UNIVERSITÉ DU BURUNDI
GRENIER DU SAVOIR DU BURUNDI
Dépôt institutionnel officiel
https://repository.ub.edu.bi

Diversité floristique et stocks de carbone des forets de montagne : cas du parc national de la Kibira, Burundi

Irampagarikiye, Rosette

2020-09
UB
https://repository.ub.edu.bi/handle/123456789/132

Document téléchargé depuis le **Grenier du Savoir du Burundi** — https://repository.ub.edu.bi

UNIVERSITE DU BURUNDI

FACULTE DES SCIENCES

DEPARTEMENT DE BIOLOGIE

DIVERSITE FLORISTIQUE ET STOCKS DE CARBONE DES FORETS DE MONTAGNE : CAS DU PARC NATIONAL DE LA KIBIRA, BURUNDI

Mémoire présenté et défendu publiquement en vue d'obtention du diplôme de Master en Biologie des Organismes et Ecologie

Par

Rosette IRAMPAGARIKIYE

Sous la direction de :
Prof Jacques NKENGURUTSE (UB)
Dr Gérard IMANI MUGISHO (UOB)
Dr Noël NDIHOKUBWAYO (ENS)

Membres du Jury

Prof Paul HAKIZIMANA	: Président
Prof Joël NDAYISHIMIYE	: Secrétaire
Dr Jacques NKENGURUTSE	: Directeur
Dr Gérard MUGISHO IMANI	: Co-directeur
Dr NDIHOKUBWAYO Noël	: Co-directeur

Bujumbura, Septembre 2020

DEDICACES

A mon papa, Juvénal NZOPFABARUSHE

A ma maman, Béatrice RURIHOSE

A mes frères et sœurs adorés

A mes oncles et tantes

Des bénédictions divines à vous tous qui me sont chers !

REMERCIEMENTS

Ce mémoire de fin du cycle de Master en Biologie des organismes et Ecologie est le résultat de la contribution de plusieurs personnes que j'aimerai remercier par ces mots.

Je salue la noble initiative du Ministère de l'enseignement supérieur d'ouvrir le cycle de Master à l'Université du Burundi et tous ceux qui ont plaidé afin que le programme de Master en Biologie des Organismes et Ecologie débute sa première promotion.

J'adresse mes sincères remerciements à tous les professeurs dudit cycle pour la formation académique qu'ils nous ont fait bénéficier. Que le responsable de notre programme de Master, Professeur Claver SIBOMANA reçoive mes sentiments de gratitude pour nous avoir suivis de près durant ce cursus de formation.

J'adresse particulièrement ma profonde gratitude au Directeur et aux Co-directeurs de ce mémoire :

Au Dr. Gérard IMANI MUGISHO, professeur à l'Université Officielle de Bukavu et co-directeur de ce mémoire de m'avoir proposé le thème de recherche et d'avoir accepté de diriger ce travail. Ce travail est le fruit de vos précieux conseils et assistance scientifique, matériel et moral. Vos multiples occupations et la distance qui nous séparait n'ont pas été un obstacle pour intervenir à chaque étape de ce travail, depuis sa conception jusqu'à son aboutissement. Merci pour votre rigueur scientifique et d'avoir investi énormément pour la réalisation du présent travail. Que toute votre famille reçoive également ma reconnaissance distinguée pour avoir facilité mon séjour à Bukavu.

Au Dr. Jacques NKENGURUTSE, chef du Département de Biologie à l'Université du Burundi et directeur de ce mémoire pour votre disponibilité et votre investissement dans la réalisation de ce travail. Vos multiples responsabilités ne vous ont pas empêché de m'encadrer de près afin de mener à bien ce travail. Les rencontres et retraites scientifiques auxquelles vous m'avez invité, ont été d'une importance capitale pour le progrès de ce travail.

Au Dr. Noël NDIHOKUBWAYO, professeur à l'Ecole Normale Supérieure également co-directeur de ce mémoire pour votre contribution à l'accomplissement de ce travail.

Je tiens également à remercier les membres du jury pour leurs analyses et critiques qui permettront d'améliorer ce mémoire.

Les encouragements des Professeurs Tatien MASHARABU, Salvator KABONEKA et Joël NDAYISHIMIYE ont été de grand impact pour l'accomplissement de ce travail. Je vous témoigne mes sincères remerciements chers Professeurs.

Je suis également reconnaissante à l'endroit du Directeur Général de l'OBPE d'avoir accepté que ce travail soit mené dans le Parc National de la Kibira (PNK). Les guides et gardes forestiers du PNK, merci pour votre aide pendant la collecte des données. Mes remerciements s'adressent particulièrement aux guides Melchior et Deus qui ont facilité mon travail de terrain. Leur contribution dans le processus d'identification des noms vernaculaires des espèces arborescentes du PNK ont été très capitales.

Camarades étudiants de la première promotion de Master en Biologie des organismes, avec vous, j'ai vécu des bons moments qui m'ont fait avancer avec succès. A vous tous je dis merci pour la précieuse et fraternelle aide. Je cite particulièrement Gaëlle NDAYIZEYE pour son coup de mains dans la collecte des données. En plus d'être une camarade de classe, elle a été une sœur pour moi.

Mes remerciements vont également à l'endroit de mon oncle Vulpien NZOPFABARUSHE pour son soutien tant moral que financier qu'il m'a apporté pendant ce cursus de Master. Je vous dois respect cher oncle.

Et enfin à mes chers parents, merci pour votre soutien incommensurable.

LISTE DES SIGLES ET ABREVIATIONS

AFC	Analyse Factorielle de Correspondance
AGB	Aboveground biomass
AIC	Akaike Information Criterion
ANOVA	Analyse of Variance
CCA	Analyse Canonique de Correspondance
CFC	Chlorofluorocarbones
Cm	Centimètre
CO_2	Dioxyde de carbone
COMIFAC	Commission des Forêts d'Afrique Centrale
CPVQ	Conseil des Productions Végétales du Québec
DHP	Diamètre à hauteur de la poitrine
ENS	Ecole Normale Supérieure
FAO	Food and Agriculture Organization
GIEC	Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat
GPS	Global Positioning System
ha	Hectare
HCFC	Hydrochlorofluorocarbones
HFC	Hydrofluorocarbones
Kg	Kilogramme
m	mètre
NI	Nombre d'individus
OBPE	Office Burundais pour la Protection de l'Environnement
RSME	Root Mean Squared Error
tC	Tonne de carbone
UB	Université du Burundi
UICN	Union International pour la Conservation de la Nature
UOB	Université Officielle de Bukavu

LISTE DES FIGURES

Figure 2.1 Schéma illustratif de l'effet de serre.....6

Figure 3.1 Localisation des sites de collecte des données 7

Figure 3.2 Quelques menaces du Parc National de la Kibira et solutions alternatives. 9

Figure 3.3 Préparation des échantillons de sols aux analyses de laboratoire 12

Figure 4.1 Analyse de la relation entre les paramètres édaphiques et la végétation 18

Figure 4.2 (a) Variation de la densité des arbres et (b) de la richesse spécifique entre les trois secteurs 20

Figure 4.3. Distribution des arbres par classe de diamètre selon les secteurs.....21

Figure 4.4 Distribution de la valeur de la surface terrière (ST en m²/ha) au niveau global (a) et par secteur (b) suivant les classes de diamètre.....21

Figure 4.5 Variation de stocks de carbone entre secteurs.....23

Figure 4.6 Corrélation entre le stock de carbone et les paramètres structuraux 24

Figure 4.7. (a) Distribution du stock de carbone suivant les classes de diamètre au niveau global et (b) au sein de différents secteurs du PNK. 25

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 3.1 Résultats d'analyse des différents paramètres édaphiques de la zone d'étude....12

Tableau 3.2 Modèles hauteur-diamètre utilisés pour cette étude.....15

Tableau 4.1 Les dix premières espèces à haute valeur écologique. 17

Tableau 4.2 Variation des paramètres édaphiques au sein des trois secteurs du PNK.....19

Tableau 4.3 Variation de la diversité floristique entre les trois secteurs du PNK. 19

Tableau 4.4 Meilleur modèle allométrique hauteur-diamètre pour la forêt de la Kibira. 22

Tableau 4.5 Corrélation entre le stock de carbone et les paramètres édaphiques. 25

Tableau 4.6 Espèces importantes dans l'accumulation du carbone dans chaque secteur. 26

Tableau 4.7. Biomasse du PNK selon les équations locales de Feldpausch et al. (2012) en comparaison avec celle obtenue dans le présent travail. 30

RESUME

L'état des forêts influence non seulement le climat régional et mondial mais également la biodiversité. Les forêts assurent un rôle important dans le processus d'atténuation des effets négatifs de changement climatique. Ce rôle n'est pas encore bien élucidé pour les forêts de montagne en Afrique et au Burundi. Cette étude a pour objectif global d'évaluer la diversité floristique arborescente du Parc National de la Kibira et estimer la quantité de carbone séquestrée par ce massif forestier.

21 parcelles temporaires de 25m sur 25m ont été établies équitablement dans trois secteurs du PNK : Rwegura, Musigati et Teza. L'inventaire et la mesure de diamètre de tous les individus dont le dhp ≥ 10 cm ont été effectués. La diversité floristique a été appréciée à travers les indices de Shannon, d'Equitabilité et Fisher_Alpha. L'indice de valeur d'importance (IVI) a permis de déterminer les espèces les plus dominantes du PNK. La végétation a été caractérisée en utilisant les indices de classifications et les packages des espèces caractéristiques à l'aide du logiciel R. Une analyse canonique de correspondance (CCA) a permis de mettre en évidence la relation entre les paramètres édaphiques et la végétation. L'équation du type polynomial a été développée et utilisée pour estimer la hauteur de tous les individus étant donné que la prise de hauteur n'avait concerné que 14,4% du total des individus inventoriés. L'équation de Chave *et al.*, (2014) a été utilisée pour estimer la biomasse aérienne. A l'aide d'un facteur de conversion, cette dernière a été convertie en carbone.

Au total 1190 individus, répartis en 58 espèces, 56 genres et 42 familles, ont été inventoriés. La famille des Euphorbiacées est la plus diversifiée. Les espèces *Xymalos monospora, Macaranga kilimandscharica, Myrianthus holstii, Syzygium guineense* et *Tabernaemontana stapfiana* occupent le top 5 d'espèces dominantes du PNK. Les résultats montrent que la composition floristique est similaire dans les trois secteurs du PNK étudiés, seule l'abondance varie. Deux groupements se sont formés suivant les paramètres édaphiques indépendamment des secteurs. Le premier groupement est constitué par les sols riches en cations échangeables, en éléments nutritifs (phosphore, azote et carbone organique), en aluminium échangeable, en sable et avec une acidité élevée. Les sols riches en limon avec un pH élevé et un taux élevé en calcium, magnésium et potassium caractérisent le second groupement. Le diamètre moyen des individus inventoriés était de 23,4±16 cm, la surface terrière était de 57,28 ± 22,38 m^2 à l'hectare.

Le stock de carbone ne varie pas significativement au sein des trois secteurs du PNK. Il est estimé à 140,6 ± 49,8 tC/ha. Le diamètre, l'abondance et la surface terrière montrent une relation positive avec le stock de carbone. Le stock de carbone est corrélé positivement avec le pH et négativement corrélée avec le carbone organique, l'azote et la matière organique. Les dix premières espèces ayant un stock élevé de carbone représentent 70,2% du stock total. Il s'agit de *Syzygium guineense* (12,1%), *Xymalos monospora* (8,9%), *Macaranga kilimandscharica* (8,8%), *Myrianthus holstii* (7,5%), *Tabernaemontana johnstoni* (6,9%), *Prunus africana* (6,2%°), *Entandrophragma excelsum* (5,4%), Intobo (5,0%), *Strombosia scheffleri* (5,0%) et *Symphonia globulifera* (4,4%).

ABSTRACT

The state of the forests influences not only regional and global climate but also biodiversity. Forests play an important role in the process of mitigating the negative effects of climate change. This role is not yet well understood for mountain forests in Africa and Burundi particularly. The overall objective of this study is to assess the tree flora diversity of Kibira National Park and estimate the amount of carbon sequestered by this forest.

