



Structures spatiales de la richesse spécifique dans quelques blocs forestiers du nord-est du bassin congolais : implication pour la diversité régionale et la conservation

Spatial patterns of species richness in some forest blocks northeast of the Congo Basin: implication for regional diversity and conservation.

Janvier LISINGO¹, Gilles DAUBY², Olivier HARDY², Faustin BOYEMBA¹, Jean-Remy MAKANA¹
& Léopold NDJELE¹

Abstract: The assessment of species diversity remains an indispensable tool in the development of biodiversity conservation strategies and ecosystem management. In tropical rainforest, richness and species diversity are almost always high but they vary spatially. Several studies have been conducted at the local level to assess the richness and floristic composition of the forests of the Congolese central basin. With a hundred of inventory plots we performed in four forest sites in northeastern Congo Basin, we have shown that tree stands have significant variations in species diversity and species composition. The northern sites in Ituri and Rubi-Tele are less diverse than those of Yoko and Uma around Kisangani.

Keywords: Species diversity, trees, tropical forest, Yoko, Uma, Ituri, Rubi-Tele & DR Congo.

Résumé : L'évaluation de la diversité spécifique demeure un outil indispensable dans la mise en place des stratégies de conservation de la biodiversité et d'aménagement des écosystèmes. En forêt tropicale humide, la richesse et la diversité spécifique sont presque toujours élevées mais varient dans l'espace. Plusieurs études ont été menées à l'échelle locale pour évaluer la richesse et la composition floristique des forêts de la cuvette centrale congolaise. Grâce à une centaine des parcelles d'un inventaire que nous avons réalisé dans quatre stations forestières au nord-est du bassin congolais, nous montrons que les peuplements d'arbres présentent des variations notables dans leur diversité spécifique et leur composition floristique. Les sites septentrionaux de l'Ituri et de Rubi-Tele sont localement moins diversifiés que ceux de Yoko et Uma aux environs de Kisangani.

Mots-clés : Diversité spécifique, arbres, Forêt tropicale, Yoko, Uma, Ituri, Rubi-Tele & R.D. Congo.

INTRODUCTION

La flore de la République Démocratique du Congo est relativement bien connue, comme en témoigne les très nombreuses familles publiées dans les volumes et les fascicules de ce qui fut successivement appelé « Flore du Congo belge et du Ruanda-Urundi », puis « Flore du Congo, du Rwanda et du Burundi », ensuite « Flore d'Afrique centrale » et qui se poursuit sous la dénomination « Flore d'Afrique centrale, nouvelle série ». De même de très nombreux travaux ont concerné la végétation de la forêt dense équatoriale ; nous citerons pour exemples LEBRUN & GILBERT (1954), GERMAIN & EVRARD (1956), DEVRED (1958), GÉRARD (1960), MOSANGO (1990), LUBINI (1997), MAKANA *et al.* (2004), VANCUTSEM *et al.* (2006), NSHIMBA (2008). Cependant, malgré cette relative connaissance, les comparaisons de la composition floristique et de la richesse spécifique au sein d'un bloc forestier ou entre plusieurs blocs forestiers n'y sont que très rarement abordées. Aussi, notre connaissance actuelle de ces forêts tropicales manque de données quantitatives, particulièrement cruciales pour estimer la diversité bêta dans les différents blocs forestiers et garantir une bonne gestion des ressources floristiques.

¹ Université de Kisangani, Faculté des Sciences, BP. 2012 Kisangani, R. D. Congo ; Email : lisingo2005@yahoo.fr

² Université Libre de Bruxelles, Faculté des Sciences, Service Evolution Biologique et Ecologie, BP. 1050 Bruxelles, Belgique.

Afin de documenter les ressemblances ou les différences floristiques et phytogéographiques dans l'ensemble des forêts du bassin du Congo de nouvelles données d'inventaires provenant de plusieurs sites sont indispensables. Ainsi, les données quantitatives provenant des différents blocs forestiers du bassin du Congo pourront augmenter la précision et la fiabilité de l'estimation de la diversité d'arbres des forêts d'Afrique centrale (PARMENTIER *et al.* 2011).

La présente étude vise à évaluer et comparer la diversité dans les différents blocs forestiers du Secteur Forestier Central (SFC) de la Cuvette centrale congolaise en utilisant les données d'inventaire et des analyses quantitatives. Spécifiquement, nous voulons documenter la variation de la richesse spécifique des peuplements arborescents et préciser les affinités floristiques et phytogéographiques entre ces blocs forestiers. En effet, nous disposons pour d'autres régions d'Afrique centrale de telles données comparables (PARMENTIER *et al.*, 2011 ; DAUBY, 2012 ; GONMADJE *et al.*, 2011). Le SFC peut être replacé dans ce contexte afin de mieux situer l'importance de la cuvette centrale congolaise dans la stratégie globale de conservation des forêts du Bassin du Congo.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Sites de l'étude

Les relevés de végétation ont été réalisés dans les forêts matures localisées dans quatre stations différentes au nord-est de la cuvette centrale congolaise (figure 1): la Réserve forestière de Yoko (00°18'N, 25°18'E), le Domaine de chasse de Rubi-tele (2°31'N, 24°98'E), la forêt communautaire de Uma (00°33'N, 25°47'E) et la Réserve de faune à Okapi (RFO), principalement dans la localité de Ekwe en Ituri (1°27'N, 29°07'E). Le choix de ces sites a été dicté par les contrastes géologiques et topographiques qu'ils présentent ; le but étant de comparer la diversité en fonction de ces gradients.

