

UNIVERSITE DE KISANGANI



**B.P. 2012
KISANGANI**

**FACULTE DE GESTION DES RESSOURCES NATURELLES RENOUEVELABLES
(FGRNR)**

**Influence de l'altitude sur la diversité floristique et les stocks de
carbone dans la forêt congolaise semi- caducifoliée de Uma.**

Par

ZAWADI MUSIBIRWA Rachel

TRAVAIL DE FIN D'ETUDES

Présenté en vue de l'obtention du **Grade d'Ingénieur Forestier**

Option : **Eaux & Forêts**

Directeur : **Pr. BOYEMBA BOSELA Faustin (UNIKIS)**

Encadreur : **Ass. MBASI MBULA Michel (ISEA-Bengamisa)**

ANNEE ACADEMIQUE 2015-2016

A mes chers parents Cyrille MUSIBIRWA et Guylaine MBAFUMOJA qui continuent d'accepter tant de sacrifices et de privations pour le devenir de leur fille ;

A ma maman Marie MALAMBO;

A mes tantes, mes frères, amis et connaissances, à l'occurrence, Antoinette KAVIRA et au couple Alex Yvette ;

A mon fiancé John KATEMBO MUKIRANIA ;

A toutes ces personnes ;

Je dédie ce travail.



Remerciements

Gloire soit rendue à Toi, Créateur du ciel et de la terre, Dieu, pour nous avoir donné la vie et en assuré la protection.

Maintenant que le manuscrit est rendu, que la soutenance orale approche, il est temps pour moi de remercier toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à ce travail, et elles sont nombreuses !

Je tiens à remercier chaleureusement mon directeur, le Professeur Faustin Boyemba Bosela et mon encadreur, l'assistant Michel Mbasi Mbula pour m'avoir faite confiance, il y a un an, alors même que je ne connaissais rien de l'écologie forestière. En particulier, merci pour votre disponibilité, votre optimisme et votre enthousiasme inébranlables face à mes résultats de recherche parfois déroutants ainsi que pour toutes les conversations que nous avons eues et qui m'ont beaucoup apportées. Je souhaite longue vie les arbres étiquetés dans les parcelles du projet REDD, site de Uma et j'espère que nous aurons encore l'occasion d'échanger à ce sujet.

Toute ma gratitude à ceux-là qui vont s'acquitter de la lourde tâche et qui vont accepter volontiers d'évaluer ce manuscrit en étant membre du jury.

Si le travail de fin de cycle universitaire nécessite un important investissement personnel, il est salutaire de l'oublier un peu ...

C'est dans cette optique que je remercie mes parents. Je vous remercie pour tout ce que vous m'apportez au quotidien, pour m'avoir soutenu dans mes choix et pour m'avoir donné les moyens d'arriver jusqu'ici. Merci pour tout.

Ma profonde gratitude va tout particulièrement à mes frères et sœurs à l'occurrence Sylvie VWIRANDA, Henriette, Eustache, au couple Alex Yvette, Lydie, Freddy, Géron, Judith, Allène, Jerry, Bénédicte, Lisette Yvette, Arthur pour leur attachement à nous malgré la distance géographique qui nous sépare.

Je tiens à remercier du fond du cœur tous mes camarades étudiants Elias, Zaina, Richard, Safi, Bora, Kasange, Rhodes, Milambo, Gata, Nathalie, Emma, Rachel, aine avec qui nous avons passé des moments de formation ensemble durant notre parcours académique, pour leur franche collaboration et l'esprit d'équipe qui les a animés pendant les cinq ans passés ensemble.

Je n'oublie pas mes tantes et oncles à l'occurrence Antoinette KAVIRA, Marie MALAMBO, Jeanne KAVIRA, Jeannine, Clémentine, Alexa, Jules, Grâce.

Je tiens à remercier du fond du cœur tous mes camarades étudiants, amis et connaissances avec qui nous avons passé des moments de travail ensemble durant notre parcours académique, pour leur franche collaboration et l'esprit d'équipe qui les a animés pendant les cinq ans passés ensemble.

Je ne saurais clore ce chapitre sans dire grand merci à toute l'équipe du laboratoire d'Ecologie et d'Aménagement Forestier (LECAFOR/UNIKIS) qui a participé à l'installation des parcelles forestières dans le site de Uma. Merci au directeur du LECAFOR, le Professeur Faustin Boyemba Bosela pour m'avoir volontiers offerte les données de terrain dans le cadre de ce travail de mémoire.

ZAWADI MUSIBIRWA Rachel

Liste des figures

Figure 1 - Forêts comprises entre les deux tropiques.....	4
Figure 1.1 - Localisation du site d'étude.....	10
Figure 2.1 - Pourcentages des axes de l'AFC.....	17
Figure 2.2 - Ordination des espèces (gauche) et des parcelles d'inventaire (droite) par l'AFC...17	
Figure 2.3 - Illustration des espèces abondantes (gauche) et affinités floristiques entre les parcelles (droite) des groupements identifiés par l'AFC.....	18
Figure 2.4 - Dispersion des valeurs de l'indice de Fisher-alpha entre les 2 tranches altitudinales considérées.....	19
Figure 2.5 – Corrélation entre l'indice de Fischer_alpha et l'altitude.....	20
Figure 2.6 – Courbe aire-espèce illustrant la richesse spécifique en fonction du nombre des parcelles.....	21
Figure 2.7 - Dispersion des valeurs de densité pour les peuplements de chaque tranche altitudinale étudiée.	22
Figure 2.8 - Dispersion des valeurs de surface terrière pour les peuplements de chaque tranche altitudinale étudiée.....	23
Figure 2.9 - Comparaison par tranche altitudinale de la distribution par classes diamétriques des tiges inventoriées dans la zone d'étude.....	24
Figure 2.10 - Dispersion des valeurs des stocks de carbone dans les groupements étudiés d'après le modèle de Chave & al., 2014.....	25
Figure 2.11 – Corrélation entre les stocks de carbone et l'altitude.....	26
Figure 3.1 - Variation de l'indice Fisher-alpha dans la zone des forêts denses humides d'Afrique.....	28

Liste des tableaux

Tableau 1.1 - Identité des parcelles d'inventaire utilisée dans les analyses des données avec leurs altitudes respectives.....	11
Tableau 2.1 - Indices de diversités calculés pour chacune des tranches altitudinales étudiées.....	19

Résumé

Les forêts de la République Démocratique du Congo caractérisées par une diversité floristique et structurale à toutes les échelles d'observations jouent un rôle de premier rang dans le cycle tant régional que global du carbone grâce au processus de la photosynthèse. Suite à la forte diversité de ces forêts, si on veut analyser sa diversité et estimer ses stocks en carbone, il est recommandé d'identifier d'abord les groupes forestiers avant d'évaluer ces paramètres précités par groupe forestier identifié. Si ces groupes floristiques sont identifiés sur base des facteurs de l'environnement bien connus, ceci permet de connaître les facteurs de l'environnement qui influencent certains paramètres floristiques. La présente étude est basée sur cette recommandation en vue d'étudier l'influence de l'altitude, sous un seuil de 500 m, sur les 2 paramètres précités dans la forêt de Uma (WGS 1984/UTM 35N ; 361729.6/375747.6N, 362618.4/375747.4S). Les données de terrain concernent les arbres ≥ 10 m inventoriés dans 20 parcelles de $\frac{1}{4}$ ha. 10 parcelles dans la tranche < 500 m sur un substrat argileux et 10 autres dans la tranche d'altitude ≥ 500 m d'altitude sur un substrat sableux. Les résultats obtenus montrent deux grands groupements floristiques. Ces deux groupements sont dictés par la texture du substrat combinée à la variation de l'altitude. Le groupe floristique de la tranche altitudinale ≥ 500 m a des stocks de carbone important. C'est aussi le plus diversifié floristiquement comparativement à celui de la tranche altitudinale < 500 m. ces résultats obtenus prouvent que l'altitude est un facteur environnemental clé dans l'interprétation des variations de la diversité floristique et des stocks de carbone dans le bassin forestier congolais.

Mots clés : Diversité floristique, stocks de carbone, variation de l'altitude, Forêts, Bassin du Congo.

Summary

The Democratic Republic of Congo's forests characterized by a floristic and structural diversity to all scales of observations play a significant part in the regional and global cycle of the carbon thanks to the process of the photosynthesis. Further to the strong diversity of these forests, if one wants to analyze its diversity and to estimate its stocks in carbon, it is recommended to identify the forest groups first before valuing these aforementioned parameters by identified forest group. If this floristic groups are identified on basis of the factors of the very known environment, it permits to know the factors of the environment that influence some floristic parameters. The present survey is based on this recommendation in order to study the influence of the altitude, under a doorstep of 500 m, on the 2 aforementioned parameters in the forest of Uma (WGS 1984/UTM 35N; 361729.6/375747.6N, 362618.4/375747.4S). The data of land concern the trees? 10 m inventoried in 20 parcels of $\frac{1}{4}$ ha. 10 parcels in the slice 500 m on a clayey substratum and 10 other in the slice of altitude 500 m of altitude on a sandy substratum. The gotten results show two big groupings floristics. Are these two groupings dictated by the texture of the substratum combined to the variation of the altitude. The floristic group of the altitudinal slice? 500 m has stocks of important carbon. Is it also the more varied floristiquement compared to the one of the altitudinal slice? 500 m. these gotten results prove that the altitude is a key environmental factor in the interpretation of the variations of the floristic diversity and the stocks of carbon in the Congolese forest basin.

Key words: floristic diversity, carbon's stocks, variation of the altitude, Forests, Congo Basin.

Table des matières

Dédicace.....	i
Remerciements.....	ii
Liste des figures.....	iii
Liste des tableaux.....	iv
Résumé.....	v
Summary.....	vi
Table des matières.....	vii
I. Introduction	1
I.1 Implication des facteurs environnementaux dans la zonation des groupements forestiers en Afrique tropicale	1
I.2 Gestion durable des forêts tropicales, un véritable casse-tête pour les forestiers.....	2
I.3 Le carbone forestier des forêts tropicales, une préoccupation majeure pour la planète terre entière	3
I.4 Importance de la diversité dans la gestion des forêts tropicales africaines.....	4
I.5 Etat de la question.....	5
I.6 Problématique	6
I.7 Hypothèses de l'étude	7
I.8 Objectifs de l'étude	8
I.9 Intérêt de l'étude	8
I.10 Structure du mémoire.....	8
Chapitre 1 : Cadre méthodologique	9
1.1 Zone d'étude.....	9

1.2 Méthodes	11
1.2.1 Mise en place des parcelles forestières et prise des mesures sur les arbres	11
1.2.2 Analyse des données	12
Chapitre 2 : Résultats	17
2.1 Identification des groupes forestiers	17
2.2 Diversité de chaque tranche altitudinale	18
2.3 Paramètres structuraux de chaque tranche altitudinale	22
2.3.1 Densité, surface terrière et structure diamétrique	22
2.3.2 Stocks de carbone	24
Chapitre 3 : Discussion	27
3.1 Deux groupes floristiques dans le massif forestier de Uma sous le seuil de 500 m d'altitude	27
3.2 Diversité floristique élevée dans la tranche altitudinale supérieure à 500 m d'altitude.....	27
3.3 Absence de variation de structure (structure en diamètre-stocks de carbone) entre les 2 tranches d'altitude	29
II. Conclusions et Suggestions	30
Références bibliographiques	31

I. Introduction

I.1 Implication des facteurs environnementaux dans la zonation des groupements forestiers en Afrique tropicale

La végétation du globe est un complexe des formations végétales, dont la composition floristique varie non seulement d'un continent à un autre ou d'une région à une autre mais également à l'intérieur de cette dernière, d'un site à un autre (Richards, 1952 ; Trichon, 1996). Dictée par l'influence de l'ensemble de facteurs environnementaux, des zonations floristiques se définissent à des échelles spatiales différentes, et divers processus syngénétiques s'installent conduisant à une diversification des groupements végétaux (Fournier & al., 1983). L'environnement joue donc un grand rôle dans l'assemblage des communautés floristiques en filtrant parmi les espèces présentes dans la région, celles qui peuvent s'installer localement dans un système forestier (Blanc & al., 2003, Flore, 2005). Bien qu'il soit difficile de donner un ordre d'importance quant en ce qui concerne l'action des déterminants environnementaux sur les caractéristiques de la végétation, leur influence peut se résumer en deux facteurs fondamentaux (Fournier & al., 2001) : (1) Premièrement, les facteurs climatiques qui organisent la végétation en fonction de grandes unités éco-paysagères définissant, de plus, les variations de flore et de leur structure les plus profondes qui différencient les régions. (2) Deuxièmement, les facteurs édaphiques qui structurent les groupements forestiers, particulièrement les formations forestières, à l'intérieur desquelles s'observent des fines différenciations floristiques, amplifiées par la géomorphologie du terrain, et facilement perceptibles par des regroupements spatiaux préférentiels des populations d'arbres.

