestiers de la zone d'étude et aussi pour comparer cette diversité avec d'autres peuplements étudiés par d'autres auteurs. Cet indice a l'avantage d'être peu sensible à la méthode d'échantillonnage et ne nécessite que la connaissance du nombre total d'individus et d'espèces d'une communauté forestière [21] et [4]. Il a été calculé à partir de la relation $S = \alpha \ln(1 + \frac{N}{\alpha})$; où α représente la diversité alpha de Fisher, N le nombre d'individus, et S le nombre d'espèces.

Après avoir testé plusieurs modèles d'équations allométriques obtenus dans la littérature [8], [10] et [22] ; celle de [22] a été choisie ; le choix a été fait en utilisant une pénalisation sur le nombre de paramètres ayant pour variable indépendante le dhp et la densité du bois. Ainsi, l'équation allométrique ci-dessous a été utilisée pour l'estimation de la biomasse (AGB) :

$$(AGB)_{est} = \varphi * \exp(-1,183 + 1,940 * \ln(D) + 0,239 * (\ln(D))^2 - 0,0285 * (\ln(D))^3)$$

Où φ représente la densité spécifique et D le diamètre (dhp).

Pour tester les différences de biomasse entre les formations forestières étudiées, des analyses de variance à un seul facteur ont été effectuées. La différence significative entre les différents types forestiers était considérée lorsque la p-value était inférieure à 0,05.

3 RESULTATS

3.1 ANALYSE FLORISTIQUE

3.1.1 PEUPELEMENTS FORESTIERS IDENTIFIÉS

Suite à une analyse non symétrique de correspondance (NSCA), quatre types forestiers s'individualisent. Il s'agit de la forêt mixte sur terre ferme, la forêt mixte sur terre hydromorphe, la forêt mono-dominante à *G. dewevrei* et la forêt dégradée. (Figure 2).

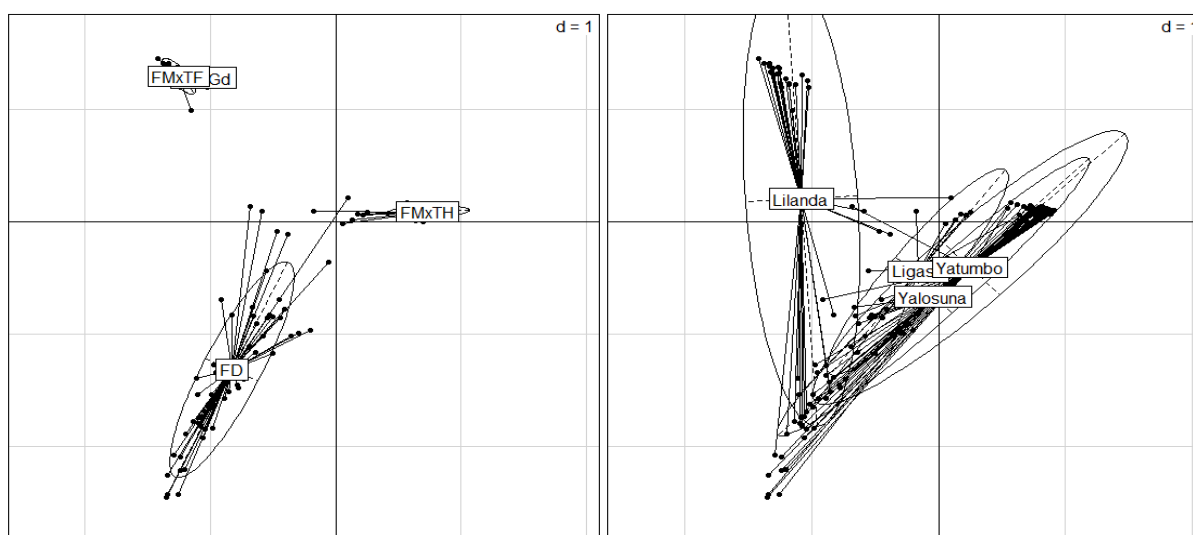


Fig. 2. Ordination NSCA des types forestiers étudiés.

3.1.2 RICHESSE FLORISTIQUE

LES ESPÈCES REPRÉSENTATIVES

Au total 13659 individus ont été inventoriés dont, 2346 pour les forêts primaires mixtes sur terre ferme, 7587 pour les forêts primaires mixtes sur terre hydromorphe, 175 pour les forêts primaires mono-dominantes, 3551 pour les forêts dégradées. Ils sont répartis respectivement dans 151, 184, 28 et 201 espèces selon l'ordre précédent des formations forestières étudiées.

Tel qu'il apparaît dans le Tableau 1 ci-dessous, les espèces les plus importantes suivant le IVI sont *Scorodophloeus zenkeri* (30,49), *Entandrophragma palustre* (34,99), *G. dewevrei* (102,08) et *Hymenocardia ulmoides* (20,04), respectivement dans la forêt mixte sur terre ferme, forêt mixte sur terre hydromorphe, forêt monodominante à *G. dewvrei* et la forêt dégradée.

Tableau 1. Tableau ressortant les cinq espèces les mieux représentées dans les différentes formations étudiées. Sp= espèces, AbRel= Abondance relative, DoRel= Dominance relative, FR= Fréquence relative, IVI= Indice de Valeur Importante.