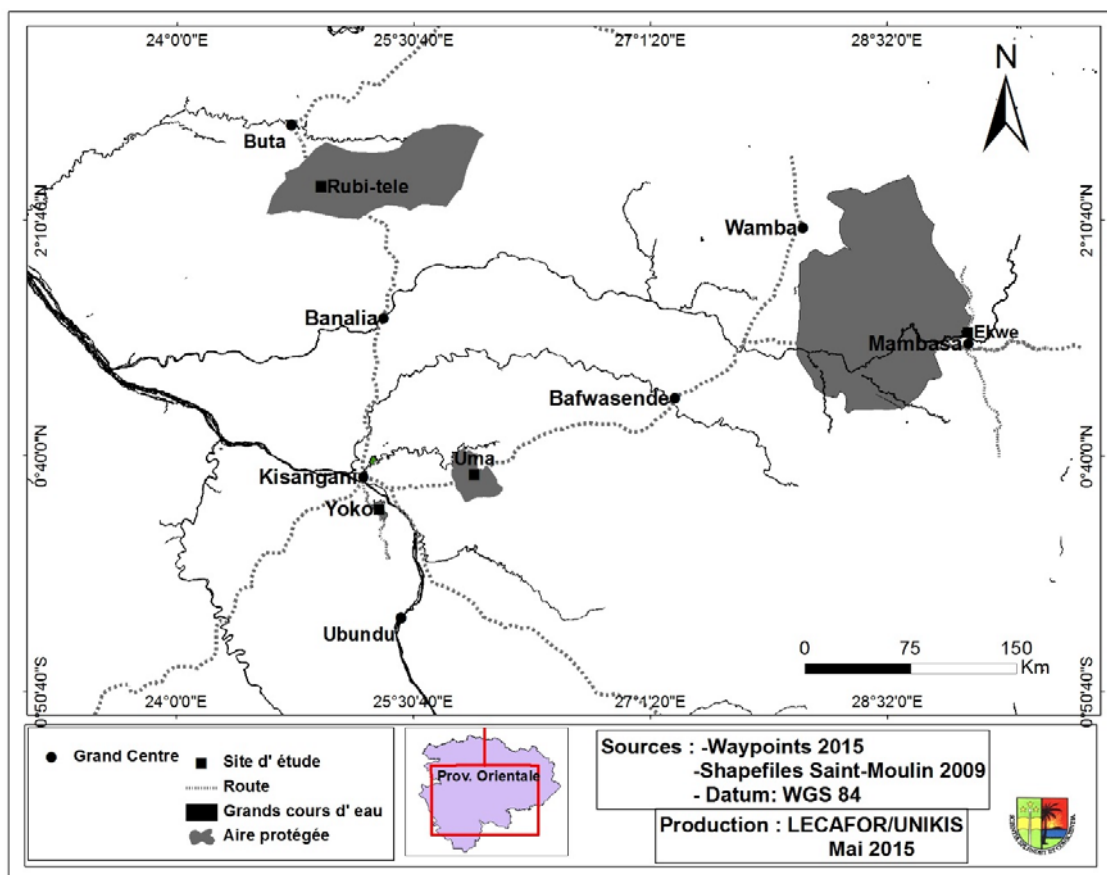


Figure 1 : Carte de localisation des sites étudiés

La réserve de Yoko est caractérisée par des peuplements semi-caducifoliés à *Scorodophloeus zenkeri* et sempervirents caractérisés par des plaques monodominantes à *Gilbertiodendron dewevrei* (LOMBA & NDJELE, 1998). Ces peuplements sont établis sur des substrats hétérogènes, parfois marqués par une répartition discontinue des sols argileux et sableux (AMANI, 2011 ; VLEMINCKX *et al.* 2015), et l'altitude moyenne est de 430 m. La végétation dans la réserve de Faune à Okapi en Ituri est constituée des forêts monodominantes à *Gilbertiodendron dewevrei* et des forêts mixtes à *Cynometra alexandri*, *Cleistanthus michelsonii* et *Julbernardia seretii* établies sur des substrats argilo-sableux et culminent entre 700 à 850 m d'altitude (HART, 1985). La végétation du Domaine de chasse de Rubi-tele se distingue par l'abondance de *Gilbertiodendron dewevrei* qui forme des très larges plaques entrecoupées parfois par des peuplements mixtes à dominance de *Julbernardia seretii* (HART, 2007) établis sur des sols latéritiques à une altitude d'environ 470 m. Les forêts d'Uma se trouvent dans le piémont des inselbergs qui constituent un contrefort des chaînes de collines vers le Parc National de la Maïko entre 400 à 700 m d'altitude. On y rencontre également des plaques à *Gilbertiodendron dewevrei* et des formations très dégradées au bord de la route Ituri.

Collecte des données et identification botanique

Sur chaque site d'étude, l'unité d'échantillonnage est une surface carrée de 50 m x 50 m (0,25 ha) installée dans une zone supposée la plus homogène possible sur le plan physiognomique dans les différents peuplements de terre ferme. Dans cette surface tous les individus d'arbres à partir de 10 cm de dbh (hauteur 1,3 m) ont été inventoriés, mesurés et identifiés.

Les données de la Réserve de Faune à Okapi en Ituri proviennent du Centre de Formation et de Recherche en Conservation Forestière) et de l'équipe du Projet REDD+ de l'Université de Kisangani.

Tableau 1 : Nombre des placettes et superficie totale inventoriés dans les quatre stations d'étude.

Site	Paramètres				
	Précipitation annuelle (mm)	Altitude moyenne (m)	Nombre de placettes	Nombre d'individus	Superficie (ha)
RFO	1672 (POULSEN <i>et al.</i> 2005)	850	38	3840	9,9
Rubi-tele	1720 (obs. pers)	470	8	799	2
Uma	1750 (VANDENPUT, 1981)	500	60	5619	15
Yoko	1750 (VANDENPUT, 1981)	420	32	3180	8
Total			138	13438	34,5

La plupart des individus inventoriés ont été identifiés sur le terrain par des botanistes expérimentés suivant les caractéristiques végétatives et reproductrices telles que définies dans les guides d'identification (LETOUZEY, 1982 ; WILKS & ISSEMBÉ, 2000 ; LEJOLY *et al.* 2010). Ces identifications ont été confrontées aux collections d'herbiers de l'Université Libre de Bruxelles (BRLU) et de l'Université de Kisangani. La nomenclature suit le système APG III (Angiosperm Phylogeny Group, 2009). Les informations concernant les parcelles de l'Ituri et les noms scientifiques des arbres ont été vérifiés dans la base de données Tropicos (www.tropicos.org).

Les données relatives à la distribution phytogéographique des espèces ont été obtenues dans la littérature, principalement les flores (LEBRUN & STORK, 1991, 1995, 1997) ainsi que dans les travaux de NDJELE (1988), SONKÉ (1998) et SENTERRE *et al.* (2004). Nous avons également consulté les bases de données en ligne (www.tropicos.org et www.ville-ge.ch/musinfo/bd/cjb/africa).

Analyse des données

Nous avons estimé la richesse totale en espèces par site à l'aide de l'indice non-paramétrique ACE (Abundance-based Coverage Estimator), calculé par le logiciel *EstimateS* 8.0 (COLWELL, 2006). Avec cet estimateur nous avons construit les courbes d'accumulation moyenne d'espèces en fonction de la surface d'inventaire cumulée. Cet estimateur qui tient compte des espèces potentiellement manquées, renseigne sur l'hétérogénéité stationnelle et révèle l'importance des espèces rares dans une communauté (CHADZON *et al.* 1998).

La similarité floristique entre sites d'échantillonnage est évaluée par le biais des indices de Morisita-Horn (*MH*) et de *NNESS*:

- ***MH*** : Il correspond au rapport de la probabilité que deux individus tirés au hasard dans deux échantillons appartiennent à la même espèce sur la probabilité que deux individus tirés au hasard dans le même échantillon appartiennent à la même espèce. Cet indice présente l'avantage de ne pas être biaisé par la taille des échantillons. Il prend en compte essentiellement les espèces abondantes.

$$MH_{ij} = \left[\frac{\sum_s P_{is} P_{js}}{(\sum_s P_{is}^2 + \sum_s P_{js}^2)/2} \right]$$

où P_{is} et P_{js} sont les fréquences de l'espèce s dans les relevés i et j , respectivement ; \sum_s indiquant que les sommes se prennent sur toutes les espèces.

- ***NNESS*** : C'est une généralisation de *MH* permettant de mieux tenir compte des espèces rares.

$$NNESS_{ij/k} = \frac{ESS_{ij/k}}{(ESS_{ii/k} + ESS_{jj/k})/2}$$

où $ESS_{ij/k}$ est le nombre attendu d'espèces partagées entre deux communautés i et j , lors d'un tirage aléatoire de k individus dans chacune de ces deux communautés. Cet indice présente l'avantage qu'en jouant sur la valeur de k (1, 2, 10... $k \leq N_i$) il permet de mettre plus ou moins de poids sur les espèces rares et de visualiser l'effet des espèces rares dans la variation floristique. Notons que $MH = NNESS$ pour $k = 1$. Ces deux indices ont été calculés par le logiciel *BiodivR* (HARDY, 2009).

Pour pouvoir calculer la diversité au sein d'une placette dans les différents sites, nous avons choisi les indices de diversité locale couramment utilisés ci-après :

- **La richesse spécifique standardisée $S_{(k)}$** : Elle correspond à la richesse spécifique attendue dans un sous-échantillon de k individus (JOST, 2007 ; DAUBY & HARDY, 2011). Cet indice n'est pas biaisé par la taille de l'échantillon et donne un poids d'autant plus grand aux espèces rares que k augmente. Les données issues de la littérature permettent actuellement de faire des comparaisons avec d'autres sites en Afrique centrale (PARMENTIER *et al.* 2007 ; GONMADJE *et al.* 2011 ; DAUBY, 2012) en utilisant l'indice $S_{(50)}$. Le nombre attendu d'espèces pour un tirage aléatoire de k individus d'un échantillon i est calculé de la manière suivante :

$$S_{i/k} = \sum_s \left(1 - \binom{N_i - x_{is}}{k} / \binom{N_i}{k} \right)$$

où N_i est la taille de l'échantillon i ; x_{is} est l'abondance (nombre d'individus) de l'espèce s dans l'échantillon i ; $k \leq N_i$. Le logiciel *BiodivR* (HARDY, 2009) nous a permis de calculer les valeurs de cet indice en fonction de k .