On comprend dès lors les difficultés qui surgissent dans la pratique à mettre en évidence, de façon précise des groupes floristiques suffisamment caractéristiques de chaque ensemble forestier (Lebrun et Gilbert, 1954). Toutefois, nombreux auteurs (Evrard, 1968 ; Blanc, 1998; Freycon & al., 2003; Morneau, 2007) attestent que, malgré ces différenciations internes, ces divers groupes forestiers sont unis par des relations syngénétiques variables en fonction de la topographie locale, du régime hydrographique, de la nature et de la vitesse de dépôt des sédiments. Pour faciliter la compréhension de la dynamique syngénétique des peuplements

forestiers, il est important de décortiquer finement le partitionnement de la communauté forestière. Ce qui du reste permet de caractériser chaque micro-habitat et d'identifier les espèces associées. La distribution des abondances spécifiques n'étant pas toujours suffisamment connue, il est probable que des particularités floristiques locales puissent passer inaperçues pourtant importantes pour asseoir les bases d'un plan d'aménagement cohérent, qui assure une bonne gestion de la diversité biologique des groupements forestiers.

I.2 Gestion durable des forêts tropicales, un véritable casse-tête pour les forestiers

En forêts tropicales, de nombreux processus interagissent dans leur fonctionnement et dans l'organisation spatiale des populations d'arbres. Leurs analyses suscite généralement des nouvelles problématiques biologiques dont la compréhension contribue à apporter d'une part les éléments justificatifs d'une gestion raisonnée et durables de ces forêts, et d'autre part à fournir des données conduisant au développement des méthodes qui définissent les règles pratiques de gestion (Counteron, 2006). La complexité floristique, structurale et fonctionnelle qu'on y observe nécessite le développement des stratégies ou des méthodes pouvant conduire à une simplification, qui conduirait à une hiérarchisation et qui faciliterait la compréhension du fonctionnement de ces forêts et de surcroît, le travail même de gestion (Ngo Bieng, 2007). Les préférences écologiques étant diverses à l'intérieur de chaque ensemble forestier, ces stratégies consiste à définir des regroupements floristiques, et à les associer à des contraintes environnementales abiotiques, fondées notamment sur la géomorphologie, puis à stratifier les efforts de conservation au sein de chacun d'entre-elles (Pélissier, 2005). Aussi, la caractérisation d'une entité forestière ou d'une formation forestière basée sur sa composition floristique donne souvent des renseignements généraux qui tiennent compte de l'ensemble de la masse forestière. Cette approche fournit de manière générale très peu des renseignements internes liés aux variabilités géomorphologiques sur la composition floristique réelle de la zone forestière étudiée. Pour remédier à cette situation, il est important que les résultats de descriptions floristiques et structurales soient des expressions de l'induction des variabilités géomorphologiques internes sur les descriptifs de la végétation. Dans ces conditions, on estime que procéder par une approche typologique décrivant la végétation forestière en tenant compte des variations spatiales de

l'environnement, fournirait des informations qui faciliteraient outre la compréhension du fonctionnement des forêts tropicales, mais aussi le travail de leur gestion durable.

I.3 Le carbone forestier des forêts tropicales, une préoccupation majeure pour la planète terre entière

Dans le cadre des accords internationaux sur la limitation des émissions de gaz à effet de serre (GES) et de l'augmentation de la température, le cas des forêts et en particulier des forêts tropicales est un point important. Si l'on tient compte de la quantification des GES dans l'atmosphère, le stock de carbone est celui sur lequel il est le plus facile d'agir. Cependant, les forêts tropicales sont principalement situées dans des pays au développement rapide (bassin de l'Amazonie, bassin du Congo, Asie du Sud-est). Ces pays qui connaissent une forte croissance économique et démographique ne souhaitent pas voir leur développement être réfréné par des protections trop rigoureuses de leurs ressources naturelles.

Lors de la seizième Conférence des parties à la convention sur les changements climatiques de Cancún (2010), le programme REDD+ a été adopté. REDD+ signifie "Reducing Emissions from Deforestation and Forest Degradation" (Réduction des Emissions venant de la Déforestation et de la Dégradation des forêts). Le "+" indique l'intégration dans le programme de notions de protection des forêts, d'augmentation des stocks de carbone forestiers, et de gestion durable des forêts. Le programme REDD+ doit permettre de développer une "économie verte" en rendant les investissements qui ont des effets positifs sur le climat plus séduisants (Sukhdev & al., 2012). Le programme REDD+ doit aussi permettre aux états qui protègent leurs forêts d'accéder au marché du carbone. L'évitement de la destruction ou de la dégradation de la forêt génère un "crédit carbone" et la vente de ce crédit sur le marché du carbone permet de compenser la perte économique due à la protection de la forêt. Dans ce cadre, le REDD+ met en place des conventions entre états définissant et validant les efforts de protection. C'est pourquoi, en Afrique tropicale, les pays dits du bassin forestier congolais ont manifesté leur ferme volonté de participer à ce processus REDD+. Dans ce contexte, connaître les stocks de carbone forestiers devient une nécessité pour la RD Congo, un des pays du bassin forestier congolais, qui s'est engagée dans ce processus REDD+.

Il est alors nécessaire de pouvoir chiffrer les quantités de carbone contenues dans les forêts tropicales (figure 1). Cependant, étant donné la forte diversité des forêts tropicales, il s'avère nécessaire d'identifier les groupes forestiers et estimer les stocks de carbone pour chaque groupe forestier identifié (Houghton, 2005).

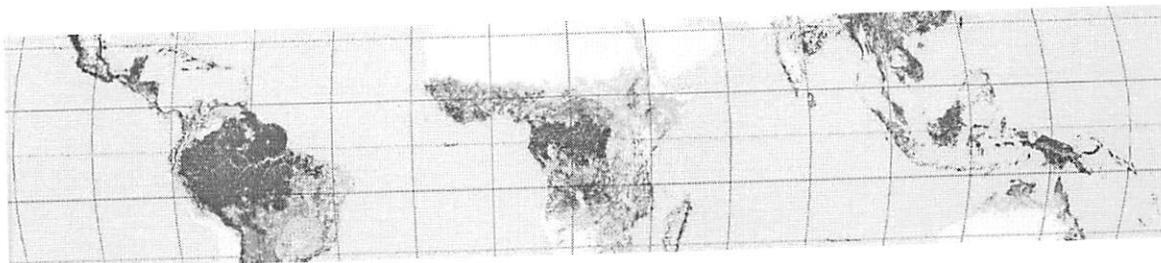


Figure 1 - Forêts comprises entre les deux tropiques. La définition de la FAO désigne comme "tropicale" une forêt dans laquelle la température mensuelle moyenne est toujours supérieure à 18 °C (FAO, 2000).

I.4 Importance de la diversité dans la gestion des forêts tropicales africaines

Les études sur la diversité végétale de la RD Congo sont nécessaires pour faciliter la gestion des forêts congolaises en particuliers et africaines en général. En RD Congo, ces études semblent être urgentes vu les taux de déforestation et de dégradation que connaissent les forêts congolaises. C'est en RD Congo que les taux de déforestation et de dégradation de forêts sont les plus élevés des tous les pays du bassin du Congo (Ernst & al., 2010). Les forêts de la RD Congo paraissent plus ou moins intactes et préservées des perturbations anthropiques quand on les regarde sur une carte, cela n'est pas du tout vrai en réalité (Carl, 2007). L'organisation des communautés végétales, le lien entre la diversité et le fonctionnement de l'écosystème sont utiles à la fois pour les gestionnaires et les écologues. Pour le gestionnaire, il s'agit de mettre en place des stratégies efficaces de préservation de la biodiversité. Pour l'écologue, il s'agit de chercher des réponses aux questions majeures dont certaines ne sont toujours pas résolues à l'heure actuelle (Morneau, 2007). Connaître le rôle respectif des mécanismes à l'origine de la diversité spécifique est une étape importante pour la gestion et la conservation des communautés d'arbres au sein des écosystèmes (Blanc & al., 2003). La mesure de la diversité est d'importance capitale pour la recherche écologique et la conservation de la biodiversité (Lu & al., 2007). Le scientifique peut

chercher à trouver quel site est plus diversifié que l'autre et quelles en sont les causes. Les résultats de la recherche pourraient ainsi constituer une base solide pour les gestionnaires. La recherche scientifique est sollicitée en vue de mettre en place des bonnes orientations en matière de gestion des écosystèmes forestiers (Nguingiri, 1998). Une bonne gestion des forêts requiert tout d'abord une meilleure connaissance de sa composition et de son fonctionnement. Selon Lenoir (2009), il est mieux de concentrer plus d'efforts de gestion sur les sites des hautes altitudes car ils constituent les plus souvent des zones de refuges pour les espèces végétales et animales et sont aussi très fragiles.

I.5 Etat de la question

Les forêts sont toujours en étroite relation avec les facteurs édaphiques et physiographiques du milieu. Les facteurs environnementaux dont l'altitude et les facteurs édaphiques permettent de comprendre en partie l'architecture des forêts (Fournier & al., 1983). C'est ainsi que sur une petite surface on peut trouver des peuplements forestiers qui présentent des différences en structure, composition floristique, densité et diversité végétale. Selon Lyagabo (2012), on observe à Uma, vers les kilomètres 70 à 90 sur la route de l'Ituri, des variations édaphiques et physiographiques se traduisant par deux grands groupes forestiers suivant un transect nord-sud partant de la rivière Tshopo au nord vers les contreforts des Inselbergs qui se prolongent en une chaîne de basses montagnes vers le Parc National de Maïko. Il s'agit successivement, et suivant un gradient topographique et altitudinal, des forêts planitiaires le long de la vallée de la rivière Tshopo à 350-500 m d'altitude et des forêts sur sols profonds et bien drainés combinées aux forêts sur éboulis rocheux à la base des inselbergs qui culminent vers 500-800 m d'altitude. Ces deux faciès de végétation constituent une mosaïque dont, dans l'optique d'une gestion durable, aucune des pièces ne saurait être négligée.

Plusieurs auteurs ont fait l'étagement de la végétation selon le gradient altitudinal (Quense, 2011, Cirimwami, 2013). Cirimwami, 2013 l'a spécialement testé dans la tranche ≥ 500 m d'altitude de la forêt de Uma. Il a constaté que la diversité augmente avec l'altitude. De la même façon que les formations végétales varient sur un gradient altitudinal, la diversité aussi suit cet étagement (Lenoir, 2009). Cet auteur a trouvé qu'en général les espèces végétales commencent à remonter

vers les altitudes supérieures suite aux effets de réchauffement conduisant ainsi à une forte diversité à ces altitudes.