21 temporary plots of 25m x 25m each have been equitably established in the three sectors of the PNK: Rwegura, Musigati and Teza. The inventory and diameter measurement of all individuals with dbh ≥10 cm have been taken. Floristic diversity was assessed through the Shannon, Equitability and Fisher_Alpha indices. The Importance Value Index (IVI) have been used to identify the most dominant species. The vegetation was characterized using the classification indices and the characteristics species packages of the R software. Canonical Correspondence Analysis (CCA) highlight the relationship between the edaphic parameters and the vegetation. The polynomial equation was developed and used to estimate the height of all individuals because the height measurement was concerned only 14.4% of the inventoried individuals. The equation of Chave *et al.,* (2014) was used to estimate aboveground biomass and this was converted to carbon by using a conversion factor.

A total of 1190 individuals, divided into 58 species, 56 genera and 42 families, were inventoried. The Euphorbiaceae family is the most diverse one while *Xymalos monospora, Macaranga kilimandscharica, Myrianthus holstii*, *Syzygium guineense* and *Tabernaemontana stapfiana* occupy the top 5 dominant species. The results show that the floristic composition is similar in those three sectors of the PNK and only the abundance varies. Two groups were formed according to the edaphic parameters independently of the sectors. One is made up of soils rich in exchangeable cations, nutrients (phosphorus, nitrogen and organic carbon), exchangeable aluminum, sand and with high acidity. Soils rich in silt with a high pH and a high rate of calcium, magnesium and potassium characterize the second group. The mean diameter of the individuals surveyed varied was 23,4 ± 16 cm, the basal area was 57,28 ± 22,38 m^2 per hectare.

The carbon stock does not vary significantly within the three sectors of the PNK. It is estimated at 140,6 ± 49,8 tC / ha. Diameter, abundance and basal area show a positive relationship with carbon stock.

Carbon stock is positively correlated with pH and negatively correlated with organic carbon, nitrogen and organic matter.

The top ten species with a high carbon stock represent 70,2% of the total stock. These are *Syzygium guineense* (12,1%), *Xymalos monospora* (8,9%), *Macaranga kilimandscharica* (8,8%), *Myrianthus holstii* (7,5%), *Tabernaemontana johnstoni* (6,9%), *Prunus africana* (6,2% °), *Entandrophragma excelsum* (5,4%), Intobo (5,0%), *Strombosia scheffleri* (5,0%) and *Symphonia globulifera* (4,4%).

TABLE DES MATIERES

DEDICACES II
REMERCIEMENTS III
LISTE DES SIGLES ET ABREVIATIONS V
LISTE DES FIGURES VI
LISTE DES TABLEAUX VII
RESUME VIII
ABSTRACT X
TABLE DES MATIERES XII
CHAPITRE I. INTRODUCTION GENERALE 1
I.1 Contexte et problématique de l'étude 1
I.2 Objectifs et hypothèses de l'étude 3
I.3 Intérêt du travail 4
CHAPITRE II. GENERALITES SUR LA SEQUESTRATION DU CARBONE 5
II.1 Principe de séquestration du carbone par les forêts 5
II.2 Notion de l'effet de serre 5
II.3 Gaz à effet de serre 5
CHAPITRE III. MATERIEL ET METHODES 7
III.1 Description de la zone d'étude 7
III.1.1 Situation géographique 7
III.1.2 Végétation du Parc National de la Kibira 8
III.1.3 Quelques menaces du Parc National de la Kibira 8
III.2 Méthodes de collecte et d'analyse des données 10
III.2.1 Collecte des données 10
III.2.1.1 Mise en place du dispositif expérimental 10
III.2.1.2 Inventaires floristiques et prise des mesures dendrométriques 10
III.2.1.3 Echantillon du sol 11
III.2.2 Méthodes d'analyse des données 13
III.2.2.1 Description de la végétation 13
III.2.2.1.1 Richesse spécifique 13
III.2.2.1.2 Diversité floristique 13
III.2.2.1.3 Structure de la végétation 13
III.2.2.2 Méthode d'évaluation de la biomasse aérienne 14
III.2.2.2.1 Choix du bon modèle pour la relation hauteur-diamètre 14

III.2.2.2.2 Estimation de la biomasse 15
III.2.2.3 Analyses statistiques 16
CHAPITRE IV. PRESENTATION DES RESULTATS ET DISCUSSION 17
IV.1 PRESENTATION DES RESULTATS 17
IV.1.1 Composition, diversité arborescente et variabilité édaphique 17
IV.1.2 Variation du stock de carbone dans le Parc National de la Kibira 22
IV.1.3 Espèces importantes dans l'accumulation du carbone 26
IV.2 DISCUSSION 27
IV.2.1 Variation de la flore arborescente du Parc National de la Kibira 27
IV.2.2 Equation allométrique hauteur-diamètre pour le PNK et variation de carbone 29
IV.2.3 Espèces à fort potentiel dans l'accumulation de carbone et rôle du PNK dans l'atténuation du réchauffement climatique 32
CONCLUSION ET PERSPECTIVES 33
Références 35
Annexes 43

CHAPITRE I. INTRODUCTION GENERALE

I.1 Contexte et problématique de l'étude

L'état des forêts influence non seulement le climat régional et mondial mais également la biodiversité. Le rôle des forêts dans la régulation climatique et surtout dans le recyclage du carbone a été évoqué par nombreux scientifiques. Les forêts contiennent environ 80% du stock global de Carbone terrestre (Houghton, 2005) et jouent un rôle très important dans le cycle du carbone (COMIFAC, 2013). D'après le GIEC, le carbone contenu dans la végétation et principalement dans le bois des arbres, est presque égal à celui stocké dans l'atmosphère sous forme de CO_2. En 2010, la FAO, dans ses estimations, a montré que les forêts du monde stockent plus de 650 milliards de tonnes de carbone dont 44% dans la biomasse, 11% dans le bois mort et dans la litière et 45% dans le sol (FAO, 2010).

Les forêts jouent également le rôle de protection de la biodiversité. Pour ce, la Convention sur la Diversité Biologique (CDB) affirme que la perte d'habitat forestier constitue une cause majeure de baisse de la diversité biologique (COMIFAC, 2013). Les menaces que les forêts subissent, se répercutent aussi sur la biodiversité que ce soit animale ou végétale s'accompagnant d'une diminution des services écosystémiques que ces forêts offraient à l'humanité (Priess *et al.,* 2007; Ricketts, 2004).

Actuellement, les forêts tropicales sont au cœur des enjeux internationaux sur le changement climatique et sur la conservation de la biodiversité. Pour faire face au réchauffement de la planète, différentes conventions ont été signées telle que la Convention Cadre des Nations Unies sur les Changements climatiques (CCNUCC) signée en 1992, le protocole de Kyoto qui vise à réduire les émissions de gaz à effet de serre, traité qui est entré en vigueur en 1995.

Ainsi, le mécanisme de Réduction des Emissions de gaz à effet de serre résultant de la Déforestation et de la Dégradation des forêts (REDD+) a été établi. Il vise à encourager les pays en voie de développement couverts des étendues forestières, à conserver intact leur massif forestier. En contrepartie, ces pays bénéficient d'une compensation financière issue des crédits carbone.

Les forêts tropicales contiennent 40 à 50% du carbone terrestre (Pan *et al.,* 2011) et constituent de véritables puits de carbone (Stephens *et al.,* 2007).

La majorité des études évaluant les réservoirs de carbone et sa séquestration dans les forêts tropicales humides ont été menées dans des forêts de basse altitude (Clark *et al.,* 2003; Feeley *et al.,* 2007; Mugasha *et al.,* 2015; Slik *et al.,* 2013; Tng *et al.,* 2016).

Les données dans les forêts tropicales de montagne sont encore insuffisantes (Spracklen *et* Righelato, 2014).

En Afrique, plus précisément dans la région du Rift Albertin, quelques études d'évaluation de stocks de carbone dans les forêts de montagnes ont été effectuées notamment au Kenya (Cuni-sanchez *et al.,* 2017), en République Démocratique du Congo dans le Parc National de Kahuzi-Biega (Imani *et al.,* 2017) et au Rwanda dans la forêt de Nyungwe constituant le prolongement du Parc National de la Kibira (Nyirambangutse *et al.,* 2016). D'autres études ont été réalisées en Tanzanie (Mugasha *et al.,* 2013) et au Cameroun (Djuikouo *et al.,* 2010). Toutes ces études sont arrivées au constat que les stocks de carbone varient dans les forêts de montagne en fonction de l'altitude, de la diversité floristique locale et en fonction des régions et des montagnes considérées (Bussmann, 2006).

Les équations pantropicales de Chave *et al.,* (2014) sont les plus utilisées pour estimer la biomasse. Ces équations intègrent trois paramètres dont le diamètre, la hauteur et la densité de l'arbre. Il a été remarqué que l'intégration de la hauteur améliore les estimations de la biomasse forestière (Chave *et al.,* 2014; Feldpausch *et al.,* 2012). Comme la hauteur n'est pas facilement prise sur terrain en zone de montagne (Imani *et al.* 2017; Larjavaara *et* Muller-landau 2013), il y a eu développement des équations allométriques hauteur-diamètre pour faciliter les travaux de terrains. La littérature renseigne que différentes équations allométriques locales propres au type forestier ont été développées en Afrique de montagne et même de basse altitude pour estimer la hauteur à partir du diamètre (Cuni-sanchez *et al.,* 2017; Djomo *et al.,* 2016; Imani *et al.,* 2017; Mugasha *et al.,* 2015). Ces allométries locales ont permis de réduire les surestimations et sous-estimation de carbone variant entre 30 à 90% selon le cas dans plusieurs autres régions (Cuni-sanchez *et al.,* 2017; Imani *et al.,* 2017; Kearsley *et al.,* 2013).

Pour l'instant, aucune évaluation de stock de carbone n'a été faite dans les forêts de montagne au Burundi. Etant donné le besoin national de disposer des données sur la variation de carbone dans les formations forestières au Burundi, il devient dès lors important, d'estimer ces stocks de carbone pour une meilleure compréhension du rôle de ces forêts dans le cycle de carbone et dans l'atténuation du réchauffement climatique.

Ainsi, ce travail voudrait répondre aux questions suivantes : (i) comment varie la diversité floristique au sein des différents secteurs du PNK ; (ii) quelle est la quantité de carbone et quels

sont les facteurs qui expliquent sa variation en forêt de montagne du PNK ? (iii) quelles sont les espèces qui séquestrent plus de carbone ?

I.2 Objectifs et hypothèses de l'étude

L'objectif global de cette étude est de déterminer la diversité floristique arborescente du Parc National de la Kibira et d'estimer la quantité de carbone séquestrée par ce massif forestier.

Pour ce, nous nous fixons trois objectifs spécifiques :

- Déterminer la diversité et la structure floristique ainsi que leur variation au sein des différents secteurs du Parc National de la Kibira ;
- Déterminer la quantité de carbone séquestrée par le Parc National de la Kibira et sa variation en relation avec les caractéristiques du sol;
- Déterminer les espèces arborescentes qui séquestrent plus de carbone en mettant en relation la diversité arborescente et la capacité de séquestration de carbone.

L'hypothèse principale de cette étude est que le Parc National de la Kibira présente une variabilité en termes de composition et structure floristique impliquant celle du carbone stocké sous l'influence des caractéristiques du sol.

Les hypothèses secondaires formulées pour ce travail sont les suivantes :

- la structure et la composition floristique du PNK diffèrent selon les secteurs ;
- il y a variation de stocks de carbone dans les différents secteurs du PNK en fonction de la variation de la structure, composition floristique et caractéristiques du sol.
- Le niveau de séquestration du carbone varie d'une espèce à une autre.

I.3 Intérêt du travail

Le Parc National de la Kibira constitue la plus vaste forêt de montagne dont le Burundi dispose. Comme d'autres forêts tropicales de montagne, ce massif forestier joue un rôle important sur le plan climatique. Cette étude qui se veut pionnière au Burundi dans l'estimation de stock de carbone pourrait permettre l'estimation du stock global de toutes les formations forestières du Burundi et ainsi déterminer le rôle de nos forêts dans l'atténuation du réchauffement climatique. Ceci pourrait dès lors susciter l'émergence d'autres études en matière de stocks de carbone sur le territoire burundais. Les résultats de cette étude pourraient constituer une base de données pour l'élaboration d'une politique de mobilisation des fonds carbone via les mécanismes internationaux notamment REDD+.

Cette étude présente également un intérêt sur le plan méthodologique pour les études ultérieures qui pourraient se faire dans le PNK. Pour les études nécessitant la mesure de hauteur, l'équation hauteur-diamètre élaborée dans cette étude pourrait être utilisée pour déterminer la hauteur des arbres du PNK. Ainsi, la conduite des travaux de terrain deviendrait rapide et facile.