- **L'indice α de Fisher** : Il tient uniquement compte de la richesse spécifique, S , et du nombre total d'individus observés, N (MAGURRAN, 2004). Cet indice a l'avantage d'être peu sensible à l'effort d'échantillonnage et ne nécessite que la connaissance du nombre total d'individus et d'espèces d'une communauté (LEIGH & LOO De LAO, 2000). Il s'estime par calcul itératif afin d'atteindre l'égalité de l'équation suivante :

$$S = \alpha \ln(1 + N/\alpha)$$

Pour déterminer les espèces les plus dominantes dans le peuplement de chaque site, nous avons calculé l'indice de Valeur d'Importance (IVI). Dérivé de l'Importance Value Index de CURTIS et MC INTOSH (1950) in REISTMA (1988) ; cet indice représente la somme, pour chaque espèce i , de la densité relative (DR en %) et de la surface terrière relative (GR en %). Cet indice varie entre 0 et 200, c'est-à-dire que la somme des valeurs maximales d'indice de toutes les espèces d'une parcelle vaut 200.

$$IVI_{(i)} = DR_{(i)} + GR_{(i)}$$

Avec :

$$DR_{(i)} = 100 \times \frac{\text{Nombre d'individus d'une espèce}}{\text{Nombre total d'individus dans l'échantillon}}$$

$$GR_{(i)} = 100 \times \frac{\text{Surface terrière d'individus d'une espèce}}{\text{Surface terrière totale de l'échantillon}}$$

L'identification des espèces indicatrices de chaque site a été obtenue en utilisant l'indice de Valeur Indicatrice (IV) de chaque espèce (DUFRÊNE & LEGENDRE, 1997) qui exprime le degré de fidélité et de constance des espèces dans chaque peuplement. Les tests t de student et rang ont été utilisés pour déterminer le seuil de significativité de l'IV de chaque espèce. Chaque peuplement a été caractérisé par l'indice des valeurs d'importance des espèces.

Le diamètre relevé sur les arbres a permis de calculer la surface terrière des peuplements étudiés. La surface terrière représente, pour une placette donnée, la somme des surfaces terrières individuelles de tous arbres mesurés dans cette placette. Elle est exprimée en m²/ha.

$$G = \sum_{i=1}^n \frac{\pi D_i^2}{4}$$

G = surface terrière ; D_i = diamètre à 1,3 m du sol de l'arbre i ; n = nombre total d'arbres de l'espèce.

La densité des arbres correspond au nombre d'individus par unité d'inventaire ramené à l'hectare.

Les valeurs de la diversité locale, des surfaces terrières et des densités obtenues ont été comparées à l'aide du test non paramétrique de Kruskal-Wallis.

RESULTATS

Diversité taxonomique

Au total, 382 morpho-espèces ont été inventoriées sur une superficie de 34,5 ha regroupant les quatre sites de notre étude. Ces espèces appartiennent à 194 genres et 50 familles (APG III). Sur l'ensemble, 21 morpho-espèces sont déterminées au niveau du genre (5,4 %), 5 au niveau de la famille (1,3 %) et 1 reste non déterminée (0,26 %).

Tableau 2 : Liste des familles les plus diversifiées dans les quatre sites. # esp : nombre d'espèces ; Div. Rel : diversité relative en pourcent du nombre total d'espèces représentées par la famille.

Famille	YOKO		UMA		RUBI-TELE		ITURI		GLOBAL	
	# esp	Div. Rel (%)	# esp	Div. Rel (%)	# esp	Div. Rel (%)	# esp	Div. Rel (%)	# esp	Div. Rel (%)
Fabaceae	38	17,35	35	17,41	16	21,92	22	10,14	60	15,75
Malvaceae	18	8,22	13	6,47	8	10,96	16	7,37	29	7,61
Sapotaceae	14	6,39	13	6,47	0	0,00	19	8,76	28	7,35
Rubiaceae	11	5,02	8	3,98	7	9,59	11	5,07	26	6,82
Meliaceae	12	5,48	15	7,46	2	2,74	10	4,61	19	4,99
Phyllanthaceae	7	3,20	6	2,99	2	2,74	11	5,07	15	3,94
Putranjivaceae	6	2,74	5	2,49	4	5,48	11	5,07	15	3,94
Annonaceae	9	4,11	9	4,48	4	5,48	7	3,23	14	3,67
Ebenaceae	10	4,57	8	3,98	5	6,85	5	2,30	14	3,67
Euphorbiaceae	6	2,74	9	4,48	2	2,74	8	3,69	14	3,67
Moraceae	10	4,57	7	3,48	0	0,00	9	4,15	14	3,67
Sapindaceae	6	2,74	6	2,99	2	2,74	9	4,15	14	3,67
Clusiaceae	8	3,65	10	4,98	4	5,48	6	2,76	11	2,89
Apocynaceae	7	3,20	5	2,49	2	2,74	4	1,84	8	2,10
Flacourtiaceae	7	3,20	3	1,49	1	1,37	4	1,84	8	2,10
Violaceae	3	1,37	2	1,00	0	0,00	5	2,30	8	2,10

Dans l'ensemble, les familles *Fabaceae*, *Malvaceae*, *Sapotaceae*, *Rubiaceae* et *Meliaceae* sont les plus diversifiées en genres et espèces (Tableau 2). Les genres *Drypetes* (15 espèces), *Diospyros* (14 espèces), *Rinorea* (8 espèces) et *Ficus* (8 espèces) sont les plus diversifiés.

La figure 2 illustre la diversité spécifique de cinq familles les plus dominantes de nos inventaires et en définit la répartition entre les sites. Les *Fabaceae* sont la famille la plus diversifiée quel que soit le site et jouent donc un rôle majeur dans la composition floristique et la structure des peuplements.

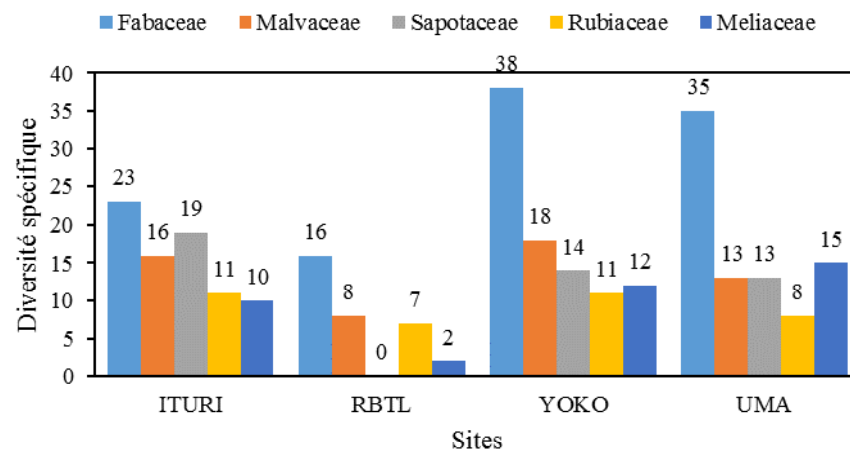


Figure 2 : Répartition de la diversité spécifique des familles dans les 4 sites. La comparaison entre sites

Cependant, par comparaison entre les sites, on observe une similarité de la diversité spécifique en *Fabaceae* entre les sites de Yoko et Uma d'une part (diversité relativement élevée) et entre les sites de RFO et de Rubi-tele d'autre part (diversité relativement faible). Par contre, à l'échelle de notre inventaire de Rubi-tele on observe une absence totale des Sapotaceae.

Richesse spécifique totale par site et similarité floristique entre sites

Le tableau 3 montre la richesse spécifique globale et la similarité floristique entre les quatre sites.

Tableau 3 : Diversité régionale basée sur l'estimateur ACE (en diagonal) et similarité floristique intersite : indice de Morisita-Horn (demi-diagonale inférieure) et indice NNESS₍₅₀₎ (demi-diagonale supérieure).