Quant à la variation des stocks de carbone le long du gradient altitudinal dans les forêts du bassin forestier congolais, plusieurs recherches montrent que les forêts de haute altitude stocks plus le carbone que celles de basse altitude (Gonmadje & al., 2013 ; Katembo & al., 2014). Ces recherches confirment que les tranches altitudinales supérieures sont soumises à un stress hydrique et de ce fait, leurs pieds d'arbres ont des diamètres à hauteur de poitrine (dhp) moindres que ceux des tranches altitudinales inférieures aux sols riches par les dépôts des sédiments provenant des tranches d'altitudes supérieures. Ceci justifie la présence majoritaire des espèces de forte densité de bois (wgs), un paramètre important dans l'estimation des stocks de carbone forestier, dans les tranches altitudinales supérieures des forêts du bassin du Congo.

Dans les plateaux (basse altitude), les gros arbres (en dhp) sont plus nombreux que sur les pentes aux altitudes supérieures (Fournier & al., 1983). Ceci laisse croire que la structure diamétrique sur un gradient altitudinal ne reste pas constante. Mais, selon Pierlot, 1966 cité par Fournier & al., 1983, en RD Congo (cas du Kivu), il semble que le gradient altitudinal n'influencerait pas la structure diamétrique. Pour ce qui est de la densité, il a été trouvé aux Petites Antilles que la densité (nombre de tiges par hectare) augmente aux altitudes médianes (Rousteau, 1996).

I.6 Problématique

Dans le bassin forestier congolais, les problématiques liées au stockage de carbone dans les forêts tropicales requièrent l'estimation de ce stock. Que ce soit dans le cadre du REDD+ ou du cycle du carbone (échange avec l'atmosphère), l'estimation des stocks de carbone doit être associée à un groupement végétal, étant donné la forte diversité floristique de ces forêts (Houghton, 2005). Si ce groupement est identifié sur base d'un facteur environnemental bien connu, ceci pourra contribuer à connaître certains facteurs de l'environnement responsables des fluctuations des stocks de carbone (Pélissier, 2005). Les forêts du bassin du Congo étant soumises à une forte pression de l'homme depuis quelques décennies (Molinario & al., 2015), dans une optique de gestion durable, les problématiques liées à la compréhension des facteurs de

l'environnement responsables de la diversité de certains faciès de ces forêts s'avèrent aussi urgentes à aborder dans les recherches forestières (Couteron, 2006).

L'altitude de la région de Kisangani est moyennement faible (elle est comprise entre 350 et 500 m selon les milieux). Uma, notre zone d'étude, se trouvant dans la cuvette congolaise, la présence des altitudes au-delà de 500 m explique mieux la curiosité d'y réaliser une étude écologique suivant le gradient altitudinal pour un chercheur forestier qui n'a pas assez de moyens pour envisager un échantillonnage systématique de variables environnementales (sols, paramètres environnementaux pouvant être obtenus dans les images satellitaires à haute résolution spatiale) ou autres paramètres de l'environnement pouvant expliquer l'organisation spatiale de la diversité et la structure (stocks de carbone dans notre cas) de la forêt.

I.7 Hypothèses de l'étude

La présente étude se base sur l'affirmation selon laquelle si les études menées dans les forêts tropicales ont eu à déceler de manière qualitative et quantitative des différences dans la composition floristique, la diversité floristique et la structure forestière d'une région à une autre, il reste évident que les raisons internes et fondamentales de ces individualisations non seulement dans l'ensemble du massif forestier tropical mais également à l'intérieur de chaque cycle forestier sont rarement abordées dans le milieu forestier. La présente étude envisage donc d'aborder le problème en se focalisant plus sur 2 faciès végétaux d'une unique entité forestière composée des forêts planitiaires (350-500 m d'altitude) et des forêts sur sols profonds et bien drainés combinées aux forêts sur éboulis rocheux (500-800 m d'altitude). Etant donné que ces deux faciès végétaux suivent un transect altitudinal, on peut avancer l'**hypothèse centrale** selon laquelle, dans cette entité forestière, sous le seuil de 500 m d'altitude, les 2 faciès végétaux forment des groupes forestiers différents.

Sur base de la littérature développée supra, deux **hypothèses secondaires** ont été formulées :

- (i) dans la forêt de Uma, le faciès végétal ≥ 500 m d'altitude est plus diversifié que celui < 500 m d'altitude ;
- (ii) les stocks de carbone du faciès végétal ≥ 500 m d'altitude sont plus importants que celui < 500 m d'altitude.

I.8 Objectifs de l'étude

La présente étude cherche à mettre en évidence, sous un seuil de 500 m d'altitude, les groupes forestiers dans une même entité forestière. Cet **objectif explicite** poursuivi vise à montrer que, sous ce seuil d'altitude choisi, les groupes forestiers à étudier sont (i) diversifiés différemment et (ii) ont des stocks de carbone différents.

I.9 Intérêt de l'étude

L'intérêt de la présente étude cadre avec l'aménagement durable et la gestion rationnelle des écosystèmes forestiers tropicaux en général et des entités mises en réserves ou tendant à être mises en réserves en particulier. Dans le cadre de la présente étude et surtout qu'au regard du caractère intact de son massif forestier, le projet REDD+ de l'Université de Kisangani (UNIKIS) a installé 20 parcelles permanentes pour la quantification et le suivi de la dynamique des stocks de carbone forestier dans la forêt de Uma dans le territoire de Ubundu en RD Congo. La présente étude constitue donc une réponse positive à l'insuffisance des recherches scientifiques dans la quantification et le suivi de la dynamique des stocks de carbone forestier prouvée par le manque des dispositifs permanents dans ce milieu. Ces parcelles permanentes contribueront à soutenir la vision d'une gestion rationnelle de REDD+ dans laquelle plusieurs organisations tant nationale (UNIKIS) qu'internationales sont impliquées.

I.10 Structure du mémoire

Après l'introduction générale (I) et la présentation du milieu d'étude et des détails à propos de matériel et des méthodes (Chapitre 1), nous développons la partie résultats (Chapitre 2) de nos recherches pour répondre aux différentes questions soulevées ci-dessus. Avant de présenter la conclusion générale de ce travail et de dresser la série de suggestions (II) pour les études ultérieures qui cadreront avec la thématique poursuivie dans ce travail, une discussion générale est développée au chapitre 3. Dans ce dernier chapitre, les différents résultats sont confrontés entre eux puis, débattus par rapport aux résultats d'autres auteurs.

Chapitre 1 - Cadre méthodologique

1.1 Zone d'étude

Les travaux ont été effectués dans l'une des forêts du terroir de Uma, (figure 1.1). Ce terroir, localisé à environs 90 Km à l'Est de la ville de Kisangani sur la route Ituri, est situé entre 0° 34' N et 25° 52' E. Sur le plan administratif, il se trouve dans la collectivité Bakumu-Kilinga, territoire de Ubundu, Province de la Tshopo en République Démocratique du Congo. Il est localisé au sein du District Centro-oriental de Maïko, du secteur forestier central dans le domaine congolais et dans la région Guinéo-congolaise » (Ndjele, 1988).

Il est caractérisé par une forte régularité des précipitations (1500 à 2000 mm par an, avec une moyenne de 1750 mm (Vandenput, 1981) sans mois physiologiquement sec). Sa température annuelle moyenne est proche de 25 °C.

Le relief présente un gradient altitudinal qui passe progressivement de 350 m au nord, dans la vallée de la rivière Tshopo, à 750 m au sud où l'on remarque la présence de chaînes d'inselbergs. En allant des altitudes basses vers des altitudes élevées, la composition texturale du sol varie de l'argile au sable jusqu'aux éboulis rocheux.

Les formations végétales suivantes sont observées dans les forêts du terroir de Uma : les jachères, dans les périphéries de la route nationale numéro 4, formées par les champs abandonnés des villageois, les formations secondaires vieilles ainsi que les forêts matures mixtes et monodominantes. On y rencontre également de formations végétales sur sol hydromorphe aux abords des cours d'eau ainsi que des végétations sur sol inondé. La situation de la zone d'étude en RDC est affichée sur la figure 1.1 ci-dessous :

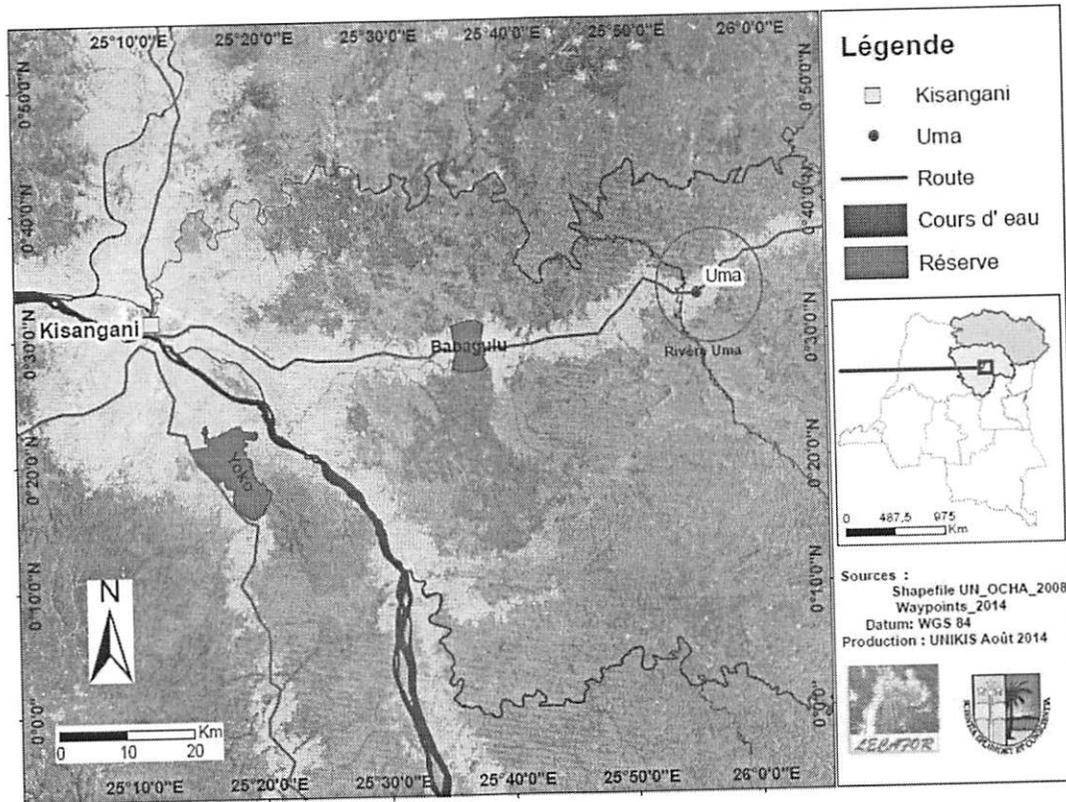


Figure 1.1 - Localisation du site d'étude

➤ **Les groupes forestiers considérés, sols, topographie et altitude**

Du point de vue de la biodiversité végétale, la forêt de Uma est considérée comme hot-spot de la biodiversité végétale suite à la présence des Inselbergs. Cette forêt, située de part et d'autres de la route nationale numéro 4 (route Ituri), se caractérise par des variations édaphiques et physiographiques se traduisant par deux grands groupes forestiers suivant un transect nord-sud partant de la rivière Tshopo au nord vers les contreforts des inselbergs qui se prolongent en une chaîne de basses montagnes vers le Parc National de Maïko. Il s'agit successivement, et suivant un gradient topographique, des forêts planitiaires installées sur un sol argileux le long de la vallée de la rivière Tshopo à 350-500 m d'altitude et des forêts sur sols profonds et bien drainés à substrat sableux combinées avec les forêts sur éboulis rocheux à la base des inselbergs (500-800 m).