Forêt primaire mixte sur terre ferme				
Nom de l'espèce	AbRel (N/ha)	DoRel (m²/ha)	FR (%)	IVI
<i>Scorodophloeus zenkeri</i>	8,35	19,85	2,29	30,49
<i>Cola griseiflora</i>	19,01	5,30	2,41	26,73
<i>Panda oleosa</i>	4,01	4,85	2,41	11,27
<i>Grossera multinervis</i>	6,27	2,48	2,03	10,78
<i>Greenwayodendron suaveolens</i>	4,31	6,40	1,91	12,61
Forêt primaire mixte sur terre hydromorphe				
<i>Entandrophragma palustre</i>	10,35	21,21	3,43	34,99
<i>Carapa procera</i>	13,40	10,11	3,74	27,25
<i>Coelocaryon botryoides</i>	12,43	8,43	3,68	24,54
<i>Symphonia globulifera</i>	4,23	12,24	3,49	19,97
<i>Pycnanthus marchalianus</i>	2,43	6,07	2,81	11,30
Forêt monodominante à <i>Gilbertiodendron dewevrei</i>				
<i>Gilbertiodendron dewevrei</i>	33,71	62,48	5,88	102,08
<i>Scorodophloeus zenkeri</i>	13,71	11,45	5,88	31,05
<i>Prioria oxyphylla</i>	8,57	10,23	5,88	24,68
<i>Monodora angolensis</i>	9,71	1,80	5,88	17,40
<i>Garcinia epunctata</i>	8,57	1,30	5,88	15,76
Forêt dégradée				
<i>Hymenocardia ulmoides</i>	9,41	8,65	2	20,04
<i>Musangace cropioides</i>	6,22	8,23	2,8	17,27
<i>Macaranga monandra</i>	5,10	3,44	3,8	12,29
<i>Macaranga spinosa</i>	5,35	3,54	3,2	12,13
<i>Cecropia leucocoma</i>	5,66	2,68	2,3	10,63

LES FAMILLES REPRÉSENTATIVES

Les familles les plus représentées en espèces en fonction des différents types forestiers inventoriés sont présentées dans la figure 3 ci-dessous. Cette figure montre que les familles les plus représentatives sont Malvaceae (21%), Meliaceae (25%), Fabaceae (40%) et Euphorbiaceae (17%) respectivement dans la forêt mixte sur terre ferme, la forêt mixte sur terre hydromorphe, la forêt monodominante à *G. dewevrei* et la forêt dégradée.

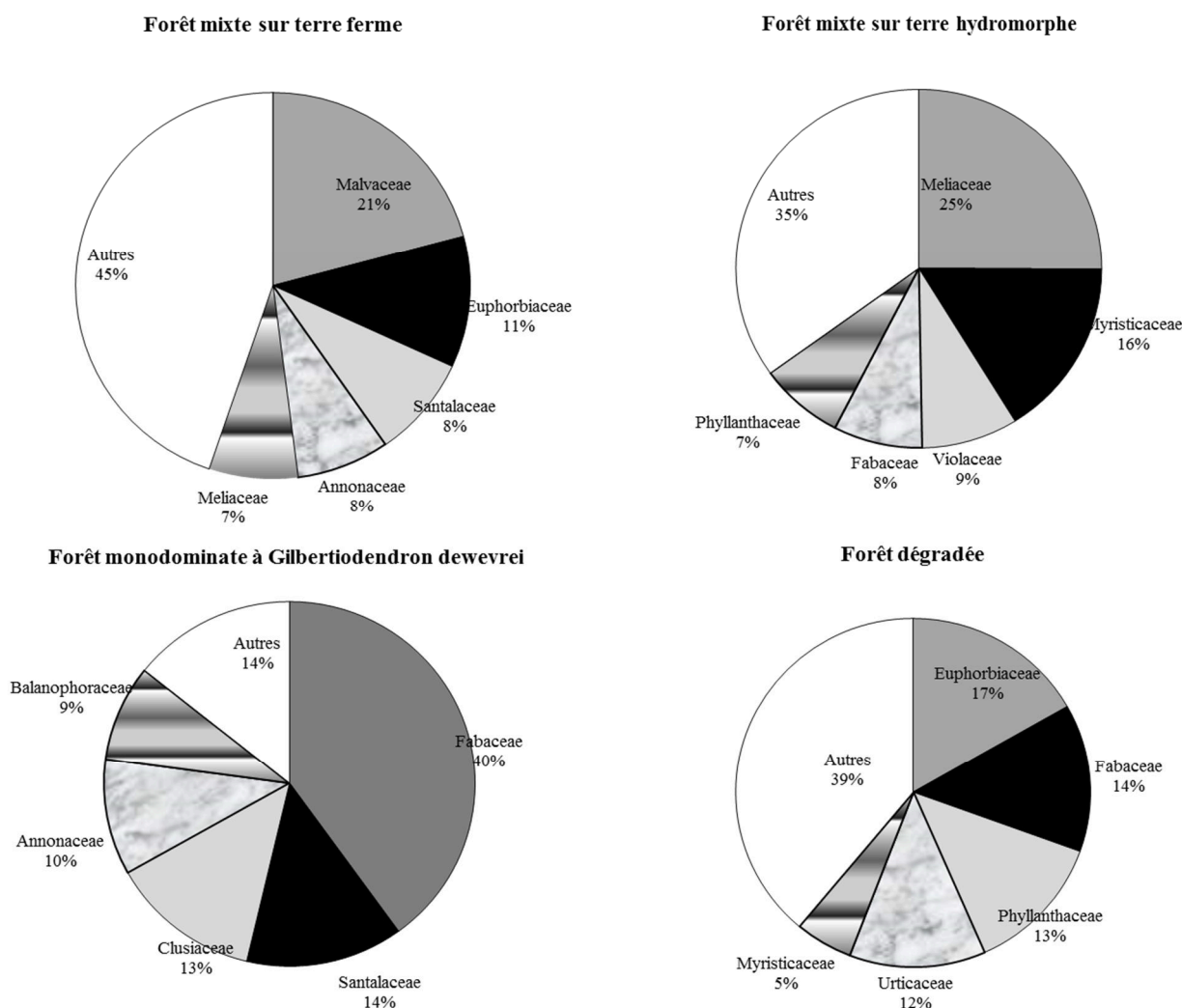


Fig. 3. Les cinq familles les mieux représentées dans chaque type forestier étudié.