Site	RFO	RUBI-TELE	YOKO	UMA
RFO	223	0,37	0,42	0,47
RUBI-TELE	0,76	83	0,49	0,51
YOKO	0,36	0,37	212	0,78
UMA	0,61	0,62	0,73	191

Considérant l'ensemble des données, nous avons constaté que les estimations de la diversité totale varient d'un site à l'autre en fonction de l'estimateur considéré. L'estimateur ACE prédit une grande diversité pour les sites de RFO et Yoko.

En ce qui concerne la similarité floristique entre sites, si l'on considère l'indice de Morisita-Horn qui tient surtout compte des espèces abondantes, on note une similarité élevée entre les peuplements de RFO et de Rubi-tele (M-H = 0,76) et entre les peuplements de Uma et Yoko (M-H = 0,73), alors que Yoko est très différent de RFO et Rubi-tele (M-H = 0,36 à 0,37).

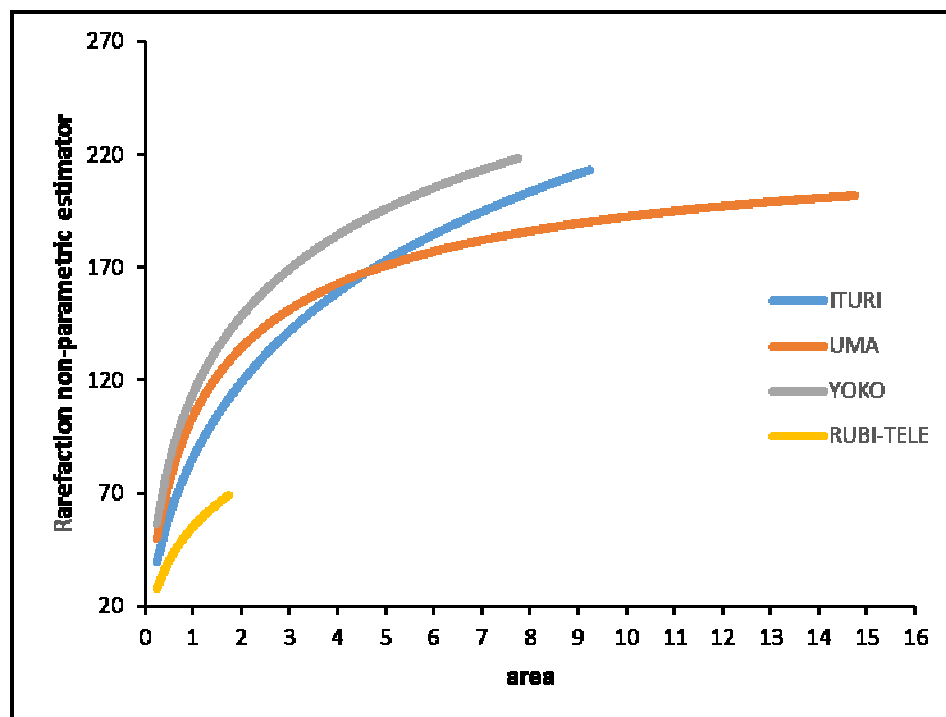


Figure 3 : Courbes d'accumulation de la richesse spécifique totale en fonction de la surface d'inventaire pour les quatre sites. Ituri = RFO.

Par contre, si l'on considère l'indice NNESS (qui donne du poids aux espèces rares avec $k=50$), les peuplements de Yoko et Uma sont les seuls qui apparaissent proches floristiquement, alors que ceux de RFO et Rubi-tele se démarquent fort (NNESS = 0,37). L'évolution de la richesse spécifique totale est illustrée par la figure 3. La différence apparaît clairement entre le site de Rubi-tele d'une part et les sites de Yoko, RFO et Uma d'autre part. Pour chaque surface d'inventaire cumulée, le nombre d'espèces est plus faible à Rubi-tele.

Caractéristiques floristiques et structurales des peuplements

Richesse et diversité spécifique locale

A l'échelle des placettes de 0,25 ha la richesse en espèces, genres et familles est en moyenne nettement plus élevée dans les peuplements de Yoko et Uma que ceux de RFO et de Rubi-tele (Tableau 4, tests de Kruskal-Wallis très significatifs). Les mêmes tendances s'observent en utilisant l'indice de diversité locale $S_{(50)}$ (Figure 4).

Tableau 4 : Diversité floristique locale par site (moyenne \pm écart-type) en nombre d'espèces (S), de genres (G), de familles (F) et de l'indice de diversité de Fisher alpha au sein de N placettes de 0,25 ha. P -value : test de différence entre sites de Kruskal-Wallis.

Site	RFO	Uma	Rubi-tele	Yoko	p -value
N placettes	38	60	8	32	
Richesse taxonomique					
S	27,5 \pm 10,1	37,9 \pm 10	23,7 \pm 7,3	43,18 \pm 8,6	0,000***
G	24,21 \pm 7,85	34 \pm 8,71	19,12 \pm 6,35	37,93 \pm 7,19	4,3e11***
F	15,78 \pm 4,12	20,25 \pm 3,57	11,87 \pm 2,16	21,4 \pm 3,63	3,4e10***
Diversité spécifique locale					
Fisher α	13,66 \pm 7,8	24,81 \pm 9,6	10,67 \pm 5,5	30,1 \pm 9,14	0,000***
$S_{(50)}$	18,05 \pm 6,05	26,24 \pm 4,2	16,72 \pm 5,24	28,72 \pm 3,75	5,96e16***

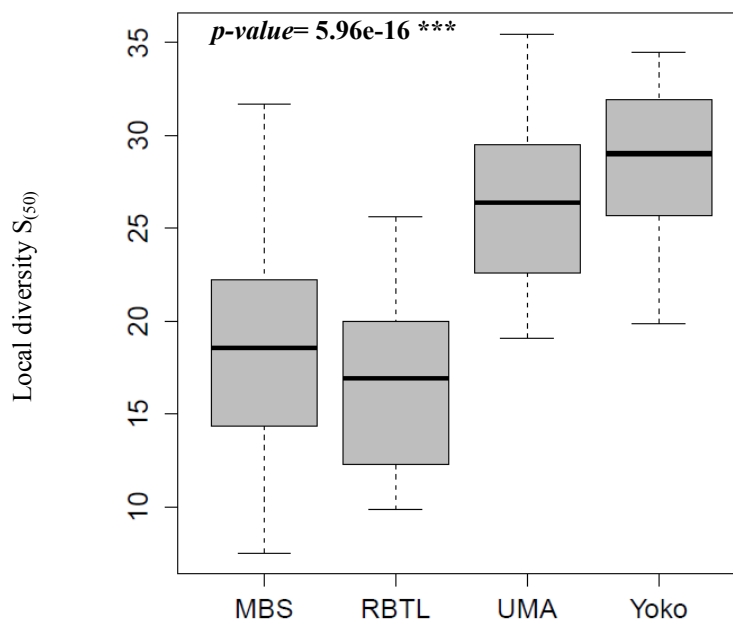


Figure 4 : Diversité alpha moyenne exprimée par l'indice $S_{(50)}$ dans les quatre sites d'étude. MBS = site de l'Ituri, RBTL = site de Rubi-tele.

Organisation de la composition floristique et importance relative des espèces

Du point de vue organisation floristique et importance relative des espèces, le tableau 5 ci-dessous reprend les valeurs de l'IVI de 10 espèces les mieux représentées dans l'ensemble de la florule.

Globalement, les 3 espèces dont les IVI sont les plus élevés (de 10 à 40) sont *Gilbertiodendron dewevrei*, *Cynometra alexandri* et *Julbernardia seretii* (Tableau 5). Nous pouvons les qualifier d'espèces prépondérantes générales. Il s'agit typiquement d'espèces grégaires et localisées dans les différents sites à l'exception de *Cynometra alexandri* uniquement abondante dans les forêts de RFO en Ituri.

Notons aussi que chaque site contient ces espèces importantes propres. C'est notamment le cas de *Scorodophloeus zenkeri*, *Grossera multinervis* et *Prioria oxyphylla* pour Yoko ; *Petersianthus macrocarpus* et *Anonidium mannii* pour Uma ; *Diospyros crassiflora* pour Rubi-tele et *Cynometra alexandri* et *Lasiodiscus mannii* pour RFO en Ituri.