CHAPITRE II. GENERALITES SUR LA SEQUESTRATION DU CARBONE

II.1 Principe de séquestration du carbone par les forêts

Le dioxyde de carbone dont le Carbone est l'une des composantes, est le gaz qui contribue le plus à l'effet de serre. Le rôle des forêts dans le cycle de carbone est non négligeable. L'une des principales fonctions des forêts est la fixation et la séquestration du carbone atmosphérique. En effet, par le phénomène de photosynthèse, elles captent et convertissent le CO_2 atmosphérique en matériel végétal à l'aide de l'énergie solaire. Ce processus mène à la libération de l'oxygène.

Ainsi, les forêts constituent de puits du carbone. La quantité de carbone stockée dans les forêts pendant une période donnée, c'est autant de carbone qui ne participe pas à l'effet de serre pendant cette période. Cependant, la forêt peut être un puit ou une source de carbone (Lescuyer *et* Locatelli, 1999). Le bilan de carbone d'une forêt dépend de la différence entre son taux de photosynthèse et le taux de respiration. Une forêt présente un bilan positif et séquestre du carbone si son taux de photosynthèse est supérieur à celui de sa respiration.

II.2 Notion de l'effet de serre

Découvert par Jean Baptiste Fourier, le phénomène de l'effet de serre a été décrit pour la première fois par Arrhenius Svante en 1896 (Dufresne, 2009). Il s'agit d'un phénomène naturel provoquant une élévation de la température à la surface de la terre. Une grande partie de l'énergie du rayonnement solaire qui atteint la terre est réémise vers l'atmosphère sous forme de rayonnement infrarouge. Une partie de ce rayonnement est absorbée par certains constituants de l'atmosphère, qu'on appelle gaz à effet de serre (GES) et réchauffe la surface de la terre et l'autre partie est renvoyée vers l'espace (Fig. 2.1). L'importance du phénomène de l'effet de serre est fonction de la concentration des GES.

II.3 Gaz à effet de serre

Le réchauffement de la planète observé actuellement, est attribué pour la plus grande partie aux activités anthropiques. L'accroissement de la production de GES serait directement lié au développement économique et à l'évolution des modes de vie (Marniesse *et* Filipiak, 2003). Les principaux gaz à effet de serre sont :

- le gaz carbonique, produit en grande partie par la combustion des combustibles fossiles (charbon, pétrole et ses dérivés) ;

- le méthane (CH_4) émis par l'élevage des bovins, les déjections animales et les cultures agricoles;
- l'oxyde nitreux (N_2O) qui provient des pratiques agricoles comme utilisation des engrais. Il est également produit dans les industries de fabrication des engrais ;
- Les gaz fluorés comme les CFC et ses dérivés (HCFC, HFC), utilisés surtout dans la réfrigération et l'air conditionné.

Le rejet de GES dans l'atmosphère issus des activités anthropiques, accentue de plus en plus le phénomène de l'effet de serre. Le GIEC (2014) indique que les émissions de GES ont augmenté de 2,2% par an entre 2000 et 2010. Comparativement à la période de 1970-2000 au cours de laquelle ces émissions avaient augmenté en moyenne de 1,3% par an. Ce taux d'augmentation observé actuellement est inquiétant. Le CO_2 est le principal GES qui est émis dans l'atmosphère. En 2010, il était estimé à 76% du total des émissions (GIEC, 2014). Ce gaz participe énormément dans le dérèglement climatique de la planète. Cela avait était démontré par Arrhenius dans son étude qui montre que la température de la Terre augmenterait de 5°C si la concentration de CO_2 venait de doubler (Dufresne, 2009).

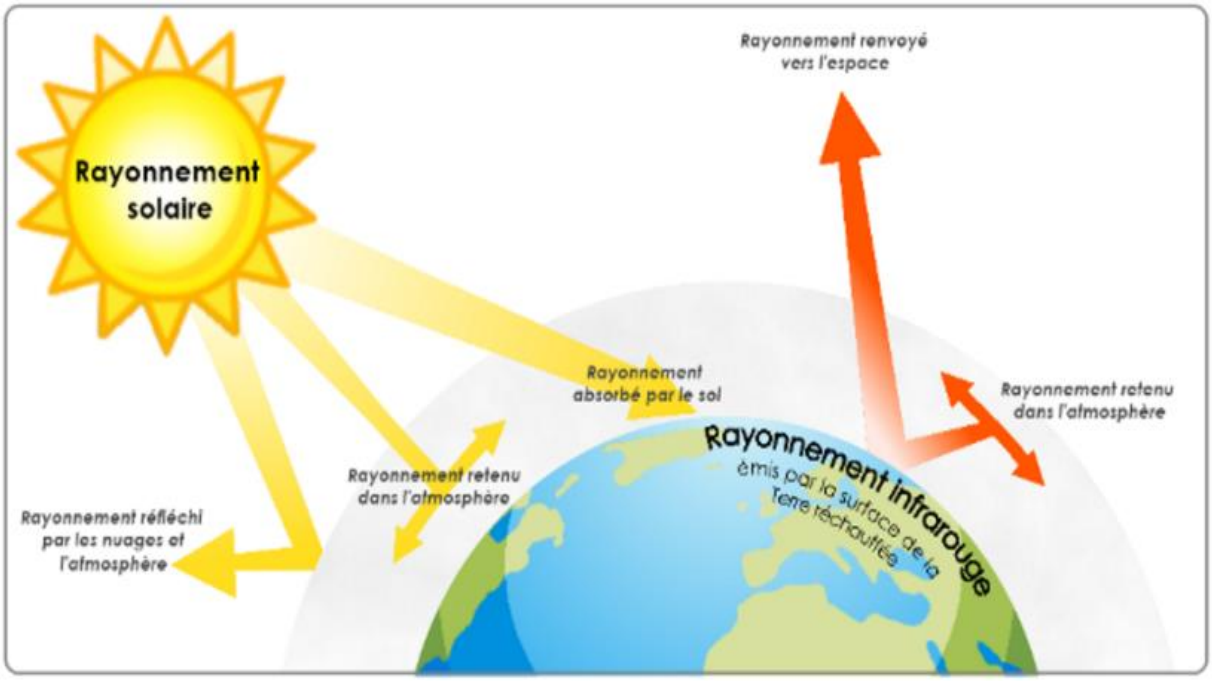


Figure 2.1 Schéma illustratif de l'effet de serre.

(**Source :** http://www.beehave2030.fr/cons%C3%A9quences-et-origines-des-gaz-%C3%A0-effet-de-serre consulté le 14/7/2020)

CHAPITRE III. MATERIEL ET METHODES

III.1 Description de la zone d'étude

III.1.1 Situation géographique

Le Parc National de la Kibira est localisé au Nord-Ouest du Burundi. Couvrant la partie Nord de la Crête Congo-Nil, il forme avec le Parc National de Nyungwe du Rwanda, un bloc continu de forêt du Rift Albertin. Avec 80km de long et environ 8km de large, le Parc couvre une superficie d'environ 40 000 ha (UICN/PACO, 2011). Son altitude varie entre 1600 m et 2666 m (Arbonier 1996 in Habonayo *et al.*, 2019). Il se situe entre 2° 36' 52" et 3 ° 17' 08" de latitude Sud et entre 29° 13' 31" and 29° 39' 09" de longitude Est.

Le relief du Parc National de la Kibira est marqué par des pentes prononcées des deux côtés de la crête Congo-Nil et très marqué sur le versant Ouest (OBPE, 2014).

Le PNK s'étend sur quatre provinces dont Muramvya, Kayanza, Bubanza et Cibitoke. Il est subdivisé en quatre secteurs à savoir Teza avec une superficie de 5794 ha, Musigati (15424 ha), Rwegura (12423 ha) et Mabayi (359 ha) (OBPE, 2014).

Ce travail s'est réalisé dans les secteurs de Teza, Musigati et Rwegura (Fig. 3.1).

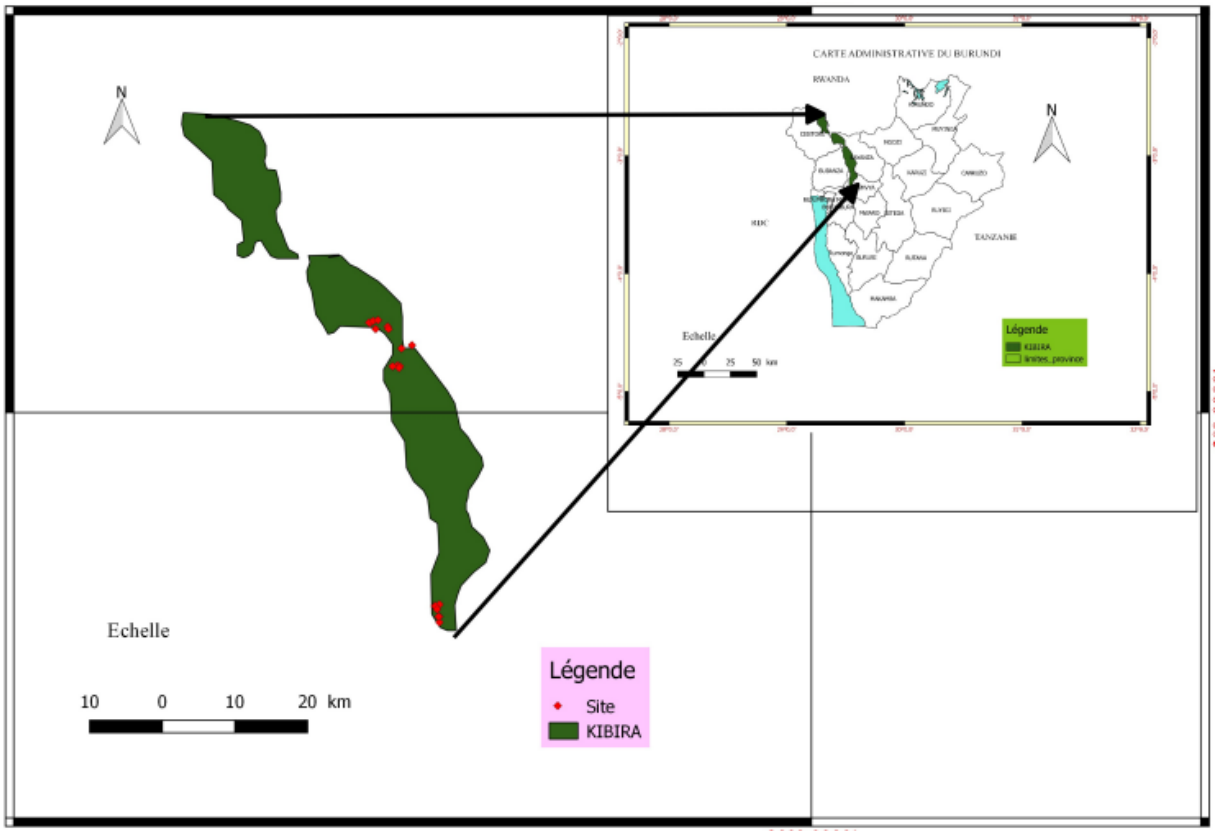


Figure 3.1 Localisation des sites de collecte des données.

III.1.2 Végétation du Parc National de la Kibira

La flore du Parc National de la Kibira est caractéristique de la forêt ombrophile de montagne (Nzigidahera, 2006). En fonction de l'altitude et des caractéristiques physionomiques et floristiques, Lewalle (1972) distingue trois horizons: l'horizon inférieur situé entre 1600 et 1900 m d'altitude qui est caractérisé par une forêt ombrophile de transition, l'horizon moyen présentant des conditions écologiques de montagne qui est situé entre 1900 et 2250 m d'altitude et qui présente des espèces arborescentes pouvant atteindre 40 m de hauteur. Le troisième horizon est situé au-delà de 2500 m d'altitude avec les formations floristiques de type afro-subalpin constituées des éricacées. On a travaillé dans l'horizon moyen pour le présent travail.