INDICES DE DIVERSITÉ

Les indices calculés pour chaque type forestier de la zone d'étude montrent que spatialement la diversité spécifique est élevée sauf pour la forêt monodominante à *G.dewevrei* (Tableau 2). La diversité la plus forte est observée dans la strate dégradée et la plus faible dans la Forêt monodominante à *G.dewevrei*. Les strates forêt mixte sur terre ferme et forêt mixte sur terre hydromorphe ont des indices de diversité relativement similaires.

Tableau 2. Indices de diversités calculés pour chaque type forestier de la zone d'étude. T.F : Type Forestier ; Ha : Hectare ; N. Ind : Nombre d'individus ; N.S : Nombre d'espèce ; H' : Indices de diversité de Shannon ; D : Indice de diversité de Simpson ; S : Indice de diversité alpha de Fisher (α) ; F_D : Forêt dégradée ; F_MoGd : Forêt monodominante à *G.dewevrei* ; F_MxTF : Forêt mixte sur terre ferme ; F_MxTH : Forêt mixte sur terre hydromorphe.

T.F	Ha	N.Ind.	N.S	N.Genres	N.Famille	H'	D	S
F_MxTF	4,75	2357	148	97	34	3,8	0,97	35,11
F_MxTH	15,5	7586	180	120	38	3,5	0,94	33,09
F_MoGd	0,5	174	25	23	14	2,3	0,84	8,00
F_D	15,5	3542	198	145	44	4,2	0,97	45,29

3.2 STRUCTURE DES PEUPEMENTS FORESTIERS ÉTUDIÉS

3.2.1 DENSITÉ DE PEUPEMENT ET SURFACE TERRIÈRE

Les densités de peuplement et les surfaces terrières obtenues dans les différents types forestiers de la zone d'étude sont de 494 individus/ha, 490 individus /ha, 350 individus /ha et 229 individus /ha et respectivement 34,37 m²/ha, 34,12 m²/ha, 34,12 m²/ha et 7,51 m²/ha dans la forêt mixte sur terre ferme, forêt mixte sur terre hydromorphe, forêt monodominante à *G. dewevrei* et forêt dégradée.

La figure 4 (A et B) montre la dispersion des valeurs de densité et de surface terrière pour chaque type forestier étudié. De cette figure, il ressort qu'il y a une forte variabilité de la densité et de la surface terrière au sein des parcelles d'une même formation et d'une formation à une autre dans cette zone forestière.

3.2.2 STRUCTURE DIAMÉTRIQUE

L'analyse de la structure diamétrique des différents types forestiers de la zone d'étude montre que la distribution suit la forme J renversée, montrant que le nombre de tiges à l'hectare est élevé pour les petits arbres et diminue à mesure que le diamètre augmente (Figure 5A).

3.3 ESTIMATION DE LA BIOMASSE

L'estimation de la biomasse dans les différents peuplements se présente comme suit : $67,77 \pm 98,16$ t/ha pour la forêt dégradée, $562,83 \pm 82,87$ t/ha pour la forêt monodominante à *G. dewevrei*, $407,93 \pm 75,54$ t/ha pour la forêt mixte sur terre ferme et de $401,96 \pm 113,998$ t/ha pour la forêt mixte sur terre hydromorphe. L'analyse statistique montre une différence significative de biomasse entre les différents types forestiers identifiés ($F = 130,45$; ddl = 3 ; p-value = $2,2E-16^{***}$). Le box and whisker displays montre une forte variabilité de la biomasse au sein d'un même type forestier et entre les différents types forestiers étudiés dans cette zone forestière (Figure 4C).