Aussi, peut-on observer dans les forêts de Uma des formations végétales suivantes : les jachères, dans les périphéries de la route nationale numéro 4, formées par les champs abandonnés des villageois, les formations secondaires vieilles ainsi que les forêts matures mixtes et monodominantes. On y rencontre également de formations végétales sur sol hydromorphe aux abords des cours d'eau ainsi que des végétations sur sol inondé.

1.2 Méthodes

1.2.1 Mise en place des parcelles forestières et prise des mesures sur les arbres

Dans le cadre du projet de Réduction des Emissions dues à la Déforestation et de la Dégradation des forêts (REDD+/UNIKIS), 20 parcelles forestières ont été mises en place, en Mars-Avril, 2014, dans les biotopes de la forêt communautaire de Uma sur base du gradient altitudinal : 10 parcelles dans un faciès végétal à moins de 500 m d'altitude sur le substrat argileux et 10 autres dans un autre à plus de 500 m d'altitude sur le substrat sableux à la base des Inselbergs (tableau 1.1). Chacune des parcelles a une superficie de ¼ hectare (ha) (50 m x 50 m). Le recensement (espèce végétale) et les mesures ont concerné seulement les individus de diamètre à hauteur de poitrine (dhp) supérieur ou égal à 10 cm. L'unique mesure qui a été prise sur les arbres à dhp \geq 10 cm est la circonférence de l'arbre à 1,30 m au-dessus du niveau du sol.

Tableau 1.1 - Identité des parcelles d'inventaire utilisée dans les analyses des données avec leurs altitudes respectives (à gauche, tranche \geq 500 m = tranche supérieure et à droite, tranche < 500 m d'altitude = tranche inférieure. ID=Identifiant).

ID Parcelle	Altitude	ID Parcelle	Altitude
Tranche_sup1	512	Tranche_inf1	463
Tranche_sup2	708	Tranche_inf2	476
Tranche_sup3	752	Tranche_inf3	499
Tranche_sup4	509	Tranche_inf4	473
Tranche_sup5	556	Tranche_inf5	444
Tranche_sup6	559	Tranche_inf6	424
Tranche_sup7	600	Tranche_inf7	450
Tranche_sup8	608	Tranche_inf8	447
Tranche_sup9	650	Tranche_inf9	438
Tranche_sup10	705	Tranche_inf10	465

1.2.2 Analyse des données

➤ Analyses multivariées

Dans le but d'identifier les groupes forestiers dans la zone d'étude, le logiciel R version 3.1.3 nous a permis de réaliser une analyse factorielle des correspondances (AFC) sur un tableau d'abondance croisant parcelle d'inventaire × espèce. L'AFC permet de résumer le tableau en déterminant les principaux axes de structuration qui fournissent une bonne approximation de la réponse des espèces à un facteur du milieu (Legendre et Legendre, 1998). Les axes fournis par l'AFC peuvent être interprétés chacun comme une dimension de séparation ou de variabilité inter ou intrazones.

Des ordinations ont permis d'apprécier les affinités floristiques entre les parcelles d'une même tranche altitudinale et d'en dégager la variabilité entre-elles mais aussi avec celles des parcelles établies dans une tranche altitudinale opposée. L'ordination est le terme collectif pour les techniques multivariées qui arrangent les parcelles et des observations quelconques le long d'axes sur base de données de la composition spécifique ou n'importe quelle autre variable prise sur le terrain. Le résultat en deux dimensions (2 axes) est un diagramme où les parcelles sont représentées par des points. Le but de l'ordination étant d'arranger ces points de façon à ce que des points qui sont proches l'un de l'autre correspondent à des parcelles qui ont une composition similaire et que les points éloignés correspondent à des parcelles à composition floristique différente (Thioulouse & al., 1995). Ce réarrangement permet de synthétiser les résultats qui sont ensuite interprétés à l'aide de ce qui est connu de l'environnement des parcelles (gradient altitudinal dans notre cas). Si on n'a pas de données environnementales explicites, on le fait de manière indirecte et s'il y en a, de manière formelle. C'est pourquoi, nous avons procédé à l'analyse indirecte à savoir une AFC car ici, l'ordination est construite sur base des parcelles/espèces uniquement et sera interprétée globalement sur base de la variation du gradient altitudinal. L'AFC nous a aussi permis de mettre en évidence les espèces importantes des groupes forestiers identifiés dans la zone forestière étudiée.

A l'aide du logiciel BiodivR, nous avons calculé l'indice de similarité de Morisita-Horn (MH) pour tester la similarité floristique entre les deux tranches d'altitude. L'indice MH représente le rapport entre la probabilité que 2 individus tirés au hasard dans deux catégories appartiennent à

la même espèce et la probabilité que 2 individus tirés au hasard dans la même catégorie appartiennent à la même espèce. (Hardy, 2009). Cet indice varie entre 0 à 1 et deux groupes forestiers sont floristiquement différents si MH tend vers 0 (soit toutes les valeurs < 0,5) et identiques si MH tend vers 1 (soit toutes les valeurs $\geq 0,5$; valeur proche de 1). Il se calcule par la formule ci-dessous:

$$MH = \frac{2\sum(a_{ni} \times b_{ni})}{(d_a + d_b) \times a_N \times b_N}$$

Où a_N = nombre d'individus de la catégorie a ; b_N = nombre d'individus de la catégorie b ; a_{ni} = nombre d'individus de l'espèce i dans la catégorie a ; b_{ni} = nombre d'individus de l'espèce i dans la catégorie b ; d_a : nombre d'espèces spécifiques à la catégorie a ; d_b = nombre d'espèces spécifiques à la catégorie b (Magurran, 2004).

Suite à la différence altitudinale sous un seuil de 500 m entre les deux zones d'inventaire, nous attendons à ce que ces deux zones d'inventaire n'aient pas de fortes relations floristiques entre-elles.

➤ Evaluation de la diversité spécifique entre les tranches d'altitude

A partir du logiciel Past, l'indice de diversité alpha de Fisher (α) a été calculé afin de comparer la diversité entre les tranches altitudinales. Cet indice a l'avantage d'être peu sensible à l'effort d'échantillonnage et de ne nécessiter que la connaissance du nombre total d'individus d'une communauté forestière et du nombre d'espèces correspondant (Leigh & al., 2000, Boyemba, 2011). Il se calcule de la manière suivante :

$$S = \alpha \ln \left(1 + \frac{N}{\alpha} \right)$$

où α = diversité alpha de Fisher, N = nombre d'individus, et S = nombre d'espèces.

Pour tester les différences de cet indice entre les deux tranches d'altitude, nous avons réalisé des analyses de t de student. La différence est significative entre les groupements végétaux si la p-value est inférieure à 0,05. Pour ce paramètre testé, la valeur du p et celle de ddl (degré de

liberté) sont données. Les tests de corrélation ont permis d'apprécier la corrélation entre l'altitude et l'indice de diversité alpha de Fischer.

L'indice de diversité (H') de Shannon (1948) a été calculé. Il s'agit d'un indice couramment utilisé pour apprécier l'hétérogénéité et la diversité d'un biotope (Adou & *al.*, 2007 ; Kouamé & *al.*, 2008). Il se calcule en utilisant la formule suivante: $H' = -\sum(n_i/N) \times \ln(n_i/N)$ où n_i est le nombre d'individus d'une espèce i et N le nombre total des individus de toutes les espèces du biotope considéré. L'équilibre entre les espèces, qui donne une valeur forte de H' , est considéré comme ce qui caractérise une bonne biodiversité, susceptible de se maintenir durablement (Adou, 2007). Cet indice a été calculé pour chaque tranche altitudinale.

Pour mesurer la diversité spécifique à partir d'une liste d'espèces et leurs fréquences associées, l'indice de Simpson cité par Rennolls & *al.*, 2006, a été utilisé. Cet indice rend compte de l'abondance d'une ou quelques espèces. Il n'est pas entièrement indépendant de la taille de l'échantillon et est fortement dépendant du nombre d'espèces rares (Rennolls & *al.*, 2006). La diversité des tranches altitudinales utilisées pour comparaison a pu être estimée grâce à cet indice qui a été calculé pour les 2 tranches d'altitude. La comparaison de ces indices nous a permis d'estimer l'homogénéité des tranches altitudinales étudiées. Cet indice se calcule de la manière suivante :

$$D = \frac{\sum_{i=1}^s ni(ni - 1)}{N(N - 1)}$$

Où s : nombre total d'espèces, n_i : fréquence de l'espèce i , N : somme des fréquences de toutes les espèces dans l'échantillon et D : indice de Simpson.

Pour caractériser la richesse spécifique de 2 entités forestière étudiées, nous avons élaboré une courbe aire-espèce. Le logiciel estimate S est intervenu dans l'élaboration de cette courbe aire-espèce par tranche d'altitude. La réalisation de cette courbe passe par le comptage des espèces sur une petite surface S_1 . La surface S_i est additionnée à cette première surface et le nombre d'espèces nouvelles est additionné au nombre recensé à l'étape précédente. L'ajout de la surface S_i est continué jusqu'à atteindre une surface S_n à partir de laquelle le nombre d'espèces nouvelles est quasi nul. La surface S_n est appelée aire minimale (Gounot, 1969). Elle représente

la plus petite surface correspondant à un échantillon qualitatif représentatif de la zone étudiée. L'étude floristique et structurale de cette surface garanti donc d'avoir une étude caractéristique de la zone étudiée. En traçant une courbe ayant en abscisse la taille de la surface considérée et en ordonnée le nombre d'espèces présentes sur cette même surface, l'aire minimale est définie comme étant la surface correspondant au point de courbure maximale de cette courbe aire-espèces. Dans la présente étude, S1 a été définie comme étant une parcelle de ¼ ha.

➤ Paramètres structuraux étudiés

Le diamètre relevé sur les arbres a permis de calculer la surface terrière des parcelles étudiées et d'établir la distribution des tiges en classes de diamètre de 10 cm. Afin de comparer les structures diamétriques de deux tranches altitudinales étudiées, 13 classes de diamètre ont été constituées.

La surface terrière représente, pour une tranche d'altitude, la somme des surfaces terrières individuelles de n arbres mesurés. Elle est exprimée en m²/ha.

$$G = \sum_{a=1}^n \frac{\pi D_a^2}{4}$$

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

Pour tester les différences de densité, de surface terrière et de distribution diamétrique entre les deux tranches d'altitude, nous avons réalisé des tests t de student pour les deux premiers paramètres et un test du Chi-carré (χ^2) pour le dernier paramètre.

Dans la présente étude, l'estimation des stocks de carbone a été déterminée à partir de l'équation allométrique de Chave & al., 2014, applicable pour les espèces végétales des forêts tropicales. L'équation considérée dans la présente étude, utilise deux données d'entrée qui sont le dhp et la densité du bois.

$$\begin{aligned}
 (\text{Carbone forestier})_{\text{est}} &= 0,49 \\
 &* \exp\left(-1,803 - 0,976 * E + 0,976 * \log(\text{wsg}) + 2,673 * (\log(\text{dhp})) - 0,0299 \right. \\
 &\left. * (\log(\text{dhp}))^2\right) \text{ avec } E = -0,2 \text{ pour la zone d'étude.}
 \end{aligned}$$

De façon générale, la densité (wsg) de bois est prédite à partir de l'espèce (wood_density_DRYAD_2014-06-27). Dès lors que les arbres inventoriés ne sont pas identifiés ou si l'espèce relevée n'a pas une densité connue, il faut une stratégie de remplacement de valeurs manquantes. Habituellement, cette stratégie est soit taxinomique (utilisation d'information taxinomique incomplète : genre, famille,...) soit locale (densités de bois des arbres proches). (Quentin, 2012).