III.1.3 Quelques menaces du Parc National de la Kibira

Malgré les efforts fournis par les gestionnaires du PNK, le prélèvement illicite des différentes ressources constitue l'une des menaces de ce Parc. Le bois de chauffe, le bambou pour la construction et fabrication de divers outils artisanaux, l'herbe pour le bétail, la fumure pour le paillage des champs en sont les principales ressources prélevées. Ce prélèvement est effectué surtout par les communautés environnant le Parc. C'est le cas des Twa qui montrent un attachement à la forêt et dont la survie dépend des services écosystémiques fournis par le PNK (Ndayizeye *et al.,* 2020). Nzigidahera (2007) indique également que l'espèce *Oldeania alpina* est l'une des ressources végétales les plus prélevées du côté de Kayanza pour ses divers usages (vannerie, construction des maisons, des meubles, des instruments culturels, etc.). Il y a aussi de grands arbres qui sont abattus pour la recherche du miel et des planches (Fig. 3.2a). On y ajoute également l'exploitation de l'écorce du *Prunus africana* l'une des espèces les plus recherchées pour des fins médicinales (Fig. 3.2b). A cet effet, des projets de multiplications de quelques espèces de forêts (dont *Prunus africana*, *Carapa grandiflora* et *Polyscias fulva*) ont été développés autour du PNK pour atténuer la pression faite sur ce massif forestier (Fig. 3.2d). L'envahissement du PNK par la liane *Sericostachys scandens* (umutifu) constitue également une menace et plus particulièrement pour la flore arborescente du Parc (Fig. 3.2c). Habonayo *et al.,* (2019) montrent que la densité du *Sericostachys scandens* affecte négativement la richesse spécifique des ligneux à tous les stades de leur développement. En effet, en plus de perturber la croissance de jeunes plantules, cette liane monte jusqu'à la canopée de grands arbres et ces derniers finissent par tomber créant ainsi des ouvertures dans la forêt.

Figure 3.2 Quelques menaces du Parc National de la Kibira et solutions alternatives.

(a) *Chrysophyllum gorungosum* fraichement abattu à la recherche du miel ; (b) *Prunus africana* écorcé pour des fins médicinales ; (c) Prolifération du *Sericostachys scandens* dans le PNK ; (d) Pépinière pour la multiplication des espèces de forêts recherchées par la population riveraine. (Photos : Irampagarikiye, 2020)

III.2 Méthodes de collecte et d'analyse des données

III.2.1 Collecte des données

Dans cette étude, la collecte des données concerne d'une part, la mise en place du dispositif expérimental avec l'établissement des parcelles et d'autre part les inventaires floristiques et la prise des mesures dendrométriques et des échantillons du sol.

III.2.1.1 Mise en place du dispositif expérimental

Les parcelles temporaires ont été envisagées dans le cadre de cette étude vu qu'aucun suivi n'était prévu. Ainsi, 21 parcelles de 25 m × 25 m distantes d'au moins 300 m ont été installées dans les trois secteurs du PNK : 7 dans le secteur Rwegura, 7 dans le secteur Musigati et 7 dans le secteur Teza.

Une boussole, un décamètre et un fil ont été utilisés pour orienter, mesurer et délimiter les parcelles. Le choix de l'emplacement de la parcelle se faisait par priorisation de la végétation moins perturbée. Une fois les parcelles délimitées, les coordonnées géographiques ont été prises au centre de chaque parcelle à l'aide d'un GPS pour la production de la carte de localisation des sites (Fig. 3.1).

III.2.1.2 Inventaires floristiques et prise des mesures dendrométriques

Tous les individus à dhp ≥ 10 cm ont été inventoriés, mesurés et identifiés sur terrain jusqu'au niveau de l'espèce dans la mesure du possible. Les espèces non identifiées directement sur terrain, l'ont été ultérieurement à l'herbarium de l'Université du Burundi. Pour chaque espèce, un herbier accompagné d'un échantillon génétique sur silicagel a été collecté et déposé à l'herbarium de l'Université du Burundi et/ou du Jardin Botanique de Meise. Je tiens à signaler que pour quelques espèces, je n'ai pas pu me procurer d'un herbier suite à la taille très élancée des arbres. La nomenclature des plantes suit celle qui est proposée sur le site African Plants Database (version 3.4.0).

Pour chaque individu recensé, son diamètre a été mesuré à l'aide d'un dhp-mètre. Conventionnellement, les mesures sont prises à 1,30 m au-dessus du sol. Pour certains arbres présentant des particularités ou malformations comme les contreforts, les courbures, des ramifications, etc., le diamètre a été mesuré au-dessus ou en dessous de la malformation suivant le guide proposé par Walker *et al.* (2011).

Pour les arbres à contreforts, le même niveau est considéré si le contrefort est de hauteur inférieure à 1,30 m et à 30 cm au-dessus de la fin du contrefort si celui-ci a plus de 1,30 m de hauteur. Dans le cas des arbres à bifurcations, la mesure concerne toutes les tiges ramifiées ayant un diamètre supérieur ou égal à 10 cm.

La hauteur des individus a été également prise à l'aide d'un hypsomètre laser ACE. Nous avons appliqué la méthodologie utilisée dans les autres forêts de montagne (Cuni-sanchez *et al.*, 2017; Imani *et al.*, 2017).

III.2.1.3 Echantillon du sol

Dans le cadre de cette étude, un échantillon ponctuel du sol a été collecté au milieu de chaque parcelle. Le principe consistait à enlever d'abord la couche supérieure constituée de litière, puis prendre l'échantillon jusqu'à une profondeur de 30cm en utilisant une tarière. Selon Charan *et al.* (2013), cette zone est très riche en matière organique qui influence la composition floristique. Chaque échantillon est muni d'une étiquette indiquant sa localité d'origine (Fig. 3.3).

Les échantillons ont été séchés à l'air libre dans l'une des salles du Département de Biologie de l'Université du Burundi avant les analyses physico-chimiques effectuées au laboratoire de l'International Institute of Tropical Agriculture (IITA) à Kalambo, Sud-Kivu en RD Congo. L'analyse du sol a porté sur le potentiel d'hydrogène (pH), capacité d'échange cationique (CEC), carbone organique (C), matière organique, azote total (N), phosphore assimilable (P), potassium (K^+), calcium échangeable (Ca^{2+}), magnésium échangeable (Mg^{2+}), acidité échangeable, aluminium échangeable (Al^{3+}) et hydrogène suivant le protocole de FAO (Motsara *et* Roy, 2008) (Tableau 3.1).

Tableau 3.1 Résultats d'analyses des différents paramètres édaphiques de la zone d'étude

Paramètres édaphiques	**Abréviation**	**Moyenne**	**Max**	**Min**
Potentiel en hydrogène	pH	4,547	5,2	4,1
Capacité d'échange cationique (µS/cm)	CEC	62,81	127	26,3
Carbone organique (%)	C	5,627	8,8	1,4
Matière organique (%)	MO	9,701	15,1	2,4
Azote total (%)	N	0,4186	0,7	0,1
Phosphore assimilable (ppm)	P	14,42	22,4	10,5
Potassium échangeable (méq /100g)	K	0,5036	1,5	0,3
Calcium échangeable (méq /100)	Ca^{2+}	2,345	6,8	1,5
Magnésium échangeable (méq /100)	Mg^{2+}	0.9546	2,8	0,6
Acidité échangeable (méq /100)	Ac.éch	6,629	10,7	1,5
Aluminium (méq /100)	$Al3^{+}$	5,154	7,8	1,3
Hydrogène (méq /100)	H^{+}	1,47534	4,5	0,3
Sable (%)	Sable	17,799	32,5	2,9
Argile (%)	Argile	50,57	60,8	34,5
Limon (%)	Limon	31,63	46,5	23

Figure 3.3 Préparation des échantillons de sols aux analyses de laboratoire.

III.2.2 Méthodes d'analyse des données

III.2.2.1 Description de la végétation

III.2.2.1.1 Richesse spécifique

La mesure de la richesse spécifique consiste à faire le recensement de toutes les espèces présentes dans un milieu considéré, sans tenir compte de leur abondance afin d'établir une liste générale de ces espèces. Dans la présente étude, on a considéré toutes les espèces arborescentes à dhp ≥10 cm. A partir de cette liste, les genres et les familles des espèces recensées sont précisés à l'échelle de chaque parcelle et par la suite de chaque secteur.

III.2.2.1.2 Diversité floristique

Il existe plusieurs indices permettant d'analyser la diversité floristique d'une végétation donnée. Pour notre étude, les indices de Shannon, d'Equitabilité et Fisher_Alpha ont été considérés pour caractériser la diversité floristique de chaque placette. Le logiciel Past a permis le calcul ces indices.

- L'indice de Shannon (H') est donné par la relation suivante :

$$H' = \sum pi \ln pi \quad \text{où} \quad pi = ni / N \qquad (1)$$

Avec ni = nombre d'individus d'une espèce, N = total d'individus inventoriés

H' est égal à ln N lorsque toutes les espèces présentent la même abondance. Il est égal à 0 quand le peuplement est composé d'une seule espèce.

- La formule mathématique de l'indice d'Equitabilité (E) est :

$$E = H' / \ln N \qquad (2)$$

- La relation suivante permet de calculer Fisher_Alpha α:

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

S est le nombre d'espèces observées, N le nombre total d'individus.

III.2.2.1.3 Structure de la végétation

La densité, la surface terrière et la distribution des individus en classe de diamètre ont permis d'analyser la structure horizontale de la végétation. Cinq classes de diamètre ont été constituées (1ère classe : de 10 à 20 cm, 2ème classe : de 20 à 30 cm, 3ème classe : de 30 à 40 cm, 4ème classe : de 40 à 50 cm et 5ème classe dont le diamètre est >50cm). Le IVI (Importance Value Index= Indice de valeur d'importance) a été calculé pour déterminer la valeur écologique de chaque espèce.

La densité est définie comme étant le nombre d'individus par unité de surface. Elle traduit l'occupation du sol par différents individus. Pour notre cas, il s'agit de nombre d'arbres de dhp ≥ 10 cm présents sur 625 m² de forêt (c'est-à-dire un carré de 25 m de côté).

La surface terrière permet de déterminer la surface occupée par différents individus recensés et est obtenu en déterminant la section de ces derniers.

- Surface terrière (ST en m^2/ha) = $\pi D^2/4$ avec D = diamètre (cm)

D est le diamètre à hauteur de poitrine de chaque individu et π= 3,14

- Importance value Index (IVI) = Densité relative + Dominance relative

Avec :

Densité relative = (Nombre d'individus d'une espèce /Nombre total d'individus) x100

Dominance relative = (ST_{totale} d'une espèce/ ST_{totale} de toutes les espèces) x100

III.2.2.2 Méthode d'évaluation de la biomasse aérienne

III.2.2.2.1 Choix du bon modèle pour la relation hauteur-diamètre

Pour estimer la hauteur à partir du diamètre, nous avons considéré six modèles allométriques hauteur-diamètre utilisés pour les forêts de montagne par Cuni-sanchez *et al.,* (2017) au Kenya, Imani *et al.,* (2017) pour le Parc National de Kahuzi-Biega et Mugasha *et al.,* (2015) pour la Tanzanie. Il s'agit du modèle de Gompertz (**M_1**), modèle logistique (**M_2**), modèle de Richards (**M_3**), modèle de Michaelis–Menten (**M_4**), modèle en puissance (**M_5**) et le modèle polynomial de deuxième ordre (**M_6**) (Tableau 3.2). Les lettres a, b et c sont des intercepts.

Pour la validation du meilleur modèle, nous avons fait référence aux critères considérés dans d'autres travaux similaires (Cuni-sanchez *et al.,* 2017; Imani *et al.,* 2017; Mugasha *et al.,* 2015). Ainsi, on a comparé le critère d'Akaike (AIC) de différents modèles, leur erreur quadratique moyenne (RMSE) et la variation expliquée par le modèle (R^2).

Le meilleur modèle hauteur-diamètre a été choisi selon qu'il dispose la valeur de R^2 plus élevée mais avec la valeur faible de AIC et de RSME.

Tableau 3.2 Modèles hauteur-diamètre utilisés pour cette étude

N°		Equation
Modèle 1	:	$H = a * exp\ (- b * exp\ (- c * diamètre)$
Modèle 2	:	$H = a / (1 + exp\ [(b - diamètre)/c]$
Modèle 3	:	$H = a + (b - a)\ exp\ [- exp\ (c) * diamètre]$
Modèle 4	:	$H = a * diamètre / (b + diamètre)$
Modèle 5	:	$H = a * diamètre^{b}$
Modèle 6	:	$H = a + b * log\ (diamètre) + c * (log\ (diamètre))^{2}$

III.2.2.2.2 Estimation de la biomasse

L'estimation de la biomasse requiert une équation allométrique obtenue à partir d'une méthode destructive. Différentes équations ont été développées surtout dans les régions tropicales (Chave *et al.,* 2014; Feldpausch *et al.,* 2012; Mugasha *et al.,* 2015).