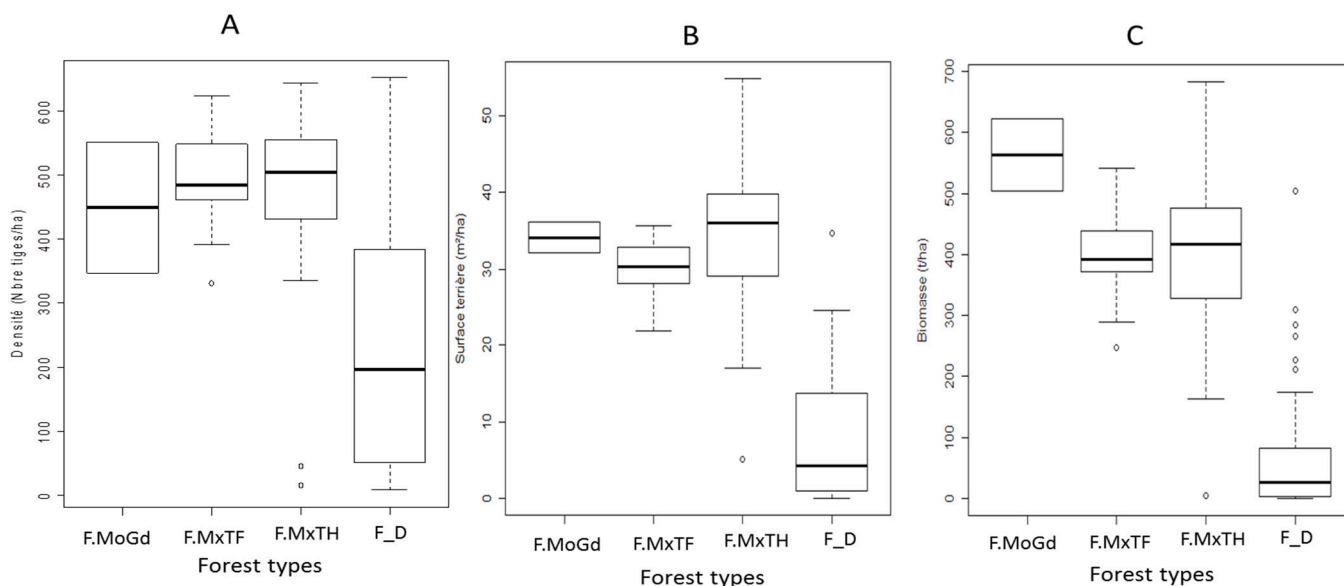


Fig. 4. Dispersion de la densité N/ha (A), de la surface terrière m²/ha (B), et de la biomasse t/ha (C) pour les types forestiers étudiés (F_D : Forêt dégradée ; F.PMoGd : Forêt monodominante à *G.dewevrei* ; F.MxTF : Forêt mixte sur terre ferme ; F.MxTH : Forêt mixte sur terre hydromorphe).

3.3.1 DISTRIBUTION DE LA BIOMASSE

La distribution de la biomasse dans les différentes classes de diamètre montre une variation dans les peuplements étudiés. La Figure 5b montre que dans les quatre types forestiers étudiés, la biomasse croît avec l'augmentation du diamètre excepté la forêt dégradée. L'analyse comparative de la classe de dhp ≥ 30 cm montre une accumulation importante de la biomasse dans

la strate supérieure. Bien que le nombre de tiges à l'hectare soit très élevé dans les classes de $dh \leq 30$ cm, la biomasse est très faible dans ces classes.

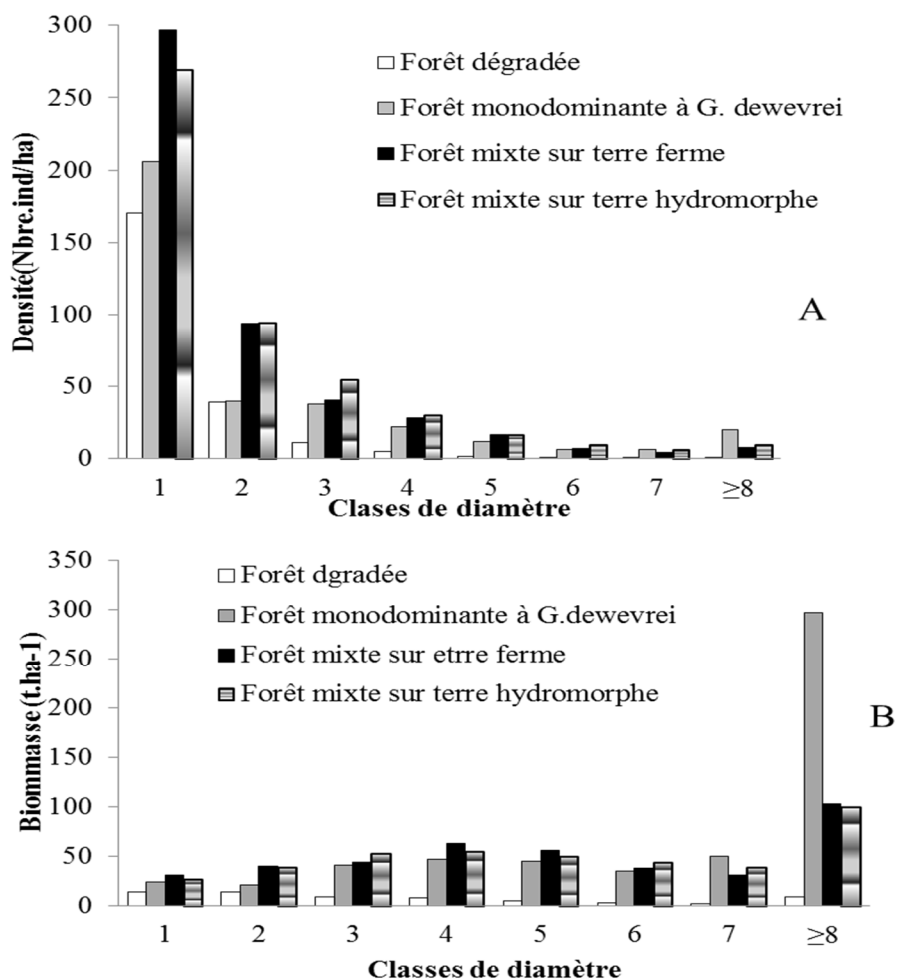


Fig. 5. Distribution de la structure diamétrique (A) et de la biomasse aérienne totale (B) en classes de diamètre dans les types forestiers étudiés (Classe 1 : 0-10cm, 2 : 10-20cm, 3 : 20-30cm, 4 : 30-50, 5 : 50-60cm, 6 : 60-70cm, 7 : 70-80cm et ≥8 : 80-160cm de dbh).

