

**UNIVERSITE DE KISANGANI
FACULTE DES SCIENCES**



BP. 2012 KISANGANI

Appui à la formation et à la recherche forestière au Congo (REFORCO)

**Effet de l'altitude sur la diversité végétale de la strate arborescente
dans la forêt à *Julbernardia seretii* (De Wild.) Troupin à Uma,
Province Orientale/RD Congo**

Par : CIRIMWAMI BAHIMIRWE Timothée Legrand

MEMOIRE

Présenté en vue de l'obtention du Diplôme de Master-DES/DEA
en Gestion de la Biodiversité et Aménagement Forestier Durable

Spécialité : Forêt et Environnement

Promoteur : Prof. Hippolyte NSHIMBA SEYA WA MALALE (UNIKIS)

Co-Promoteurs : Prof. Jean LEJOLY (ULB)

Dr Sylvie GOURLET-FLEURY (CIRAD)

ANNEE ACADEMIQUE : 2012-2013

DEDICACE

A toi Eternel, Dieu des justes pour m'avoir permis de commencer et finaliser ce travail. Je raconterai à jamais tes bienfaits, c'est toi qui m'as sauvé de justesse de l'injustice de ce monde qui voulait m'arracher l'opportunité de ce programme de master.

Cette année a été une année des grandes épreuves de ma vie mais je n'ai pas été délaissé par mes parents Papa Bahimirwe Barheza et Maman Ciza M'Limembe.

Mes frères et sœurs, mes cousins et cousines, mes oncles, mes frères et sœurs en Christ, amis et connaissances sont la raison de l'aboutissement de ce travail vu leur soutien et encouragement incommensurables.

Ce travail étant un fruit de mes efforts et les vôtres combinés, je vous le dédie.

REMERCIEMENTS

Ce travail n'aurait jamais vu le jour sans les directives de mes trois promoteurs qui n'ont rien ménagé pour que ce travail aboutisse. Il s'agit notamment du Professeur Hippolyte Nshimba Seya wa Malale de l'UNIKIS, le Professeur Jean Lejoly de l'ULB et le Docteur Sylvie Gourlet-Fleury du CIRAD. Merci à vous tous pour votre temps rarissime m'accordé.

Je remercie l'Union Européenne qui, *via* le CIFOR représenté par le projet REFORCO a supporté financièrement ce travail et tout mon programme de master. Je pense plus particulièrement au Directeur Dr Quentin, le Coordonnateur Prof. Ndjele, ainsi que le Prof. Toengaho, Recteur de l'Université de Kisangani.

Les notions développées dans ce travail émanent de mes connaissances d'écologue et botaniste, pour cela, je remercie toute personne ayant concouru à ma formation. Je fais cette adresse aux Facultés des Sciences de l'Université Officielle de Bukavu et de l'Université de Kisangani. Que les Prof. Amani Christian, Masumbuko Ndabaga, Chantal Kabonyi, Alfred Cubaka, Jean Lejoly, Sylvie Gourlet, Philippe Lejeune, Guillaume Lescuyer, Hippolyte Nshimba, Dr Jan Kennis, Dr Balezi, Dr Barbier, Dr Rosie, Dr Markus et CT Imani Gérard retrouvent ma gratitude envers eux.

Je remercie tous mes collègues 'Apprenants Masters' pour l'esprit de collaboration qui a sans doute contribué au finissage de ce travail. Je souhaite que le climat qui a caractérisé notre grande famille de jeunes chercheurs ne s'efface pas comme une écriture dans le sable soumise au souffle du vent mais qu'il soit un début d'un amour intarissable.

Je remercie toute ma famille dont Papa Bahimirwe Barheza et Maman Ciza M'Limembe pour leur soutien et encouragement. Je remercie tous mes frères et sœurs pour l'amour manifesté envers moi, bien qu'étant loin, j'ai toujours de la vaillance à cause de leur considération et amour. Je remercie tous les amis qui ne cessent de me soutenir et me pousser à l'avant.

Dans ces quelques lignes destinées aux remerciements, tous les noms ne pouvant pas être cités suite à l'espace limité, je prie à tous ceux-là dont les noms ne sont pas cités, de ne pas m'en tenir rigueur. Vous êtes nombreux dont les contributions sont gigantesques et vos souvenirs restent gravés en moi, je vous remercie.

CIRIMWAMI BAHIMIRWE Timothée Legrand

RESUME

Cette étude a porté sur l'effet de l'altitude sur la diversité de la strate arborescente de la forêt à *Julbernardia seretii* à Uma en Province Orientale de la RD Congo. Plus l'altitude augmente, plus la végétation change, soit elle devient pauvre en espèce ou riche. Dans cette étude, l'hypothèse testée est que la diversité au sein de la strate arborescente des forêts à *Julbernardia seretii* augmente quand l'altitude augmente, suite à la présence des inselbergs.

Des placeaux de 50 m X 50 m (0,25 ha) étaient tracés après chaque élévation de 50 m d'altitude sur deux transects de 500 à 750 m d'altitude (soit 12 parcelles). La variation de l'altitude et la répartition des inselbergs ont permis de regrouper les parcelles en deux. La tranche altitudinale inférieure (TAInf) comprenant les parcelles 500 m, 550 m et 600 m où il n'y a pas des inselbergs et la tranche altitudinale supérieure (TASup) regroupant les parcelles 650 m, 700 m et 750 m, avec inselbergs. Dans chaque parcelle les individus de DHP ≥ 10 cm étaient inventoriés et l'altitude, la pente et la présence ou absence des rochers (substrat) était notée.

Une superficie totale de 3 hectares a été couverte par cette étude et 149 espèces, réparties en 104 genres et 35 familles ont été inventoriées. La TAInf a 115 espèces, 88 genres et 34 familles tandis que la TASup a 117 espèces, 86 genres et 31 familles.

L'indice de Fisher_alpha est plus élevé dans la TASup avec en moyenne $38,63 \pm 11,4$ que dans la TAInf où il est en moyenne $29,2 \pm 5,4$ ($p = 0,037$). La richesse spécifique est aussi plus élevée dans la TASup où le nombre moyen d'espèces dans une parcelle est de 49 et 44 dans la TAInf ($p = 0,036$). La diversité élevée observée au sein de la TASup est due à l'effet de l'élévation de l'altitude combinée à la présence des inselbergs.

La densité d'arbres à l'hectare n'a pas montré de différence significative entre les deux tranches altitudinales ($p = 0,26$). La TAInf a une moyenne de nombre de tiges à l'hectare de diamètre ≥ 10 cm de $407,3 \pm 74$ et la TASup a $400,7 \pm 50$. La structure diamétrique de ces deux tranches n'a pas de différence significative ($p = 0,876$), elles montrent toutes deux une forte concentration d'arbres dans les classes diamétriques inférieures comprises entre 10 et 60 cm de diamètre. Ceci peut être un signe d'une perpétuelle régénération de la forêt.

Mots clés : diversité, richesse spécifique, forêt à *Julbernardia seretii*, altitude, inselbergs.

SUMMARY

This study investigated the effect of altitude on the diversity of the tree stratum of the *Julbernardia seretii* forest to Uma in Eastern Province of the DR Congo. More altitude increases, more vegetation changes, either it becomes specifically poor or rich. In this study, the tested hypothesis is that diversity within the arborescent stratum of *Julbernardia seretii* forests increases as the altitude increases, because of inselbergs.

Plots of 50 m X 50 m (0.25 ha) were traced after each elevation of 50 m on two transects from 500 to 750 m of altitude (i.e. 12 plots). The altitude variation and the distribution of inselbergs helped us to consolidate plots in two. The lower altitudinal slice (TAInf) comprising plots where there is no inselbergs (500m, 550m and 600 m) and the upper altitudinal slice (TASup) comprising plots 650 m, 700 m and 750 m with inselbergs. In each plot individuals of DBH ≥ 10 cm were inventoried and altitude, slope and the presence or absence of rocks (substrate) was noted.

A total area of 3 hectares was covered by this study and 149 species, 104 genera and 35 families have been inventoried. The TAIInf has 115 species, 88 genera and 34 families while the TASup has 117 species, 86 genera and 31 families.

Fisher_alpha index is high in the TASup with an average of 38.63 ± 11.4 , in the TAIInf its average is 29.2 ± 5.4 ($p = 0.037$). Species richness was also higher in the TASup where the average number of species in a plot is 49 and 44 in TAIInf ($p = 0.036$). The high diversity observed in the TASup is due to the effect of the increasing of altitude combined to the presence of inselbergs.

The density of trees per hectare showed no significant difference between the two altitudinal slices ($p = 0.26$). The TAIInf has an average number of stems per hectare of diameter ≥ 10 cm of 407.3 ± 74 and the TASup has 400.7 ± 50 . The Diametric structure of these two slices has no significant difference ($p = 0.876$), they show both a high concentration of trees in the lower classes between 10 and 60 cm in diameter. This can be a sign of perpetual regeneration of the forest.

Key words: diversity, species richness, *Julbernardia seretii* forest, altitude, inselbergs.

LISTE DES FIGURES

Figure 1. Carte du secteur Bakumu-Kilinga montrant les parcelles d'inventaires	7
Figure 2. Nombre d'individus ramené à l'hectare par parcelle (N/HA).....	16
Figure 3. Répartition des tiges par classe de diamètre	17
Figure 4. Dix espèces les plus dominantes dans les deux tranches.....	18
Figure 5. Dix espèces les plus denses dans les deux tranches.....	19
Figure 6. Dix espèces les plus importantes dans les deux tranches	21
Figure 7. Ordre d'apparition des espèces nouvelles	22
Figure 8. Courbe altitude/aire-espèces	23
Figure 9. Les dix familles les plus représentées dans les deux tranches.....	24
Figure 10. Indice de diversité de Shannon	25
Figure 11. Indice d'Equitabilité de Piélou	25
Figure 12. Indice de diversité de Shannon	26
Figure 13. Indice de diversité de Fisher_alpha	26
Figure 14. Richesse spécifique suivant le gradient altitudinal	27
Figure 15. Dendrogramme de similarité des richesses spécifiques (Indice de Jaccard)	28
Figure 16. Dendrogramme de similarité en fonction des abondances (Indice de Morisita)	29
Figure 17. Variation de l'indice Fisher_alpha dans la zone des forêts denses humides d'Afrique (source : Parmentier et <i>al.</i> , 2007)	30
Figure 18. Courbes d'abondance d'espèces dans les deux tranches altitudinales.....	32

TABLE DES MATIERES

DEDICACE.....	i
REMERCIEMENTS	ii
RESUME.....	iii
SUMMARY	iv
LISTE DES FIGURES	v
TABLE DES MATIERES	vi
CHAPITRE I. INTRODUCTION.....	1
I.1. Importance de la diversité dans la gestion des forêts	1
I.2. Hypothèses expliquant la diversité végétale	1
I.3. Altitude et diversité végétale.....	3
I.4. Etat de la question	3
I.5. Problématique.....	5
I.6. Hypothèses	6
I.7. Objectifs et intérêts.....	6
I.7.1. Objectif principal	6
I.7.2. Objectifs spécifiques.....	6
I.7.3. Intérêts de l'étude	6
CHAPITRE II. MILIEU D'ETUDE, MATERIEL ET METHODE.....	7
II.1. Milieu d'étude.....	7
II.2. Matériel et méthodes.....	8
II.3. Analyses des données	9
II.3.1. Dominance relative (Dor).....	9
II.3.2. Fréquence relative (Fr)	9
II.3.3. Indice de valeur d'importance (IVI).....	10
II.3.4. Diversité relative (DIR) et diversité générique	10
II.3.5. La densité (N/HA).....	10
II.3.6. La structure diamétrique.....	10
II.3.7. Les indices de diversité	11
II.3.7.1. La diversité alpha (α).....	11
II.3.7.1.1. Indice de diversité de Shannon	11
II.3.7.1.2. Indice d'Equitabilité de Piélou.....	11
II.3.7.1.3. Indice de diversité D de Simpson	12
II.3.7.1.4. Indice de Fisher_alpha	12
II.3.7.1.5. Richesse spécifique (r)	12
II.3.7.2. La diversité beta (β).....	13
II.3.7.2.1. Indice de similarité de Jaccard (Jac)	13

II.3.7.2.2. Indice de similarité de Morisita (Mor).....	13
II.3.7.3. La diversité gamma (γ).....	14
II.4. Facteurs étudiés.....	14
II.4.1. Altitude.....	14
II.4.2. Substrat.....	14
II.4.3. Topographie	15
II.5. Tests statistiques et logiciels utilisés.....	15
CHAPITRE III. RESULTATS.....	16
III.1. Effet de l'altitude sur la densité d'arbres à l'hectare (N/HA).....	16
III.2. Structure diamétrique	17
III.3. Dominance relative.....	18
III.4. Densité relative	19
III.5. Fréquence relative.....	20
III.6. Indice de valeur d'importance	21
III.7. Ordre d'apparition des nouvelles espèces selon le gradient altitudinal.....	22
III.8. Courbe altitude/aire-espèces.....	23
III.9. Diversité relative.....	24
III.9.1. Familles les mieux représentées.....	24
III.9.2. Diversité générique	24
III.10. Effet de l'altitude sur la diversité de la strate arborescente.....	25
III.10.1. Diversité Alpha	25
III.10.1.1. La corrélation entre la diversité et le gradient altitudinal.....	25
III.10.1.2. La variation de la richesse spécifique selon le gradient altitudinal.....	27
III.10.2. Diversité Beta.....	28
III.10.2.1. Analyse en présence-absence	28
III.10.2.2. Analyse en abondance	29
CHAPITRE IV. DISCUSSION.....	30
IV.1. Effet de l'altitude sur la diversité alpha.....	30
IV.2. Effet de l'altitude sur la diversité Béta	34
IV.3. Effet de l'altitude sur la densité ramenée à l'hectare (N/HA).....	35
IV.4. Effet de l'altitude sur la structure diamétrique.....	35
CONCLUSION ET SUGGESTIONS	37
BIBLIOGRAPHIE	38
ANNEXES	a

CHAPITRE I. INTRODUCTION

I.1. Importance de la diversité dans la gestion des forêts

Les études sur la diversité végétale de la RD Congo sont nécessaires pour faciliter la gestion des ressources naturelles congolaises. Ceci semble être urgent vu les taux de déforestation et de dégradation que connaît 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 et *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 et *al.*, 2003). La mesure de la diversité est d'importance capitale pour la recherche écologique et la conservation de la biodiversité (Lu et *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.2. Hypothèses expliquant la diversité végétale

Plusieurs théories ont déjà été proposées afin de comprendre comment la diversité est régie dans les écosystèmes forestiers tropicaux et tempérés (Veut et *al.*, 1997; Wright, 2002 cités

par Nieves-Hernández et *al.*, 2009). En 1978, Connell avait regroupé ces théories en 2 ; celles qui reposent sur l'état de non-équilibre et d'autres qui reposent sur l'état d'équilibre des écosystèmes.

Dans la première théorie, l'auteur cite l'hypothèse de perturbations intermédiaires, celle des chances égales et en fin, celle du changement graduel. La deuxième théorie regroupe l'hypothèse de la diversification des niches, celle des réseaux cycliques et en fin, l'hypothèse de la mortalité compensatoire (appelée hypothèse d'échappement par Blanc et *al.*, 2003).

Selon l'hypothèse de perturbations intermédiaires, la diversité est grande quand les perturbations que connaît l'écosystème ne sont ni grandes, ni faibles, quand elles sont intermédiaires. L'hypothèse de l'égalité des chances suppose que toutes les espèces ont la même chance pour la colonisation d'un milieu ouvert. Pour l'hypothèse de changement graduel, il s'agit par exemple des conditions environnementales telles que le climat et les saisons qui peuvent expliquer la raison d'existence ou d'absence des espèces.

L'hypothèse de la diversification des niches suppose que la coexistence de plusieurs espèces est expliquée par la variation des ressources et des conditions dans le milieu. Plusieurs écologues partagent l'idée selon laquelle : « *le concept de niche apparaît comme devant être un moyen explicatif de la diversité des espèces et de la structure des écosystèmes* » Pocheville (2010). L'hypothèse des réseaux cycliques s'explique par le fait que l'espèce A, élimine l'espèce B mais qui est à son tour éliminée par C. Cette hypothèse est mieux élucidée par les notions d'ombrage, de compétition racinaire et d'allélopathie. Enfin la mortalité compensatoire est expliquée par le fait qu'une espèce peut donner plusieurs pieds jeunes mais un taux élevé de mortalité réduit sa population.

En effet, la coexistence de plusieurs espèces végétales en un même endroit soulève un problème car elles sont censées partager les mêmes ressources. Or, selon le principe « d'exclusion compétitive » (Gause, 1934 ; Hardin, 1960 cités par Isselin-Nondedeu 2006), si des espèces partagent une même ressource essentielle à leur développement, elles se trouvent alors en situation de compétition interspécifique dans laquelle, seule une espèce l'emportera. L'espèce gagnante constitue souvent des plaques mono-dominantes.

Selon Morneau (2007) il reste difficile voire impossible de déterminer la niche d'une espèce. Cela reviendrait à déterminer la réponse de l'espèce vis-à-vis de l'ensemble des conditions et ressources nécessaires pour elle. Même en ne se consacrant qu'aux principales ressources,

voire à une seule, l'exercice devient impossible quand il y a de nombreuses espèces qui, de surcroît, n'ont pas les mêmes besoins et limites selon leurs stades de développement, comme dans le cas des forêts tropicales. Cette étude est basée sur la théorie d'état d'équilibre selon l'hypothèse de la diversification des niches.