Pour la présente étude, comme aucune équation locale n'a été développée dans notre pays, et même pour les forêts de montagne tropicale, on a fait recours à l'équation pantropicale de Chave *et al.,* (2014) pour estimer la biomasse aérienne comme cela est le cas dans d'autres études (Cuni-sanchez *et al.,* 2017; Imani *et al.,* 2017; Lewis *et al.,* 2013). Cette équation fait intervenir trois paramètres : le diamètre, la densité anatomique du bois (WMD) et la hauteur. La densité du bois a été tirée de la base de données internationale de Zanne *et al.,* (2009). La moyenne de la densité des arbres tropicaux a été considérée pour les espèces non identifiées. Elle est de 0,58 g/cm^3 (Oulaïtar *et al.,* 2016).

L'équation pour estimer la biomasse est:

$$\textbf{Biomasse (Kg)} = (0{,}0673 \times \rho D^2 H)^{0{,}976}$$

Où D= diamètre (cm) ; H= hauteur (m) et ρ = densité anatomique du bois (g/cm^3)

De la biomasse, la quantité de stocks de carbone a été déduite en multipliant la biomasse par le facteur de conversion. Brown et Lugo, (1992) indiquent que le carbone contenu dans la biomasse sèche d'un arbre est de 50%. Ainsi, le facteur de conversion de la biomasse en carbone est 0,5.

$$C\ (t/ha) = Biomasse(t/ha) \times 0,5$$

Après avoir estimé la quantité de carbone total, le taux de CO_2 correspondant a été déduit en multipliant la quantité du carbone par le rapport des masses molaires du carbone et du CO_2. Ainsi, on a la relation suivante :

$$CO_2\ (t/ha) = C(t/ha) \times 3,67$$

III.2.2.3 Analyses statistiques

Le Logiciel R 3.5.1 a permis de faire toutes les analyses statistiques. L'analyse factorielle de correspondance a été utilisée pour montrer les similitudes en termes de composition floristique entre différentes parcelles en utilisant les packages FactoMineR et Cluster. Une analyse canonique de correspondance (CCA) a permis de mettre en évidence la relation entre les paramètres édaphiques et la végétation en faisant recours au package Vegan du logiciel R. L'analyse de la variance (ANOVA) a été envisagée pour analyser : (i) la variabilité de la composition floristique, (ii) de stocks de carbone, (iii) des paramètres structuraux (nombre d'individus, nombre d'espèces, hauteur moyenne, diamètre moyenne et surface terrière) et (iv) des paramètres édaphiques suivant les secteurs. Lorsque l'homogénéité de la variance n'est pas respectée, on a fait recours au test non paramétrique de variance, test de Kruskal Wallis. Le test chi-deux a été utilisé pour évaluer la variation des abondances, surface terrière, de la distribution de la biomasse aérienne selon les classes de diamètre. La régression linéaire et la corrélation de Pearson ont été utilisées pour mettre en évidence différents paramètres susceptibles d'influencer la biomasse aérienne du PNK.

Les espèces caractéristiques de chaque groupe floristique ont été obtenues en utilisant le package Indicespecies du logiciel R.

CHAPITRE IV. PRESENTATION DES RESULTATS ET DISCUSSION

IV.1 PRESENTATION DES RESULTATS

IV.1.1 Composition, diversité arborescente et variabilité édaphique

Au total, 1190 individus repartis en 58 espèces, 56 genres et 42 familles ont été inventoriés. 41 espèces ont été identifiées jusqu'au niveau de l'espèce, 6 jusqu'au rang générique, 1 jusqu'au niveau de la famille (indét = indéterminée). Quatre espèces sont restées non identifiées et les noms vernaculaires ont été utilisés dans le présent mémoire. Il y a également 6 espèces qu'on n'a pas pu trouver même le nom vernaculaire et ont été qualifiées d'inconnues dans la présente étude (Annexe 1).

L'indice de valeur d'importance (IVI) montre que *Xymalos monospora, Macaranga kilimandscharica, Myrianthus holstii, Syzygium guineense* et *Tabernaemontana stapfiana* sont des espèces les plus dominantes du PNK. Elles représentent à elles seules environ la moitié du nombre total d'individus inventoriés. La famille la plus importante en termes d'espèces est celle des Euphorbiaceae avec 6 espèces suivie des Rubiaceae et des Meliaceae avec respectivement 5 et 3 espèces. Le tableau 4.1 présente les dix espèces qui ont une importante valeur écologique sur base de la dominance relative (Dor) et de la densité relative (Dr).

Tableau 4.1 Les dix premières espèces à haute valeur écologique.

Espèces	NI	ST	Dr	Dor	IVI
Xymalos monospora	178	5,252	15,034	7,190	22,223
Macaranga kilimandscharica	143	7,076	12,078	9,686	21,763
Myrianthus holstii	161	5,678	13,598	7,773	21,371
Syzygium guineense	88	7,421	7,432	10,159	17,591
Tabernaemontana stapfiana	89	4,857	7,517	6,648	14,165
Polyscias fulva	33	6,550	2,787	8,967	11,754
Strombosia scheffleri	66	2,889	5,574	3,955	9,529
Carapa grandiflora	68	2,523	5,743	3,454	9,198
Symphonia globulifera	54	3,229	4,561	4,420	8,981
Entandrophragma excelsum	17	5,005	1,436	6,852	8,288

Une analyse canonique de correspondance (CCA) a permis de lier la végétation et les paramètres édaphiques (Fig. 4.1). Ainsi, deux groupes distincts se sont formés avec une variabilité expliquée de 78%.

Le premier groupe est constitué par les parcelles (R004, R005, R006 et R007) riches en cations échangeables (CEC), en éléments nutritifs (phosphore, azote et carbone organique), en aluminium échangeable, en sable et avec une acidité élevée. Ce groupe est caractérisé par les espèces *Carapa grandiflora* (p-value = 0,001), *Syzygium guineense* (p-value = 0,006), *Tricalisia spp.* (p-value = 0,01), *Diospyros polystemone* (p-value = 0,02) et *Lepidotrichilia volkensii* (p-value = 0,03). *Diospyros polystemone* et *Tricalisia spp.* montrent une fidélité de 100% pour ce groupe tandis que les trois autres espèces se retrouvent également dans quelques parcelles appartenant au deuxième groupe.

Le second groupe englobe le reste des parcelles. Il est caractérisé par un sol riche en limon avec un pH élevé et un taux élevé en calcium, magnésium et de potassium. Curieusement, on n'a pas distingué les espèces caractéristiques pour ce groupe (au seuil de 5%) hormis le *Myrianthus holstii* qui s'y approche avec un seuil de significativité de 0 ,07.

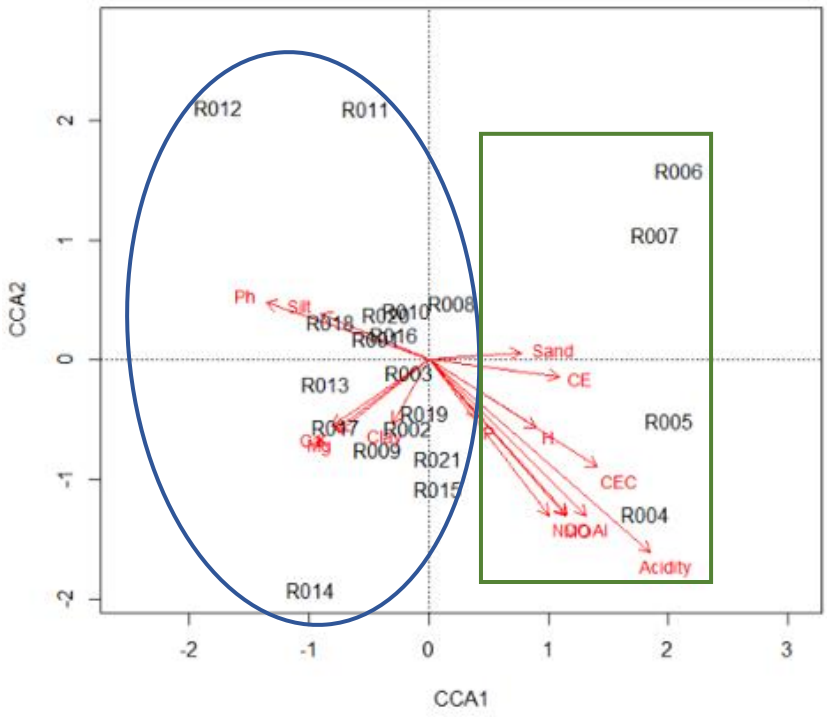


Figure 4.1 Analyse de la relation entre les paramètres édaphiques et la végétation.

Ce regroupement ne se fait pas selon les secteurs. En effet, l'analyse factorielle de correspondance confirme qu'il n'existe pas de différence significative entre les secteurs en termes de composition floristique. La variabilité totale expliquée étant faible, elle est de 32% (Annexe 2).

La CEC, le pH, l'acidité échangeable, le carbone organique, la matière organique, le taux de sable et de limon varient significativement entre les secteurs. Selon ces paramètres, les secteurs Rwegura et Musigati diffèrent entre eux. Les autres paramètres édaphiques montrent de variation non significative à l'intervalle de confiance de 95% (Tableau 4.2).

Tableau 4.2 Variation des paramètres édaphiques au sein des trois secteurs du PNK.

Paramètres édaphiques	Rwegura	Musigati	Teza
Capacité d'échange cationique	**94,96 ± 29,66 a**	**40,50 ± 22,78 b**	**52,97 ± 6,69 b**
Potentiel en hydrogène	**4,29 ± 0,20 a**	**4,76 ± 0,27 b**	**4,59 ± 0,30 ab**
Carbone organique (%)	**6,69 ± 1,30 a**	**4,53 ± 1,98 b**	**5,66 ± 1,19 ab**
Matière organique (%)	**11,53 ± 2,24 a**	**7,82 ± 3,42 b**	**9,76 ± 2,06 ab**
Azote	0,51 ± 0,10	0,53 ± 0,15	0,45 ± 0,11
Phosphore assimilable	15,51 ± 3,52	12,43 ± 2,16	15,32 ± 3,75
Potassium échangeable	0,42 ± 0,07	0,1 ± 0,12	0,58 ± 0,39
Calcium	1,96 ± 0,33	2,37 ± 0,56	2,70 ± 1,81
Magnésium	0,80 ± 0,13	0,96 ± 0,23	1,10 ± 0,74
Acidité échangeable	**8,14 ± 2,04 a**	**4,91 ± 2,35 b**	**6,83 ± 1,39 ab**
Aluminium	6,11± 1,55	4,31± 2,13	5,05 ± 2,38
Hydrogène	2,04 ± 1,47	0,60 ± 0,46	1,78 ± 1,56
Sable (%)	**18,71 ± 9,69 a**	**8,25 ± 6,53 b**	**26,44 ± 4,66a**
Argile (%)	52,38 ± 5,88	52,60 ± 4,34	46,74 ± 6,36
Limon (%)	**28,91 ± 4,16 a**	**39,15 ± 5,37 b**	**26,82 ± 3,38 a**

Les lettres montrent des secteurs similaires selon le Test de Tukey. Les paramètres en gras montrent une variabilité statistiquement significative.

L'analyse de la variance montre que seule l'abondance varie entre les secteurs (p-value = 0.0277). Elle est de 56±9, 45±10 et 69±22 individus à la parcelle respectivement pour le secteur Rwegura, Musigati et Teza. La grande variabilité étant observée dans le secteur Teza. Par contre la richesse spécifique (p-value > 0,05, Fig. 4.2b) et les indices (Shannon p-value > 0,05; Equitabilité p-value > 0,05; Fischer_Alpha p-value > 0,05) ne montrent pas de différence significative. La variation de la diversité est présentée dans le tableau 4.3.

Tableau 4.3 Variation de la diversité floristique entre les trois secteurs du PNK.

Secteur	NI	Espèces	Genre	Famille	Shannon_H	Equitabilité_J	Fischer_Alpha
Rwegura	389	31	30	24	1,759 ± 0,306	0,772 ± 0,073	3,691 ± 1,407
Musigati	318	34	33	29	1,979 ± 0,384	0,816 ± 0,053	3,691 ± 1,407
Teza	483	31	31	25	2,038 ± 0,368	0,804 ± 0,055	5,227 ± 2,652

En ce qui concerne l'abondance en individus, on note que les secteurs Rwegura et Teza ont une abondance similaire contrairement au secteur Musigati qui est différent de Teza mais proche de Rwegura (Fig. 4.2a).