3.4 ETUDES DES CORRÉLATIONS

Les figures ci-dessous montrent une corrélation positive entre la biomasse et la richesse spécifique (Figure 6A), la biomasse et la densité (N/ha) (Figure 6B) ainsi que la biomasse et la surface terrière (Figure 6C). La corrélation est plus forte entre la biomasse et la surface terrière tandis qu'entre la biomasse et la richesse spécifique standardisée elle est plus faible.

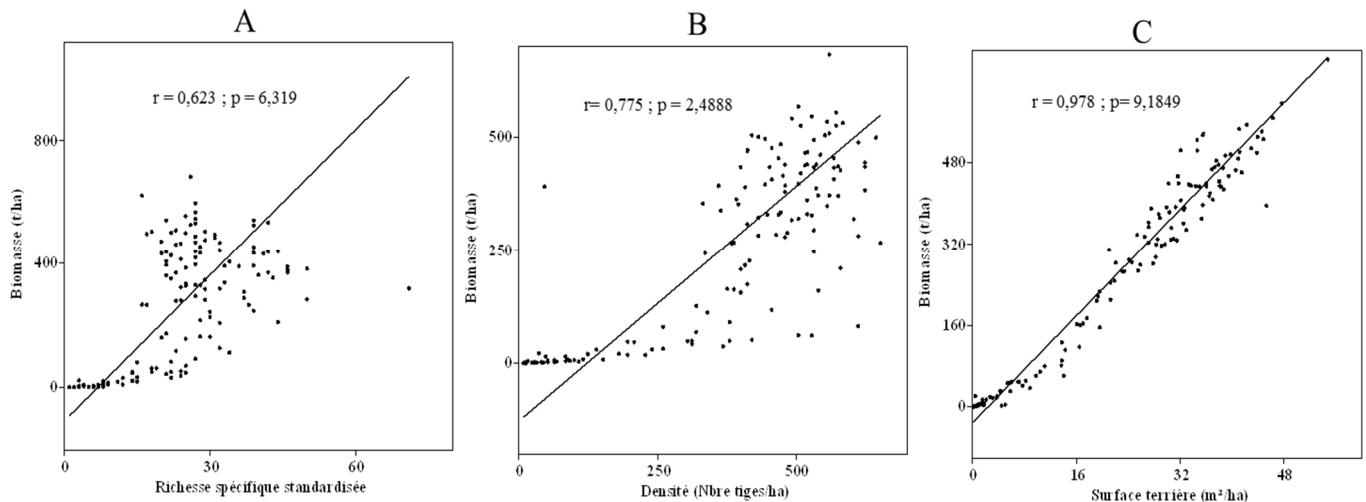


Fig. 6. Corrélation entre la biomasse aérienne totale (t/ha) et la richesse spécifique standardisée (A), la densité (B) et la surface terrière (C)

4 DISCUSSION

4.1 VARIABILITÉ FLORISTIQUE ET STRUCTURALE

4.1.1 VARIABILITÉ FLORISTIQUE

Dans l'ensemble des peuplements forestiers, 296 espèces dans 52 familles ont été inventoriées. Ce résultat est similaire à d'autres études en zone tropicale humide. En effet, [23] a inventorié dans les peuplements hétérogènes de Yoko en RD Congo, 183 espèces et 37 familles. Dans la forêt de terre ferme de l'île Mbiye en RD Congo, [24] a recensé 183 espèces alors que [25] a inventorié, sur une superficie de 3 ha dans la forêt secondaire vieille de Masako, 143 espèces regroupées en 34 familles. En République Centrafricaine, [6] a inventorié 666 espèces et 99 familles dans le dispositif de Mbaïki sur 32 ha ; et dans la forêt de terre ferme au sud-est du Cameroun, [26] a obtenu 321 espèces appartenant à 54 familles.

IVI montre la dominance de certaines espèces dont *G. dewvrei* (102,08), *E. palustre* (34,99), *S. zenkeri* (30,49), et *H. ulmoides*(20,40), respectivement dans la forêt monodominante à *G. dewvrei*, la forêt mixte sur terre hydromorphe, la forêt mixte sur terre ferme, et la forêt dégradée. Les familles dominantes sont celles de Fabaceae (40 %), Meliaceae (25 %), Malvaceae (21 %), et Euphorbiaceae (17 %) respectivement dans la forêt monodominante à *G. dewvrei*, la forêt mixte sur terre hydromorphe, la forêt mixte sur terre ferme, et la forêt dégradée. Cette variation de la dominance d'un peuplement à l'autre est conforme avec d'autres études. En Côte d'Ivoire, [27] a montré que la famille dominante dans sa zone d'étude est celle des Fabaceae. Par contre, dans les forêts sud-américaines, les données compilées de divers auteurs par [28] cité par [27] font état des Moraceae comme famille dominante, suivie des Chrysobalanaceae, Sapotaceae, Burseraceae, Lecythidaceae et enfin Fabaceae. Généralement, la diversité spécifique d'une forêt varie avec la surface et le type de peuplement considéré. A l'échelle locale et dans les forêts monodominantes, cette diversité est plus faible qu'à grande échelle et dans les forêts hétérogènes ou mixtes. Les forêts les plus riches au niveau spécifique, sont également au niveau des familles [29]. Néanmoins, au sein d'un même peuplement forestier, les facteurs écologiques (édaphiques, anthropiques et certaines barrières naturelles) induisent souvent des variabilités dans la composition floristique. Ceci est régulièrement perceptible le long d'un transect traversant des milieux édaphiques souvent contrastés. En Inde, par exemple, [30] a observé sur 5 km de distance au sein d'une même forêt, une réduction de hauteur du peuplement de 10 m et la disparition d'un niveau structural, ce qui peut bien induire une modification aussi bien floristique que structurale de cette forêt.