I.3. Altitude et diversité végétale

Au lieu de considérer la niche dans son entièreté, la plupart d'études s'intéressent à l'habitat des espèces, plus simple à décrire par un ensemble de variables du milieu ; c'est ce que nous avons choisi de faire dans ce travail. Les variables prises en compte peuvent être des ressources ou non. Selon Morneau (2007) l'altitude est une variable non-ressource qui est pertinente pour décrire l'habitat d'une espèce et elle regroupe un ensemble des conditions et de ressources constituant autant d'axes de la niche.

L'altitude est étudiée dans ce travail pour voir son impact sur la diversité végétale de la strate arborescente dans les forêts à *Julbernardia seretii* à Uma en RD Congo. Ce site est caractérisé par des inselbergs sur lesquels *Julbernardia seretii* s'installe le long d'un gradient altitudinal.

Selon Delnatte (2010), le gradient altitudinal est complexe car il est un résultat de la combinaison de plusieurs facteurs écologiques regroupés en trois catégories :

- Climatiques: diminution de la température, diminution de l'évapotranspiration, augmentation de la pluviosité et de l'humidité relative, augmentation de l'effet du vent.
- Edaphiques: augmentation de la quantité d'eau disponible, diminution de la vitesse de décomposition de la litière ; d'où, augmentation de matière organique et diminution du P^H due à l'accumulation des acides organiques.
- Biotiques: modification de la densité, de la physionomie, de la composition floristique, de la diversité spécifique, de l'architecture, de l'indice de la surface foliaire (LAI : Leaves Area Index), ...

I.4. 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 et Sasson 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), les 3 grands types forestiers de Uma semblent s'installer suivant un gradient altitudinal.

Le gradient altitudinal a été évoqué par Quense (2011) au Chili qui a montré que la végétation de montagne est plus vulnérable aux changements climatiques que la végétation de basse altitude. Le gradient altitudinal est fortement lié à la notion de température, ce qui est à la base de différences importantes dans la composition floristique, structurale des peuplements forestiers le long de ce gradient.

Plusieurs auteurs ont fait l'étagement de la végétation selon le gradient altitudinal (Mühlenberg et *al.*, 1994 et Quense *op.cit.*). 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 et animales commencent à remonter vers les altitudes supérieures suite aux effets de réchauffement conduisant ainsi à une forte diversité à ces altitudes.

Dans la forêt amazonienne, aux Andes et au Mexique, la diversité décroît avec l'altitude (Bush et Flenley, 2007). De même, l'altitude est corrélée négativement à la richesse spécifique à Puerto Rico (Gould et *al.*, 2006). Delnatte (2010) a trouvé en Guyane Française que la diversité spécifique des différents groupes étudiés (Melastomatacées, Ptéridophytes et Palmiers) ne répondait pas de la même façon selon les gradients altitudinaux et les 6 massifs étudiés. Pour cette étude, l'altitude était comprise entre 200 m et 700 m. La diversité spécifique des Melastomatacées a tendance à augmenter avec l'altitude. Pour les Ptéridophytes, la diversité atteint son pic aux altitudes médianes. Enfin, la diversité spécifique de palmiers est grande dans les altitudes basses et hautes (600 et 700 m) alors qu'elle diminue aux altitudes moyennes.

Dans le Parc National de Kahuzi-Biega en RD Congo, la diversité et la richesse spécifique des ptéridophytes et des espèces de leurs associations décroissent lorsque l'altitude augmente (Mangambu et *al.*, 2013).

Dans les plateaux (basse altitude), les gros arbres (en DHP) sont plus nombreux que sur les pentes aux altitudes supérieures (Fournier et Sasson, 1983). Ceci laisse croire que la structure diamétrique sur un gradient altitudinal ne reste pas constante. Mais, selon Pierlot (1966) cité par Fournier et Sasson (*op.cit.*), 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 (N/HA : Nombre de tiges par hectare) augmente aux altitudes médianes (Rousteau, 1996).

I.5. Problématique

L'altitude de la région de Kisangani est moyennement faible (elle est comprise entre 350 et 500 m selon les milieux). Uma se trouvant dans la cuvette congolaise, la présence des inselbergs explique mieux la possibilité d'y réaliser une étude suivant le gradient altitudinal.

Les inselbergs sont des affleurements de roches précambriennes (granites ou gneiss), souvent en forme de dôme, et dominant les pénéplaines avoisinantes. Littéralement 'inselberg' est traduit par « île-montagne », c'est un mot d'origine allemande (Thomas, 1994 cité par Parmentier, 2003). Ils sont souvent caractérisés par des végétations particulières au sommet tout comme à leur pied (Parmentier, op.cit.).

Selon Lyagabo (2012), à Uma, il y a 3 grands types forestiers dont les forêts à *Pericopsis elata*, à *Julbernardia seretii* et ceux étant à la base des inselbergs (sur des éboulis rocheux). De tous ces peuplements, celui à *Julbernardia seretii* est le moins diversifié et se situe dans la partie ayant des inselbergs. Lomba (2011) a trouvé que cette espèce a un comportement grégaire dans le site de Biaro et Yoko. Des agrégats de *Julbernardia seretii* ont été observés vers 650 m autour des inselbergs (Lyagabo, op.cit.).

Un gradient altitudinal était déjà évoqué à Uma (Lyagabo, op.cit.) et ses effets ont déjà été élucidés par plusieurs recherches (Bush et Flenley, 2007, Gould et al., 2006, Delnatte, 2010, Mangambu et al., 2013, ...) dans des cas de simple élévation d'altitude sans apparition d'inselbergs. Parmentier (2003) avait déjà montré que les inselbergs sont caractérisés par des végétations particulières et vu leur caractère d'insularité, ils peuvent changer l'effet de l'altitude sur la végétation. Dans cette étude il sera vérifié comment la diversité et la richesse spécifique sont influencées par ce gradient vu la présence des inselbergs. De même, l'influence de ce gradient sur la densité à l'hectare et la structure diamétrique sera aussi vérifiée.

I.6. Hypothèses

Cette étude cherche à vérifier les hypothèses suivantes :

1. La diversité et la richesse spécifique de la strate arborescente dans les forêts à *Julbernardia seretii* sont plus élevées dans les altitudes supérieures où il y a des inselbergs que là où ils sont absents, dans les altitudes inférieures.
2. Il n'y a pas de différence en ce qui concerne le nombre de pieds ramené à l'hectare (la densité/ha) entre les altitudes au niveau des inselbergs et là où ils ne sont pas.
3. La structure diamétrique dans ces deux zones (altitudes sur les inselbergs et à l'extérieur des inselbergs) est la même.

I.7. Objectifs et intérêts

I.7.1. Objectif principal

Ce travail a comme objectif général de déterminer l'influence de l'altitude sur les peuplements à *Julbernardia seretii* à Uma.

I.7.2. Objectifs spécifiques

- Déterminer l'influence de l'altitude sur la diversité et la richesse spécifiques de la strate arborescente dans les peuplements à *Julbernardia seretii* de la forêt de Uma ;
- Déterminer l'impact du gradient altitudinal sur la densité au sein de ces forêts ;
- Déterminer et comparer les structures diamétriques en rapport avec ces différentes tranches altitudinales avec et sans inselbergs.

I.7.3. Intérêts de l'étude

Uma étant un milieu qui a été peu étudié, ce travail va permettre :

- ✓ de mieux connaître les types de forêt qui s'y développent ;
- ✓ de connaître les zones les plus denses et les moins denses en vue de mettre en place des stratégies de conservation et de gestion de cette forêt et de ses espèces.
- ✓ de savoir si cette forêt est en pleine croissance ou pas, pour éclairer la prise de décision dans le processus en cours consistant à octroyer à cette forêt un système de gestion communautaire.

CHAPITRE II. MILIEU D'ETUDE, MATERIEL ET METHODE

II.1. Milieu d'étude

Uma est situé à 92 km à l'Est de la ville de Kisangani, 0°34' N et 25°52' E, dans la collectivité (secteur) Bakumu-Kilinga, territoire d'Ubundu, district de la Tshopo. Il se situe entre la Réserve de Faune à Okapis (RFO) et le Parc National de Maïko (PNM) et est en voie de devenir une forêt communautaire (fig. 1).

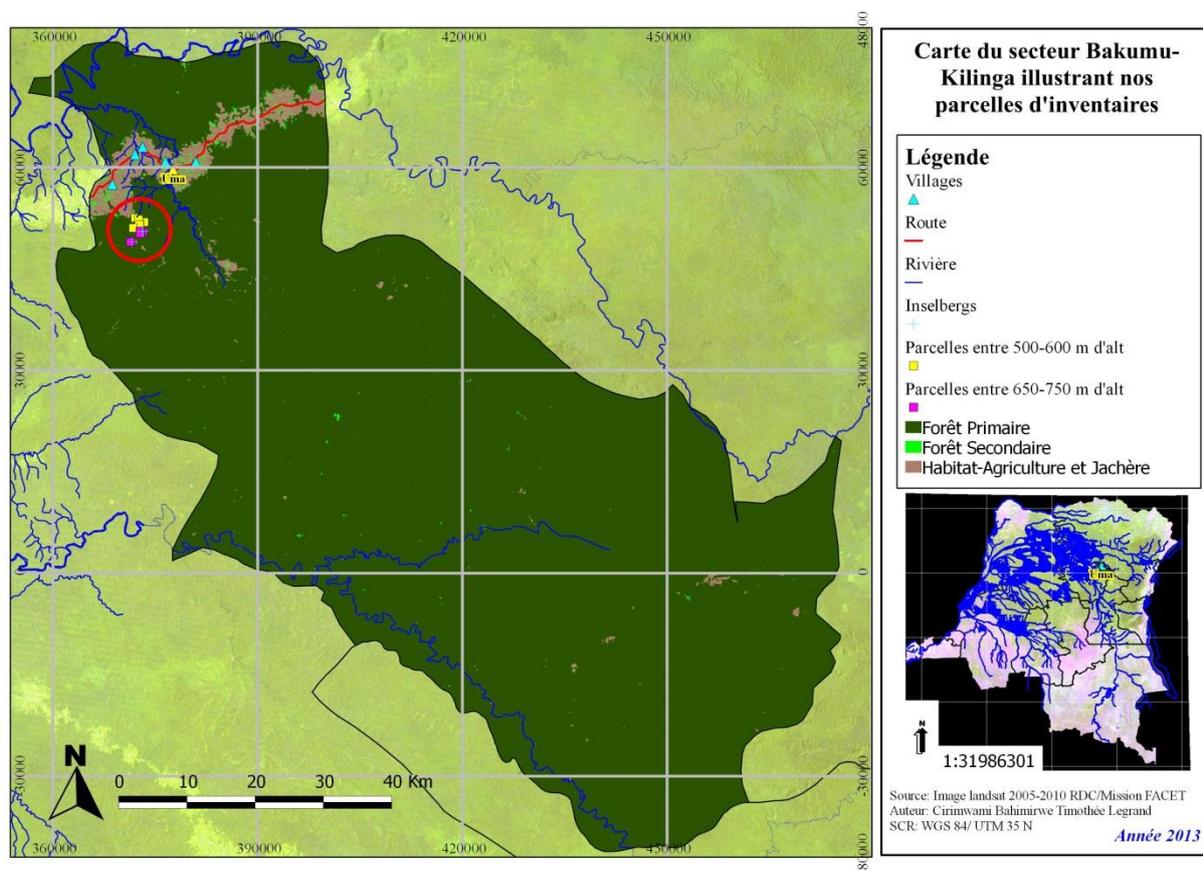


Figure 1. Carte du secteur Bakumu-Kilinga montrant les parcelles d'inventaires

Tout comme la ville de Kisangani, Uma jouit d'un climat équatorial du type continental Af de Köppen tel qu'il l'a décrit en 1936 : une température moyenne annuelle proche de 25 °C, avec des précipitations variant de 1500 à 2000 mm par an (moyenne de 1750 mm).

Du point de vue phytogéographique, la forêt de Uma est située dans le District Centro-oriental de Maïko, secteur forestier central dans le domaine congolais appartenant à la région Guinéo-congolaise (Ndjele, 1988).

La forêt de Uma connaît des faibles pressions anthropiques sur la végétation compte tenu du mode de vie de la population riveraine qui est en général chasseuse et piégeuse. Toutefois, on constate certaines modifications du couvert végétal dues à l'agriculture sur brûlis, la fabrication du charbon de bois, ... surtout autour des villages tout au long de la route (figure 1 ci-dessus).

Contrairement à la flore, la faune est très exploitée à Uma. Les chasseurs et piégeurs vaquent à leur occupation toute l'année ils n'observent jamais la période de fermeture fixée par la législation nationale. Selon Nazetee (2011) la forêt de Uma a une partie consacrée aux cultures et une partie qui héberge des villages clandestins et des campements des chasseurs.

II.2. Matériel et méthodes

Avant la descente sur le terrain, une séance de photo-interprétation à partir d'une image (Geo-eye 50 cm, 2013) de la zone d'étude pour choisir les points à inventorier a eu lieu. Ces lieux ont été choisis en fonction de la dominance de *Julbernardia seretii* qui était repérable à partir d'une coloration particulière et suivant les courbes de niveaux.

Sur le terrain, deux transects orientés vers les 2 inselbergs ont été tracés grâce à une boussole et des machettes pour ouvrir les pistes. Les deux transects ont débuté à 500 m d'altitude et se sont arrêtés à l'altitude 750 m. L'altitude a été mesurée par un GPS (Global Positioning System, marque Garmin). A chaque élévation de 50 m d'altitude pour chacun des deux transects, une parcelle de 50 X 50 mètres a été tracée. L'usage du penta-décamètre et des machettes nous ont permis de diviser la parcelle en 4 sous parcelles de 25 mètres chacune pour faciliter l'inventaire.

Dans chaque parcelle, tous les arbres de diamètre supérieur ou égal à 10 cm à hauteur de poitrine (DHP), soit 1m 30 du sol, ont été inventoriés. Le DHP de ces arbres a été mesuré grâce à un DHP_mètre. La détermination des espèces a été faite directement sur le terrain ou après le terrain, dans l'herbarium de la faculté des Sciences grâce aux herbiers qui ont été collectés. L'encodage standardisé des noms des taxons (espèces et familles) s'est fait suivant Lejoly et *al.*, (2010) basé sur la classification « Angiosperm Phylogeny Group » (APG III, voir annexe 1).

Dans chaque parcelle, d'autres informations ont été collectées : présence de roches et d'éboulis rocheux, milieux hydromorphes, etc. La topographie a été mesurée en se servant du

Laser Ace. Cet appareil a permis de mesurer la pente de chaque parcelle. Cette méthode est inspirée de Mangambu *et al.*, (2013) et Delnatte (2010).

II.3. Analyses des données

Les analyses ont concernées la densité absolue (N/HA), la structure diamétrique, la dominance relative, la densité relative, la fréquence relative, l'indice de valeur d'importance (IVI), l'ordre d'apparition des nouvelles espèces, la diversité relative et générique. Ces premières analyses ont permis de mieux aborder et interpréter les indices de diversité, la richesse spécifique et les coefficients de similarité.

II.3.1. Dominance relative (Dor)

Le calcul de la dominance a été précédé par celui de la surface terrière (G) parce qu'elle en dépend. La surface terrière est calculée par l'équation $G = \frac{\pi D^2}{4}$ (Eq.1)

La dominance met en évidence les espèces ou les familles ayant le plus d'importance dans la flore étudiée.

$$\mathbf{Dor} = \frac{\mathbf{Surface\ terrière\ de\ l'espèce\ ou\ de\ la\ famille\ considérée}}{\mathbf{Surface\ terrière\ totale\ dans\ la\ parcelle}} \times \mathbf{100} \quad (\text{Eq.2})$$

II.3.2. Fréquence relative (Fr)

C'est le rapport entre la fréquence de l'espèce i (f_i) et la somme de toutes les fréquences de la tranche altitudinale (F) multiplié par 100. La fréquence f_i est le rapport des parcelles où l'espèce i est présente sur le nombre total des parcelles dans la tranche altitudinale.

$$f_i = \frac{p_i}{P} \quad (\text{Eq.3}) \quad p_i \text{ représente le nombre des parcelles où l'espèce } i \text{ est présente.}$$

P représente le nombre total des parcelles de la tranche altitudinale.

$$F_r = \frac{f_i}{F} \times 100 \quad (\text{Eq.4}) \quad f_i \text{ représente la fréquence de l'espèce } i.$$

F est la somme des fréquences de toutes les espèces.

II.3.3. Indice de valeur d'importance (IVI)

Cet indice a été calculé pour mettre en évidence les espèces les plus dominantes dans la parcelle étudiée. Il représente la somme de la densité relative, de la dominance relative et de la fréquence relative de l'espèce considérée. La densité relative de l'espèce i étant donnée par : $D_{rel_i} = \frac{N_i}{N} \times 100$ (Eq.5), l'indice de valeur d'importance de l'espèce i devient : $IVI_i = D_{rel_i} + DOR_i + F_{r_i}$ (Eq.6). Cet indice varie entre 0 et 300 dans une parcelle.