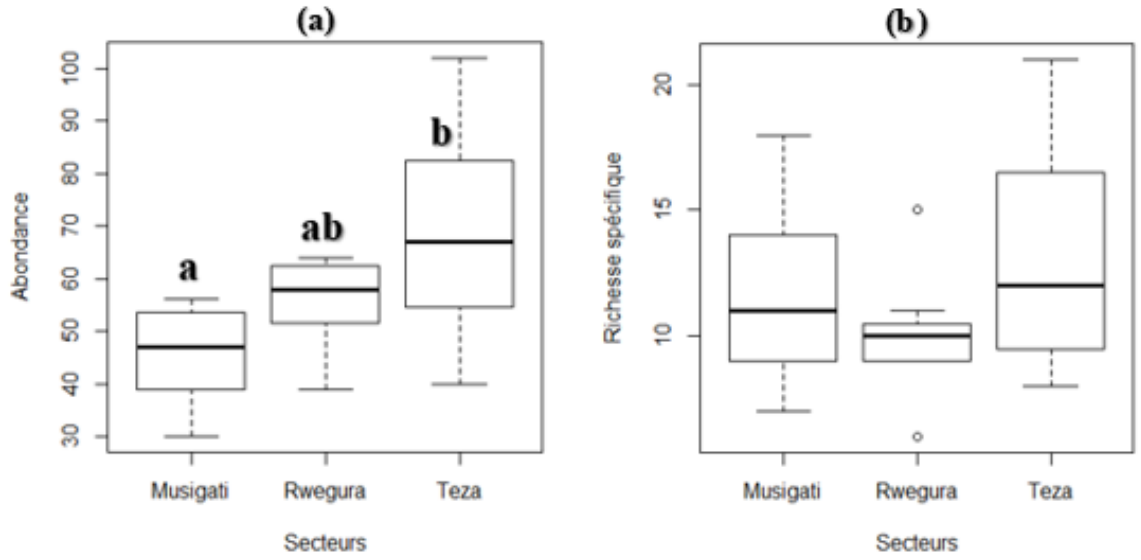


Figure 4.2 (a) Variation de la densité des arbres et (b) de la richesse spécifique entre les trois secteurs.

En rapport avec la structure, on note que le nombre d'individus décroît sensiblement avec l'augmentation du diamètre des arbres (Fig. 4.3). Dans tous les secteurs, on a plus d'individus dans les premières classes. La première classe de diamètre (10 à 20 cm) représente à elle seule 53% du total des individus inventoriés. *Polyscias fulva, Entandrophragma excelsum, Syzygium guineense et Prunus africana* sont les quatre espèces les plus représentées dans la classe supérieure (5ème classe). Elles représentent à elles seules 54% des espèces présentent dans cette classe. La distribution des individus par classe de diamètre varie significativement entre secteurs (χ^2= 26,541 ; p-value < 0,001). Le diamètre moyen est de 23,4±16 cm au niveau global.

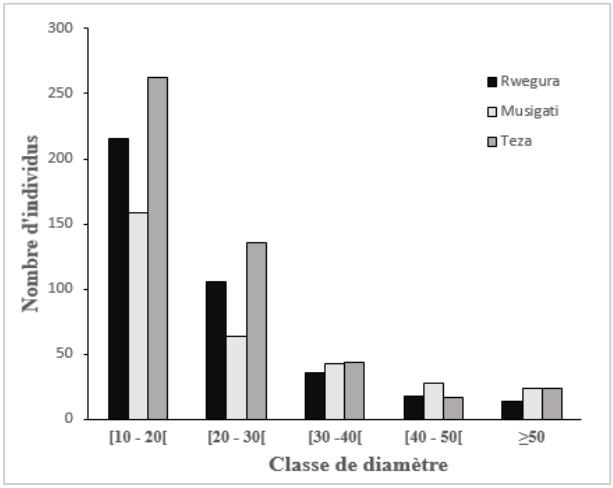


Figure 4.3 Distribution des arbres par classe de diamètre selon les secteurs (diamètre en cm).

La surface terrière moyenne est de 57,28 ± 22,38 m^2 /ha. L'analyse de la variance montre qu'il n'y a pas de différence significative entre les secteurs en termes de surface terrière. Toutefois, elle varie suivant les classes de diamètres (χ^2= 144,97 ; p-value < 0,001). C'est la classe supérieure (de plus de 50 cm de diamètre) qui contribue beaucoup pour la surface terrière.

Les deux premières classes de diamètre avec 942 individus couvrent seulement 33,02% du total de la surface terrière, alors que la classe supérieure avec seulement 62 individus couvre 39,32% de la surface terrière totale. *Entandrophragma excelsum, Polyscias fulva, Intobo, Prunus africana, Syzygium guineense* sont les cinq espèces qui contribuent beaucoup pour la surface terrière de cette classe (soit 67,57% du total de la surface terrière de la classe supérieure). Il s'agit des espèces qui sont plus représentées dans cette classe à l'exception de Intobo. La figure suivante montre la variation de la surface terrière suivant les classes de diamètre.

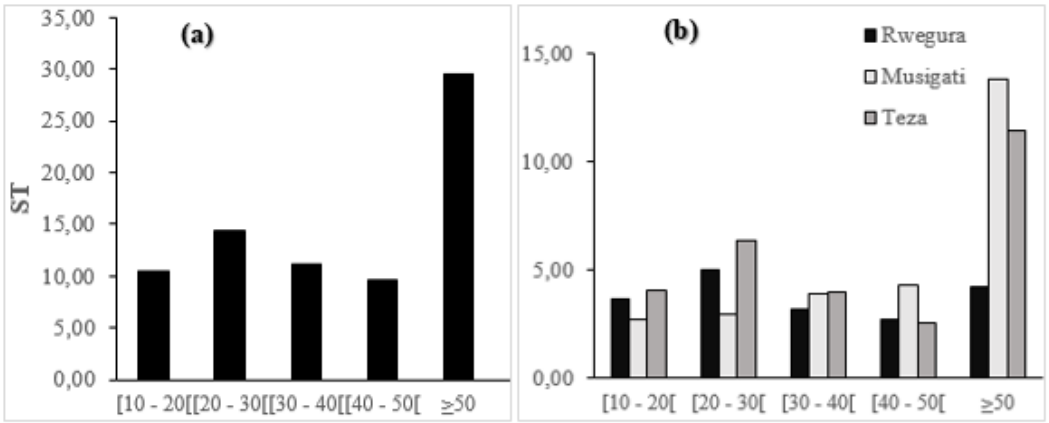


Figure 4.4 Distribution de la valeur de la surface terrière (ST en m²/ha) au niveau global (a) et par secteur (b) suivant les classes de diamètre.

IV.1.2 Variation du stock de carbone dans le Parc National de la Kibira

Le modèle allométrique de la hauteur à partir du diamètre a été proposé pour la Kibira. Ce modèle est global à tous les secteurs comme la structure et la composition floristique n'ont pas montré de variation entre secteurs. Le modèle 6 du type polynomial a été choisi car ayant la valeur de R^2 plus élevée et celles d'AIC et de RSME les plus faibles. En considérant ces critères, le modèle de Michaelis–Menten (Modèle 4) du type asymptotique est le moins performant de tous les modèles considérés pour cette étude (Tableau 4.4).

Tableau 4.4 Meilleur modèle allométrique hauteur-diamètre pour la forêt de la Kibira.

Modèles	Différents intercepts des modèles			Critères de sélection		
	a	b	C	RSME	AIC	R^2
Modèle 1	52,47	1,79	0,99	4,355	999,19	0,635
Modèle 2	45,45	62,78	46,93	4,418	1004,18	0,624
Modèle 3	76,43	7,35	-5,51	4,307	995,41	0,643
Modèle 4	49,47	65,74	-	4,525	1011,39	0,604
Modèle 5	2,41	0,55	-	4,304	994,21	0,641
Modèle 6	**33,74**	**-18,3**	**3,96**	**4,286**	**993,77**	**0,647**

Ainsi, pour déterminer la hauteur des arbres en fonction du diamètre dans le PNK, l'équation suivante est à utiliser :

$$\mathbf{H = 33{,}74 + (-18{,}93)*\log(D) + 3{,}96*(\log(D))^2}$$

Le stock de carbone est estimé à 140,6 ± 49,8 tC/ha. A l'intervalle de confiance de 95%, l'analyse de la variance montre qu'il n'y a pas de différence significative en rapport avec la quantité de carbone séquestrée dans les trois secteurs (p-value = 0,20). Elle est de 113±24 t/ha, 152±67 tC/ha et 157±43 tC/ha respectivement pour le secteur Rwegura, Musigati et Teza. Le secteur Musigati montre une très grande variabilité de stocks de carbone (Fig. 4.5).

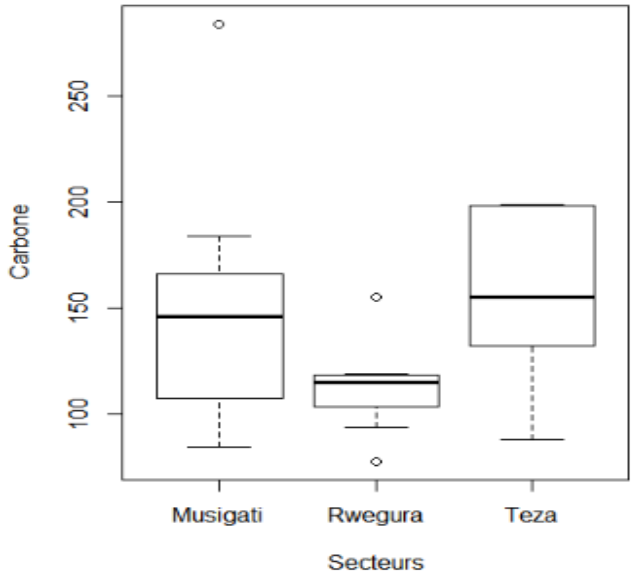


Figure 4.5 Variation de stocks de carbone entre secteurs.

La quantité de carbone stockée n'est pas corrélée avec la richesse spécifique (r= 0,40 ; p=0,07), ni avec l'abondance (r= 0,39 ; p=0,08), ni avec Shannon (r= 0,41 ; p= 0,07) ni avec l'Equitabilité (r = 0,26 ; p=0,25). Elle est non plus corrélée avec la diversité Fisher_Alpha (r=0,29; p=0,19) (Annexe 7).

La distribution du stock de carbone dans le PNK varie suivant les classes de diamètres (χ^2= 834,7 avec un p<0,001). Le niveau de stock élevé de carbone est retrouvé dans les arbres de grand diamètre malgré leur faible effectif. Dans l'ensemble, la classe supérieure (5ème classe) accumule à elle seule jusqu'à 32,4% du stock total tandis que les deux premières classes combinées accumulent 39,9%.

Une forte corrélation positive est observée entre le carbone stocké et la surface terrière (r= 0,93 ; p-value < 0,001). Pour les deux variables, on remarque une variation suivant les classes de diamètre avec une structure bimodale similaire. Partout, deux pics sont observés : le premier dans la deuxième classe de diamètre (de 20 à 30 cm) et le second dans la classe supérieure. La corrélation entre le stock de carbone et les autres paramètres structuraux est faible (Fig. 4.6).