Pour cette étude, la diversité la plus forte est observée dans la strate dégradée et la plus faible dans la Forêt monodominante à *G. dewvrei*. Ceci serait dû au fait que dans la strate à *G. dewvrei*, le nombre des parcelles inventoriées était trop petite que dans les autres types forestiers et aussi parce que cette formation forestière est dominée par l'espèce *G. dewvrei*. La forte diversité dans la strate dégradée serait dû à un recrutement fortement diversifié suite à la perturbation du couvert forestier. La perturbation du climat, la pression anthropique et l'abondance des rivières dans la région forestière d'Isangi peut aussi être à la base de cette différence floristique induite à la différenciation des peuplements forestiers.

4.1.2 VARIATION DE LA STRUCTURE

Dans les forêts tropicales, les densités des arbres d'au moins 10 cm de dhp varie entre 300 et 800 arbres/ha [31], [26] et [15]. Les densités moyennes dans les différents peuplements d'inventaire de la présente étude ne sont pas différentes de celles observées dans le domaine Guinéo-congolais [32] [33] et [26]. Les moyennes de densité obtenues dans nos différentes formations végétales sont de 494 arbres/ha, 490 arbres/ha, 350 arbres/ha et 229 arbres/ha respectivement dans la forêt mixte sur terre ferme, la forêt mixte sur terre hydromorphe, la forêt monodominante à *G. dewevrei* et la forêt dégradée. Les moyennes de densité obtenues dans les parcelles d'un type forestier varient aussi. Ceci montre la variabilité de la densité au sein d'un même peuplement et entre les types forestiers différents.

Les moyennes de surface terrière (dbh \geq 10 cm) obtenues dans la présente étude sont de 34,37 m²/ha, 34,12 m²/ha, 34,12 m²/ha et 7,51 m²/ha respectivement dans la forêt mixte sur terre ferme, la forêt mixte sur terre hydromorphe, la forêt monodominante à *G. dewevrei* et la forêt dégradée. La strate dégradée était constituée en majeure partie des de jachère et aussi des forêts secondaires. Les jachères avaient de petits arbres de dbh < 10cm ce qui expliquent une différence de surface terrière significative aux autres. La surface terrière des strates arborescentes (dhp \geq 10 - 30 cm) dans les forêts tropicales est comprise entre 27 et 32 m²/ha [26]. Elle augmente généralement des strates dominées vers les strates dominantes. Dans les différents types forestiers étudiés, la surface terrière des arbres de dhp compris entre 10 et 30 cm représente relativement la même proportion que celle des arbres au-dessus de 30 cm. Ceci démontre qu'il y aurait une bonne reconstitution de la forêt étudiée si la forêt n'est pas fortement perturbée ou alors, s'il n'y a pas une exploitation excessive de certaines espèces.

La structure diamétrique dans nos types forestiers montre que les individus de petite taille sont beaucoup plus nombreux. Cette distribution a globalement la forme de « J renversée », fréquemment rencontrée dans les forêts naturelles tropicales [16]. La forêt monodominante à *G. dewevrei* présente une abondance de tiges de gros diamètre, ce qui la différencie des autres formations ; Cette abondance pourrait être expliquée clairement par la présence d'un gradient de conditions écologiques plus favorables pour ce peuplement.

4.2 VARIATION DE LA BIOMASSE

Dans les peuplements étudiés notamment la forêt monodominante à *G. dewevrei*, la forêt mixte sur terre ferme, la forêt mixte sur terre hydromorphe, la biomasse a des valeurs relativement proches respectivement 563 t/ha, 408 t/ha et 402 t/ha. La biomasse de la forêt dégradée 68 t/ha contraste avec celle de ces peuplements forestiers, ce qui montre une forte action humaine dans ce peuplement. En dehors des forêts dégradées, ces valeurs sont relativement le double des estimations des études de [15] dans une forêt tropicale humide du Cameroun qui a reporté des biomasses variant de 126 à 250 t/ha. Cette différence importante pourrait être aussi due aux équations allométriques utilisées dans ces deux études. En effet l'étude de [15] utilise l'équation locale intégrant le diamètre, la hauteur et la densité spécifique avec une distribution diamétrique comprise entre 1 – 71cm ce qui pourrait sous-estimer les gros arbres. Dans la présente étude, l'équation utilisée n'intègre pas la hauteur ce qui pourrait aussi créer des surestimations [34]. En dehors de la forêt dégradée, les biomasses aériennes de la présente étude sont presque similaires aux valeurs obtenues dans d'autres études [35].

La biomasse souterraine n'a pas été mesurée dans cette étude mais a été estimée à partir de travaux publiés. Dans huit études réalisées dans les forêts néo-tropicales et dans les caraïbes examinées par [36], la biomasse racinaire est de 21% en moyenne (intervalle de 13 à 34%) de la biomasse aérienne. En utilisant cette valeur moyenne, la biomasse des racines dans les différents types forestiers de cette étude serait en moyenne de 118 t/ha, 86 t/ha, 84 t/ha, et 14 t/ha, respectivement dans la forêt monodominante à *G. dewevrei*, la forêt mixte sur terre ferme, la forêt mixte sur terre hydromorphe, et la forêt dégradée.