II.3.4. Diversité relative (DIR) et diversité générique

La diversité relative d'une famille f est le nombre d'espèces d'une famille divisé par le nombre total des espèces. Cette diversité peut varier de 0 à 100 %. Quand elle vaut 0, cela veut dire que la famille n'est pas représentée et quand elle vaut 100 %, cela veut dire que toutes les espèces présentes appartiennent à une même famille. Elle est alors donnée par la formule suivante :

$$DIR = \frac{\text{Nombre d'espèces au sein d'une famille}}{\text{Nombre d'espèces total}} \times 100 \quad (\text{Eq.7})$$

La diversité générique représente le nombre d'espèces par genre, elle va permettre de savoir quel est le genre qui est plus représenté dans chacune de deux tranches. Les diversités relative et générique ont été calculées dans chacune de tranche et non parcelle par parcelle.

II.3.5. La densité (N/HA)

Il s'agit du nombre d'arbres total (≥ 10 cm DHP) d'une parcelle, ramené à l'hectare. Il s'obtient en faisant la somme des abondances de toutes les espèces.

II.3.6. La structure diamétrique

Cette structure représente le nombre d'arbres par classe de diamètre. Pour cette étude, les classes de diamètres ont chacune un intervalle de 10 cm.

II.3.7. Les indices de diversité

Les différents indices de diversité actuellement utilisés peuvent être groupés en 3. Dans cette étude deux groupes seulement ont pu être calculés, il s'agit de la diversité alpha et de la diversité beta.

II.3.7.1. La diversité alpha (α)

La diversité alpha ou locale indique le nombre d'espèces qui coexistent dans un habitat homogène et la manière dont les effectifs sont repartis entre les espèces. Cette diversité peut être calculée à l'aide de plusieurs indices dont ceux qui ont été utilisés pour cette étude sont repris ci-dessous.

II.3.7.1.1. Indice de diversité de Shannon

Cet indice varie à la fois en fonction du nombre d'espèces présentes et en fonction de la proportion relative du recouvrement des différentes espèces ; il peut varier entre 0 et 4,5 pour des relevés de taille faible (Jayaraman, 1999).

$$H = - \sum_{i=1}^S p_i \times \ln p_i \quad (\text{Eq.8})$$

$P_i = n_i / N$, soit l'abondance relative de l'espèce i dans l'échantillon (la parcelle), n_i = nombre d'individus de l'espèce i et N = nombre d'individus pour l'ensemble des espèces; S = nombre d'espèces de la communauté.

II.3.7.1.2. Indice d'Équitabilité de Pielou

Selon Frontier *et al.*, (1993) cités par Nshimba (2008), cet indice est défini par la formule :

$$R = \frac{H}{H_{max}} \quad (\text{Eq.9})$$

L'indice d'équitabilité d'un échantillon est le rapport entre sa diversité et la diversité maximale pouvant être obtenue avec le même nombre de taxons. Il relativise H par la valeur maximale qu'il peut atteindre et permet d'éviter en partie l'effet taille de l'échantillon. Ceci mesure l'éventualité avec laquelle les individus sont répartis parmi les taxons présents.

II.3.7.1.3. Indice de diversité D de Simpson

L'indice de Simpson mesure la probabilité que deux individus sélectionnés au hasard appartiennent à la même espèce :

$$D = \sum f_i^2 \quad (\text{Eq. 10}) \quad \text{avec} \quad f_i = \frac{n_i}{N} \quad (\text{Eq. 11})$$

n_i : nombre d'individus de l'espèce donnée.

N : nombre total d'individus.

Dans le but d'obtenir des valeurs « plus intuitives », on peut préférer l'indice de diversité de Simpson représenté par $1-D$, le maximum de diversité étant représenté par la valeur 1, et l'absence de diversité par la valeur 0 (Amani, 2011). Il faut noter que cet indice de diversité donne plus de poids aux espèces abondantes qu'aux espèces rares.

II.3.7.1.4. Indice de Fisher_alpha

Cet indice est calculé par la formule suivante:

$$S = a \times \ln \left(1 + \frac{n}{a} \right) \quad (\text{Eq.12})$$

S : Nombre d'espèces

n : Nombre d'individus

a : Indice de Fisher_alpha

Son avantage est qu'il s'agit d'un indice qui montre bien la variation de la diversité d'espèces dans une parcelle. Il varie de 0 à plusieurs dizaines, il peut même atteindre 60 et plus dans une parcelle. Cet indice est beaucoup influencé par les espèces rares (Marcon, 2013).

II.3.7.1.5. Richesse spécifique (r)

Elle représente le nombre d'espèces répertoriées dans une parcelle. Selon Kiet *et al.*, (1998), pour décrire un peuplement forestier, il faut s'intéresser à l'évolution de sa richesse spécifique.

II.3.7.2. La diversité beta (β)

Elle reflète la modification de la diversité alpha lorsqu'on passe d'un écosystème à un autre dans un site. Elle représente le taux de remplacement des espèces dans un gradient utilisé pour étudier une végétation, dans le cas de ce travail 'le gradient altitudinal' (Smith 1983, *Scientia Silvana*, 1997 et Condit *et al.*, 2002 cités par Nshimba, 2008). Cette diversité est plus exprimée par les indices ou coefficients de similarité. La similarité entre deux parcelles ou deux milieux différents peut être calculée selon les abondances de leurs espèces (exemple : indice de similarité de Bray-Curtis, Morisita et Horn) ou selon leur présence-absence, données d'incidence ou binaires (exemple : indice de similarité de Simpson, Jaccard, Sorensen et Distance Euclidienne). Dans ce travail, ce sont les indices de similarité de Jaccard et de Morisita qui ont été calculés.

II.3.7.2.1. Indice de similarité de Jaccard (Jac)

Cet indice tient compte des richesses spécifiques, des données binaires (présence-absence).

$$\text{Jac} = \frac{j}{(a+b-j)} \quad (\text{Eq.13})$$

Où : j = nombre d'espèces trouvées dans les deux sites comparés ; a = nombre d'espèces trouvées dans le site A ; b = nombre d'espèces trouvées dans le site B. Son intérêt est qu'il permet de regrouper les parcelles d'inventaires ayant des richesses spécifiques comparables.

II.3.7.2.2. Indice de similarité de Morisita (Mor)

Contrairement au précédent, cet indice mesure la similarité entre deux ou plusieurs parcelles sur la base des abondances d'espèces. Cet indice est donné par la formule suivante :

$$\text{Mor} = \frac{2 \sum (a n_i \times b n_i)}{(d_a + d_b) \times a N \times b N} \quad (\text{Eq. 14})$$

Où aN = nombre d'individus d'un site a ; bN = nombre d'individus d'un site b ; $a n_i$ = nombre d'individus de l'espèce i dans le site a ; $b n_i$ = nombre d'individus de l'espèce i dans le site b ; d_a : nombre d'espèces spécifiques au site a ; d_b = nombre d'espèces spécifiques au site b (Magurran, 2004).

Ces deux indices (Jaccard et Morisita) varient de 0 à 100 % de similarité. Quand la valeur est de 0 %, cela veut dire que les deux parcelles comparées n'ont aucune ressemblance. La valeur de 100 % veut dire que les deux parcelles ont une similarité maximale.

II.3.7.3. La diversité gamma (γ)

Elle correspond à la richesse spécifique au niveau régional ou géographique. C'est la somme de diversité de toute l'entité étudiée (Crist *et al.*, 2003). Elle n'a pas été développée dans cette étude.

II.4. Facteurs étudiés

Les facteurs qui ont été pris en compte dans cette étude sont : l'altitude, le substrat et la topographie.

II.4.1. Altitude

Sur les deux transects (A et B) deux tranches altitudinales ont été distinguées :

- La tranche altitudinale inférieure (TAInf): c'est la tranche altitudinale qui commence à 500 m et se termine à 600 m d'altitude. Elle contient 6 parcelles inventoriées : P500A, P500B, P550A, P550B, P600A et P600B.
- La tranche altitudinale supérieure (TASup) : elle est située entre 650 m et 750 m d'altitude. Elle contient 6 parcelles : P650A, P650B, P700A, P700B, P750A et P750B.

II.4.2. Substrat

Trois modalités de la variable « Substrat » ont été notées dans chaque parcelle :

- Présence d'éboulis rocheux : ce sont des rochers non fixés dans le sol. Les parcelles à éboulis rocheux sont P600A et P700B.
- Présence d'inselbergs : ce sont de grands rochers de plusieurs mètres de hauteur qui sont fixés dans le sol. Ils ont été observés dans les parcelles P650A, P650B, P750A et P750B.
- Absence d'éboulis et d'inselbergs : c'est le cas des parcelles P500A, P500B, P550A, P550B, P600B et P700A.

II.4.3. Topographie

Chaque parcelle avait 8 valeurs de topographie correspondant à chacun de 25 m de quatre côtés de la parcelle. Sur base des résultats obtenus, en tenant compte de la valeur maximale de topographie pour chacune de parcelles, 3 niveaux de pente ont été distingués.

Est considérée comme pente faible celle qui est inférieure à 10 %, cela est le cas des parcelles P500A, P500B, P550A, P550B, P600B, P700A, P750A. Les parcelles P600A et P700B ont des pentes moyennes (plus de 10 % et moins de 20 %) et la forte pente (plus de 20 %) est observée dans les parcelles P650A, P650B et P750B.

II.5. Tests statistiques et logiciels utilisés

Les tests statistiques ont consistés en des ANOVA et un test de Khi Carré. Les ANOVA ont été réalisées sur les paramètres tels que les indices diversité (Shannon, Equitabilité, Simpson et Fisher-alpha), la richesse spécifique et la densité (N/HA). Le Khi Carré a été utilisé pour comparer les structures diamétriques de deux tranches.

Nous avons testé l'effet de deux facteurs principaux ; l'altitude et le substrat. Les détails de chacun de tests effectués sont mis en annexes (voir annexe 2).

La différence est significative entre les deux tranches si la p-value est inférieure à 0,05. Pour tous les paramètres testés, la valeur du p et celle de ddl (degré de liberté) et de Khi Carré (pour le test Khi Carré) sont données.

Au total, 7 logiciels ont été utilisés pour arriver à présenter ce rapport. Le logiciel Excel de Microsoft Office 2010 a facilité la gestion et l'arrangement de la base des données brutes issue du terrain. La rédaction de ce rapport a été rendue possible grâce au logiciel Word du Microsoft Office 2010. Le logiciel Past (Paleontological Statistics) a permis de calculer les indices de diversité et les coefficients de similarité. Les graphiques et les valeurs statistiques ont été obtenus par le logiciel Statistica version 6. Les logiciels Quantum Geographic Information System (QGIS 1.8.0) et Environment for Visualizing Image (ENVI version 4.6) ont permis la production de la carte de la zone d'étude. Le logiciel Zotero a été utilisé pour mieux gérer la bibliographie et mieux la présenter.

CHAPITRE III. RESULTATS

Au total 149 espèces, réparties en 104 genres et 35 familles ont été inventoriées. La tranche altitudinale inférieure abrite 115 espèces, 88 genres et 34 familles tandis que la tranche altitudinale supérieure abrite 117 espèces, 86 genres et 31 familles.

III.1. Effet de l'altitude sur la densité d'arbres à l'hectare (N/HA)

La figure 2 montre comment varie la densité d'arbres (nombre de pieds ramené à l'hectare).

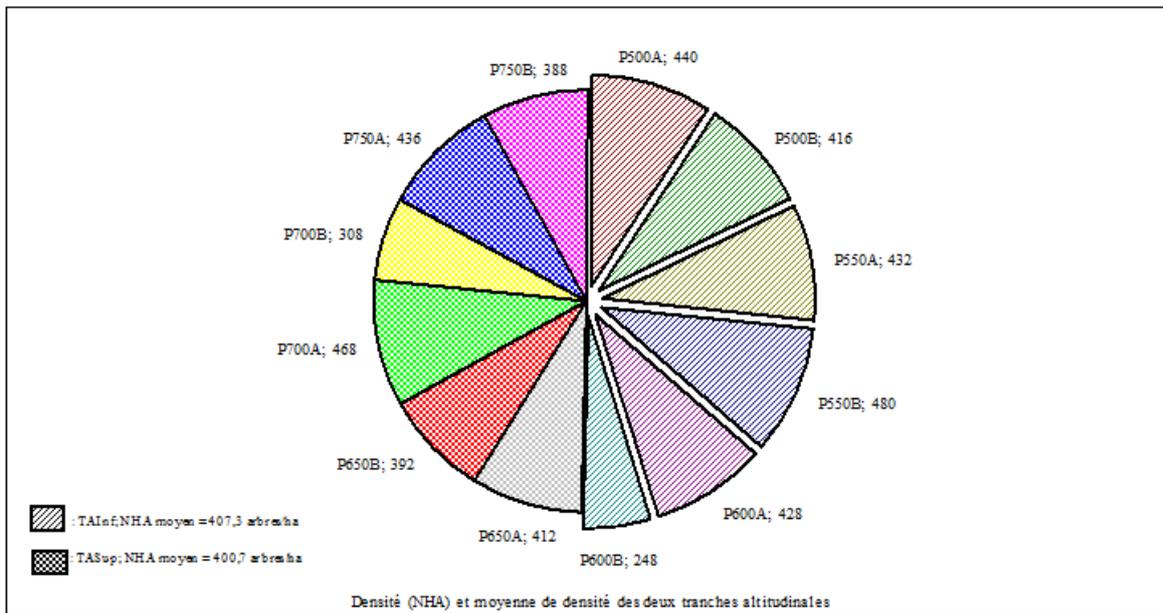


Figure 2. Nombre d'individus ramené à l'hectare par parcelle (N/HA)

La figure 2 ci-haut montre la densité ramenée à l'hectare au sein de chaque parcelle. La densité est comprise entre 248 et 480 arbres à l'hectare. Huit parcelles ont plus de 400 arbres à l'hectare (P550B, P700A, P500A, P750A, P550A, P600A, P500B, et P650A), les quatre autres (P650B, P750B, P700B, P600B) ont moins que 400 arbres à l'hectare. La parcelle P550B a le record de densité et la parcelle P600B détient la valeur minimale. La TAIInf a une moyenne (\pm écart-type) de densité de $407,3 \pm 74$ pieds d'arbres par hectare et la TASup a $400,7 \pm 50$ pieds d'arbres par hectare.

III.2. Structure diamétrique

La figure 3 montre la répartition des arbres au sein des classes de diamètres pour les deux tranches altitudinales.

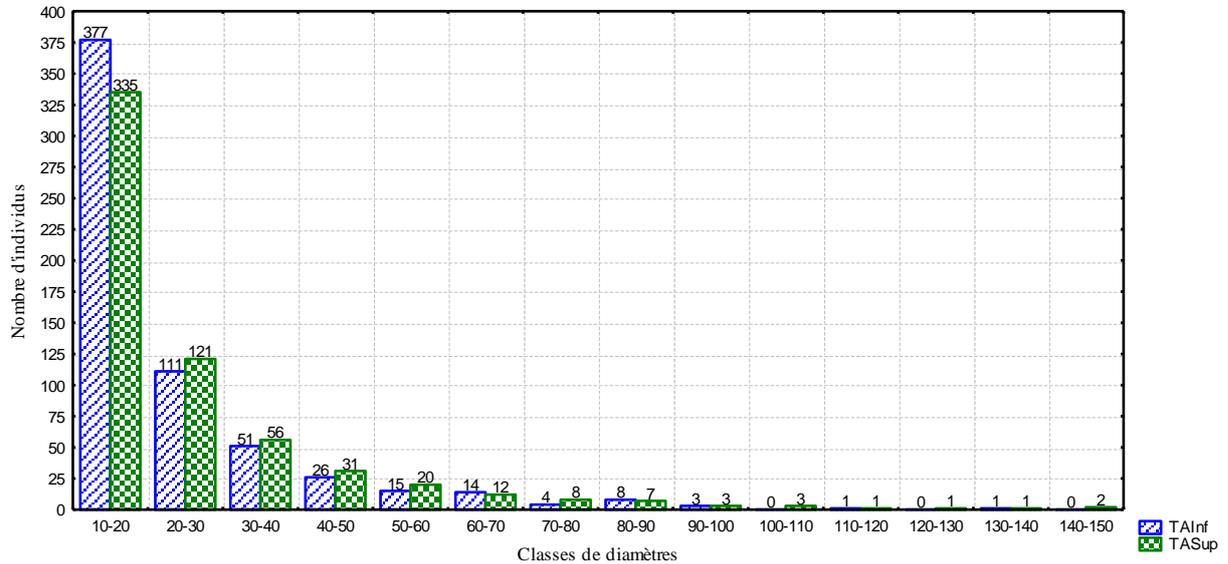


Figure 3. Répartition des tiges par classe de diamètre

La courbe que génère cette répartition est en J inversé pour les deux tranches. Il y a davantage des tiges dans les classes inférieures que dans les classes supérieures. Au total, 94,9 % des 611 arbres de la TAIInf et 93,7% des 601 arbres de la TASup sont dans les classes inférieures à 60 cm DHP. Ceci représente 580 sur 611 arbres dans la TAIInf et 563 sur 601 arbres dans la TASup qui appartiennent aux classes inférieures à 60 cm de DHP.

III.3. Dominance relative

La figure 4 suivante montre les espèces dominantes dans les deux tranches altitudinales.