Pour tester les différences des stocks de carbone entre les deux tranches d'altitude, nous avons réalisé un test t de student. Les tests de corrélation ont permis de voir la corrélation entre l'altitude et les stocks de carbone.

Chapitre 2 - Résultats

2.1 Identification des groupes forestiers

Afin de mieux identifier les groupes forestiers dans l'entité forestière en étude, une analyse factorielle des correspondances (AFC) a été faite. De cette analyse, 2 groupes floristiques s'individualisent. Les deux premiers axes (figure 2.1) de l'AFC réalisée sur le tableau parcelle \times espèce expriment environ 25 % de l'inertie totale, c'est-à-dire que 25 % de l'information du tableau des données sont contenues dans les deux premières dimensions.

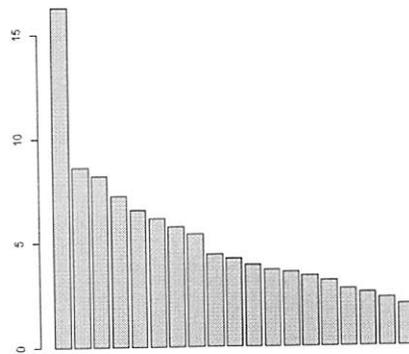


Figure 2.1 - Pourcentages des axes de l'AFC

Sous un seuil de 500 m d'altitude, l'axe 1 sépare les parcelles d'une même tranche d'altitude tandis que l'axe 2 montre la démarcation entre les parcelles de deux tranches altitudinales considérées (Figure 2.2 à droite).

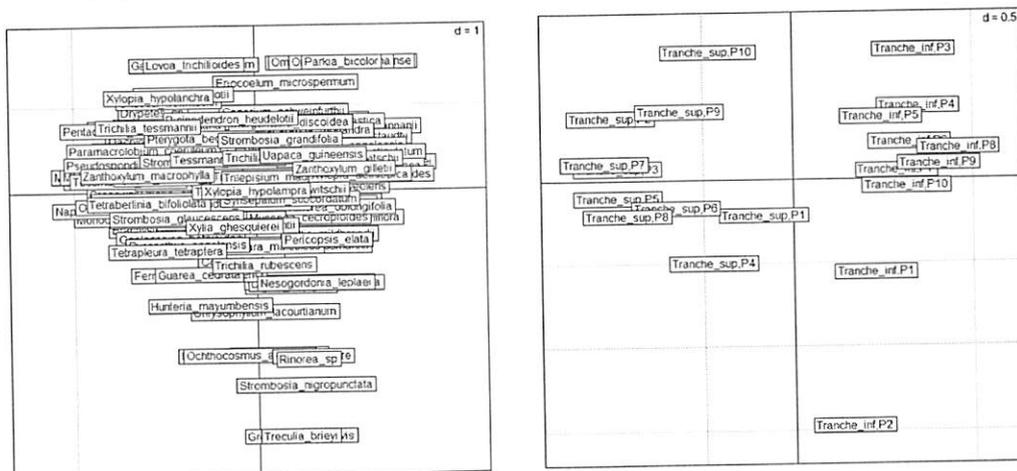


Figure 2.2 - Ordination des espèces (gauche) et des parcelles d'inventaire (droite) par l'AFC

De la figure 2.2, il ressort que l'axe 1 peut être pris pour un axe de distance entre les parcelles d'une même tranche altitudinale tandis que l'axe 2 est celui de la démarcation des parcelles sur base de l'altitude sous un seuil de 500 m. En se basant sur l'axe 2 (axe d'altitude dans notre cas), la différence entre les groupements identifiés est induite par l'espèce *Julbernardia seretii*, qui est la plus abondante dans la tranche ≥ 500 m d'altitude, et l'espèce *Petersianthus macrocarpus* qui est la plus abondante dans la tranche < 500 m d'altitude (figure 2.3).

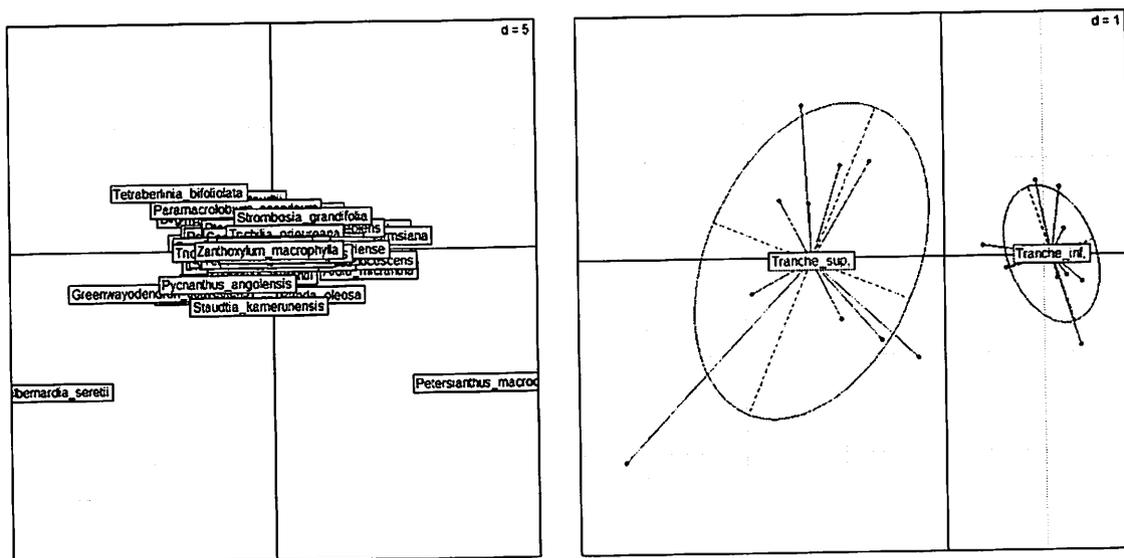


Figure 2.3 - Illustration des espèces abondantes (gauche) et affinités floristiques entre les parcelles (droite) des groupements identifiés par l'AFC.

En se basant sur l'indice de similarité de Morisita-Horn, la similarité floristique entre ces 2 tranches altitudinales est de 47,7 %. Ceci prouve jusqu'à quel seuil les formations de ces tranches d'altitude ne sont floristiquement identiques.

2.2 Diversité de chaque tranche altitudinale

Les indices calculés pour chacune des tranches altitudinales étudiées montrent que spatialement la diversité spécifique est élevée. Les valeurs des indices de Simpson, de Shannon – Weaver et de l'équitabilité de Piélu montrent que, dans la zone d'étude, l'effet de l'accroissement de la densité floristique n'est pas fonction d'un accroissement de la diversité spécifique. Le tableau 2.1

et la figure 2.4 ci-dessous montrent que la tranche ≥ 500 m d'altitude, malgré sa densité faible comparativement à celle de la tranche < 500 m, est la plus diversifiée.

Tableau 2.1 - Indices de diversités calculés pour chacune des tranches altitudinales étudiées.

Richesse/Indices de diversité	Effectif	
	Tranche ≥ 500 m	Tranche < 500 m
Nombre d'individus	1000	1145
Richesse spécifique	144	140
Indice de Simpson	0,9791	0,9698
Indice de Shannon Weaver	4,313	4,135
Equitabilité	0,8678	0,8368
Indice de Fisher_alpha	46,13	41,86

Quant aux analyses statistiques, en se basant sur l'indice de Fisher-alpha ($34,41 \pm 11,32$ pour la tranche ≥ 500 m d'altitude et $27,44 \pm 4,53$ pour la tranche < 500 m d'altitude), elles montrent la différence de diversité entre les 2 tranches altitudinales considérées ($t = 2,5728$; $dl = 9$ et $p\text{-value} = 0,03005 < 0,05$).

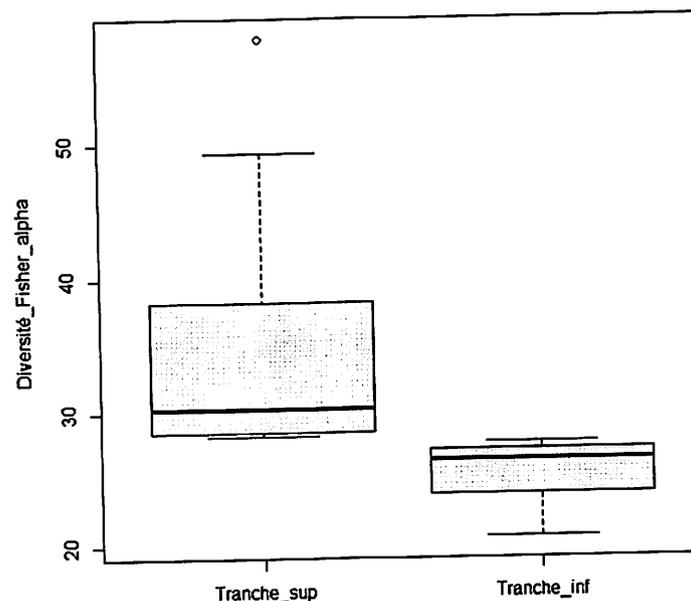


Figure 2.4 - Dispersion des valeurs de l'indice de Fisher-alpha entre les 2 tranches altitudinales considérées. La boîte représente l'intervalle dans lequel sont regroupés 50 % des valeurs de l'indice étudié, la barre épaisse à l'intérieur de la boîte indique la valeur moyenne, la barre basse indique la valeur minimale, la barre haute indique la valeur maximale de cet indice.

La figure 2.5 ci-dessous montre que la corrélation entre l'altitude et l'indice de diversité de Fischer-alpha est faible et positive ($r = 0,498$). Quant à la vérification de la significativité de la corrélation entre les deux paramètres susmentionnés, on voit qu'il y a une corrélation entre ces deux paramètres ($t=2,437$, $df=18$, $p\text{-value} = 0,02542 < 0,05$). Et comme $r = 0,495$; cette corrélation est moyennement forte. Avec R-squared qui vaut $0,2063$, c'est-à-dire que la variation de l'indice de Fischer_alpha expliquée par l'altitude ne vaut que $20,68\%$. Ceci prouve qu'il existe d'autres facteurs qui peuvent expliquer la variation de la diversité floristique.

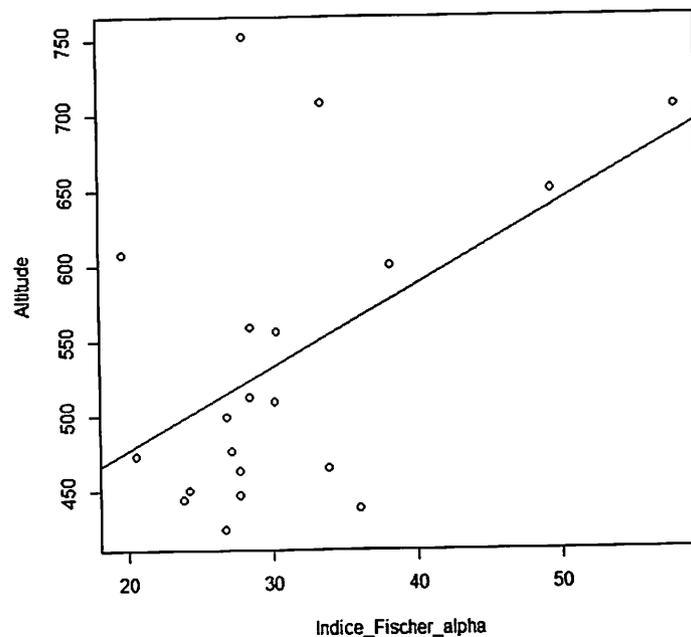


Figure 2.5 – Corrélation entre l'indice de Fischer_alpha et l'altitude

La courbe aire-espèce pour l'ensemble des relevés de chaque tranche altitudinale est affichée sur la figure 2.6 ci-dessous. Cette courbe aire-espèces est régulière avec une forme croissante. Ceci prouve que l'accumulation du nombre d'espèces augmente avec l'augmentation de la surface d'inventaire dans chacune des tranches altitudinales étudiées.