4.3 RELATIONS BIOMASSE-RICHESSE SPÉCIFIQUE, DENSITÉ ET SURFACE TERRIÈRE

Dans le but d'évaluer la corrélation entre biomasse-richesse spécifique, biomasse-densité et biomasse-surface terrière ; des tests de corrélation ont été effectués pour l'ensemble des peuplements. Dans l'ensemble, les corrélations sont positives, ce qui montre qu'il existe des relations entre la biomasse, la richesse et la composition spécifique. La corrélation la plus forte est entre la biomasse et la surface terrière ($r = 0,978$). Ceci pourrait se justifier par le fait que l'estimation de la biomasse a été effectuée avec la formule de [22] ayant pour variable indépendante le dhp qui est corrélé à la surface terrière. Par ailleurs, cette corrélation positive entre la biomasse et la surface terrière est en conformité avec les résultats de l'étude [37] dans les forêts matures du massif de Ngovayang. Par contre la corrélation positive de cette étude entre biomasse-richesse spécifique, biomasse-densité contraste avec les résultats de [37] qui trouve des corrélations négatives. Cette différence pourrait se justifier par le fait que l'étude de [37] a utilisé 15 parcelles de 1 ha installés dans deux zones phytogéographiques différentes tandis que la présente étude a utilisé 145 parcelles de 50 m x 50 m dans une même zone phytogéographique.

5 CONCLUSION ET SUGGESTION

La variabilité observée dans la structure des formations forestières étudiées montre l'importance de la strate supérieure (arbres à dhp ≥ 30 cm) dans l'accumulation de la biomasse, avec près de 85 % de la biomasse épigée stockée pour chacune des formations étudiées. L'approche par analyse non symétrique de correspondance (NSCA) utilisée dans la présente étude pour illustrer les affinités floristiques entre les parcelles proches et distantes a permis de tirer les conclusions sur les variations dans la composition floristique de différents types forestiers issues d'une même zone phytogéographique. Cette étude recommande d'utiliser cette approche pour mieux apprécier les affinités floristiques de différents groupes d'espèces. Ce travail a aussi permis de noter l'existence d'une corrélation positive entre la biomasse et la richesse spécifique standardisée, la biomasse et la densité (N/ha) et aussi entre la biomasse et la surface terrière.

Cette étude suggère qu'il est nécessaire de standardiser davantage les protocoles en termes d'installation des parcelles forestières et les équations allométriques utilisées pour un meilleur suivi de la biomasse épigée et pour faciliter les comparaisons entre les différentes formations forestières de la région.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient tous les acteurs techniques et financiers des Institutions de mise en œuvre du Projet Pilote REDD Géographiquement intégré d'Isangi (PPRGII) : le Fonds pour les Forêts du Bassin du Congo (FFBC), la Bank Africaine de Développement (BAD), le Ministère de l'Environnement et Développement Durable (MEDD) à travers la Coordination Nationale REDD+ (CN REDD - RDC) ainsi que l'Université de Kisangani.

Les remerciements s'adressent aussi au Laboratoire d'Ecologie et Aménagement Forestier (LECAFOR) de l'Université de Kisangani qui a assuré l'encadrement scientifique de cette étude.

REFERENCES

- [1] Fournier F. et Sasson A., 1983. *Ecosystèmes forestiers tropicaux d'Afrique*. ORSTOM – UNESCO ; Paris : ORSTOM.
- [2] Molino J.F. et Sabatier D., 2001. Tree diversity in tropical rain forest: a validation of the intermediate disturbance hypothesis. *Science*, 294, 1702-1704.
- [3] Torti S.D., Coley P.D. et Kursar T.A., 2001. Causes and Consequences of Monodominance in Tropical Lowland Forests. *The American naturalist*, 157(2), 13p.
- [4] Boyemba B.F., 2011. *Ecologie de Pericopsiselata(Harms) Van Meeuwen (Fabaceae), arbre de forêt tropicale africaine à répartition agrégée*. Thèse de doctorat : Université Libre de Bruxelles, Bruxelles, Bruxelles (Belgique).
- [5] Amani I.A.C., 2011. *Vegetation patterns and role of substrate heterogeneity on plant communities in semi-deciduous forests from the Congo basin*. Thesis: Université Libre de Bruxelles, Bruxelles (Belgium).
- [6] Beina D., 2011. *Diversité floristique de la forêt dense semi-décidue de Mbaïki, République Centrafricaine. Etude expérimentale de l'impact de deux types d'intervention sylvicole*. Thèse doctorale : Université de Picardie, Paris, (France).
- [7] REDD, PPRGII. ; 2013. Measuring, Reporting and Verification (MRV) des stocks de carbone forestiers.
- [8] Chave J., Andalo, C., Brown S., Cairns M.A., Chambers J.Q., Eamus D., Fölster H., Fromard, F., Higuchi N., Kira T., Lescure J.P., Nelson B.W., Ogawa H., Puig H., Riéra B. et Yamakura T., 2005. Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. *Oecologia*, 145, 87-99.
- [9] Slik, J.W., Paoli, G. et McGuire, K., 2013. Large trees drive forest aboveground biomass variation in moist lowland forests across the tropics. *Global Ecol. Biogeogr.* 22(12), 1261-1271.
- [10] Brown S., 1997. *Estimating Biomass and Biomass Change of Tropical Forests: a Primer*. FAO Forestry Paper - 134. Rome: FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- [11] Gourlet F.S., Rosssi V., Maxime R.M., Freycon V., Fayolle A., Laurent S.A., Cornu G., Gerard J., et al., 2011. Environmental filtering of densewooded species controls above-ground biomass stored in African moist forests. *Journal of Ecology*, 99, 981–990.
- [12] Quentin M., 2012. *Estimation de biomasse en forêt tropicale humide (Guyane Française)*. Thèse de doctorat : Faculté des Sciences exactes et Naturelles. UAG, Kourou (Guyane Française).
- [13] Legendre, P. et Legendre, L. 1998. *Numerical ecology*, 2nd English edition. Elsevier Science BV, Amsterdam.
- [14] Gounot M., 1969. *Méthode quantitative de la végétation*. Ed. Masson et Cie ; Paris.
- [15] Djomo A.N., Knohl A. et Gravenhorst G., 2011. Estimations of total ecosystem carbon pools distribution and carbon biomass current annual increment of a moist tropical forest. *Forest Ecology and Management*, 261, 1448–1459.