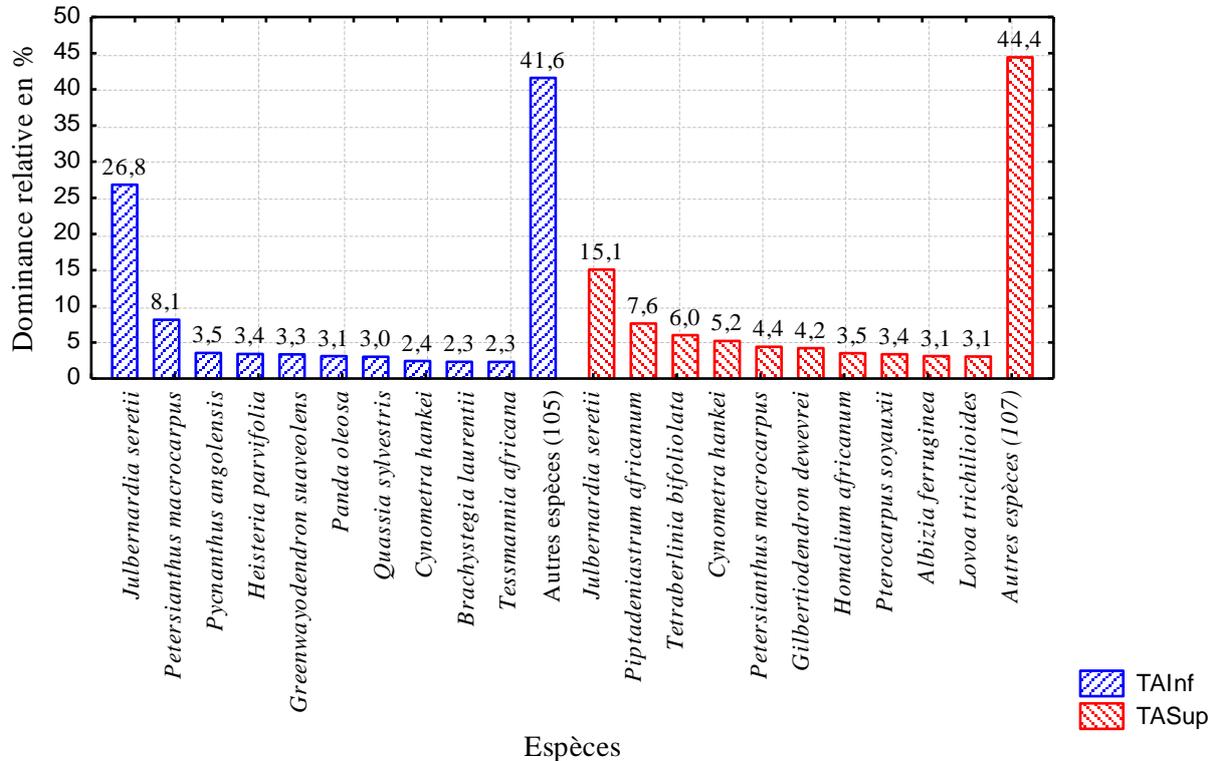


Figure 4. Dix espèces les plus dominantes dans les deux tranches

Dans la TAIInf, les dix espèces les plus dominantes représentent 58,4 % de toute la flore et les 105 espèces restantes occupent 41,6 %. Pour ce qui est de la TASup, les dix espèces les plus dominantes représentent 55,6 % du total, alors que les autres espèces (107) représentent 44,4 %. Dans les deux tranches, l'espèce *Julbernardia seretii* est la plus dominante avec 26,8 % dans la TAIInf et 15,1 % dans la TASup. Les espèces les plus dominantes dans les deux tranches sont différentes, seulement 3 espèces parmi les 10 sont communes aux deux tranches, il s'agit de *Julbernardia seretii*, *Petersianthus macrocarpus* et *Cynometra hankei*, chaque tranche a 7 espèces qui lui sont caractéristiques du point de vue dominance relative.

III.4. Densité relative

La figure 5 suivante illustre les espèces relativement les plus denses dans les deux tranches altitudinales.

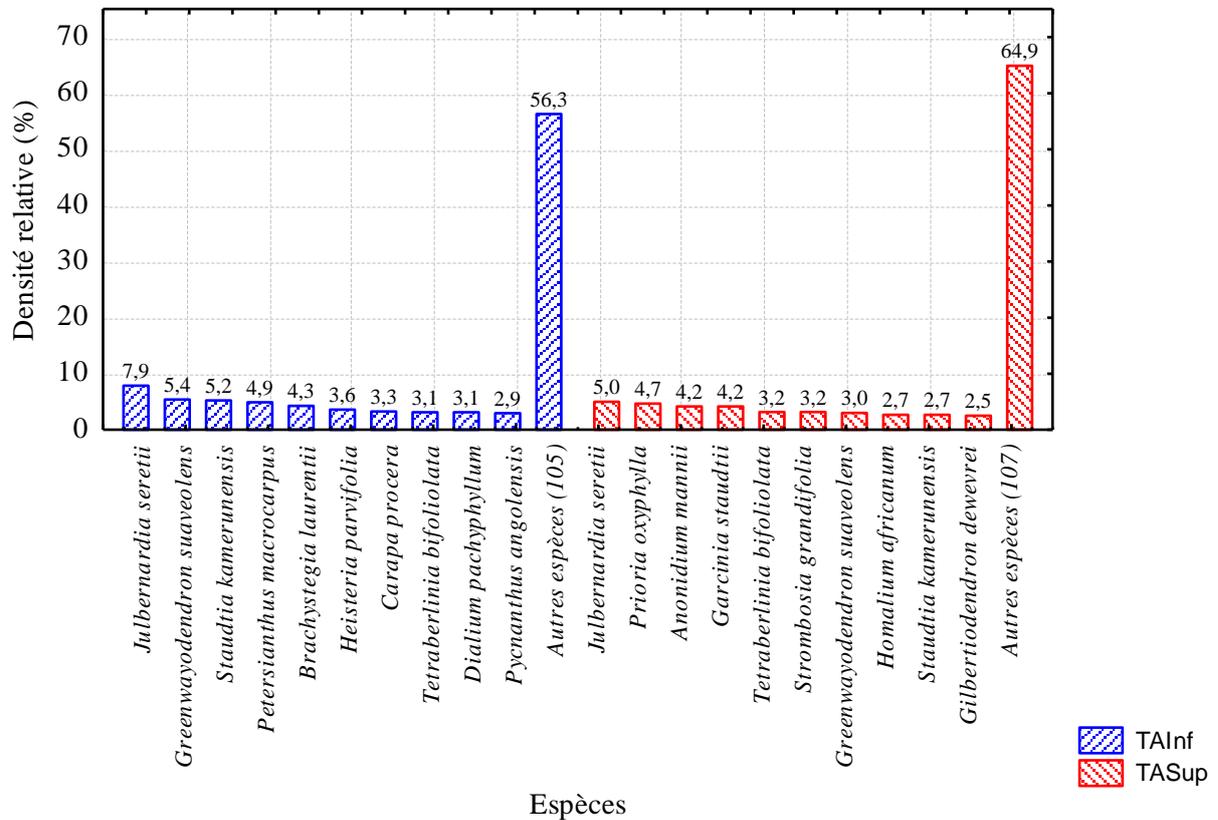


Figure 5. Dix espèces les plus denses dans les deux tranches

Dans la TAIInf, les dix espèces les plus denses représentent 43,7 % du total, et les 105 espèces restantes occupent 56,3 %. Pour ce qui est de la TASup, dix espèces occupent 35,1 % de toute la flore pendant que les autres espèces (107) représentent 64,9 %. Dans les deux tranches, l'espèce *Julbernardia seretii* est la plus dense avec 7,9 % dans la TAIInf et 5,0 % dans la TASup. Les espèces les plus denses dans les deux tranches sont différentes, seulement 4 espèces parmi les 10 sont communes aux deux tranches, il s'agit de *Julbernardia seretii*, *Greenwayodendron suaveolens*, *Staudtia kamerunensis* et *Tetraberlinia bifoliolata*. De ces 10 espèces les plus denses, chaque tranche a 6 espèces qui lui sont propres.

III.5. Fréquence relative

Dans la TAInf, il y a 7 espèces qui sont présentes dans toutes les parcelles (soit une fréquence absolue de 6 et relative de 2,29 %). Ces 7 espèces présentes dans toutes les parcelles sont : *Julbernardia seretii*, *Greenwayodendron suaveolens*, *Heisteria parvifolia*, *Staudtia kamerunensis*, *Pycnanthus angolensis*, *Cola griseiflora* et *Pancovia laurentii*. Il y a 5 espèces qui ne sont présentes que dans 5 parcelles (FA 'fréquence absolue' = 5 et Frel 'fréquence relative' = 1,91 %). Treize espèces sont présentes dans 4 parcelles (FA = 4 et Frel = 1,53 %). Dans cette tranche, 10 espèces sont présentes dans 3 parcelles (FA = 3 et Frel = 1,15 %). Il y a 28 espèces présentes dans 2 parcelles (FA = 2 et Frel = 0,76 %) et 49 espèces sont présentes seulement dans une seule parcelle (FA = 1 et Frel = 0,38).

Dans la TASup, il y a 7 espèces qui sont présentes dans toutes les parcelles (soit une fréquence absolue de 6 et relative de 2,05 %). Ces 7 espèces présentes dans toutes les parcelles sont : *Julbernardia seretii*, *Prioria oxyphylla*, *Petersianthus macrocarpus*, *Homalium africanum*, *Garcinia staudtii*, *Greenwayodendron suaveolens* et *Cola griseiflora*. Il y a 11 espèces qui ne sont présentes que dans 11 parcelles (FA 'fréquence absolue' = 11 et Frel 'fréquence relative' = 1,71 %). Quatorze espèces sont présentes dans 4 parcelles (FA = 4 et Frel = 1,37 %). Dans cette tranche, 13 espèces sont présentes dans 3 parcelles (FA = 3 et Frel = 1,03 %). Il y a 28 espèces présentes dans 2 parcelles (FA = 2 et Frel = 0,68 %) et 44 espèces sont présentes seulement dans une seule parcelle (FA = 1 et Frel = 0,17 %).

III.6. Indice de valeur d'importance

La figure 6 ci-dessous montre les espèces les plus importantes dans chacune des deux tranches.

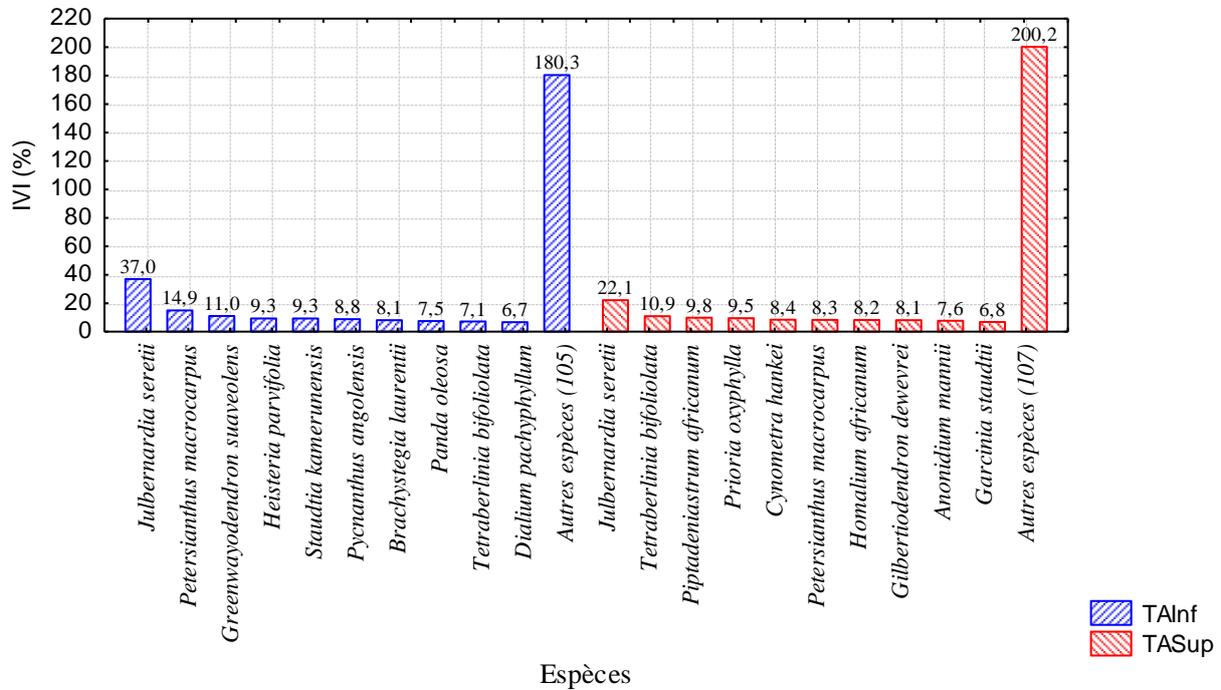


Figure 6. Dix espèces les plus importantes dans les deux tranches

Au total, 3 espèces sont communes aux deux tranches, il s'agit des espèces : *Julbernardia seretii*, *Petersianthus macrocarpus* et *Tetraberlinia bifoliolata*. Les 10 espèces les plus importantes au sein de la TAlnf représentent 119,7 sur 300 % et les 105 espèces restantes représentent 180,3 sur 300 %. Dans la TASup, les 10 espèces les plus importantes représentent 99,8 sur 300 % et les 107 espèces restantes représentent 200,2 sur 300 %.

III.7. Ordre d'apparition des nouvelles espèces selon le gradient altitudinal

La figure 7 suivante montre le nombre de nouvelles espèces apparues à chaque tranche altitudinale.

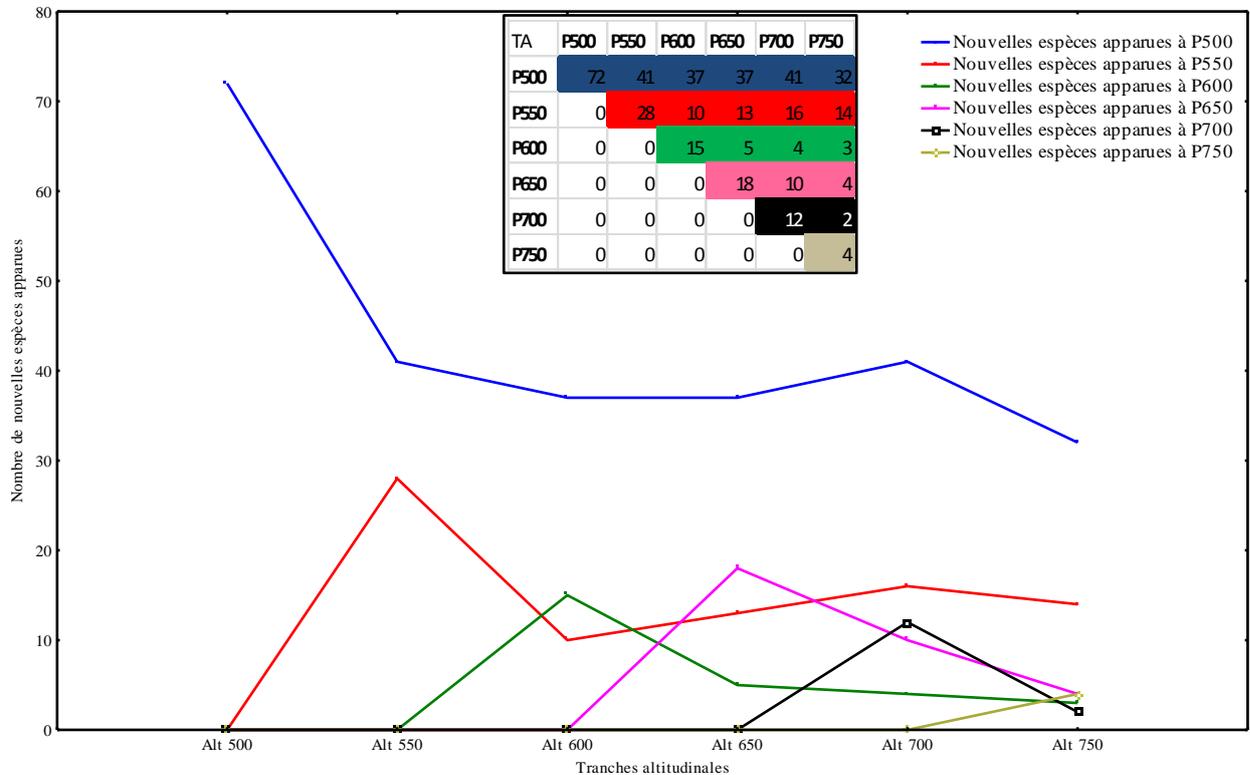


Figure 7. Ordre d'apparition des espèces nouvelles

Au niveau initial, à la tranche altitudinale de 500 m, 72 espèces ont été trouvées. Certaines de ces espèces ont été aussi inventoriées dans les autres tranches altitudinales (courbe bleue). Au niveau de 550 m d'altitude, 28 nouvelles espèces sont apparues sur la liste. Certaines de ces espèces subsistent jusqu'à 750 m d'altitude (courbe rouge). A 600 m d'altitude, c'est seulement 15 espèces qui apparaissent et dont certaines ont été retrouvées aux altitudes supérieures (courbe verte).