Tableau 5 : les espèces les plus prépondérantes dans la florule globale selon leurs valeurs d'importance

Espèces	Dominance relative	Densité relative	IVI
<i>Gilbertiodendron dewevrei</i>	27,73	14,59	42,33
<i>Cynometra alexandri</i>	8,62	2,77	11,4
<i>Julbernardia seretii</i>	8,12	2,99	11,12
<i>Pancovia harmsiana</i>	0,88	4,07	4,96
<i>Anonidium mannii</i>	2,02	2,76	4,79
<i>Petersianthus macrocarpus</i>	1,75	1,93	3,69
<i>Staudtia kamerunensis</i>	0,79	2,50	3,30
<i>Scorodophloeus zenkeri</i>	2,13	1,13	3,26
<i>Greenwayodendron suaveolens</i>	1,02	2,09	3,11
<i>Cola griseiflora</i>	0,62	2,47	3,09
Autres	46,27	62,65	108,9

En ce qui concerne les espèces indicatrices du peuplement dans chaque site, nous avons identifié 28 espèces caractéristiques des peuplements de Yoko, 11 espèces caractéristiques des peuplements de Rubi-tele, 9 espèces pour les peuplements de Uma et 39 espèces caractéristiques des peuplements de RFO. *Scorodophloeus zenkeri* et *Grossera multinervis* avec une densité respective de 19 individus/ha et de 12,3 individus/ha et la surface terrière de 2,67 m²/ha et de 0,37 m²/ha présentent les valeurs indicatrices très élevées (IV \square 80 %) à Yoko. *Diospyros crassiflora* et *Garcinia kola* avec une densité respective de 29 et 6 individus/ha et la surface terrière de 0,56 et 0,11 m²/ha caractérisent les peuplements de Rubi-tele. *Garcinia staudtii* et *Manilkara malcoleus* présentent des valeurs indicatrices assez élevées dans le site d'Uma. Enfin, *Cynometra alexandri* et *Diospyros bipindensis* sont très caractéristiques en Ituri (Densité : 39,26 et 12,84 individus/ha ; surface terrière = 9,09 et 0,18 m²/ha chacune).

Tableau 6 : Les espèces caractéristiques des peuplements de 4 sites étudiés. Valeur indicatrice de l'espèce, significativité des tests (*t* de student et de rang) : *** et ** = les deux tests sont significatifs pour l'espèce, * = un de deux test est significatif pour l'espèce et Classe d'abondance : II = 20 – 40 %, III = 40 – 60 %, IV = 60 – 80 % et V = □ 80 %.

Espèces	IV	Sign	YOKO	RUBI- TELE	UMA	RFO
			Présence	Présence	Présence	Présence
<i>Grossera multinervis</i>	89,1	***	V			
<i>Scorodophloeus zenkeri</i>	82,9	***	V			
<i>Guarea thompsonii</i>	73,4	***	IV			
<i>Trichilia gilgiana</i>	69,4	***	IV			
<i>Turraeanthus africanus</i>	67,1	***	IV			
<i>Prioria balsamifera</i>	57,2	**	III			
<i>Diospyros crassiflora</i>	95,4	***		V		
<i>Garcinia kola</i>	88,4	***		V		
<i>Monodora myristica</i>	64	***		IV		
<i>Nauclea diderrichii</i>	63,3	***		IV		
<i>Anthonotha macrophylla</i>	58,5	**		III		
<i>Garcinia staudtii</i>	66,5	**			III	
<i>Manilkara malcoleus</i>	55,8	**			III	
<i>Garcinia sp</i>	52,7	**			III	
<i>Diospyros iturensis</i>	51,6	**			III	
<i>Synsepalum subcordatum</i>	50,8	*			III	
<i>Dichostemma glaucescens</i>	46,5	*			III	
<i>Cynometra alexandri</i>	82,7	***				V
<i>Diospyros bipindensis</i>	79,9	***				IV
<i>Dasylepis seretii</i>	79,5	***				IV
<i>Drypetes ituriensis</i>	76,1	***				IV
<i>Lecaniodiscus cupanioides</i>	72,5	***				IV
<i>Celtis phillipensis</i>	66,5	**				IV

Spectre chorologique et affinités phytogéographiques des sites étudiés.

Le tableau ci-dessous présente les spectres bruts de distribution phytogéographique calculés pour chaque relevé dans chaque site.

Quel que soit le site considéré (tous inclus dans le Secteur forestier central *sensu* NDJELE, 1988), la proportion de l'élément Guinéo-Congolais en général (incluant les phytochories Omni-guinéennes, OGC, Bas-guinéo-congolaises, BGC, Congolaises, C et du Forestier central, FC) est plus prépondérante ; 89,68% pour le site de Yoko, 91,79% pour le site de Uma, 95,86% pour le site de Rubi-tele et 92,7% pour le site de RFO. La proportion des espèces endémiques congolaises et du forestier central uniquement est de l'ordre de 4,81% dans l'ensemble de 4 sites.

Tableau 7 : Spectre de distribution phytogéographique brut. BGC : Bas-Guinéo-congolaise, OGC : Omni-Guinéo-Congolaise, C : Congolaise, FC : espèces endémiques du Forestier Central, AA : Afro-Américaine, AM : Afro-Malgache, Paléo : Paléotropicale, Pan : Pantropicale, AT : Afro-Tropicale.

Chorologie	RFO		RBTL		YOKO		UMA		GLOBAL	
	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%
Espèces endémiques guinéo-congolaises										
Sous-total	3560	96,29	766	98,58	2852	89,91	5158	95,84	12336	94,69
BGC	2640	71,41	638	82,11	1656	52,21	3318	61,65	8252	63,34
OGC	662	17,91	116	14,93	1026	32,35	1633	30,34	3437	26,38
C	215	5,82	0	0,00	28	0,88	23	0,43	266	2,04
FC	43	1,16	12	1,54	142	4,48	184	3,42	381	2,92
Espèces à large distribution (LD)										
Sous-total	8	0,22	5	0,64	46	1,45	53	0,98	112	0,86
AA	7	0,19	5	0,64	32	1,01	50	0,93	94	0,72
AM	1	0,03	0	0,00	10	0,32	2	0,04	13	0,10
Paléo	0	0,00	0	0,00	2	0,06	1	0,02	3	0,02
Pan	0	0,00	0	0,00	2	0,06	0	0,00	2	0,02
Espèces de Liaison										
Sous-total	129	3,49	6	0,77	274	8,64	171	3,18	580	4,45
AT	129	3,49	6	0,77	274	8,64	171	3,18	580	4,45
Total	3697	100	777	100	3172	100	5382	100	13028	100

La structure du peuplement

Les densités ne sont pas significativement différentes entre les quatre sites. Par contre, les surfaces terrières le sont. Dans l'ensemble, les arbres possèdent les surfaces terrières les plus élevées dans les parcelles de l'Ituri (Tableau. 8).

Tableau 8 : Densité (D^{ha}) et surface terrière en m^2/ha (G) moyennes au sein de N parcelles de 0,25 ha.

Site	RFO	Uma	Rubi-tele	Yoko	H
Paramètres	N= 38 (0,25)	N= 60 (0,25)	N= 8 (0,25)	N= 32 (0,25)	p-value
Caractéristiques structurales					
D^{ha}	400 ± 87,37	372,8 ± 76,72	399,5 ± 35,22	397,5 ± 68,46	0,17
G	32,08 ± 6,04	26,79 ± 7,9	25,55 ± 8,21	27,33 ± 6,6	0,00429**

DISCUSSION

Affinités floristiques et phytogéographiques entre blocs forestiers

Les peuplements forestiers du site de Yoko sont floristiquement similaires à ceux de la forêt de Uma, située à 75 km de Yoko, alors que ces peuplements diffèrent assez nettement de ceux de Rubi-tele et de la région de l'Ituri, situés à plus de 200 km au nord et au nord-est de Yoko, respectivement. Les peuplements de Yoko et Uma sont également nettement plus diversifiés en espèces que ceux situés plus au nord. Néanmoins, certaines espèces, telles que *Gilbertiodendron dewevrei* et

Julbernardia seretii, sont très dominantes sur la plupart des sites et contribuent à une similarité élevée lorsqu'on utilise des indices qui donnent plus de poids aux espèces abondantes.