- [16] Djomo A.N., 2015. A Structure Analysis for Ecological Management of Moist Tropical Forests. *International Journal of Forestry Research*. dx.doi.org/10.1155/2015/161645.
- [17] Shannon, C.E. 1948. A mathematical theory of communication. *Bell System Technical Journal*, 27, 379-423.
- [18] Adou Yao C.Y., Denguéadé K.T.S., Kouamé D. et N'Guessan K.E., 2007. Diversité et distribution des ligneux dans le Sud du Parc National de Taï (PNT), Côte d'Ivoire. *Agronomie Africaine*, 19 (2), 113-122.
- [19] Simpson, E.H. (1949) Measurement of diversity. *Nature*, 163, 688. doi :10.1038/163688a0
- [20] Rennolls K. et Laumonier Y., 2006. A new local estimator of regional species diversity, in terms of 'shadow species', with a case study from Sumatra. *Journal of Tropical Ecology*, 22, 321-329.
- [21] Leigh E.G. et De Lao S.L., 2000. Fisher's Alpha: measuring tree diversity. *Center for Tropical Forest Science*, 7-12.
- [22] Fayolle A., Doucet J.L., Gillet J.F., Bourland N. et Lejeune P., 2013. Tree allometry in Central Africa: Testing the validity of pantropical multi-species allometric equations for estimating biomass and carbon stocks. *Forest Ecology and Management* 305, 29-37.
- [23] Lomba C., 2007. *Contribution à l'étude de phytodiversité à la réserve forestière de Yoko (Ubundu, RD. Congo)*. Mémoire de D.E.S, Fac. des sciences, Unikis, Kisangani (RD Congo).
- [24] Nshimba H. 2008. Etude floristique, écologique et phytosociologique des forêts de l'île Mbiyé à Kisangani, R. D. Congo. Thèse doctorale : Université Libre de Bruxelles, Bruxelles (Belgique).
- [25] Loris D., 2009. *Analyse de la diversité floristique dans les diverses strates des forêts denses de Masako (Kisangani, R.D. Congo)*. Mémoire DES, Fac. des sciences, Unikis, Kisangani (RD Congo).
- [26] Kouob B.S., 2009. *Organisation de la diversité végétale dans les forêts matures de terre ferme du sud-est Cameroun*. Thèse de doctorat : Université Libre de Bruxelles, Bruxelles (Belgique).
- [27] Nusbaumer L., Gautier L., Chatelain C. & Spichiger R., 2005. Structure et composition floristique de la forêt classée du Scio (Côte d'Ivoire). Etude descriptive et comparative. *Candollea*, 60 (2), 393-443.
- [28] Loizeau, J.-L., Dominik, J. et Span, D.G., 1992, Radioisotopic evidence of perturbations of recent sedimentary record in lakes : a word of caution for climate studies: *Climate Dynamics*, v. 6, p. 145-152.
- [29] Condit R., Ashton P.S., Baker P., Bunyavejchewin S., Gunatilleke S., Gunatilleke N., Hubbell S.P., Foster R.B., Itoh A., Lafrankie J.V., Lee H.S., Losos E. *et al.*, 2005. Spatial patterns in the distribution of tropical tree species. *Science*, 288, 1414-1418.
- [30] Pascal J.P., 1995. Quelques exemples de problèmes posés à l'analyste et au modélisateur par la complexité de la forêt tropicale humide. *Rev. Ecol. (Terre Vie)*, 50, 237-249.
- [31] Richards P.W., 1996. *The Tropical Rainforest, An ecological study*. 2nd edn, Cambridge University Press, Cambridge.
- [32] Kouka L.A., 2002. Recherches sur la flore, la structure et la dynamique des forêts du Parc national d'Odzala (Congo-Brazzaville). *Acta Bot. Gallica*, 149 (2), 225-235.
- [33] Tchouto M.G.P., De Boer W.F., De Wilde J.J.F.E. et Van der Maesen L.J.G., 2006. Diversity patterns in the flora of the Campo-Ma'an rain forest, Cameroon: do tree species tell it all? *Biodiversity and Conservation*, 15, 1353-1374.
- [34] Djomo N.A., Picard N, Fayolle A., Henry M., Ngomanda A., Ploton P., McLellan J., Saborowski J., Adamou I. & Lejeune P., 2016. Tree allometry for estimation of carbon stocks in African tropical forests. *Forestry, An International Journal of Forest Research*, 1-10.
- [35] Culmsee, H., Leuschner, C., Moser, G. et Pitopang, R., 2010. Forest aboveground biomass along an elevational transect in Sulawesi, Indonesia, and the role of Fagaceae in tropical montane rain forests. *Journal of Biogeography*, 37, 960-974.
- [36] Houghton et al., 2001. The Scientific Basis is the most comprehensive and up-to-date scientific assessment of past, present and future climate change. The report
- [37] Gonmadje C., 2013. *Diversité et biomasse aérienne dans les forêts matures de terre ferme du massif de Ngovayang (Sud-Cameroun)*. Acte de l'atelier scientifique régional sur les équations allométriques en Afrique Centrale Yaoundé, Cameroun.