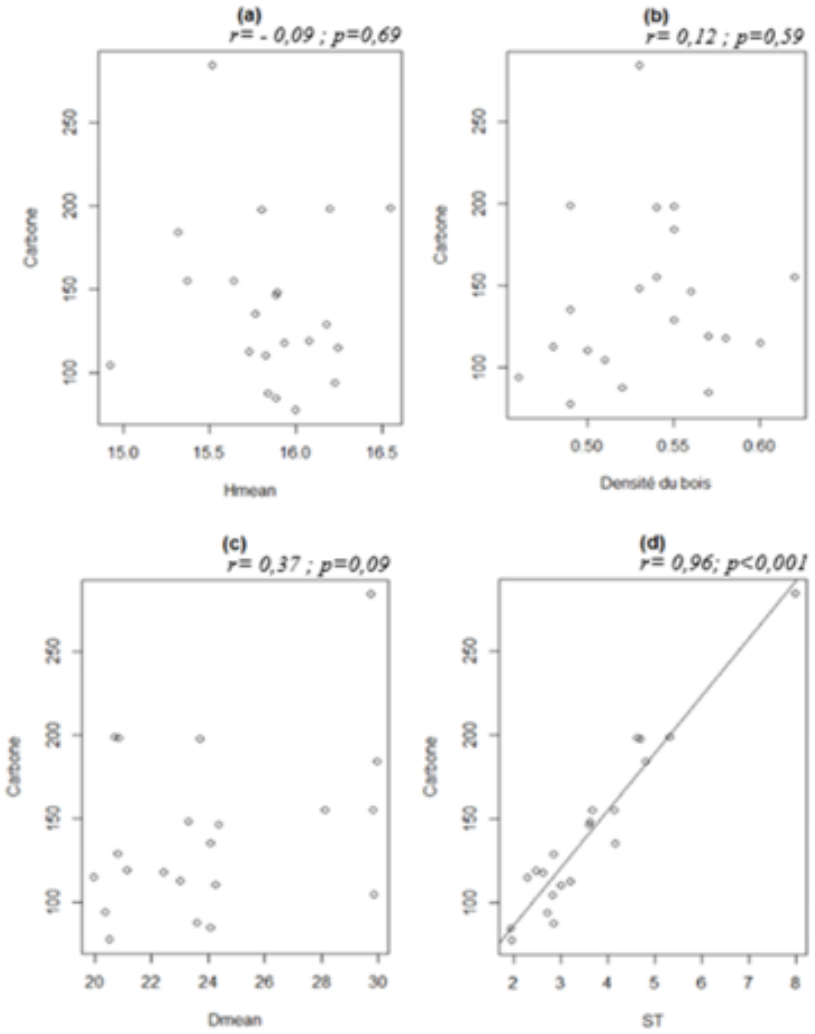


Figure 4.6 Corrélation entre le stock de carbone et les paramètres structuraux.

(a) Hmean=Hauteur moyen, (b) WMD (Wood mass density = Densité du bois, (c) Dmean= Diamètre moyen et ST= Surface terrière

La distribution de carbone suivant les classes de diamètre dans les secteurs Rwegura et Teza est similaire à celle qui est observée dans l'ensemble avec deux pics de stocks de carbone dans la deuxième classe de diamètre et dans la classe supérieure. Par contre, le secteur Musigati montre le pic de carbone uniquement dans la classe supérieure, les classes inférieures tendent à avoir la même quantité de carbone (Fig. 4.7b).

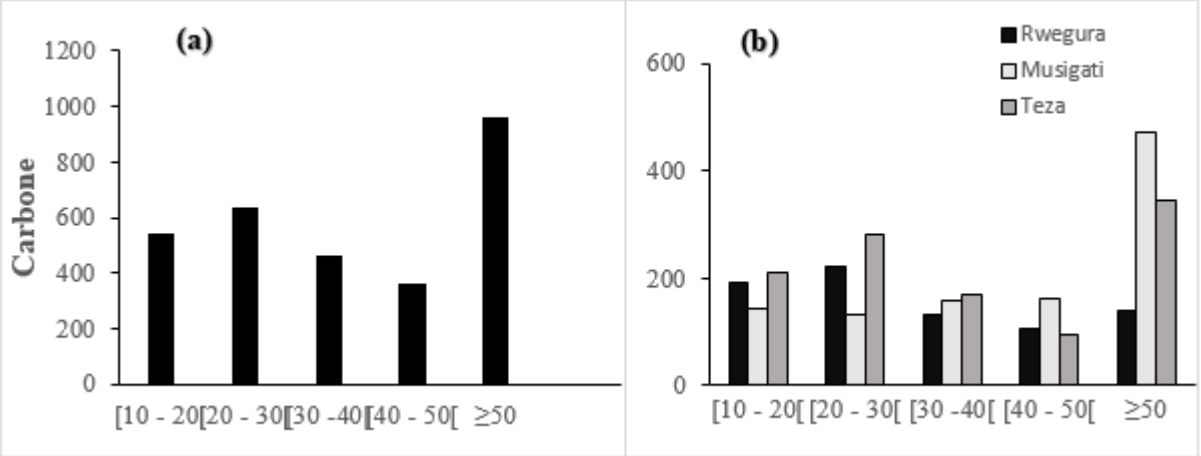


Figure 4.7 (a) Distribution du stock de carbone suivant les classes de diamètre au niveau global et (b) au sein de différents secteurs du PNK.

Concernant les paramètres édaphiques, le stock de carbone est corrélé positivement avec le pH et négativement corrélée avec le carbone organique, l'azote et la matière organique (Tableau 4.5).

Tableau 4.5 Corrélation entre le stock de carbone et les paramètres édaphiques.

Paramètres	**Moyenne**	**r**	**p-value**
Capacité d'échange cationique (µS/cm)	62,81	-0,26	0,252
Potentiel en hydrogène	**4,547**	**0,43**	**0,049***
Carbone organique (%)	**5,627**	**-0,54**	**0,010***
Matière organique (%)	**9,701**	**-0,54**	**0,010***
Azote total (%)	**0,4186**	**-0,55**	**0,010***
Phosphore assimilable (ppm)	14,42	-0,12	0,616
Potassium échangeable (méq /100g)	0,5036	0,16	0,494
Calcium échangeable (méq /100)	2,345	0,16	0,494
Magnésium échangeable (méq /100)	0,9546	0,16	0,494
Acidité échangeable (méq /100)	6,629	-0,36	0,104
Aluminium (méq /100)	5,154	-0,33	0,150
Hydrogène (méq /100)	1,47534	-0,12	0,150
Sable (%)	17,799	0,29	0,208
Argile (%)	50,57	-0,36	0,623
Limon (%)	31,63	-0,11	0,108

Les valeurs en gras montrent une significativité de la corrélation (seuil : p-value <0,05)

IV.1.3 Espèces importantes dans l'accumulation du carbone

La capacité de stockage du carbone n'est pas la même pour toutes les espèces inventoriées. Dans l'ensemble, les dix espèces avec le stock de carbone élevé accumulent jusqu'à 70,2% du stock total. Il s'agit de *Syzygium guineense* (12,1%), *Xymalos monospora* (8,9%), *Macaranga kilimandscharica* (8,8%), *Myrianthus holstii* (7,5%), *Tabernaemontana stapfiana* (6,9%), *Prunus africana* (6,2%°), *Entandrophragma excelsum* (5,4%), Intobo (5,0%), *Strombosia scheffleri* (5,0%) et *Symphonia globulifera* (4,4%).

À l'exception d'Intobo et *Prunus africana* qui ne se retrouvent que dans un seul secteur, d'autres espèces montrent un bon potentiel d'accumulation de carbone au moins dans deux secteurs. *Syzygium guineense*, *Xymalos monospora* et *Myrianthus holstii* se présentent dans tous les secteurs ; *Entandrophragma excelsum*, *Strombosia scheffleri* et *Tabernaemontana stapfiana* dans les secteurs Musigati et Teza; *Macaranga kilimandscharica* dans le secteur Rwegura et Teza et *Symphonia globulifera* dans le secteur Rwegura et Musigati. Le tableau 4.6 montre les dix espèces ayant un stock élevé de carbone au sein de chaque secteur.

Tableau 4.6 Espèces importantes dans l'accumulation du carbone dans chaque secteur.

Secteur Rwegura			Secteur Musigati			Secteur Teza		
Espèces	C total	%	Espèces	C total	%	Espèces	C total	%
Syzygium guineense	216,7	27,4	*Intobo*	148,8	14,0	*Prunus africana*	156	14,1
Macaranga kilimandscharica	132,0	16,7	*Entandrophragma excelsum*	92,2	8,7	***Xymalos monospora***	148	13,4
Carapa grandiflora	100,0	12,6	***Xymalos monospora***	87,1	8,2	*Macaranga kilimandscharica*	121	11,0
Myrianthus holstii	64,3	8,1	*Strombosia scheffleri*	84,9	8,0	*Tabernaemontana stapfiana*	107	9,7
Symphonia globulifera	60,8	7,7	*Bersama abyssinica*	81,7	7,7	***Myrianthus holstii***	85,3	7,7
Cassipourea ruwenzoriensis	37,2	4,7	*Tabernaemontana stapfiana*	78,3	7,4	***Syzygium guineense***	76,5	6,9
Polyscias fulva	32,8	4,1	*Albizia gymmifera*	75,5	7,1	*Entandrophragma excelsum*	67,7	6,1
Xymalos monospora	29,3	3,7	***Myrianthus holstii***	72,0	6,8	*Strombosia scheffleri*	61,9	5,6
Maytenus acuminata	23,9	3,0	***Syzygium guineense***	62,8	5,9	*Polyscias fulva*	58,6	5,3
Tabernaemontana stapfiana	17,4	2,2	*Symphonia globulifera*	61,4	5,8	*Magnistipulata butayei*	41,8	3,8

IV.2 DISCUSSION

IV.2.1 Variation de la flore arborescente du Parc National de la Kibira

Du point de vue richesse floristique, les résultats ne montrent pas de différence significative entre les secteurs. Pour le présent travail, les similarités observées entre secteurs sont dues au fait que les inventaires floristiques ont été effectués dans un même étage de végétation. En effet, les parcelles ont été établies entre 1900 et 2400 m d'altitude. Cette tranche d'altitude correspond à l'horizon moyen selon Lewalle (1972) où règnent les conditions écologiques similaires caractéristiques d'une forêt ombrophile de montagne. Ceci confirme l'étude de Hakizimana *et al.* (2016) sur le PNK ayant mis en évidence la variation floristique le long du gradient altitudinal.

La végétation des forêts tropicales est liée aux paramètres du sol (Fayolle *et al.*, 2012). En effet, pour le présent travail, la CCA a permis de distinguer deux groupements de végétation suivant les paramètres édaphiques. Ces paramètres montrent que les parcelles du premier groupement sont établies sur de bon sol très riche en cations échangeables (CEC) et en éléments nutritifs (phosphore, azote et carbone organique). Ce groupement est caractérisé par les espèces *Carapa grandiflora*, *Syzygium guineense*, *Tricalisia spp.*, *Diospyros polystemone* et *Lepidotrichilia volkensii*. Toutes ces espèces indiquent l'état d'une forêt primaire. Ceci prouve qu'à certains endroits du PNK, existent de lambeaux de forêts non encore secondarisés. Quant au second groupement, il ne montre pas d'espèces caractéristiques. Ce deuxième groupement est caractérisé par les espèces de forêts secondaires comme le *Myrianthus holstii* (p-value = 0,07), une espèce héliophile de forêt secondaire jeune. Ces résultats indiquant dans notre zone d'étude les deux types forestiers distingués suivant le gradient édaphique sont liés à l'état stable de la forêt qu'à une variation altitudinale.

L'indice d'Equitabilité est compris entre 0,6637 et 0,8972. Il traduit la répartition plus ou moins régulière des espèces dans les différentes parcelles. Ceci montre qu'il n'y a pas une forte dominance d'une espèce par rapport aux autres. Cependant, selon l'indice de valeur d'importance, les espèces *Xymalos monospora, Macaranga kilimandscharica, Myrianthus holstii, Syzygium guineense* et *Tabernaemontana johnstonii* sont les espèces plus abondantes du PNK. Les résultats de notre étude sont donc comparables à ceux de Hakizimana *et al.* (2016) indiquant *Macaranga kilimandscharica* et *Syzygium guineense* comme les espèces les plus abondantes dans le PNK. Ces résultats corroborent le constat d'une dominance de forêt secondaire dans le PNK.

Très peu de parcelles ont été localisées dans la forêt avec dominance d'espèces de forêt primaire.

En considérant les arbres de dhp ≥ 30 cm, Plumptre *et al.,* (2002) montrent que le *Syzygium guineense* est l'espèce qui présente plus d'individus. Dans notre étude, la même espèce est la plus abondante si on considère les individus de diamètre comparable. Ceci montre que malgré sa dégradation, on note une reconstitution de la forêt avec le retour des espèces de forêt primaire. La végétation du PNK relève des similarités avec celle de la Réserve Naturelle de Bururi (Burundi). Ceci est prouvé par les résultats de Havyarimana *et al.* (2013) qui montrent que parmi les espèces abondantes de la Réserve Naturelle de Bururi figurent *Xymalos monospora*, *Myrianthus holstii* et *Tabernaemontana johnstonii*. En effet, autrefois, ces deux forêts (PNK et la Reserve Naturelle de Bururi) auraient formé avec la forêt de Monge, un seul bloc de forêt de la crête Congo-Nil (Nzigidahera, 2012).