Comment peut-on alors expliquer la différence de composition et la richesse spécifique dans les blocs forestiers situés dans un même Domaine phytogéographique ? Les explications peuvent être liées à la fois aux facteurs déterministes et historiques. Plusieurs études notamment celles de GENTRY (1988), TER STEEGE *et al.* (2003) et DAUBY (2012) ont montré que la richesse spécifique élevée des forêts tropicales est corrélée à l'hétérogénéité des conditions environnementales. Les peuplements forestiers de la cuvette centrale congolaise n'échapperaient pas à cette réalité écologique. Ainsi, nous pensons que la richesse spécifique locale élevée observée dans les sites de Yoko et d'Uma à la différence des sites de Rubi-tele et RFO s'explique par l'hétérogénéité environnementale.

Le facteur environnemental principal concerne l'édaphologie et la physiographie locale du terrain qui sont caractérisées à Yoko par une distribution discontinue du substrat argileux et sableux et une topographie contrastée (AMANI, 2011, VLEMINCKX *et al.* 2015). Tandis que le paysage d'Uma est caractérisé par un gradient physiographique et altitudinal allant de la rivière Tshopo vers le piémont des inselbergs sur éboulis rocheux. Par contre, à l'échelle de nos relevés, les peuplements de Rubi-tele et de l'Ituri sont établis sur des substrats assez homogènes qui ne présentent pas une forte dénivellation topographique. Les résultats obtenus par d'autres chercheurs en Afrique centrale ayant montré l'influence de la topographie et des caractéristiques édaphiques sur la distribution et la richesse d'espèces d'arbres aux échelles régionales et locales corroborent notre thèse (TCHOUTO *et al.* 2006 ; RÉJOU-MÉCHAIN *et al.* 2008 ; GONMADJE *et al.* 2011 ; BEINA, 2011 ; DAUBY, 2012). L'hétérogénéité édaphique engendre donc une mosaïque d'« éco-unités édaphiques » qui favorisent l'établissement des espèces rares.

L'autre explication peut être liée à l'histoire du couvert forestier : la surface de la forêt dense en Afrique centrale a dû se contracter lors des périodes glaciaires. On ignore comment cela s'est produit mais il est possible que la forêt dense se soit surtout maintenue le long des grands cours d'eau (refuges forestiers), comme le fleuve Congo près duquel se trouvent les sites de Yoko et Uma. Ainsi, la plus faible diversité des sites de Rubi-tele et RFO pourrait s'expliquer par une recolonisation forestière tardive (Holocène) de ces régions (MALEY 1996).

Nous avons également constaté que les sites les moins diversifiés sont ceux où *Gilbertiodendron dewevrei* est le plus dominant. L'abondance des plaques à *G. dewevrei* dans les sites de RFO et Rubi-tele serait directement la cause de ce gradient de diversité. Pour confirmer cela nous avons jugé utile de catégoriser les placettes selon le type forestier (monodominant ou mixte) et avons calculé l'indice $S_{(50)}$ pour chaque cas (tableau 9). Cependant, nous avons remarqué que la diversité spécifique était toujours faible sur les sites de RFO et de Rubi-tele, quel que soit le type de peuplement.

Tableau n° 9. Diversité locale par site de l'indice $S_{(50)}$ (moyenne et écart-type) en fonction de type forestier (mixte et monodominant). Les valeurs de la richesse spécifique standardisée ($S_{(50)}$) sont significativement différentes entre les sites et les types forestiers. $F = 30,22$; p -value $\square 0,001$ (test de différence de Kruskal-Wallis). Les lettres en exposant indiquent les groupes homogènes issus du test post-hoc de Wilcoxon.

TF	Peuplements mixtes				Peuplements monodominants			
	Site	RFO	RBTL	UMA	YOKO	RFO	RBTL	UMA
$S_{(50)}$	19,8 ± 3,5 ^a	20,5 ± 3,9 ^a	28,5 ± 3,4 ^b	29,7 ± 3,1 ^b	16,4 ± 7,3 ^c	13 ± 3,2 ^c	23 ± 3 ^d	24,2 ± 2,8 ^d

Sur le plan phytogéographique, la flore arborescente de notre région d'étude est constituée en moyenne de 92,5% de l'élément guinéo-congolais en prenant en considération toutes les phytochories associées (OGC, BGC, CG et FC). Ce taux remarquablement élevé de l'élément Guinéo-congolais confirme l'appartenance de la flore de la cuvette centrale à la grande région phytogéographique guinéo-congolaise. La proportion d'endémiques de la RDC observée est de 4,81 %. A titre comparatif, SONKÉ (1998) a obtenu pour la région du Dja au Cameroun seulement 0,3 % d'endémiques camerounaises et DOUCET (2003) pour les forêts du Gabon obtint 7,3 %. Les espèces d'arbres endémiques du forestier central reconnues dans la délimitation établie par NDJELE (1988) représentent 2,83% de la florule globale parmi lesquelles nous trouvons *Beilschmiedia lebrunii*

(Lauraceae), *Cola bruneellii* (Malvaceae), *C. congolana* (Malvaceae), *Lychnodiscus multinervis* (Sapindaceae) et *Diospyros deltoidea* (Ebenaceae).

Diversité des peuplements forestiers de la cuvette centrale congolaise dans le contexte de l'Afrique centrale.

En Afrique centrale, les sites les plus proches des côtes atlantiques sont plus diversifiés que ceux de la cuvette centrale congolaise. Ces sites sont non seulement associées à une grande hétérogénéité environnementale et à une pluviométrie élevée mais, elles sont également plus proches des refuges forestiers hypothétiques de l'Afrique Centrale atlantique (SOSEF, 1994, MALEY, 1987). Ce dernier argument semble le plus déterminant, du fait que les forêts proches du Rift Albertin dans le Ruwenzori, supposé refuge forestier à la lisière Est des forêts tropicales et celles proches de mont Cameroun, supposé refuge forestier d'Afrique centrale atlantique sont plus diversifiées que la forêt du Parc national d'Odzala (Congo-Brazzaville) dans le centre de la cuvette centrale (Figure 5).

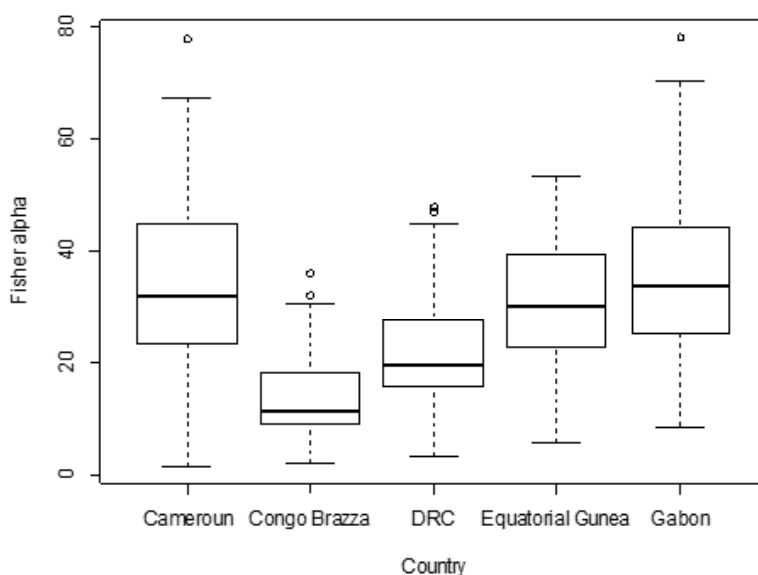


Figure 5 : Comparaison de l'indice alpha de Fisher dans les forêts tropicales de cinq pays d'Afrique centrale. Sources des données : DRC = présent travail ; autres pays = PARMENTIER et al. 2011.