A la tranche altitudinale de 650 m, 18 nouvelles espèces apparaissent et continuent jusque vers 750 m d'altitude (courbe rose). Au niveau de 700 m d'altitude 12 espèces nouvelles apparaissent dont 2 arrivent à 750 m d'altitude (courbe noire). L'altitude de 750 m a 4 espèces qui n'ont pas été inventoriées dans d'autres tranches altitudinales (courbe kaki). Ces quatre espèces sont effectivement : *Tessmannia anomala*, *Macaranga spinosa*, *Hymenostegia pellegrini* et *Diospyros hoyleana*. De toutes les 149 espèces trouvées, 83 espèces sont

communes aux deux tranches (TAInf et TASup). Chaque tranche a un certain nombre d'espèces qui la différencie de l'autre. Il y a 32 espèces qui ont été seulement inventoriées en TAInf et 34 espèces qui sont apparues seulement en TASup.

III.8. Courbe altitude/aire-espèces

La figure 8 qui suit montre l'évolution cumulée du nombre d'espèces de 500 à 750 m d'altitude.

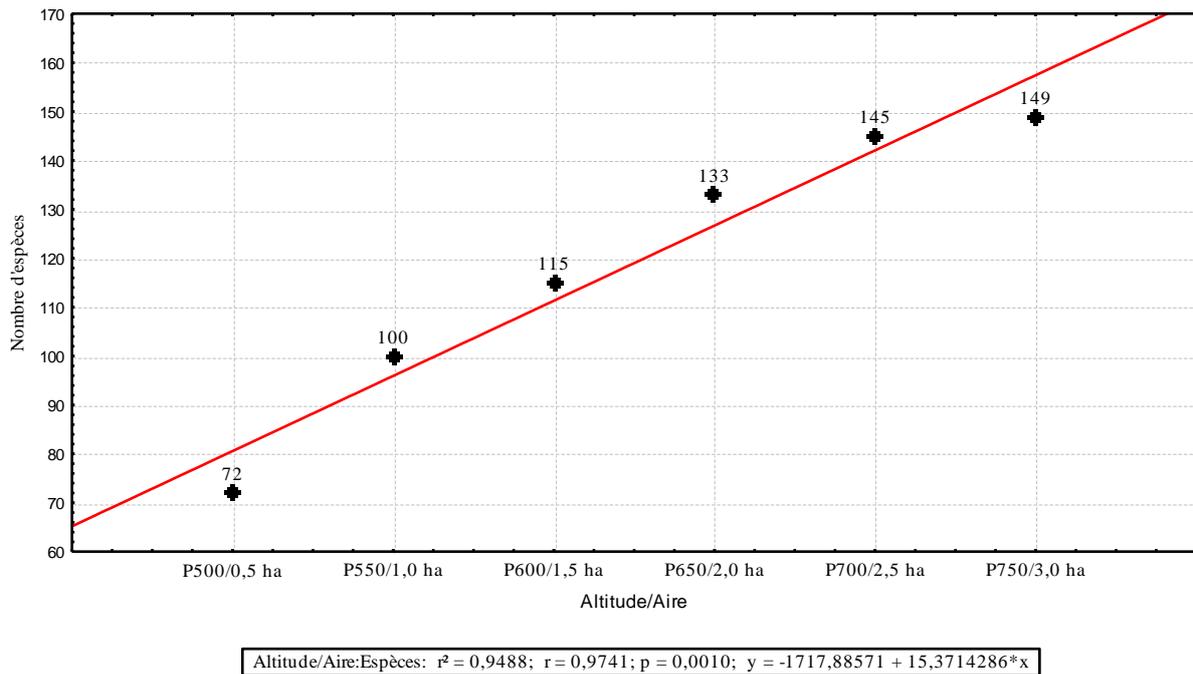


Figure 8. Courbe altitude/aire-espèces

Cette courbe est donnée par des valeurs cumulées de la plus petite altitude et aire d'échantillonnage vers la plus grande. Le nombre d'espèces augmente sensiblement jusqu'au niveau de 700 m d'altitude mais, arrivé à 750 m on voit un ralentissement de l'augmentation. Plus l'élévation et la surface d'échantillonnage augmentent, plus des nouvelles espèces apparaissent. Dans chaque élévation de 500 m d'altitude il y a au moins 4 nouvelles espèces. La composition spécifique de 500 m d'altitude n'est pas celle de l'altitude de 550 m et celle de 550 m n'est pas celle de 600 m d'altitude, ainsi de suite.

III.9. Diversité relative

III.9.1. Familles les mieux représentées

La figure 9 qui suit, montre les familles qui ont plus d'espèces dans les deux tranches.

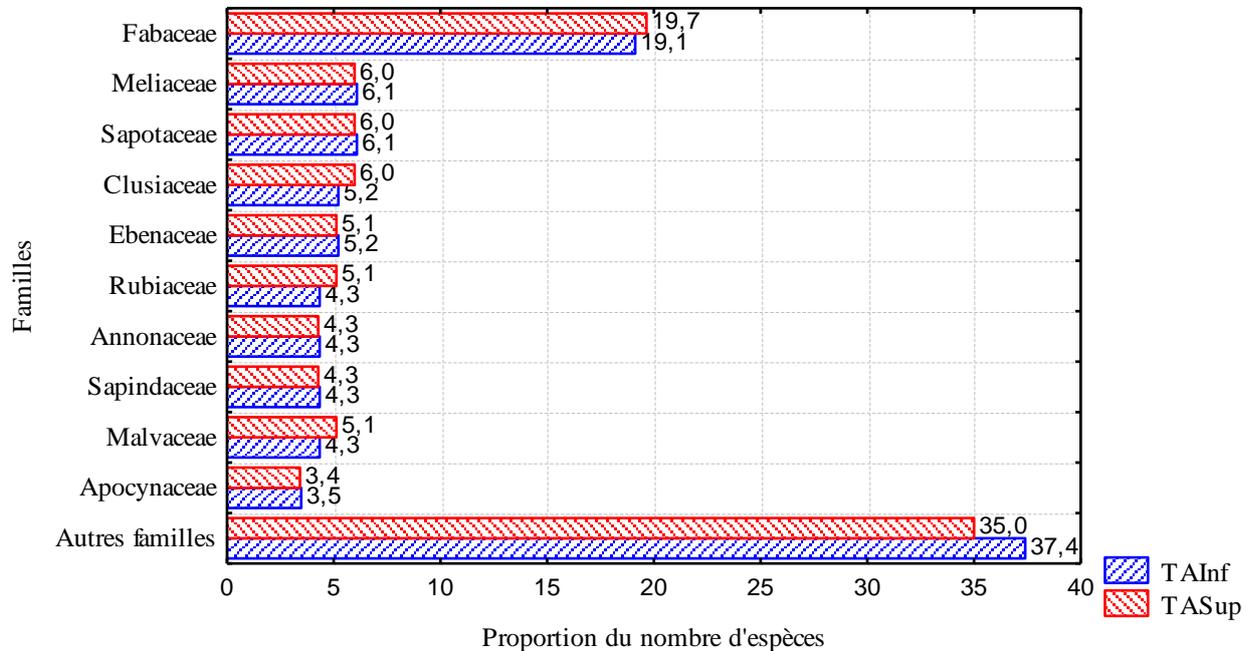


Figure 9. Les dix familles les plus représentées dans les deux tranches

Les dix familles qui ont plus d'espèces sont les mêmes dans les deux tranches. La famille des Fabaceae a 22 espèces (19,1 %) dans la TAIInf et 23 espèces (19,5 %) dans la TASup. Cette famille est celle qui occupe le premier rang dans les deux tranches altitudinales. Elle est suivie par les Sapotaceae dans la TASup avec 8 espèces (6,8 %) et par la famille des Sapotaceae et celle des Meliaceae dans la TAIInf avec chacune 7 espèces (6,1 %).

Au niveau de la TASup 31 familles ont été inventoriées dont 10 représentent 65,3 % et les 21 autres représentent 34,7 %. Pour la TAIInf, 34 familles ont été inventoriées dont 10 représentent 62,6 % et les 24 autres familles représentent 37,4 %.

III.9.2. Diversité générique

Dans la tranche altitudinale inférieure, 88 genres représentant les 115 espèces ont été répertoriés. Le genre *Diospyros*, *Garcinia*, *Drypetes*, et *Trichilia* ont plus d'espèces dans la TAIInf avec respectivement 6, 4, 3 et 3 espèces. Ces genres sont ainsi les plus représentés dans cette tranche. Dans la tranche altitudinale supérieure, 86 genres représentant les 117 espèces,

y ont été inventoriées. Les genres les mieux représentés et ayant donc plus d'espèces dans cette tranche sont *Diospyros*, *Garcinia*, *Drypetes* et *Trichilia*. Ces genres ont respectivement 6, 5, 4 et 4 espèces.

III.10. Effet de l'altitude sur la diversité de la strate arborescente

III.10.1. Diversité Alpha

Dans cette partie, la corrélation entre la diversité alpha et l'altitude au sein de chaque parcelle pour les indices de Shannon, Simpson, Fisher_alpha, Equitabilité de Piélou et la richesse spécifique est faite. Les figures 10 à 14 ci-dessous illustrent mieux cette corrélation.

III.10.1.1. La corrélation entre la diversité et le gradient altitudinal

Les figures 10 à 13 ci-dessous montrent comment les quatre indices de diversité ont varié au sein de 12 parcelles.

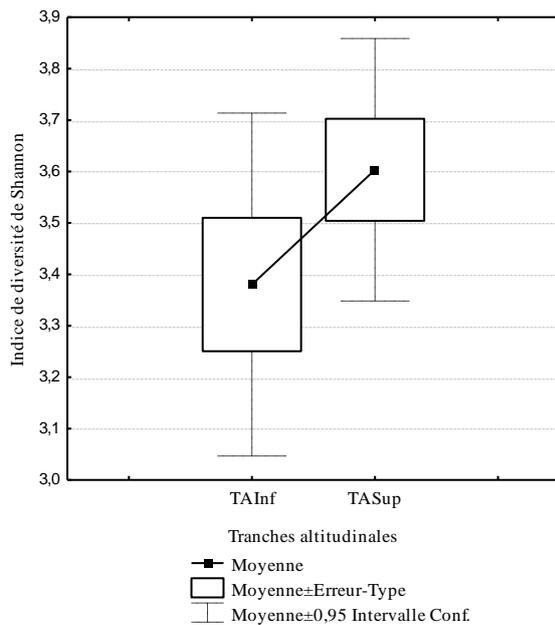


Figure 10. Indice de diversité de Shannon

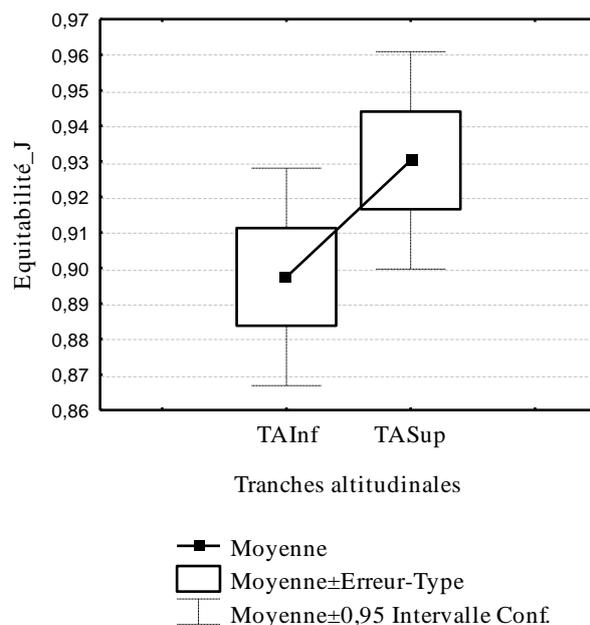


Figure 11. Indice d'Equitabilité de Piélou

La valeur moyenne (\pm l'écart-type) de l'indice de Shannon est de $3,38 \pm 0,29$ pour la TAInf et $3,6 \pm 0,22$ pour la TASup. Les valeurs de cet indice dans la TAInf varient de 2,75 (P600B) à 3,66 (P600A). Dans la TASup cet indice atteint sa valeur minimale de 3,29 à la parcelle P750A et la maximale de 3,94 à la parcelle P700A. L'indice de l'équitabilité de Piélou suit les mêmes tendances que l'indice de diversité de Shannon. Sa valeur moyenne \pm l'écart-type est de $0,90 \pm 0,034$ pour la TAInf et de $0,93 \pm 0,027$ pour la TASup. Pour la TAInf, cet indice

atteint sa valeur minimale de 0,83 à la parcelle P600B et la maximale de 0,93 à la parcelle P600B.

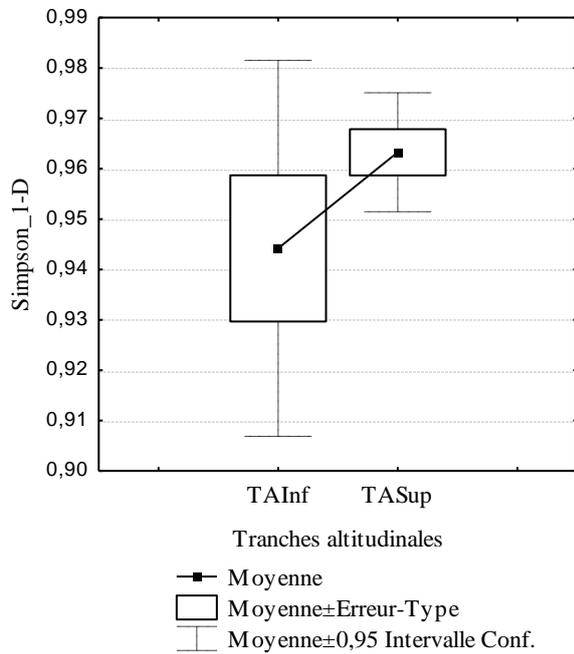


Figure 12. Indice de diversité de Shannon

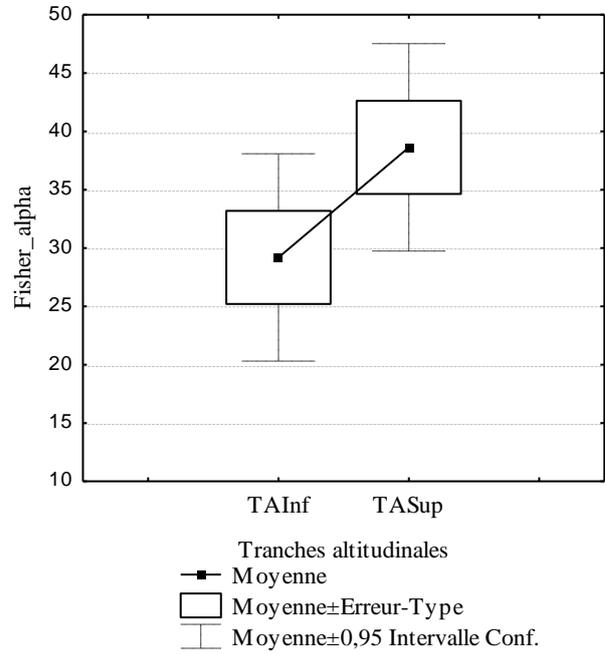


Figure 13. Indice de diversité de Fisher_alpha

L'indice de Simpson_1-D varie de 0,872 (parcelle P600B) à 0,9645 (parcelle P600A) et une moyenne (\pm écart-type) de $0,944 \pm 0,032$ pour la TAINf. Pour la TASup, cet indice varie entre 0,9445 (parcelle P750A) et 0,9749 (parcelle P700A) avec une moyenne de $0,9632 \pm 0,01$. L'indice de Fisher_alpha a révélé la même tendance avec une valeur variant entre 19,67 (parcelle P600B) et 38,19 (parcelle P600A) et en moyenne (\pm écart-type) $29,2 \pm 5,4$ pour la TAINf. Pour la TASup la valeur de cet indice varie entre 26,21 (parcelle P750A) à 57,88 (parcelle P700A) avec une moyenne de $38,63 \pm 11,4$.

Les figures 10 à 13 ci-haut montrent la corrélation qui existe entre l'altitude et la diversité. Quatre principaux indices sont concernés par ces figures; l'indice de Shannon, Simpson_1-D, Fisher_Alpha et Equitabilité de Piélu. Dans ces figures, les parcelles sont représentées au travers leurs tranches respectives (TAINf et TASup). Il se remarque que pour tous les indices étudiés, la tranche altitudinale supérieure a toujours une valeur supérieure que ce soit pour le minima, maxima et les moyennes et un faible écart-type, sauf, pour l'indice de Fisher_alpha où cette tranche a un écart-type supérieur à celui de la TAINf.

III.10.1.2. La variation de la richesse spécifique selon le gradient altitudinal

La corrélation entre la richesse spécifique et la variation de l'altitude est montrée dans la figure 14 qui suit. Cette figure reprend aussi le nombre moyen d'individus par parcelles pour chaque tranche pour savoir si la richesse spécifique peut être corrélée aux abondances au sein de la parcelle.