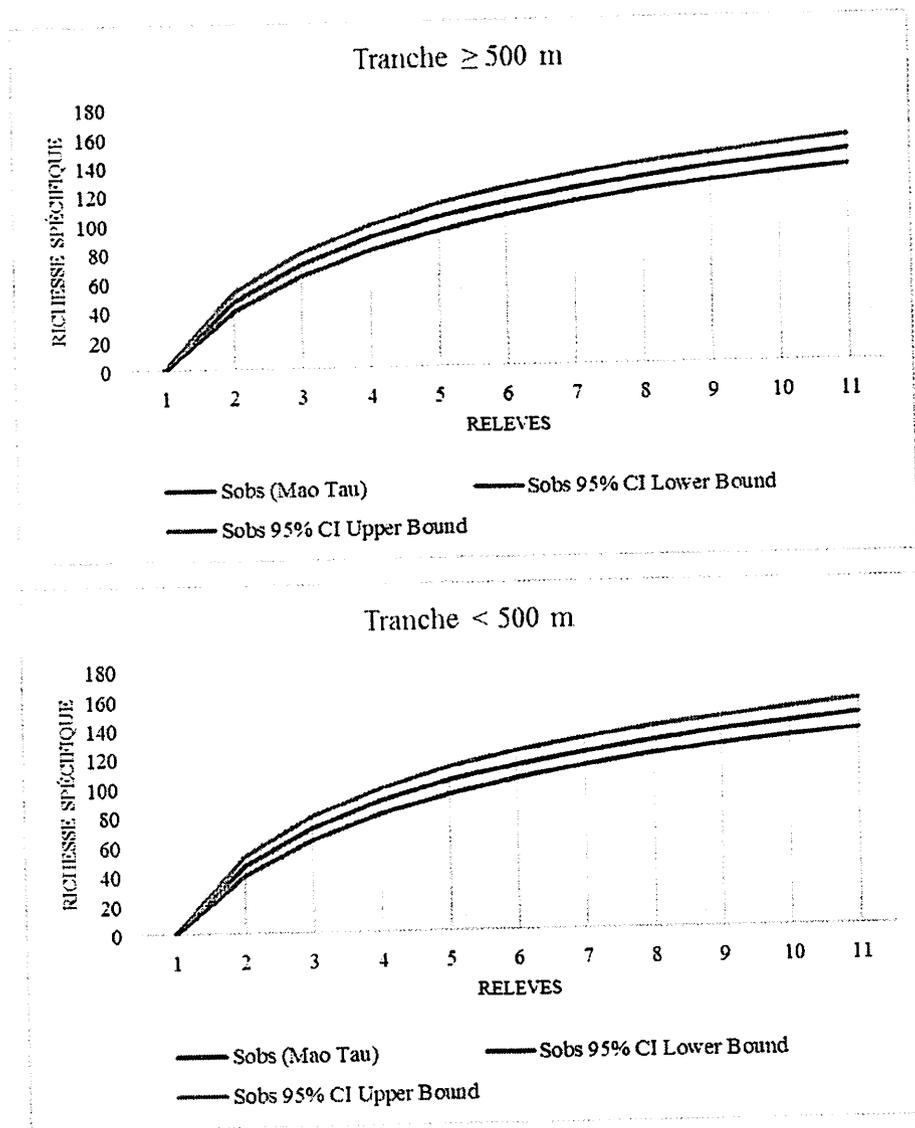


Figure 2.6 – Courbe aire-espèce illustrant la richesse spécifique en fonction du nombre de parcelles inventoriées par tranche d'altitude (courbe supérieure indique la richesse spécifique maximale, celle du milieu indique la richesse spécifique trouvée dans la présente étude et la courbe inférieure indique la richesse spécifique minimale dans chaque tranche altitudinale).

2.3 Paramètres structuraux de chaque tranche altitudinale

2.3.1 Densité, surface terrière et structure diamétrique

400±72 arbres/ha pour la tranche ≥ 500 m d'altitude et 458±64 arbres/ha pour la tranche < 500 m d'altitude ont été recensés. Ces arbres représentent des surfaces terrières équivalentes à 29,47±9,3 m²/ha pour la tranche ≥ 500 m d'altitude et 28,65±5,88 m²/ha pour la tranche < 500 m d'altitude. La densité et la surface terrière ne sont pas différentes entre les deux tranches altitudinales ($t = -1,5812$, $df = 9$, $p\text{-value} = 0,1483 > 0,05$ pour la densité et $t = 0,3335$, $df = 9$, $p\text{-value} = 0,7464 > 0,05$ pour la surface terrière). Les figures 2.7 et 2.8 montrent respectivement la dispersion des valeurs de densité et de surface terrière pour chaque tranche altitudinale étudiée.

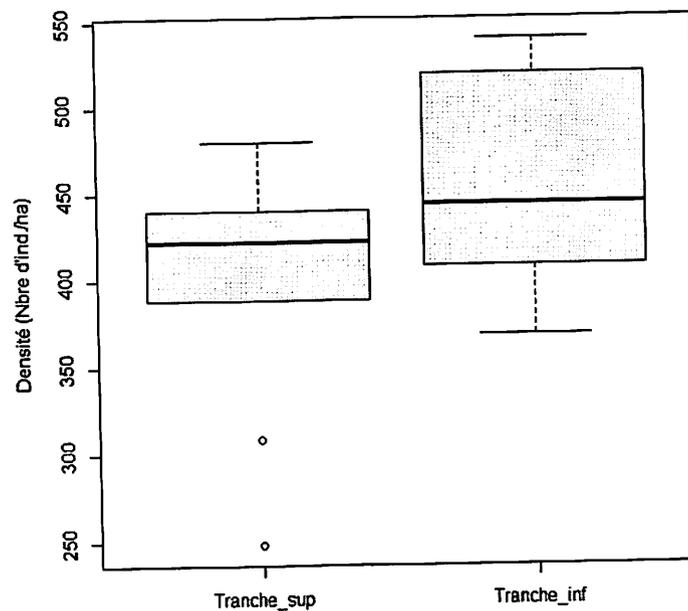


Figure 2.7 - Dispersion des valeurs de densité pour les peuplements de chaque tranche altitudinale étudiée. La boîte représente l'intervalle dans lequel sont regroupés 50 % des densités, la barre épaisse à l'intérieur de la boîte indique la densité moyenne, la barre basse indique la densité minimale et la barre haute indique la densité maximale.

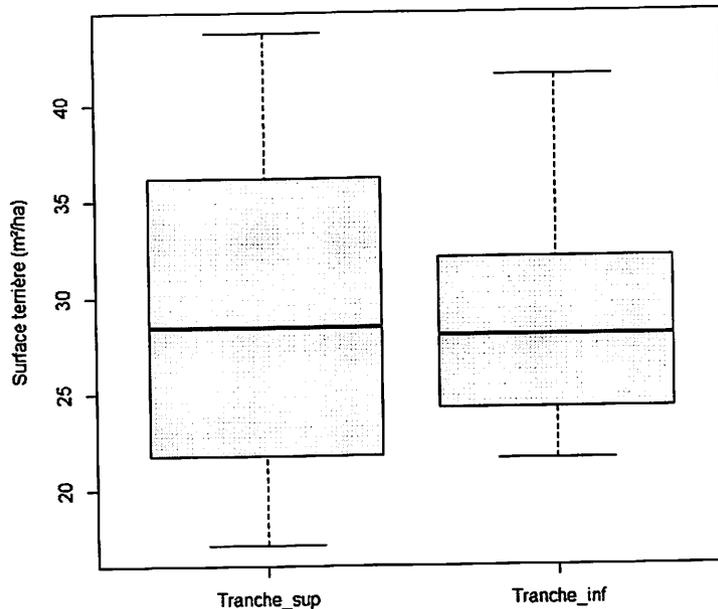


Figure 2.8 - Dispersion des valeurs de surface terrière pour les peuplements de chaque tranche altitudinale étudiée. La boîte représente l'intervalle dans lequel sont regroupés 50 % des surfaces terrières, la barre épaisse à l'intérieur de la boîte indique la surface terrière moyenne, la barre basse indique la surface terrière minimale et la barre haute indique la surface terrière maximale.

Pour chacune des tranches altitudinales, la distribution de l'abondance de tiges en fonction de classes de diamètre visualisée dans la figure 2.9 montre une certaine régularité dans la décroissance des effectifs à mesure que la taille diamétrique des individus augmente. Cette structure en « J » inversé donne une indication de l'équilibre du peuplement, qui montre une certaine maturité de ces deux formations forestières, confirmant son caractère âgé pré-climacique. Quant à la comparaison statistique de ces classes diamétriques en tenant compte de leurs individus, le test de significativité entre les valeurs montrent l'absence des différences entre les mêmes classes diamétriques de deux tranches altitudinales considérées. ($\chi^2 = 9,24$; $df = 25$; $p\text{-value} = 0,999 > 0,05$).

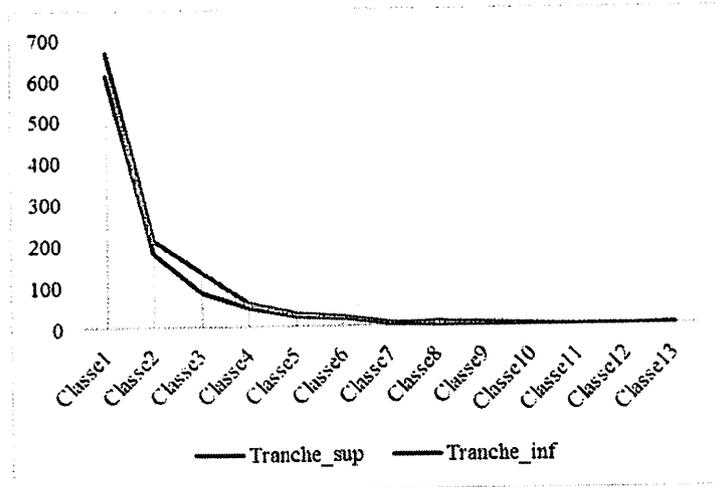


Figure 2.9 - Comparaison par tranche altitudinale de la distribution par classes diamétriques des tiges inventoriées dans la zone d'étude (1 = 10-20 cm de dhp ; ... ; 13 = 130-140 cm de dhp).

2.3.2 Stocks de carbone

La figure 2.10 montre la variation des stocks de carbone dans les 2 tranches altitudinales considérées. La tranche ≥ 500 m a des stocks de carbone élevés ($208,74 \pm 95,98$ tonnes/ha) que ceux de la tranche < 500 m d'altitude ($174,84 \pm 55,79$ tonnes/ha). Quant aux analyses statistiques, elles montrent l'absence de différence de stocks de carbone entre les deux tranches altitudinales considérées ($t = 1,3972$; $dl = 9$ et $p\text{-value} = 0,1958 > 0,05$). Toutefois dans la tranche < 500 m d'altitude, certaines valeurs de carbone semblent s'écarter de la moyenne. Ceci démontre une forte variabilité des stocks de carbone d'une parcelle à une autre dans cette tranche altitudinale.