PARMENTIER et al. (2007) ont présenté une analyse comparative de la diversité α de Fisher entre les forêts tropicales d'Afrique de la région guinéo-congolaise et d'Amazonie. La diversité α moyenne en Amazonie est beaucoup plus grande qu'en Afrique ($\alpha = 26$ pour l'Afrique ; $\alpha = 81$ pour l'Amazonie). Selon ces auteurs, les faibles valeurs de diversité sont présentes sur les deux continents, mais les valeurs de forte diversité ($\alpha > 100$) sont absentes dans les forêts d'Afrique. Les valeurs de diversité α de nos quatre sites étudiés se situent dans la moyenne africaine.

Cette relative faible diversité des forêts tropicales d'Afrique centrale par rapport à celles du bassin amazonien a été attribuée en partie aux bouleversements des conditions géologiques et climatiques du pléistocène (GENTRY, 1982 ; MALEY, 1996 ; RICHARD, 1996). Les vagues d'extinction qui en ont résulté seraient responsables de ces différences continentales et ont profondément affecté la diversité en Afrique centrale. A cela s'ajoute la pluviosité qui en Amazonie est presque le double de celle de l'Afrique centrale et qui peut justifier ces différences de la diversité (MORNEAU, 2007).

CONCLUSION

Cette étude a permis de distinguer une différenciation floristique entre 3 régions : (1) les forêts proches du fleuve Congo au centre de la cuvette (Yoko et Uma) ; les forêts en limite Nord de la zone forestière (Rubi-tele) et (3) les forêts en limite Est de la zone forestière avant le rift Albertin (RFO) avec un gradient de diversité plus forte dans la région centrale.

La diversité est globalement plus faible que dans les forêts de l'ouest du Bas-Guinéen, mais plus forte qu'à la limite entre le Bas-guinéen et le Congolais.

Nous avons analysé ces variations dans les différents sites sur la base des données récemment recueillies dans la partie nord-est de la cuvette centrale congolaise. Une étude de la variabilité floristique et structurale de différents types forestiers à l'échelle de la région permettra de mieux cerner les paramètres de la structuration spatiale de la diversité, de la rareté et dominance spécifique dans ce milieu forestier tropical. Aussi, il importe dans l'avenir, de faire le parallèle entre la dynamique sylvigénétique et les paramètres édaphiques dans l'évaluation de la diversité des peuplements forestiers. Leurs impacts sur la richesse et la diversité des peuplements méritent d'être approfondis.

REMERCIEMENTS.

Les auteurs remercient les projets REFORCO et FCCC mis en œuvre par le CIFOR et l'Université de Kisangani (UNIKIS) grâce au financement de l'Union Européenne pour la bourse de thèse octroyée à JANVIER LISINGO, le Service Evolution Biologique et Ecologie de l'Université Libre de Bruxelles pour son aimable accueil.

BIBLIOGRAPHIE

- AMANI, C., 2011. Vegetation patterns and role of edaphic heterogeneity on plant communities in semideciduous forest from Congo basin. Thèse, Université Libre de Bruxelles, 262 p.
- APG III. 2009. An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 161: 105–121.
- BEINA, D., 2011. Diversité floristique de la forêt dense semi-décidue de Mbaïki, République centrafricaine : étude expérimentale de l'impact de deux types d'intervention sylvicole. Thèse, Université de Picardie Jules Verne, 218 p.
- CHADZON, R.L., COLWELL, R.K., DENSLow, J.S. & GUARIGUATA, M.R., 1998. Statistical methods for estimating species richness of woody regeneration in primary and secondary rain forests of NE Costa Rica. pp. 285-309 in DALLMEIER, F. & COMISKEY, J.A. (Eds). *Forest biodiversity research, monitoring and modeling: Conceptual background and Old World case studies*. Parthenon Publishing, Paris. 671 p.
- COLWELL, R.K., 2006. EstimateS: Statistical Estimation of Species Richness and Shared Species from Samples. Version 8.0. <http://viceroy.eeb.uconn.edu/estimates>.
- DAUBY G. & HARDY O.J., 2011. Sampled-based estimation of diversity *sensu stricto* by transforming Hurlbert diversities into effective number of species. doi: 10.1111/j.1600- 0587.2011.06860.x 34: 001–012, 2011 *Ecography*.
- DAUBY, G., 2012. Structuration spatiale de la diversité intra- et interspécifique en Afrique centrale. Le cas des forêts gabonaises. Thèse, Université Libre de Bruxelles, 249 p.
- DEVRED, R., 1958. La végétation forestière du Congo Belge et du Ruanda-Urundi. *Bull. Soc. roy. for. Belgique*, 65: 409-468.
- DOUCET, J.-L., 2003. L'alliance délicate de la gestion forestière et de la biodiversité dans les forêts du centre de Gabon. Thèse, Faculté universitaire des Sciences Agronomiques de Gembloux, 323 p.
- DUFRENE, M. & LEGENDRE P., 1997. Species assemblages and indicator species: the need for a flexible asymmetrical approach. *Ecological Monographs*, 67: 345-366.
- GENTRY, H., 1982. Neotropical floristic diversity: phy-togeographical connections between Central and South America, Pleistocene climatic fluctuations, or an accident of the Andean orogeny? *Ann. Missouri Bot. Gard.*, 69: 557-593.
- GENTRY, H., 1988. Changes in Plant Community Diversity and Floristic Composition on Environmental and Geographical Gradients. *Annals of Missouri Botanical Garden*, 75: 1-34.
- GÉRARD, P., 1960. Etude de la forêt dense à Gilbertiodendron dewevrei dans la Région de l'Uélé. *Publ. INEAC, Série Scient.*, 87: 159 p.