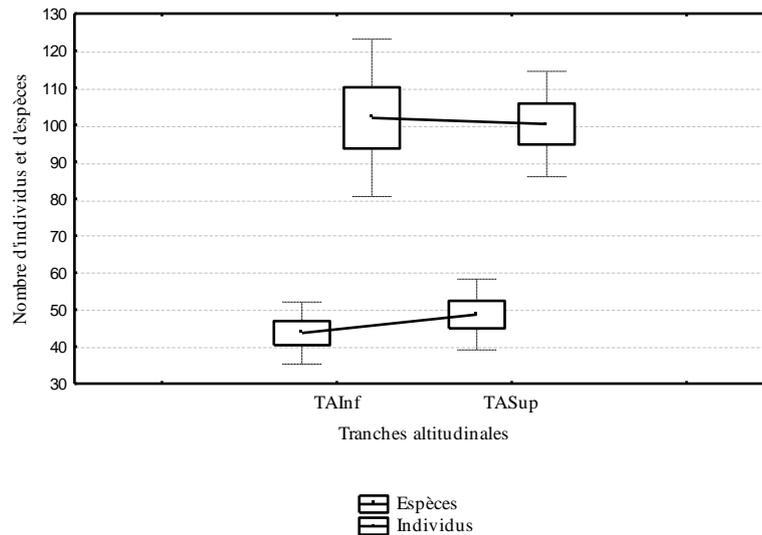


Figure 14. Richesse spécifique suivant le gradient altitudinal

La figure 14 ci-haut montre comment se répartissent les espèces et les individus au sein des deux tranches altitudinales. Le nombre total d'individus dans la TAIInf est de 611 avec une moyenne de $102 \pm 18,5$ arbres par parcelle. Le nombre maximum d'espèces inventoriées dans cette tranche est de 51 et le minimum est de 28 espèces, soit une moyenne de 44 espèces par parcelle. Pour la TASup, le total d'individus est de 601 avec une moyenne de $100 \pm 12,4$ arbres par parcelle. Le maximum d'espèces est de 64 et le minimum est de 40 espèces représentant une moyenne de 49 espèces par parcelles. Un total de 115 espèces différentes a été inventorié dans la TAIInf et 117 espèces dans la TASup. Le nombre d'individus est légèrement supérieur dans la TAIInf et au contraire le nombre d'espèces est supérieur dans la TASup.

III.10.2. Diversité Beta

Les dendrogrammes qui suivent (figures 15 et 16) montrent le degré de similarité de nos parcelles. Les analyses portent soit sur les présence-absence d'espèces (analyse à l'aide de l'indice de Jaccard), soit sur les abondances par espèce (analyse à l'aide de l'indice de Morisita).

III.10.2.1. Analyse en présence-absence

La figure qui suit montre la similarité des deux tranches en fonction de leurs richesses spécifiques.

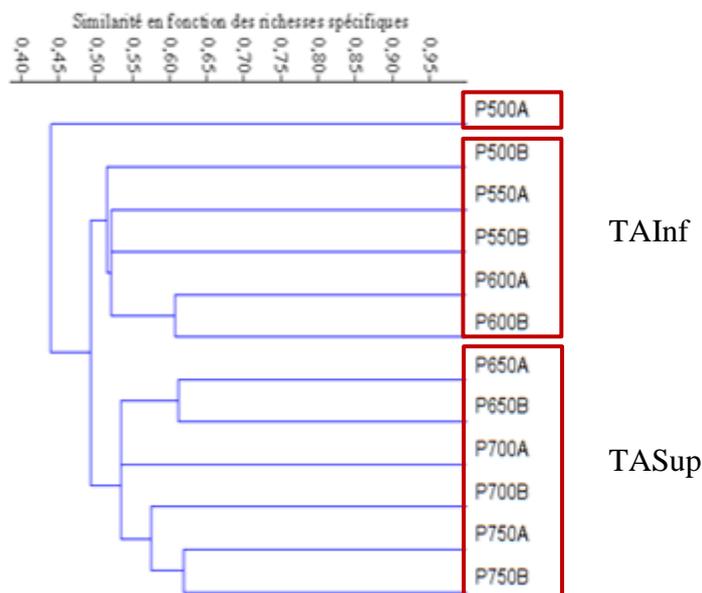


Figure 15. Dendrogramme de similarité des richesses spécifiques (Indice de Jaccard)

L'indice de similarité de Jaccard calculé sur base des données d'incidence (présence-absence, données binaires) a permis de grouper les parcelles d'inventaires en deux. Ce regroupement semble suivre le gradient d'altitude et la présence des inselbergs. Le premier groupe est constitué de 6 parcelles (650A, 650B, 700A, 700B, 750A et 750B) qui sont toutes localisées dans la zone des inselbergs ; elles sont similaires à 53 % et correspondent à la TASup. Le deuxième a 5 parcelles (500B, 550B, 550B, 600A et 600B) plus ou moins liées, qui sont toutes loin des inselbergs et majoritairement sans rochers et similaires à 52 %. La parcelle P500A se démarque légèrement du deuxième bloc mais s'y soude plus loin avec un degré de similarité faible de 44 %. La similarité entre ces deux grands blocs est de 48%.

III.10.2.2. Analyse en abondance

La figure 16 ci-dessous montre la similarité entre les parcelles en se basant sur l'abondance des différentes espèces dans chacune d'elles.

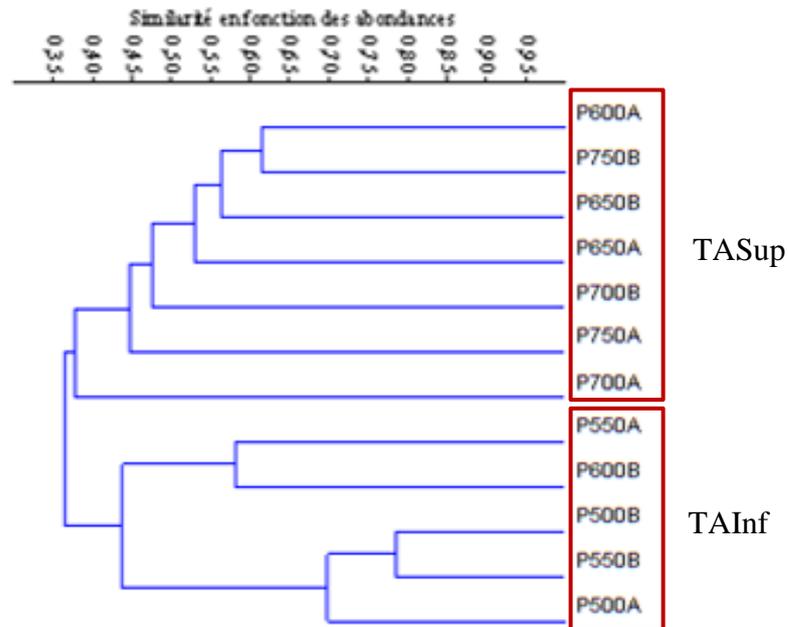


Figure 16. Dendrogramme de similarité en fonction des abondances (Indice de Morisita)

Deux grands groupes se distinguent. Le premier groupe compte 7 parcelles (600A, 650A, 650B, 700A, 700B, 750A et 750B) qui sont similaires à 37 %. Le second rassemble 5 parcelles (500A, 500B, 550B, 550B et 600B) similaires à 44 %. Les deux blocs ont un degré de similarité de 36 %.

CHAPITRE IV. DISCUSSION

IV.1. Effet de l'altitude sur la diversité alpha

La TASup est la plus diversifiée et montre une bonne répartition des individus au sein des espèces présentes par rapport à la TAINf (voir l'indice d'Equitabilité de Piélou). Cela est soutenu par le résultat des tests statistiques qui ont montré qu'il y a une différence significative entre TASup et TAINf. La différence est significative entre les deux tranches ($p = 0,037$, $ddl = 1$) seulement pour l'indice Fisher_alpha, vu qu'il s'exprime de 0 à n ; ce qui le différencie des trois autres indices qui varient peu, ils vont de 0 à 1 (Simpson et Equitabilité) et de 0 à 4,5 ou 5 pour Shannon. La différence est due à l'effet combiné de l'altitude et de la présence des inselbergs (voir annexes 2.1.4).

D'après les travaux de Parmentier *et al.*, (2007), dans la région de Kisangani (voire figure suivante), l'indice de diversité de Fisher_alpha peut avoir une moyenne comprise entre 31 et 40. C'est approximativement ce qui a été trouvé par cette étude, la moyenne étant de 29,2 et 38,63 respectivement pour la TAINf et la TASup.

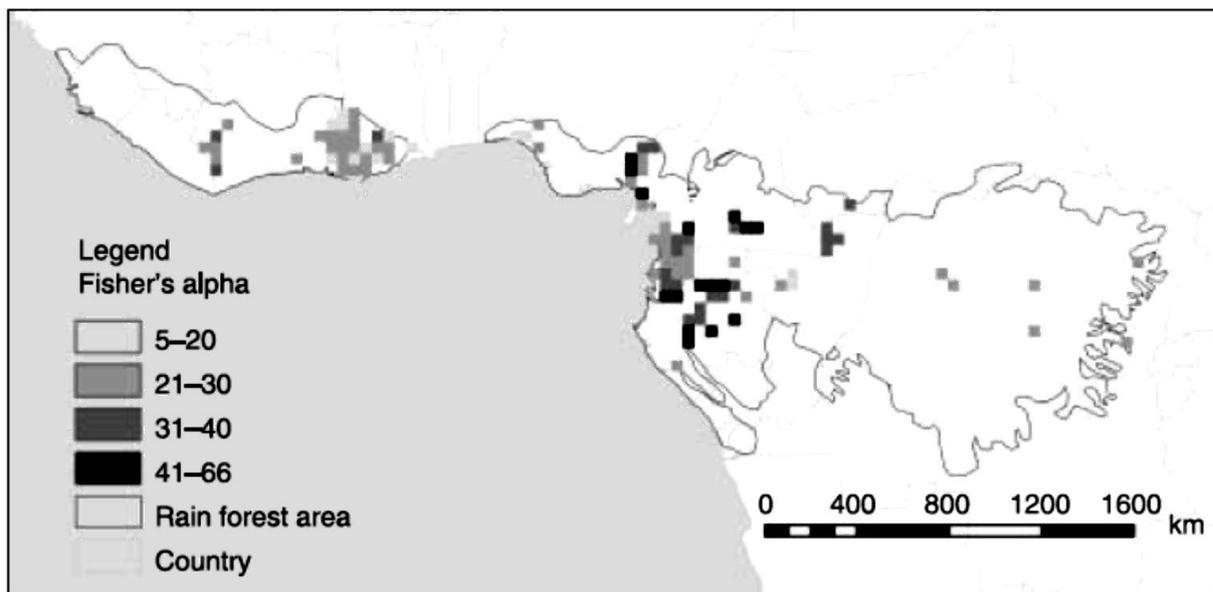


Figure 17. Variation de l'indice Fisher_alpha dans la zone des forêts denses humides d'Afrique (source : Parmentier *et al.*, 2007)

Une diversité plus élevée a été observée dans la tranche altitudinale supérieure suite à la diversité d'habitats qu'elle offre. Dans cette tranche, il y a des plateaux, des inselbergs, des sortes de 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) de par 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 Pocheville (2010), Isselin-Nondedeu, (2006), Morneau (2007) et Carson et Schnitzer (2011), renchérit l'idée que la diversification des conditions environnementales observées dans la TASup aurait de l'impact sur sa diversité.

Dans plusieurs endroits, la diversité alpha décroît quand l'altitude augmente. Selon Gentry (1988) et Vazquez et Ginish, (1998) tous cités par Bush et Flenley (2007) et ayant travaillé respectivement aux Andes et au Mexique, la diversité alpha décroît avec l'élévation de l'altitude. Le même cas est observé dans le mont Kahuzi (Mangambu et *al.*, 2013). Rosenzweig (1995) a aussi trouvé que la diversité alpha est négativement corrélée à l'altitude en Nouvelle Guinée. Le fait qu'*Uma* ne réponde pas à cette tendance pourrait être dû à la présence des inselbergs qui ne sont présents que vers 650 m à 750 m d'altitude.

Il a été observé dans la TASup que les individus sont plus équitablement répartis au sein des espèces que dans la TAInf. Il y a toujours une espèce qui est très abondante dans la TAInf. Les espèces qui sont les mieux représentées, que ce soit en termes de dominance, de densité ou de fréquence relative sont différentes pour la TAInf et la TASup.

Pour ce qui est de la dominance, au niveau de la TAInf, l'espèce *Julbernarda seretii* est la plus dominante avec un grand écart d'autres espèces, elle occupe à elle seule presque plus du quart de la végétation. Ce cas n'est pas observé dans la TASup où il n'y a pas d'espèce qui prime beaucoup sur les autres. Pour ce qui est de la densité, l'espèce *Julbernardia seretii* est la plus dense dans les deux tranches. Contrairement aux valeurs de dominance, la densité est plus ou moins équitable dans les deux tranches.

La forte dominance d'une seule espèce au sein de la tranche altitudinale inférieure l'orienté donc vers une mono-dominance à *Julbernardia seretii*. Les forêts mono-dominantes étant moins diversifiées que les forêts mixtes, cette situation peut encore mieux expliquer la faible diversité observée dans cette tranche. La figure 18 suivante montre cette tendance à une mono-dominance observée dans la TAIInf.

Cette courbe montre le degré d'abondance et rareté des espèces inventoriées dans les deux tranches (fig. 18).

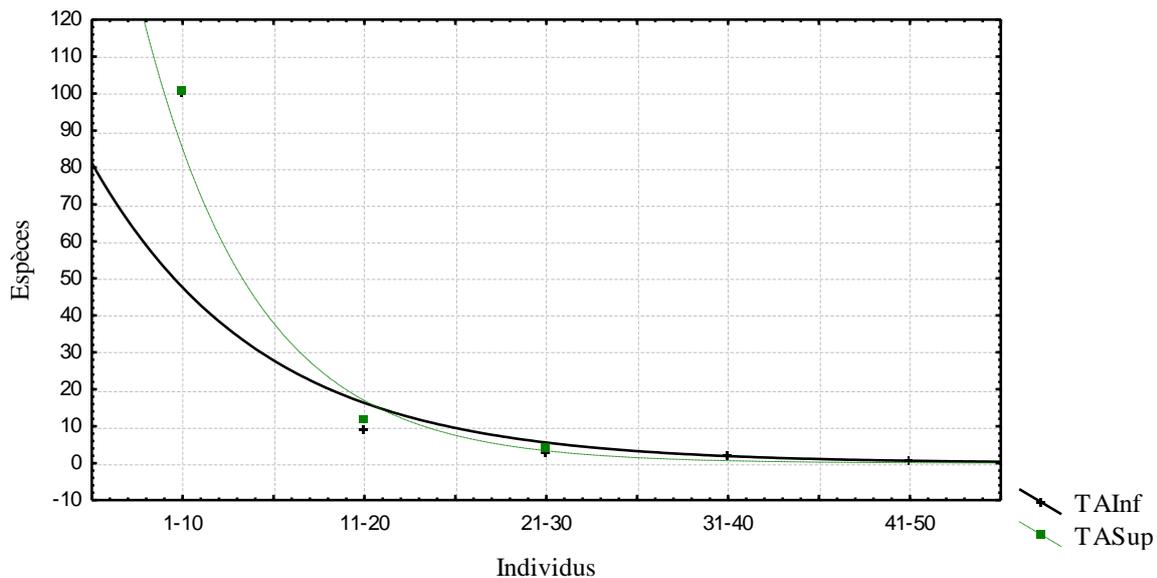


Figure 18. Courbes d'abondance d'espèces dans les deux tranches altitudinales

La figure 18 ci-haut représente deux courbes d'abondance dont une courbe (trait plein noir) pour la TAIInf et l'autre (trait tireté vert) pour la TASup. Il y a dans les deux tranches plusieurs espèces très rares ayant entre 1 et 10 individus. Il y en a 100 dans la TAIInf et 101 dans la TASup. Il y a respectivement 12 et 9 espèces pour la TASup et la TAIInf ayant entre 11 et 20 individus. Trois et quatre espèces appartenant respectivement à la TAIInf et TASup ont entre 21 et 30 individus. Il n'y a aucune espèce qui a plus de 30 individus dans la TASup tandis que dans la TAIInf il y a 2 espèces qui ont entre 31 et 40 individus et une espèce qui a plus de 40 individus.

La présence des espèces qui ont plus d'individus dans la TAIInf est un signe de faible diversité. Cela prouve que le nombre d'individus est mal réparti entre les espèces (comme l'a montré l'indice d'Equitabilité de Piélou). Cette courbe d'abondance de la TAIInf vient

renforcée la tendance vers la mono-dominance qui a été indiquée par l'analyse de la dominance relative.

En ce qui concerne la richesse spécifique, l'altitude peut intervenir pour expliquer sa variation dans un milieu suite à l'ensemble des conditions que ce gradient (altitudinal) cause. Selon Delnatte (2010) l'altitude induit de nombreuses différences dans les conditions climatiques, édaphiques et biologiques.

Dans notre cas, le fait qu'il n'y avait pas une très grande variation de l'altitude, ces conditions citées par Delnatte (2010) peuvent ne pas mieux s'exprimer. Au niveau de la TASup, il y a beaucoup des grands rochers et des inselbergs ; peut-être que leur présence peut aussi expliquer la grande richesse spécifique dans cette tranche. Nous pensons aussi que cette richesse spécifique peut être liée à des faits historiques qui avaient aboutis à la formation de ces inselbergs.