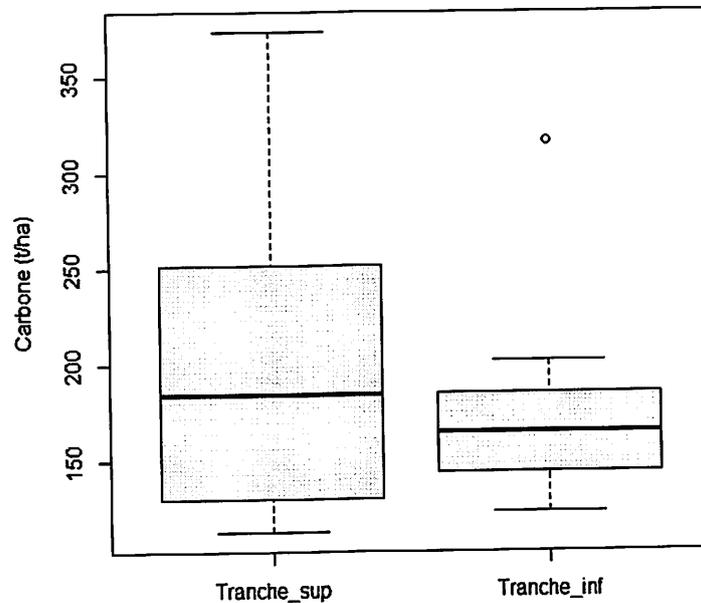


Figure 2.10 - Dispersion des valeurs des stocks de carbone dans les groupements étudiés d'après le modèle de Chave & *al.*, 2014. La boîte représente l'intervalle dans lequel sont regroupés 50 % des valeurs du carbone, la barre épaisse à l'intérieur de la boîte indique la valeur moyenne de carbone, la barre basse indique la valeur minimale de carbone, la barre haute indique la valeur maximale de carbone.

La figure 2.11 ci-dessous montre que la corrélation entre les stocks de carbone et l'altitude est très faible et positive ($r = 0,26$). Quant à la vérification de la significativité de la corrélation entre ces deux paramètres considérés, on voit qu'il n'y a pas corrélation entre ces deux paramètres ($t=1,1292$, $df=18$, $p\text{-value} = 0,2736 > 0,05$). Et comme $r = 0,26$; cette corrélation est très faible. Avec R-squared qui vaut 0,066 ; c'est-à-dire que la variation des stocks de carbone expliquée par l'altitude ne vaut que 6,6 %. Ceci démontre qu'il existe d'autres facteurs qui peuvent expliquer la variation des stocks de carbone dans la zone d'étude.

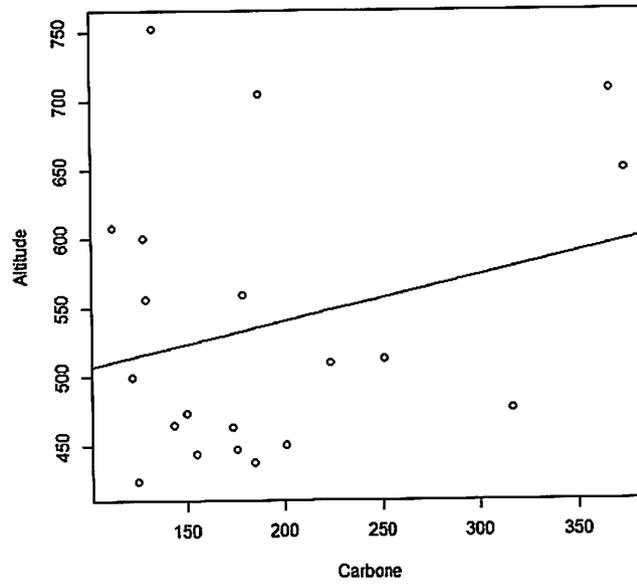


Figure 2.11 – Corrélation entre les stocks de carbone et l'altitude

Chapitre 3 : Discussion

3.1 Deux groupes floristiques dans le massif forestier de Uma sous le seuil de 500 m d'altitude

Les données de ce travail concernaient les formations végétales des strates arborescentes dominantes et dominées de la forêt semi-caducifoliée de Uma. Le plan d'échantillonnage a ciblé deux types de substrats : sableux à plus de 500 m d'altitude et argileux à moins de 500 m d'altitude. C'est ces deux types de substrats combinés à la différence d'altitude sous le seuil de 500 m qui sont à la base de deux groupements floristiques issus de nos analyses multivariées (figure 2.3). La même situation a été signalée par Lisingo, 2009 ; Amani, 2011 dans la région de Kisangani précisément dans les forêts de Yoko et de Biaro (Lisingo, 2009) pour le type de substrat et dans les forêts de Yangambi, Yoko et Biaro (Amani, 2011) pour le type de substrat combiné à la variation de l'altitude. Signalons que la démarcation entre les 2 groupes floristiques constatés dans ce travail s'est faite sur l'axe 2 (figure 2.3) de l'AFC. Cet axe 2 de l'AFC peut être pris pour un axe de texture du substrat et de variation de l'altitude dans la zone de d'étude.

3.2 Diversité floristique élevée dans la tranche altitudinale supérieure à 500 m d'altitude

Les groupes floristiques issus de nos 2 tranches d'altitude sont différemment diversifiés. Ceci est soutenu par les tests statistiques qui ont montré, en se basant sur l'indice de Fischer_alpha, qu'il y a une différence de diversité entre les groupes floristiques de 2 tranches d'altitude de la forêt de Uma ($t = 2,5728$; $dl = 9$ et $p\text{-value} = 0,03005 < 0,05$).

Par ailleurs, nous avons constaté que les valeurs de cet indice de Fischer_alpha ne s'écartent pas des valeurs reconnues pour cet indice dans la région de Kisangani (Parmentier & al., 2007). D'après ce dernier auteur, dans la région de Kisangani (voir figure 3.1 ci-dessous), l'indice de diversité de Fisher_alpha peut avoir une moyenne comprise entre 31 et 40. Cet intervalle de Parmentier & al., (2007) ne s'écarte pas vraiment de la moyenne de $27,44 \pm 4,53$ qui a été trouvée dans la présente étude.

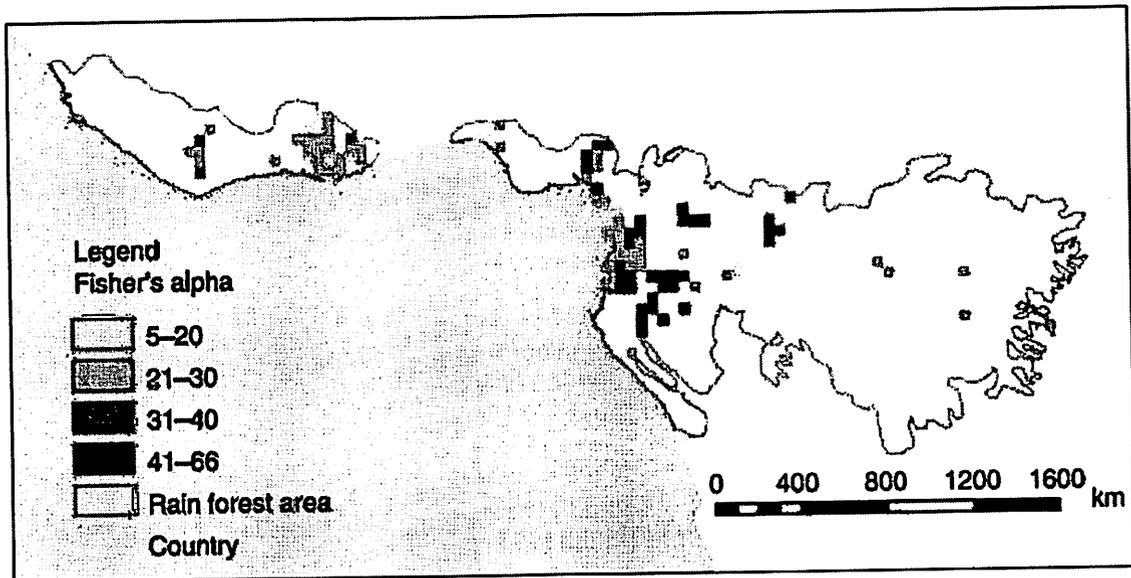


Figure 3.1 - Variation de l'indice Fisher-alpha dans la zone des forêts denses humides d'Afrique (Parmentier & al., 2007).

Une diversité plus élevée a été observée dans la tranche altitudinale supérieure suite à la diversité d'habitats qu'elle englobe. Dans cette tranche, il y a des inselbergs, des plateaux, de sortes des lits des rivières et marais séchés qui expliquent la présence de certaines espèces reconnues hydrophiles au niveau de 650 m d'altitude (*Uapaca heudelotii*). Ceci a en partie été soutenu par Parmentier (2003) dans ses études sur certains inselbergs de la Guinée Equatoriale. La grande diversité observée sur un inselberg peut être liée à son caractère d'insularité. Cette insularité peut être à l'origine de caractères environnementaux particuliers (sol, brouillards,...) qui ne sont pas partagés par les milieux avoisinants.

L'hypothèse de la diversité des niches de Connell (1978) soutenue par Morneau (2007), Gonmadje & al., 2013, Cirimwami (2013) renforce l'idée que la diversification des conditions environnementales observées dans la tranche altitudinale aurait de l'impact sur sa diversité.

3.3 Absence de variation de structure (structure en diamètre-stocks de carbone) entre les 2 tranches d'altitude

L'étude de la structure diamétrique pour chacun de groupements floristique trouvés dans la présente étude montre que les individus de petite taille sont beaucoup plus nombreux. Par conséquent, il serait nécessaire d'argumenter l'hypothèse de Rollet (1978) faisant croire que « dans une forêt naturelle, les diamètres des arbres se conforment à une distribution exponentielle ». Il est donc tout à fait intéressant de noter que la forêt de Uma, à travers nos deux groupements floristiques issus de deux tranches d'altitude considérées dans ce travail, correspond effectivement à cette hypothèse : il y a beaucoup d'arbres de petit diamètre et très peu de gros diamètre.

Quant à la comparaison des stocks de carbone aérien dans les deux groupements, on constate que le groupe forestier de la tranche altitudinale ≥ 500 m stocke plus le carbone aérien. La comparaison statistique des stocks de carbone de ces deux groupes ne montre pas de différence. Ceci permet de ne pas confirmer notre hypothèse stipulant que les stocks de carbone diffèrent entre les 2 tranches d'altitude considérée dans la présente étude. Dans une étude à large échelle sur les variations des stocks de carbone dans les sites expérimentaux du projet REDD (Isangi avec une moyenne de 400 m d'altitude, Uma avec une moyenne de 570 m d'altitude et Mambasa avec une moyenne de 860 m d'altitude) ciblés en plein cœur des forêts du secteur forestier central de la RD du Congo, Katembo & al. 2014 montrent que c'est la forêt de Mambasa qui a des stocks de carbone importants comparativement aux 2 autres sites car bénéficiant d'une altitude élevée par rapport aux 2 autres sites. Dans la présente étude, les résultats de cette recherche sont reconfirmés dans un même site, celui de Uma qui aussi bénéficie d'une variation importante de l'altitude. Dans le même ordre d'idées, toujours dans le bassin forestier congolais, Gonmadje & al., 2013 ont remarqué que dans les forêts matures de terre ferme du massif de Ngovayang au Sud-Cameroun, le stock de carbone forestier aérien des arbres augmente avec l'altitude.