- GERMAIN, A. & EVRARD, C., 1956. Etude écologique et phytosociologique de la forêt à *Brachystegia laurentii*. *Publ. I.N.E.A.C.*, Série Scient., 65: 105 p.
- GONMADJE, C.F., DOUMENGE, C., MCKEY, D., TCHOUTO, G.P.M., SUNDERLAND, T.C.H., BALINGA, M.P.B. & SONKÉ, B., 2011. Tree diversity and conservation value of Ngovayang's lowland forests, Cameroon. *Biodiversity and Conservation*, 12: 2627–2648.
- HARDY O. J., 2009. *BiodivR 1.1*. A program to compute indices of species diversity within sample and species similarity between samples using rarefaction principles to reduce sampling bias. <http://ebe.ulb.ac.be/ebe/BiodivR.html>
- HART, T.B., 1985. The ecology of a single-species-dominant forest and a mixed forest in Zaire, Africa. Thèse, Michigan State University, East Lansing, 215 p.
- HART, T.B., 2007. Evaluation de l'état de conservation du Domaine de chasse de Rubitele. Inventaires fauniques, contexte historique et recommandations pour assurer la conservation du site en rapport avec la réhabilitation de la Route Nationale 4. Rapport AGRECO, projet PRO-ROUTES, 41 p.
- JOST, L., 2007. Partitioning diversity into independent alpha and beta components. *Ecology*, 88: 2427-2439.
- LEBRUN, J. & GILBERT, G., 1954. Une classification écologique des forêts du Congo. *Publ. INEAC*, Série Scient., 63: 89 p.
- LEBRUN J.-P. & STORK A.L., 1991-1997. Enumération des plantes à fleurs d'Afrique tropicale. Conservatoire et Jardin Botaniques de la Villes de Genève.
- LEIGH E.G. & LOO DE LAO S., 2000. *Fisher's Alpha: measuring tree diversity*. *Center for Tropical Forest Science*, 7-12.
- LEJOLY, J., NDJELE, M-B. & GEERINCK, D. 2010. Catalogue-flore des plantes vasculaires des districts de Kisangani et de la Tshopo (R.D. Congo). *Taxonomia*, 30: 1-308.
- LETOUZEY, R. 1982. *Manuel de botanique forestière, Afrique tropicale*. Tome 1 Botanique générale. Centre technique forestier tropical, 461p.
- LOMBA B.L. & NDJELE M.-B., 1998. Utilisation de la méthode de transect en vue de l'étude de la phytodiversité dans la Réserve de Yoko (Ubundu, R.D. Congo). *Annales de la Faculté des Sciences de l'Université de Kisangani*, 11 : 35-46.
- LUBINI, A., 1997. La végétation de la Réserve de la biosphère de Luki. *Opera Bot. Belg.* 10: 1-155.
- MAKANA J.-R., TERESE B.H., LIENGOLA I., EWANGO C., HART J.A. & CONDIT R., 2004. Ituri forest dynamics plots, Democratic republic of Congo. In: E.C. Losos, E.G. Leigh Jr. (Eds) *Tropical forest diversity and dynamism*. Chicago: University of Chicago Press, 492–505.
- MALEY, J., 1996. Le cadre paléoenvironnemental des refuges forestiers africains: quelques données et hypothèses. In: L.J.G. van der Maesen & al. (Eds) *The Biodiversity of African plants*. Kluwer Academic Publishers, The Netherlands, 519-535.
- MORNEAU, F. 2007. Effets d'un gradient d'engorgement sur la structure et la dynamique d'une forêt tropicale humide (Paracou, Guyane française), Thèse, ENGREF, 241 p.
- MOSANGO, M., 1990. Contribution à l'étude botanique et biogéochimique de l'écosystème forêt en région équatoriale (île Kongolo, Zaïre). Thèse, Université Libre de Bruxelles, 442 p.
- NDJELE, M.B., 1988. Les éléments phytogéographiques endémiques dans la flore vasculaire du Zaïre. Thèse, Université Libre de Bruxelles, 528 p.
- NSHIMBA, S.M., 2008. Etude floristique, écologique et phytosociologique des forêts de l'île Mbiye à Kisangani, R. D. Congo. Thèse, Université Libre de Bruxelles, 272 p.
- PARMENTIER, I., MALHI, Y., SENTERRE, B., WHITTAKER, R.J., ALONSO, A., BALINGA, M.P.B., BAKAYOKO, A., BONGERS, F., CHATELAIN, C., COMISKEY, J.A., CORTAY, R., KAMDEM, M.N.D., DOUCET, J.L., GAUTIER, L., HAWTHORNE, W.D., ISSEMBE, Y.A., KOUAME, F.N., KOUKA, L.A., LEAL, M.E., LEJOLY, J., LEWIS, S.L., NUSBAUMER, L., PARREN, M.P.E., PEH, K.S.H., PHILLIPS, O.L., SHEIL, D., SONKE, B., SOSEF, M.S.M., SUNDERLAND, T.C.H., STROPP, J., TER STEEGE, H., SWAINE, M.D., TCHOUTO, M.G.P., VAN GEMERDEN, B.S., VAN VALKENBURG, J. & WOLL, H. 2007. The odd man out? Might climate explain the lower tree alpha-diversity of African rain forests relative to Amazonian rain forests? *Journal of Ecology*, 95: 1058-1071.
- PARMENTIER, I., HARRIGAN, R.J., BUERMANN, W., MITCHARD, E.T.A., SAATCHI, S., MALHI, Y., BONGERS, F., HAWTHORNE, W.D., LEAL, M. E., LEWIS, S.L., NUSBAUMER, L., SHEIL, D., SOSEF, M.S.M., AFFUM-BAFFOE, K., BAKAYOKO, A., CHUYONG, G.B., CHATELAIN, C., COMISKEY, J.A., DAUY, G., DOUCET, J.-L., KENFACK, D., KOUAMÉ, F.N., KOUASSI, E.K., LAZARE, A.K., PARREN, M.P.E., PEH, K.S.-H., REITSMA, J.M., SENTERRE, B., SONKÉ, B., SUNDERLAND, T.C.H., SWAINE, M.D., TCHOUTO, M.G.P., THOMAS, D., VAN VALKENBURG, J.L.C.H. & HARDY, O.J., 2011. Predicting alpha diversity of African rain forests: models based on climate and satellite-derived data do not perform better than a purely spatial model. *Journal of Biogeography*, 38: 1164–1176.
- POULSEN, A.D., HAFASHIMANA, D., EILU, G., LIENGOLA, I.B., EWANGO, C.E.N. & HART, T.B., 2005. Composition and species richness of forest plants along the Albertine Rift, Africa. *Biol. Skr.*, 55: 129-143.

- RÉJOU-MÉCHAIN, M., PÉLISSIER, R., GOURLET-FLEURY, S., COUTERON, P., NASI, R. & THOMPSON J.D., 2008. Regional variation in tropical forest tree species composition in the Central African Republic: an assessment based on inventories by forest companies. *Journal of Tropical Ecology*, 24: 663-674.
- RICHARDS, P.W., 1996. The Tropical Rainforest, An ecological study, 2nd edn,
- PURSEGLOVE, J.W. 1975. Raffia palms. In ELBS/Longman (Publishers), *Tropical monocotyledons*. Vols 1 and 2. Cambridge, U.K. : Cambridge University Press, 439-440.
- SENTERRE B., LEJOLY J. & SONKÉ B., 2004. Analyse du gradient de continentalité et identification de communautés végétales en forêts denses d'Afrique centrale par la méthode du méga-transect. *Phytocoenologia*, 34 (3): 491-516.
- SONKÉ, B., 1998. Etudes floristiques et structurales des forêts de la Réserve de Faune du Dja (Cameroun). Thèse, Université Libre de Bruxelles, 276 p.
- SOSEF, M., 1994. Refuge Begonias: taxonomy, phylogeny and historical biogeography of *Begonia* sect. *Loasibegonia* and sect. *Scutobegonia* in relation to glacial rain forest refuges in Africa. *Wageningen Agricultural University Papers*, 94: 1-306.
- TCHOUTO, M.G.P., 2004. Plant diversity in central African rain forest. Implications for biodiversity conservation in Cameroon. Wageningen, The Netherlands, Wageningen University, 204 p.
- TCHOUTO, M.G.P., DE BOER, W.F., DE WILDE, J.J.F.E. & 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.
- TER STEEGE, H., PITMAN, N.C.A., SABATIER, S., CASTELLANOS, H., VAN DER HOUT, P., DALY, D.C., SILVEIRA, M., PHILLIPS, O., VASQUEZ, R. VAN ANDEL, T., DUIVENVOORDEN, J., DE OLIVEIRA, A.A., EK, R.C., LILWAH, R., THOMAS, R.A., VAN ESSEN, J., BAIDER, C., MAAS, P.J.M., MORI, S.A., TERBORGH J., NUÑEZ-VARGAS, P., MOGOLLÓN, H. & MORAWETZ, W. 2003. A spatial model of tree α -diversity and -density for the Amazon Region. *Biodiversity and Conservation*, 12: 2255-2276.
- TOLEDO, M., PEÑA-CLAROS, M., BONGERS, F., ALARCÓN, A., BALCÁZAR, J., CHUVIÑA, J., LEAÑO, C., LICONA, J. C. & POORTER, L., 2012. Distribution patterns of tropical woody species in response to climatic and edaphic gradients. *Journal of Ecology*, 100: 253-263.
- VANCUTSEM C., PEKEL J.-F., EVRARD C., MALAISSE F., LUBAMBA J.-P.K., BLAES X., DE WASSEIGE C., DEFOURNY P., 2006. *The land cover map of the Democratic republic of Congo*. Presses Universitaires de Louvain, ISBN 2-87463-016-0, UCL-Geomatics, Belgium, available on <http://www.uclouvain.be/enge-cartesRDC>.
- VANDENPUT R., 1981. Les principales cultures en Afrique centrale. Tournai: édit. Lesaffre, 458 p.
- VLEMINCKX, J., DROUET, T., AMANI, C., LISINGO, J., LEJOLY, J. & HARDY, J. 2015. Impact of fine-scale edaphic heterogeneity on tree species assembly in central African rainforest. *Journal of Vegetation Science* 26: 134-144.
- WILKS, C. & ISSEMBÉ, Y. 2000. Guide pratique d'identification des arbres de la Guinée équatoriale - région continentale (CUREF). Edition: Pré Presse Communications, France, 546 p.