La richesse spécifique mesurée dans la TASup est supérieure à celle de la TAINf ($p = 0,036$; $ddl = 1$). En effet, cette richesse spécifique élevée dans cette tranche est due à l'effet combiné de l'altitude et du substrat (voir annexes 2.1.5). Ceci prouve que la différence en richesse spécifique doit trouver ses raisons dans l'effet altitude et dans l'effet substrat.

Pendant que le nombre d'espèces diminue avec l'augmentation de l'altitude dans le mont Kahuzi (Mangambu et *al.*, 2013) et en Guyane Française (Delnatte, *op.cit.*), le contraire est observé à Uma. Ceci laisse croire que les inselbergs sont un facteur ayant favorisé cette richesse élevée observée dans la TASup du fait qu'ils portent souvent des végétations particulières (Parmentier, 2003). Selon Crist *et al.*, 2003, la diversité et la richesse spécifique sont toujours influencées par les facteurs du milieu.

IV.2. Effet de l'altitude sur la diversité Béta

En tenant compte de la richesse de chaque parcelle, deux grands blocs se forment à partir de l'indice de similarité de Jaccard. Cet indice a groupé d'une part les parcelles de la tranche altitudinale inférieure et de l'autre celles de la tranche altitudinale supérieure.

La similarité est de 53 % entre les parcelles de la TASup et 52 % entre les parcelles de la TAInf. Entre les deux grands blocs formés, la similarité est de 48%. Selon Hakizimana et *al.*, 2011, si la similarité est supérieure ou égale à 50 %, cela veut dire que les deux peuplements comparés sont les mêmes et quand la similarité est inférieure à 50%, donc les peuplements comparés sont différents. Ceci indique que les deux tranches, du point de vue de leur richesse spécifique, constituent deux peuplements différents tandis que leurs contenus (parcelles) sont similaires.

L'indice de Morisita a montré aussi les deux groupes de parcelles mais avec une légère différence pour la parcelle P600A associée à la TASup plutôt qu'à la TAInf. Cette parcelle partage avec la TASup le caractère topographique. C'est la seule parcelle de la TAInf qui possède une pente moyenne, toutes les autres ayant des faibles pentes. Les degrés de similarité observés quand on prend en compte les données d'abondances sont faibles que ce soit entre les parcelles au sein de leurs blocs respectifs ou entre les deux blocs. Ces valeurs de similarité étant toutes inférieures à 50 % montrent que les parcelles et mêmes les deux blocs ne sont pas similaires, la répartition d'individus au sein des espèces est différente d'une parcelle à l'autre.

L'analyse de l'indice de valeur d'importance vient confirmer que ces deux blocs forment des peuplements différents. L'indice de valeur d'importance dans les deux tranches met l'accent sur des espèces différentes bien que *Julbernardia seretii* soit plus importante dans les deux tranches.

Tenant compte des résultats du test ANOVA effectué sur les indices de diversité et la richesse spécifique ($p = 0,037$ pour Fisher_alpha et $0,036$ pour la richesse spécifique), et des indices de similarité, les deux tranches altitudinales ont de valeurs significativement différentes de diversité et de richesse spécifique.

*Les résultats obtenus pour la diversité alpha et bêta ainsi que la richesse spécifique permettent de confirmer la première hypothèse de cette étude. La diversité et la richesse spécifique de la strate arborescente dans les forêts à *Julbernardia seretii* sont plus élevées dans les altitudes supérieures avec des inselbergs (TASup) que dans les altitudes inférieures sans inselbergs (TAInf).*

IV.3. Effet de l'altitude sur la densité ramenée à l'hectare (N/HA)

Selon Fournier et Sasson (1983), une faible variation d'altitude ne peut pas provoquer une différence de structure entre deux peuplements. C'est le cas qui a été observé entre la TAInf et la TASup pour lesquelles la densité à l'hectare ne montre pas de différence significative (ANOVA, $p = 0,26$, ddl = 1). Selon Rollet (1969) cité par Fournier et Sasson, la topographie peut causer une faible densité à l'hectare. Les pentes les plus fortes sont caractérisées par des faibles densités. Cela a été observé à Uma où la densité est légèrement faible dans la TASup où certaines parcelles ont des pentes de plus de 20 %.

Le nombre de pieds d'arbres de diamètre ≥ 10 cm à l'hectare dans la forêt tropicale est généralement élevé, il atteint 680 tiges dans la région de Yangambi (Germain et Evrard, 1956). Pour cette étude, la moyenne de pieds à l'hectare est de 400 à 407 pieds à l'hectare. Ces statistiques ont déjà été soutenues par Richards (1996) qui affirme qu'en forêt tropicale africaine le N/HA moyen varie de 300 à 700 pieds à l'hectare quand on considère les tiges de 10 cm et plus de diamètre.

Les deux tranches n'ont pas de différence significative en tenant compte de leur densité à l'hectare, ceci émane des résultats d'une ANOVA dont l'effet combiné altitude-substrat qui a donné une valeur de $p = 0,26$ et un ddl = 1.

Ceci permet de confirmer la seconde hypothèse de cette étude selon laquelle il n'y a pas de différence en densité des tiges à l'hectare pour les deux tranches.

IV.4. Effet de l'altitude sur la structure diamétrique

Dupuy (1998) précisent que la structure diamétrique d'un peuplement est informative sur son avenir. Selon Pierlot (1966) cité par Fournier et Sasson (1983), aucun gradient n'influence les structures diamétriques dans la végétation de l'Est de la RD Congo.

Dans cette étude, nous avons trouvé que dans les deux tranches il y a plusieurs pieds d'arbres dans les classes de diamètre inférieures à 60 cm. Selon Awokou et *al.*, 2009, la présence de plusieurs pieds dans les classes inférieures signifie que la forêt se régénère. Nshimba (2008) a aussi affirmé que quand on trouve plus d'arbres dans les classes inférieures, donc la forêt se rajeunit, elle est en pleine croissance. Néanmoins, faudra-t-il préciser que ceci n'est pas vérifiable dans tous les types forestiers, selon Gourlet-Fleury (communication personnelle) : « *il y a des forêts irrégulières, avec de nombreux arbres dans les petites classes, qui sont en train de dégénérées, d'où il faut regarder l'évolution dans le temps car deux forêts avec la même structure diamétrique peuvent très bien être en train d'évoluer complètement différemment* ».

Le test statistique (χ^2) réalisé sur les structures diamétriques de deux tranches n'a pas montré une différence significative ($\chi^2 = 3,097$, $p = 0,876$, $ddl = 7$).

Les résultats du test statistique et la répartition des tiges au sein des classes de diamètre permettent de confirmer la troisième hypothèse de cette étude stipulant que les structures diamétriques n'ont pas de différence dans les deux tranches.

CONCLUSION ET SUGGESTIONS

Cette étude a porté sur l'effet de l'altitude sur la diversité de la strate arborescente de la forêt à *Julbernardia seretii* à Uma en Province Orientale de la RD Congo. Elle a consisté à déterminer la variation de la diversité et richesse spécifique dans la strate arborescente en fonction de l'altitude.

Les résultats obtenus permettent de tirer les conclusions suivantes :

- La diversité et la richesse spécifique au sein de la tranche altitudinale supérieure caractérisée par la présence des inselbergs est plus élevée que la tranche altitudinale inférieure. Une différence significative a été observée entre ces deux tranches en prenant en compte l'indice de diversité Fisher_alpha ($p = 0,037$) et la richesse spécifique ($p = 0,036$). Cette différence est due à l'effet combiné de l'altitude et du substrat.
- Les deux tranches n'ont pas de différence significative quant en ce qui concerne la densité à l'hectare ($p = 0,26$). Le nombre moyen de tiges à l'hectare est de $407,3 \pm 74$ pour la tranche altitudinale inférieure et $400,7 \pm 50$ pour la tranche altitudinale supérieure.
- La structure diamétrique ne montre pas une différence significative entre ces deux tranches ($p = 0,876$). Toutes les deux tranches ont plus des pieds d'arbres dans les classes diamétriques inférieures et présentent des courbes en J inversé.

Lors de notre descente sur terrain, nous avons remarqué qu'en général la végétation de ce site ne connaît pas encore de fortes perturbations sauf aux bords de la route où se situent les villages. Il n'y a aucune garantie que cette forêt pourra rester floristiquement intacte, des actions anthropiques dévastatrices étant toujours possibles, 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,
- Que les études mettant en relation la végétation et la pédologie soient menées dans ce site pour compléter cette étude et contribuer à l'éclaircissement de la prise des décisions sur l'aménagement de la forêt de Uma.

BIBLIOGRAPHIE

- Amani, C., 2011. Vegetation patterns and role of edaphic heterogeneity on plant communities in semi-deciduous forests from the Congo basin. Thèse de doctorat, ULB. 262p.
- Awokou, K. S., Ganglo, C. J., Azontondé, H. A., Adjakidje, V., & De Foucault, B., 2009. Caractéristiques structurales et écologiques des phytocénoses forestières de la forêt classée d'Ichèdè (Département du Plateau, Sud-est Bénin). *Sciences & Nature*, 6 (2). Retrieved from <http://www.ajol.info/index.php/scinat/article/view/48666>
- Blanc, L., Flores, O., Molino, J.-F., Gourlet-Fleury, S., & Sabatier, D., 2003. Diversité spécifique et regroupement d'espèces arborescentes en forêt guyanaise. *Revue Forestière Française (numéro spécial)*, 131–146.
- Bush, M. B., & Flenley, J., 2007. Tropical rainforest responses to climatic change. Berlin; New York; Chichester, UK: Springer; Published in association with Praxis. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-540-48842-2>
- 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.
- Carson, W., et Schnitzer, S., 2011. Tropical forest community ecology. John Wiley & Sons.
- Connell, J. H., 1978. Diversity in tropical rain forests and coral reefs. *Science*, 199(4335), 1302–1310.
- Crist, Thomas, O., Joseph, A. Veech, Jon, C. Gering, and Keith, S. Summerville., 2003. Partitioning species diversity across landscapes and regions: a hierarchical analysis of α , β , and γ diversity. *The American Naturalist* 162, no. 6 (2003): 734–743.
- Delnatte, C., 2010. Le gradient altitudinal sur les sommets tabulaires de Guyane, basé sur l'étude des Arecaceae, des Melastomataceae et des Ptéridophytes. Université des Antilles-Guyane. Retrieved from <http://hal.ird.fr/tel-00588612/>
- Dupuy B., 1998. Bases pour une sylviculture en forêt dense tropicale humide africaine. Série FORAFRI Document 4, CIRAD-Forêt, 305p.
- 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
- Fournier, F., & Sasson, A., 1983. Ecosystèmes forestiers tropicaux d'Afrique. Paris: Orstom : Unesco. 473p.
- Germain R., et Evrard C., 1956. Etude écologique et phytosociologique de la forêt à *Brachystegia laurentii*. Belgique, I.N.E.A.C., Série scientifique, 67, (104), 146 p.
- Gould, W. A., González, G., & Carrero Rivera, G., 2006. Structure and composition of vegetation along an elevational gradient in Puerto Rico. *Journal of Vegetation Science*, 17(5), 653–664.
- Hakizimana, P., Masharabu, T., Bangirinama, F., Habonimana, B., & Bogaert, J., 2011. Analyse du rôle de la biodiversité végétale des forêts de Kigwena et de Rumonge au Burundi. *Tropicultura*, 29(1), 28–38.
- Isselin-Nondedeu, F., 2006. Déterminismes géomorphologique et fonctionnels de la distribution des plantes dans les milieux d'altitude: essai d'éco-géomorphologie. Université Joseph Fourier. Retrieved from http://hal.inria.fr/docs/00/06/73/03/PDF/Thesis_IsselinNondedeu2.pdf
- Jayaraman, K., 1999. Manuel de statistique pour la recherche forestière. 242p.
- Kiet, M. L. C., Loffeier, M., & Pascal, M., 1998. Les formations forestières du Parc National de Cat Tien (Viêt-nam): caractérisation structurale et floristique, étude de la régénération naturelle et de la dynamique successionnelle. Retrieved from http://www.rhinosourcecenter.com/pdf_files/117/1175861908.pdf
- Köppen, W., 1936. Das geographische System der Klimate. *Handb Klimatologie*, I, C, Berlin. la Nature Intégrée, 52p.
- Lejoly, J., Ndjele, M.-B. et Geerinck, D., 2010. Catalogue-Flore des plantes vasculaires des districts de Kisangani et de la Tshopo (République Démocratique du Congo). REAFOR-RDC, Cifor-FAO, 4ème édition, 343 p.
- 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/>
- Lomba, C., 2011. Systèmes d'agrégation et structures diamétriques en fonction des tempéraments de quelques essences dans les dispositifs permanents de Yoko et Biaro (Ubandu, Province Orientale, R. D. Congo). Thèse de doctorat, UNIKIS. 239p.

- 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.
- Marcon, E., 2013. Mesures de la Biodiversité. Retrieved from http://spip.ecofog.gf/IMG/pdf/mesures_de_la_biodiversite.pdf
- Mangambu, M. J., Habiyaremye, F. M., Janssen, T., van Diggelen, R., Robbrecht, E., & Habimana, H. N., 2013. Diversité des Fougères et leurs alliées le long du gradient altitudinal au sein de l'écosystème forestier des montagnes du Parc National de Kahuzi-Biega (RD CONGO). *International Journal of Environmental Studies*, 70(2), 259–283. doi:10.1080/00207233.2013.778007
- 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/>
- Mühlenberg, M., Slowik, J. & Steinhauer-Burkart, B., 1994. Parc National de Kahuzi-Biega. 52p.
- Nazetee, Z., 2011. Exploitation artisanale de bois d'œuvre dans la future forêt communautaire d'UMA. Rapport de stage, UNIKIS. 36p.
- Ndjele, M., 1988. Les éléments phytogéographiques endémiques dans la flore vasculaire du Zaïre. Thèse de doctorat, UNIKIS. 536p.
- Nguingiri, J.-C., 1998. Les approches participatives dans la gestion des écosystèmes forestiers d'Afrique Centrale. CIFOR. Retrieved from http://69.59.158.2/fr/system/files/18_65_50.pdf
- Nieves-Hernández, G., Vázquez-García, J. A., Vargas-Rodríguez, Y. L., M., & González-Gallegos, J., 2009. Small-scale environmental gradients in a pine-oak forest community in Nueva Colonia, Mezquitic, Jalisco, Mexico. *Polibotánica*, 27, 31–52.
- Nshimba, S. M., 2008. Etude floristique, écologique et phytosociologique des forêts de l'île Mbîye à Kisangani, R.D.Congo. Thèse de doctorat, ULB. 271p.
- 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 α -diversity of African rain forests relative to Amazonian rain forests? *Journal of Ecology*, 95(5), 1058–1071.
- Pocheville, A., 2010. La niche écologique. Ecole normale supérieure. Retrieved from http://hal-ens.archives-ouvertes.fr/docs/00/71/54/71/PDF/Pocheville_PhD_10.pdf
- 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/>
- Richards, P-W., 1996. The tropical rain forest: an ecological study. CAB Direct. (n.d.). Retrieved from <http://www.cabdirect.org/abstracts/19520600211.html>
- Rosenzweig, M. L., 1995. Species diversity in space and time. Cambridge University Press.
- Rousteau, A., 1996. Structures, flores, dynamiques: réponses des forêts pluviales des Petites Antilles aux milieux montagnards. *Phytogéographie tropicale: réalités et perspectives*. ORSTOM Editions, Paris, 308–321.