II. Conclusions et Suggestions

Eu égard à ce qui précède, disons que dans les forêts semi-caducifoliées de Uma, deux grands groupements floristiques sont identifiés. Ces deux groupements sont dictés par la texture du substrat (sable-argile) combinée à la variation de l'altitude. Le groupe floristique de la tranche altitudinale ≥ 500 m a des stocks de carbone important et est plus diversifié floristiquement comparativement à celui de la tranche altitudinale < 500 m. Ces résultats obtenus démontrent la part de l'altitude dans l'interprétation des variations de la diversité floristique et des stocks de carbone dans le bassin forestier congolais.

Lors des missions de terrain, les équipes ont remarqué qu'en général la végétation de ce site ne connaît pas encore de fortes perturbations dans sa tranche altitudinale supérieure car bénéficiant d'un relief trop accidenté et de la présence des Inselbergs. Cependant dans sa tranche altitudinale basse, la forêt fut anciennement perturbée vers les années 2005 par une société d'exploitation forestière. Et donc, il n'y a aucune garantie que cette forêt pourra rester floristiquement intacte car des actions anthropiques dévastatrices sont toujours possibles. Sur base de ces allégations, nous suggérons donc ce qui suit :

- Que des recherches très poussées soient menées dans cette forêt et surtout autour de ces inselbergs car ceux-ci regorgent des caractéristiques floristiques particulières,
- Une étude duale pouvant combiner les données de terrain et les données de télédétection pour estimer les stocks de carbone aérien à l'échelle du paysage d'étude.

Références bibliographiques

- Adou Yao, C.Y., Denguéadhé, K.T.S., Kouamé, D. & N'Guessan, K.E., 2007. Diversité et distribution des ligneux dans le Sud du Parc National de Taï (PNT), Côte d'Ivoire. *Agronomie Africaine*, n°19 (2) 113-122p.
- Amani, I.A.C., 2011. Vegetation patterns and role of substrate heterogeneity on plant communities in semi-deciduous forests from the Congo basin. Thesis, Brussels Libre University, Belgium, 215p.
- Blanc, L. et Flores, O., Molino, J-F., Gourlet-Fleury, S., Sabatier, D., 2003. Diversité spécifique et regroupement d'espèces arborescentes en forêt.
- Blanc, L., 1998, Les formations forestières du parc national de Cat. Tien (Vietnam) : Caractérisation structurale et floristique, étude de la régénération naturelle et dynamique successionnelle. Thèse, Université Claude Bernard-Lyon1, Bd du 11 novembre 1918, 69622, Villeurbanne Cedex, 207p.
- Boyemba , B.F., 2011. Ecologie de *Pericopsis elata* (Harms) Van Meeuwen (Fabaceae), arbre de forêt tropicale africaine à répartition agrégée. Thèse de doctorat, Université Libre de Bruxelles, Bruxelles, 181p.
- Carl, M., 2007. Quel avenir pour les forêts de la République Démocratique du Congo ? Instruments et mécanismes innovants pour une gestion durable des forêts. Reflection and discussion paper - 2007/01. 79p.
- Chave J., Rejou-Mechain M., Burquez A., Chidumayo E. , Matthew S. C., Welington B. C., Delitti, Duque A., Troneid, Philip M. F., Rosa C.G.,Matieu H., Angelina M. E., Mugasha A.W., Landauh C., Maurizio M., Bruce W.N., Ngomanda A., Nogueira M.E., Malavassi E.O., Pélissier., Ploton P., Casey M.R., Juan G.S. And Vieilledent G., 2014. Improved allometric models to estimate the above ground biomass of tropical trees. *Global Change Biology* (2014) 20, 3177–3190, doi: 10.1111/gcb.12629. P14.

- Cirimwami T. L. 2013. Effet de l'altitude sur la biodiversité végétale de la strate arborescente dans la forêt à *Julbernardia seretii*. DEA inedit. fac. Sc.Unikis.55p.
- Connell, J. H., 1978. Diversity in tropical rain forests and coral reefs. Science, 199(4335), 1302–1310.
- Counteron, P., 2006. Statistiques spatiales appliquées à l'étude de la végétation : un lien entre structure et processus 69p.
- Ernst C., Verhegghen A., Bodart C., Mayaux P., de Wasseige C., Bararwandika A., Begoto G., Esono Mba F., Ibara M., Kondjo Shoko A., Koy Kondjo H., Makak J.S., Menomo Biang J.D., Musampa C., Ncogo Motogo R., Neba Shu G., Nkoumakali B., Ouissika C.B. and Defourny P., 2010. Congo Basin forest cover change estimate for 1990, 2000 and 2005 by Landsat interpretation using an automated object-based processing chain. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, XXXVIII-4/C7.
- Evrard; C, 1968. Recherche écologique sur les peuplements forestiers des sols hydromorphes de la cuvette centrale Congolaise .Publ.INAC ; Ser, Sc, 110:295p.
- FAO, 2000. Global Forest Ressources Assessment 2010. Tech. rept. Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture.
- Flores, O., 2005. Déterminisme de la régénération chez quinze espèces d'arbres tropicaux en forêt guyanaise : Les effets de l'environnement et de la limitation par la dispersion, Université Montpellier II, Montpellier.
- Fournier, F. et Sasson, A., 1983. Ecosystèmes forestiers tropicaux d'Afrique, Paris, 473p.
- Freycon, V., Sabastier, A., Paget, D. et Ferry, B., 2003. Influence du sol sur la végétation arborescente en forêt guyanaise : état des connaissances. Rev.Fr.LV-numéro spécial 2003.14p.

- Gonmadje, C. 2013. Diversité et biomasse aérienne dans les forêts matures de terre ferme du massif de Ngovayang (Sud-Cameroun), Atelier scientifique régional sur les équations allométriques en Afrique Centrale, Yaoundé, Cameroun, 2-5 avril 2013.
- Gounot, M., 1969. Méthodes d'étude quantitative de la végétation. Masson et Cie. Paris VI. 314p. Guyanaise. Revue forestière française, 55(sec.): P131-146.
- Houghton, R. A. 2005. Aboveground Forest Biomass and the Global Carbon Balance. *Global Change Biology* 11, 2005, pp. 945–958, doi: 10.1111/j.1365-2486pp.
- Katembo J., Boyema F., Kibambe J. P. 2014. Etude comparée de l'évaluation du taux de déforestation et des stocks de carbone dans les forêts du secteur forestier central de la République Démocratique du Congo. Conférence GeOsft, 21-24 octobre, Yaoundé, Cameroun.
- Kouamé, D., Adou Yao, Y.C., Kouassi, K.E., N'Guessan, K.E. & Akoi, K., 2008. Preliminary floristic inventory and diversity in Azagny National Park (Côte d'Ivoire). *European Journal of Scientific Research*, 23 (4): 537-547 pp.
- Lebrun, J. et Gilbert, G., 1954: Une classification écologique des forêts du Congo Publ. INEAC, Série SC. No 63, 89p.
- Leigh, E.G. & Loo De Lao, S., 2000. Fisher's Alpha: measuring tree diversity. Center for Tropical Forest Science, 7-12pp.
- Lenoir, J., 2009. Impacts d'un réchauffement rapide du climat sur la distribution des espèces végétales forestières le long du gradient d'altitude. AgroParisTech. Retrieved from <http://pastel.archives-ouvertes.fr/pastel-00005231>.
- Lisingo, W., 2009. Typologie des forêts denses des environs de Kisangani par une méthode d'analyse phytosociologique multistrat. D.E.A. UNIKIS, Faculté des sciences, 96p.
- Lu, H.-P., Wagner, H. H., & Chen, X.-Y., 2007. A contribution diversity approach to evaluate species diversity. *Basic and Applied Ecology*, 8(1), 1–12. doi:10.1016/j.baae.2006.06.004.

- Lyagabo, K., 2012. Contribution à l'étude structurale comparative de trois peuplements de la forêt de uma (Ubundu, Province Orientale). Dissertation de D.E.S, UNIKIS. 36p.
- Magurran, A. E., 2004. Measuring biological diversity. Princeton University Press. 215p.
- Molinario G., Hansen M. C., Potapov P. V. 2015. Forest cover dynamics of shifting cultivation in the Democratic Republic of Congo: a remote sensing-based assessment for 2000–2010. *Environ. Res. Lett.* 10 (2015) 094009. doi:10.1088/1748-9326/10/9/094009.
- Morneau, F., 2007. Effets d'un gradient d'engorgement sur la structure et la dynamique d'une forêt tropicale humide (Paracou, Guyane française). ENGREF (AgroParisTech). Retrieved from <http://pastel.archives-ouvertes.fr/pastel-00002810>.
- Ndjele, M., 1988. Les éléments phytogéographiques endémiques dans la flore vasculaire du Zaïre. Thèse de doctorat, UNIKIS. 536p.
- Ngo Bieng, M-A., 2007, Contribution de modèles de structure spatiale permettant de simuler des peuplements virtuels réalistes. Application aux peuplements mélanges Chêne sessile-Pin sylvestre de la région Centre. Cemagref. 192p.
- Nginguiri, J.-C., 1998. Les approches participatives dans la gestion des écosystèmes forestiers d'Afrique Centrale. CIFOR.
- Parmentier, I., 2003. Etude de la végétation des inselbergs inclus dans la forêt dense d'Afrique atlantique. Thèse de doctorat, ULB. 93 p.
- Parmentier, I., Malhi, Y., Senterre, B., Whittaker, R. J., Alonso, A., Balinga, M. P., Comiskey, J. A., 2007. The odd man out? Might climate explain the lower tree diversity of African rain forests relative to Amazonian rain forests? *Journal of Ecology*, 95(5), 1058–1071.
- Pélissier R., 2005, Relations entre l'hétérogénéité spatiale et la dynamique de renouvellement d'une forêt dense humide sempervirente, forêt d'upangala-ghâts occidentaux de l'Inde. Thèse de doctorat, Université de Lyon I, Lyon 237p.

- Quense, J., 2011. Changement climatique et dynamique de la végétation dans les Andes du Chili central, depuis le milieu du XXème siècle: l'exemple de la vallée de Yerba Loca. Université de Grenoble. Retrieved from <http://hal.archives-ouvertes.fr/tel-00639115>.
- Quentin, M., 2012. Estimation de biomasse en forêt tropicale humide (Guyane Française). Thèse inédite. Fac. Sciences exactes et Naturelles. UAG. 184p.
- Rennolls, K. & 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 pp.
- Richard, P.W., 1952. The rain forest, an ecological study, Cambridge University press, 45p.
- Rollet, B., 1978. Description, functioning and evolution of tropical forest ecosystems. 5. Organization. In: Tropical forest ecosystems. UNESCO (Eds), Paris, pp 112-142pp.
- Shannon, C.E., 1948. A mathematical theory of communication. *Bell System Technical Journal* 27: 379-423pp.
- Sukhdev, P., Prabhu, R., Kumar, P., Bassi, A., Patwa-Shall, W., Enters, T., Labbate, G., Greenwalt, J. 2012. UN-REDD Police Brief: REDD+ and the Green Economy: Opportunities for a mutually supportive relationship. Tech. rept. UN-REDD Programme.
- Thioulouse, J. CHessel, D. & Champely, S., 1995. Multivariate analysis of spatial patterns: a unified approach to local and global structures. *Environmental and Ecological Statistics*, Chapman & Hall, 2: 1-14pp.
- Trichon, V., 1996. Hétérogénéité spatiale d'une forêt tropicale humide de Sumatra : effet de la topographie sur la structure floristique. *Ann. Sci. For* (1997) 54. 431-446. Elsevier/Inra.
- Vandenput, R., 1981. Les principales cultures en Afrique centrale. Tournai: édit. Lesaffre, 458p.