ANNEXES

1. LISTE FLORISTIQUE

Espèces	TAInf	TASup	Familles
<i>Afrostyrax lepidophyllum</i> MILDBR	3	9	Huaceae
<i>Afzelia bipindensis</i> HARMS	2	3	Fabaceae
<i>Aidia micrantha</i> (K. SCHUM.) F. WHITE	11	5	Rubiaceae
<i>Aidia sphaerocoryne</i> BULL.	0	1	Rubiaceae
<i>Albizia ferruginea</i> (GUILL. &PERR.) BENTH	0	2	Fabaceae
<i>Allanblackia floribunda</i> OLIVER	3	2	Clusiaceae
<i>Allanblackia marienii</i> STANER	1	0	Clusiaceae
<i>Alstonia boonei</i> DE WILD.	0	2	Apocynaceae
<i>Angylocalyx pynaertii</i> DE WILD.	3	6	Fabaceae
<i>Anonidium mannii</i> (OLIVER) ENGLER &DIELS	9	25	Annonaceae
<i>Anthonotha ferruginea</i> (HARMS) J, LEONARD	3	4	Fabaceae
<i>Anthonotha fragrans</i> (BAKER f.) EXELL & HILL.	7	1	Fabaceae
<i>Anthonotha macrophylla</i> P. BEAUV.	1	0	Fabaceae
<i>Barteria nigriflora</i> HOOKER	3	1	Flacourtiaceae
<i>Blighia unijugata</i> BAKER	1	0	Sapindaceae
<i>Blighia welwitschii</i> (HIERN) RADLK.	16	14	Sapindaceae
<i>Brachystegia laurentii</i> (DE WILD.) LOUIS	26	1	Fabaceae
<i>Callichilia barteri</i> (HOOKER f.) STAPP	1	0	Apocynaceae
<i>Canarium schweinfurthii</i> ENGLER	0	1	Burseraceae
<i>Carapa procera</i> DC.	20	3	Meliaceae
<i>Cavacoa quintasii</i> (PAX &HOFFM.) J. LÉONARD	1	0	Euphorbiaceae
<i>Celtis tessmannii</i> RENDLE	1	3	Cannabaceae
<i>Chlamydocola chlamydantha</i> (K. SCHUM.) BODARD	1	2	Malvaceae
<i>Chrysophyllum africanum</i> A. DC.	4	3	Sapotaceae
<i>Chrysophyllum lacourtianum</i> DE WILD.	0	1	Sapotaceae
<i>Chrysophyllum pruniforme</i> PIERRE ex ENGLER	3	4	Sapotaceae
<i>Chytranthus carneus</i> RADLK. ex MILDBR.	5	3	Sapindaceae
<i>Coelocaryon botryoides</i> VERM.	3	0	Myristicaceae
<i>Coffea</i> sp.	0	1	Rubiaceae
<i>Cola gigantea</i> A. CHEV.	6	12	Malvaceae
<i>Cola griseiflora</i> DE WILD.	18	13	Malvaceae
<i>Combretum lokele</i> LIBEN	0	4	Combretaceae
<i>Corynanthe paniculata</i> WELW.	1	1	Rubiaceae
<i>Cynometra hankei</i> HARMS	9	13	Fabaceae
<i>Dacryodes edulis</i> (D. DON) H.J. LAM.	5	4	Burseraceae
<i>Dacryodes macrophylla</i> (OLIV.) H.J.	2	6	Burseraceae
<i>Dacryodes yangambiensis</i> LOUIS ex TROUPIN	1	0	Burseraceae
<i>Dialium excelsum</i> LOUIS ex STEYAERT	0	1	Fabaceae
<i>Dialium pachyphyllum</i> HARMS	19	10	Fabaceae
<i>Dichostemma glaucescens</i> PIERRE	4	2	Euphorbiaceae

<i>Diogoa zenkeri</i> (ENGLER) EXELL & MEN.	2	0	Strombosiaceae
<i>Diospyros albosua</i> L.	2	0	Ebenaceae
<i>Diospyros boala</i> DE WILD.	3	4	Ebenaceae
<i>Diospyros crassiflora</i> HIERN	1	0	Ebenaceae
<i>Diospyros deltoidea</i> F. WHITE	6	10	Ebenaceae
<i>Diospyros glaucescens</i> GURKE ex BUSGEN	1	0	Ebenaceae
<i>Diospyros hoyleana</i> F. WHITE	0	1	Ebenaceae
<i>Diospyros melocarpa</i> F. WHITE	0	3	Ebenaceae
<i>Diospyros</i> sp1.	10	1	Ebenaceae
<i>Diospyros</i> sp2.	0	6	Ebenaceae
<i>Drypetes gossweileri</i> S. MOORE	2	0	Putranjivaceae
<i>Drypetes leonensis</i> PAX	0	3	Putranjivaceae
<i>Drypetes likwa</i> J. LÉONARD	4	5	Putranjivaceae
<i>Drypetes louisii</i> J. LÉONARD	2	4	Putranjivaceae
<i>Drypetes</i> sp.	0	5	Putranjivaceae
<i>Entandrophragma candollei</i> HARMS	1	4	Meliaceae
<i>Eriocoelum microspermum</i> RADLK.	0	1	Sapindaceae
<i>Erythrophleum suaveolens</i> (GUIL. & PERR.) BREN	1	1	Fabaceae
<i>Fernandoa adolfi-friderici</i> (GILG & MILD.) HEINE	1	0	Bignoniaceae
<i>Fillaeopsis discophora</i> HARMS	1	0	Fabaceae
<i>Funtumia africana</i> (BENTHAM) STAPF	1	2	Apocynaceae
<i>Ganophyllum giganteum</i> (A.CHEV.) HAUMAN	0	3	Sapindaceae
<i>Garcinia epunctata</i> STAPF	1	7	Clusiaceae
<i>Garcinia kola</i> HECKEL	0	2	Clusiaceae
<i>Garcinia smeathmannii</i> (PLAN. & TRIANA) OLIVER	1	1	Clusiaceae
<i>Garcinia</i> sp.	2	3	Clusiaceae
<i>Garcinia staudtii</i> ENGL.	8	25	Clusiaceae
<i>Gilbertiodendron dewevrei</i> (DE WILD.) J. LÉONARD	7	15	Fabaceae
<i>Greenwayodendron suaveolens</i> (ENGL. & DIE.) VER.	33	18	Annonaceae
<i>Grewia oligoneura</i> SPRAGUE	2	3	Malvaceae
<i>Grewia trinervis</i> DE WILD.	0	2	Malvaceae
<i>Guarea cedrata</i> (A. CHEV.) PELLEGR.	1	0	Meliaceae
<i>Guarea thompsonii</i> SPRAGUE & HUTCH.	2	0	Meliaceae
<i>Heisteria parvifolia</i> SMITH	22	9	Erythralaceae
<i>Homalium africanum</i> (HOOKER F.) BENTHAM	1	16	Flacourtiaceae
<i>Hunteria congolana</i> PICHON	1	9	Apocynaceae
<i>Hunteria mayumbensis</i> PICHON	1	0	Apocynaceae
<i>Hymenostegia pellegrini</i> (A.CHEV.) J. LEONARD	0	1	Fabaceae
<i>Irvingia gabonensis</i> (AUBRY-LEC. ex O'ROR.) BAIL.	0	1	Irvingiaceae
<i>Irvingia grandifolia</i> (ENGLER) ENGLER	1	3	Irvingiaceae
<i>Irvingia robur</i> MILDBR.	0	1	Irvingiaceae
<i>Julbernardia seretii</i> (DE WILD.) TROUPIN	48	30	Fabaceae
<i>Klainedoxa gabonensis</i> PIERRE	1	1	Irvingiaceae
<i>Lannea welwitschii</i> (HIERN) ENGLER	2	1	Anacardiaceae

<i>Lovoa trichilioides</i> HARMS	0	7	Meliaceae
<i>Macaranga monandra</i> MULL. ARG.	1	0	Euphorbiaceae
<i>Macaranga spinosa</i> MULL. ARG.	0	1	Euphorbiaceae
<i>Maesopsis eminii</i> ENGLER	1	0	Rhamnaceae
<i>Manilkara malcoleus</i> LOUIS	3	1	Sapotaceae
<i>Manilkara yangambiensis</i> LOUIS	2	1	Sapotaceae
<i>Margaritaria discoidea</i> (BAILLON) WEBSTER	0	1	Phyllanthaceae
<i>Massularia acuminata</i> (G. DON) BULL. ex HOYLE	1	0	Rubiaceae
<i>Milicia excelsa</i> (WELW.) C.C. BERG	0	1	Moraceae
<i>Millettia hylobia</i> LOUIS ex HAUMAN	0	4	Fabaceae
<i>Monodora angolensis</i> WELW.	2	0	Annonaceae
<i>Monodora myristica</i> (GAERTNER) DUNAL	1	3	Annonaceae
<i>Morinda lucida</i> BENTHAM	1	1	Rubiaceae
<i>Musanga cecropioides</i> R. BR.	1	0	Urticaceae
<i>Myrianthus arboreus</i> P. BEAUV.	0	1	Urticaceae
<i>Napoleonaea septentrionalis</i> LIBEN	1	0	Lecythidaceae
<i>Nauclea diderrichii</i> (DE WILD. & TH. DUR.) MER.	1	0	Rubiaceae
<i>Ochthocosmus africanus</i> HOOKER F.	2	0	Ixonanthaceae
<i>Omphalocarpum elatum</i> MIERS	2	0	Sapotaceae
<i>Oncoba welwitschii</i> OLIVER	1	2	Flacourtiaceae
<i>Oxystigma buchholzii</i> HARMS	11	3	Fabaceae
<i>Pancovia harmsiana</i> GILG	4	0	Sapindaceae
<i>Pancovia laurentii</i> (DE WILD.) GILG ex DE WILD.	9	2	Sapindaceae
<i>Panda oleosa</i> PIERRE	15	2	Pandaceae
<i>Paramacrolobium coeruleum</i> (TAUB.) J. LÉONARD	9	14	Fabaceae
<i>Parinari excelsa</i> SAB.	1	2	Chrysobalanaceae
<i>Pentaclethra macrophylla</i> BENTHAM	3	3	Fabaceae
<i>Pentadesma butyracea</i> SABINE	0	1	Clusiaceae
<i>Petersianthus macrocarpus</i> (P. BEAUV.) LIBEN	30	11	Lecythidaceae
<i>Picralima nitida</i> STAPF	0	8	Apocynaceae
<i>Piptadeniastrum africanum</i> (HOOKER F.) BRENNAN	2	5	Fabaceae
<i>Prioria oxyphylla</i> (HARMS) BRETELIER	7	28	Fabaceae
<i>Pseudospondias longifolia</i> ENGLER	2	2	Anacardiaceae
<i>Pterocarpus soyauxii</i> TAUB.	7	9	Fabaceae
<i>Pterygota bequaertii</i> DE WILD.	1	2	Malvaceae
<i>Pycnanthus angolensis</i> (WELW.) EXELL	18	6	Myristicaceae
<i>Quassia sylvestris</i> PIERRE ex ENGLER	6	2	Simaroubaceae
<i>Ricinodendron heudelotii</i> (BAIL.) PIER. ex HECK.	1	0	Euphorbiaceae
<i>Rinorea cerasifolia</i> BRANDT	4	3	Violaceae
<i>Santiria trimera</i> (OLIV.) AUBRÉV.	7	8	Bursereaceae
<i>Staudtia kamerunensis</i> WARB.	32	16	Myristicaceae
<i>Strombosia glaucescens</i> ENGLER	3	1	Strombosiaceae
<i>Strombosia grandifolia</i> HOOKER F. ex BENTHAM	2	19	Strombosiaceae
<i>Strombosiopsis tetrandra</i> ENGLER	6	10	Strombosiaceae

<i>Synsepalum brevipes</i> (BAKER) T.D. PENN.	1	1 Sapotaceae
<i>Synsepalum subcordatum</i> DE WILD.	2	2 Sapotaceae
<i>Tessmannia africana</i> HARMS	3	3 Fabaceae
<i>Tessmannia anomala</i> (MICHELI) HARMS	0	2 Fabaceae
<i>Tetraberlinia bifoliolata</i> (HARMS) HAUMAN	19	19 Fabaceae
<i>Tetrapleura tetraptera</i> (THONN.) TAUB.	2	0 Fabaceae
<i>Treculia africana</i> DECNE.	3	1 Moraceae
<i>Trichilia africana</i> DE WILD.	0	1 Meliaceae
<i>Trichilia laurentii</i> DE WILD.	1	0 Meliaceae
<i>Trichilia prieureana</i> JUSS.	4	7 Meliaceae
<i>Trichilia rubescens</i> OLIVER	2	1 Meliaceae
<i>Trichilia tessmannii</i> HARMS	0	5 Meliaceae
<i>Trichoscypha scandens</i> VAN DER VEKEN	0	2 Rubiaceae
<i>Trilepisium madagascariense</i> DC.	3	2 Moraceae
<i>Uapaca guineensis</i> MULL. ARG.	1	1 Phyllanthaceae
<i>Uapaca heudelotii</i> BAILLON	0	3 Phyllanthaceae
<i>Vitex welwitschii</i> GÜRKE	2	0 Lamiaceae
<i>Xylia ghesquierei</i> ROBYNS	1	0 Fabaceae
<i>Xylopia hypolampra</i> MILDBR. & DIELS	0	2 Annonaceae
<i>Xylopia staudtii</i> ENGL. & DIELS	1	4 Annonaceae
<i>Zanthoxylum macrophylla</i> (OLIVER) ENGLER	1	1 Rutaceae

2. DETAILS DES TESTS STATISTIQUES

2.1. ANOVA

2.1.1. Test ANOVA sur l'indice de diversité de Shannon

Tests Univariés de Significativité de Shannon (Feuille de données11) Modèle sur-paramétré Décomposition de Type III								
Effet	Effet (F/A)	SC	Degré de Liberté	MC	Syn.Dén. dl Err.	Syn.Dén. MC Erreu	F	p
Ord.Orig.	Fixe	108,803	1	108,803	0,00000			
Altitude*Substrat	Aléat	0,1066	1	0,1066	7,00000	0,09687	1,10040	0,32903
Altitude	Fixe	0,0152	1	0,0152	1,00000	0,10660	0,14246	0,77023
Substrat	Aléat	0,0058	2	0,0029	0,66086	0,10909	0,02673	0,97461
Erreur		0,678	7	0,0969				

2.1.2. Test ANOVA sur l'indice de diversité d'Equitabilité de Piélou

Tests Univariés de Significativité d'Equitabilité de Piélou (Feuille de donnée) Modèle sur-paramétré Décomposition de Type III								
Effet	Effet (F/A)	SC	Degré de Liberté	MC	Syn.Dén. dl Err.	Syn.Dén. MC Erreu	F	p
Ord.Orig.	Fixe	7,36900	1	7,36900	2,06618	0,00068	10698,2	0,00007
Altitude*Substrat	Aléat	0,00029	1	0,00029	7,00000	0,00136	0,22	0,65450
Altitude	Fixe	0,00133	1	0,00133	1,00000	0,00029	4,47	0,28121
Substrat	Aléat	0,00119	2	0,00059	0,00401	0,00002	23,70	
Erreur		0,00954	7	0,00136				

2.1.3. Test ANOVA sur l'indice diversité de Simpson_1-D

Tests Univariés de Significativité de Simpson_1-D (Feuille de données1) Modèle sur-paramétré Décomposition de Type III								
Effet	Effet (F/A)	SC	Degré de Liberté	MC	Syn.Dén. dl Err.	Syn.Dén. MC Erreu	F	p
Ord.Orig.	Fixe	7,66394	1	7,66394	0,00000			
Altitude	Fixe	0,00034	1	0,00034	1,00000	0,00040	0,85120	0,52561
Substrat	Aléat	0,00014	2	0,00007	0,23466	0,00026	0,28226	0,86607
Altitude*Substrat	Aléat	0,00040	1	0,00040	7,00000	0,00089	0,45536	0,52145
Erreur		0,00628	7	0,00089				

2.1.4. Test ANOVA sur l'indice de diversité de Fisher_alpha

Tests Univariés de Significativité de Fisher_alpha (Feuille de données1) Modèle sur-paramétré Décomposition de Type III								
Effet	Effet (F/A)	SC	Degré de Liberté	MC	Syn.Dén. dl Err.	Syn.Dén. MC Erreu	F	p
Ord.Orig.	Fixe	11449,8	1	11449,8	0,08629	38,337	298,659	0,66461
Altitude	Fixe	208,56	1	208,56	1,00000	385,749	0,5407	0,59636
Substrat	Aléat	207,79	2	103,90	0,93072	483,835	0,2147	0,83814
Altitude*Substrat	Aléat	385,75	1	385,75	7,00000	58,794	6,5609	0,03747
Erreur		411,56	7	58,79				

2.1.5. Test ANOVA sur la richesse spécifique

Tests Univariés de Significativité de Richesse spécifique (Feuille de données)								
Modèle sur-paramétré								
Décomposition de Type III								
Effet	Effet (F/A)	SC	Degré de Liberté	MC	Syn.Dén. dl Err.	Syn.Dén. MC Erreur	F	p
Ord.Orig.	Fixe	19390,4	1	19390,4	0,00000			
Altitude	Fixe	36,45	1	36,45	1,00000	336,200	0,10841	0,79749
Substrat	Aléat	105,5	2	52,77	0,93260	422,111	0,12500	0,89516
Altitude*Substrat	Aléat	336,20	1	336,20	7,00000	49,828	6,74713	0,03555
Erreur		348,80	7	49,83				

2.1.6. Test ANOVA sur la densité ramenée à l'hectare (N/HA)

Tests Univariés de Significativité de Densité N/HA (Feuille_de_données1)								
Modèle sur-paramétré								
Décomposition de Type III								
Effet	Effet (F/A)	SC	Degré de Liberté	MC	Syn.Dén. dl Err.	Syn.Dén. MC Erreur	F	p
Ord.Orig.	Fixe	139696	1	139696	0,53522	1859,56	751,232	0,10805
Altitude	Fixe	3357	1	3357	1,00000	7765,57	0,432	0,62974
Substrat	Aléat	530	2	265	0,74319	8417,91	0,315	0,79602
Altitude*Substrat	Aléat	776	1	776	7,00000	5214,78	1,489	0,26185
Erreur		3650	7	521				

2.2. TEST KHI-CARRE SUR LA STRUCTURE DIAMETRIQUE

Effectifs Observés vs. Théoriques Pour la Structure diamétrique (Feuille de données)				
Chi-Deux = 3,096950 dl = 7 p < ,875890				
Observ.	observés	théoriq.	O - T	(O-T)**2 / T
C: 1	565,00	558,57	6,4290	0,07399
C: 2	41,00	44,36	-3,3630	0,25494
C: 3	4,00	6,05	-2,0495	0,69434
C: 4	1,00	2,017	-1,0165	0,51241
C: 5	543,00	549,42	-6,4290	0,07522
C: 6	47,00	43,63	3,3630	0,25918
C: 7	8,00	5,95	2,0495	0,70590
C: 8	3,00	1,98	1,0165	0,52093
Somme	1212,00	1212,00	0,0000	3,09695