Les résultats de Swamy *et al.* (2000) et Imani *et al.* (2016) montrent que la structure de la végétation dans les forêts tropicales ne varie pas seulement entre les types de forêts mais également entre différents sites d'une même forêt. C'est le même cas pour notre étude qui montre une distribution significativement différente des individus au sein des secteurs. La plus grande densité est observée dans le secteur Teza.

Quant à la surface terrière moyenne du PNK, elle est de 57,28±22,38 m^2/ha. Cette valeur est comparable à celle trouvée par Imani *et al.* (2016) dans l'horizon moyen compris entre 1800 et 2400 m d'altitude. Cette tranche d'altitude est comparable avec celle considérée pour la présente étude (1900 -2400 m).

La structure diamétrique au niveau global est en forme de J inversé. La même structure se retrouve également au sein de chaque parcelle. Il s'agit d'une structure typique pour les forêts tropicales où le nombre d'individus décroit avec le diamètre (Pascal, 2003). Elle traduit selon Doucet *et* Kouadio (2007), l'existence des conditions naturelles favorables à la régénération des individus. Des résultats similaires ont été obtenus dans les autres forêts du Rift Albertin notamment dans le Parc National de Kahuzi-Biega (Imani *et al.,* 2016) et en Tanzanie (Shirima *et al.,* 2011) mais également dans les autres aires protégées en Afrique comme la Réserve de Biosphère du Dja au Cameroun (Djuikouo *et al.,* 2010).

Les variations des conditions écologiques du milieu pourraient être à la base de la variabilité structurale observée dans le PNK. Mais aussi, des facteurs anthropiques pourraient être ciblés comme source de cette variabilité.

Il s'agit notamment, des dégradations observées pendant la guerre civile qu'a connue le Burundi (dont l'exploitation de certaines espèces pour de fins commerciales et l'extraction des minerais) (Nzigidahera 2006) ainsi que des prélèvements illicites actuels de certains produits forestiers dans le PNK.

Ceci est prouvé également par les résultats de Kayiranga *et al.* (2016) qui montrent la déforestation et la dégradation du Parc Nyungwe-Kibira depuis 1986 jusqu'en 2015. A ces perturbations anthropiques s'ajoute la prolifération du *Sericostachys scandens* qui affecte négativement les ligneux à tous les stades de leur développement (Habonayo *et al.,* 2019) comme cela a également été observé dans la forêt de montagne de Kahuzi-Biega non loin de la Kibira où cette liane perturbe la structure de la végétation (Masumbuko *et al.,* 2012).

IV.2.2 Equation allométrique hauteur-diamètre pour le PNK et variation de carbone

Les modèles allométriques hauteur-diamètre varient selon les régions (Feldpausch *et al.,* 2012) et selon les types de forêts (Fayolle *et al.,* 2016; Imani *et al.,* 2017; Mugasha *et al.,* 2015). Dans le cadre de cette étude, le modèle du type polynomial a été choisi comme bon modèle pour l'estimation de la hauteur des arbres du PNK. Les travaux de Imani *et al.* (2017) ont indiqué que ce modèle était performant pour l'horizon supérieur (compris entre 2400 et 2600 m d'altitude) du Parc National de Kahuzi-Biega dans la même région du Rift Albertin. Au Kenya, hormis le modèle de Michaelis–Menten, les autres modèles utilisés sont performants pour les forêts de basse, moyenne et haute altitude (Cuni-Sanchez *et al.*, 2017).

Avec l'usage de cette équation, la biomasse totale obtenue de notre échantillonnage est de 5907,3 t soit 2835,5 t de carbone. Cette quantité est très inférieure à celle trouvée lorsqu'on utilise les équations régionales développées par Feldpausch *et al.* (2012) pour l'Afrique Centrale et l'Afrique de l'Est (Tableau 4.7). Les recherches ont mis en évidence la nécessité du développement des équations propres au type forestier car l'usage des équations locales conduit pour la plupart de cas à la surestimation ou sous-estimation de carbone (Feldpausch *et al.*, 2012; Imani *et al.*, 2017; Kearsley *et al.*, 2013). En effet, l'application des équations locales de Feldpausch *et al.* (2012) surestime la hauteur des arbres ce qui conduit à la surestimation de la biomasse du PNK jusqu'à 123 % et 77,3 % respectivement pour l'équation d'Afrique Centrale et celle d'Afrique de l'Est. Dans la même région du Rift Albertin, Imani *et al.* (2017) ont montré que l'utilisation des équations de Feldpausch *et al.* (2012) surestiment l'évaluation de carbone dans les forêts de montagne.

Selon les types forestiers, le taux de surestimation varie de 38,8 à 105 % pour l'équation d'Afrique Centrale et de 25,5 à 78,4 % pour l'équation d'Afrique de l'Est.

Tableau 4.7. Biomasse du PNK selon les équations locales de Feldpausch *et al.* (2012) en comparaison avec celle obtenue dans le présent travail.

Equations	Localité	Intercepts			Hmoy	AGB_{Tot}
		a	b	c		
$H = a*(1-\exp(-b*D^c))$	Afr. Central	50,453	0,0471	0,8120	21,6	13172,96
	Afr. de l'Est	43,974	0,0334	0,8546	16,13	10472,77
$H= a + b*\log(D) + c*(\log(d))^2$	PNK	33,74	-18,93	3,96	15,91	5907,29

La biomasse moyenne trouvée par Imani *et al.* (2017) dans les différentes tranches d'altitude surtout celle comparable à la nôtre (de 1800 à 2400 m) est proche à celle obtenue dans la présente étude (281,2 tC/ha soit 141 tC/ha de carbone). Le secteur Musigati montre une grande variabilité en termes de stocks de carbone. La variation de l'abondance d'arbres de grand diamètre dans les parcelles est la principale raison de ces différences.

Pour la répartition de stocks de carbone suivant les classes de diamètre, on remarque une distribution bimodale. Les espèces présentes dans la 2ème classe expliquent le pic qui y est observé. En effet, les cinq premières espèces qui accumulent plus de carbone dans cette classe sont celles qu'on a identifiées au niveau global. Il s'agit de *Macaranga kilimandscharica, Xymalos monospora, Syzygium guineense, Myrianthus holstii* et *Tabernaemontana stapfiana*. Elles contribuent jusqu'à 61 % du stock totale de cette classe. La grande quantité de carbone observée dans la classe supérieure quant à elle, s'explique par la présence des arbres de grand diamètre.

Nos résultats concordent avec ceux de Nyirambangutse *et al.* (2016), de Slik *et al.* (2013) qui montrent que les gros arbres jouent un grand rôle dans le stockage du carbone. L'information sur l'abondance de gros arbres peut être un indicateur du stock de carbone sur l'ensemble d'un peuplement forestier. Selon Chave *et al.* (2005), le diamètre, la hauteur et la densité du bois (WMD) sont les principaux prédicteurs de la biomasse aérienne et par conséquent du carbone stocké. Pour notre milieu d'étude, le carbone stocké est en relation positive avec le diamètre moyen, la densité et la surface terrière. Cette dernière montre une corrélation positive forte avec le carbone ($r = 0,93$; $p < 0,001$).

Quant aux paramètres édaphiques, seul le pH est corrélé positivement avec le carbone stocké dans la biomasse aérienne. Le carbone organique, l'azote et la matière organique montrent une relation négative avec ce dernier.

Les autres paramètres ne montrent pas de relations statistiquement significatives. Imani *et al.* (2017) indiquent une relation négative de la biomasse avec le pH dans le Parc National de Kahuzi-Biega. Le pH constitue un facteur limitant pour la croissance de la plupart des espèces végétales (Läuchli *et* Grattan, 2012). Le pH idéal favorisant la disponibilité optimale des éléments minéraux varie entre 6 et 8 (Läuchli *et* Grattan, 2012). Les valeurs de pH pour nos sites d'inventaires sont inférieures à 6 et caractérisent les sols plus ou moins acides. C'est évident qu'il y ait une relation positive entre le pH et la quantité de carbone stocké. Plus on approche du pH idéal, plus la productivité serait élevée. L'acidité élevée du sol associée à une toxicité de Al^{3+} sont parmi les paramètres qui diminuent la fertilité du sol (Bruijnzeel *et al.*, 2011). Ceci explique les corrélations négatives de l'acidité échangeable et du taux d'aluminium vis-à-vis au stock de carbone qui sont observées pour le cas de la présente étude.

Pendant que la relation positive entre le pH et le stock de carbone était attendue, ce n'était pas le cas pour la relation négative remarquée pour la matière organique, carbone organique et l'azote total face au stock de carbone. En effet, présentant des effets positifs en particulier sur l'activité biologique, la structure, la rétention en eau, le drainage et la réserve en éléments nutritifs, la matière organique améliore la fertilité du sol (CPVQ, 2000) et par conséquent sa productivité.

Des études approfondies sur l'influence des paramètres édaphiques sur le stock de carbone sont nécessaires pour mieux comprendre la variation de ce dernier au sein des différentes formations forestières.

IV.2.3 Espèces à fort potentiel dans l'accumulation de carbone et rôle du PNK dans l'atténuation du réchauffement climatique

Le niveau de stockage de carbone varie d'une espèce à l'autre (Djuikouo *et al.,* 2010; Ensslin *et al.,* 2015; Shirima *et al.,* 2015). Ceci a été aussi remarqué dans la présente étude. Des caractéristiques physiologiques propres à chaque espèce ainsi que les facteurs de son milieu sont à la base de cette variation. Les dix premières espèces ayant un stock élevé de carbone représentent à elles seules 70,2% du stock total. Il s'agit de *Syzygium guineense, Xymalos monospora, Macaranga kilimandscharica*, *Myrianthus holstii, Tabernaemontana stapfiana, Prunus africana*, *Entandrophragma excelsum*, Intobo, *Strombosia scheffleri* et *Symphonia globulifera*.

Les résultats montrent que le stock de carbone est lié à l'indice de valeur d'importance (IVI). En effet, les dix espèces ayant plus de carbone sont celles qui présentent un IVI élevé. L'exception est faite pour l'espèce « Intobo » du fait que sa densité relative est pratiquement faible. Ces espèces ne représentent pas uniquement l'intérêt pour le stockage de carbone, certaines d'entre elles sont utilisées pour divers fins par les communautés environnantes. C'est le cas de *Macaranga kilimandscharica* et *Polyscias fulva* espèces préférées pour le bois de chauffe et de construction, *Tabernaemontana stapfiana* utilisée en médecine traditionnelle et *Myrianthus holstii* préférée pour ces fruits (Ndayizeye *et al.,* 2020). Ceci montre la nécessité de les intégrer dans les programmes de domestication, reboisement et de restauration des zones dégradées à l'intérieur du PNK et ailleurs. Ainsi, ces programmes pourraient aider à améliorer la gestion de ce massif forestier tout en contribuant au bien-être des communautés environnantes. Mais aussi ces programmes réduiraient les émissions de gaz à effet de serre dont le dioxyde de carbone.

En effet, les forêts tropicales, dont le PNK, constituent d'énormes puits de carbone. La biomasse aérienne du PNK est estimée à 281,2 tonnes à l'hectare soit 141t/ha de carbone accumulé. Si on reporte cette valeur à la superficie totale du PNK (40000 ha), on aura 5640000 tonnes de carbone déjà accumulé par ce massif forestier soit 20698800 tonnes de CO_2 évité. Cette quantité de CO_2 qui ne participe pas à l'effet de serre est non négligeable. Toutefois, cette valeur peut être légèrement inférieure puisque à certains endroits du Parc, des ouvertures et des espaces presque nus suite aux diverses perturbations (tant naturelles qu'anthropiques) y sont observées. Mais cette quantité ne concerne que les arbres à dhp $\geq$ 10 cm. Cependant, une autre partie non négligeable de carbone se retrouve dans de jeunes plantules et formations herbeuses.

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Le présent travail avait pour objectif global d'évaluer la diversité floristique arborescente du Parc National de la Kibira et d'estimer la quantité de carbone séquestrée par ce massif forestier.

Un inventaire de 1190 individus, répartis en 58 espèces, 56 genres et 42 familles, a été effectué. Les résultats montrent que c'est la famille des Euphorbiacées qui est plus diversifiée tandis que *Xymalos monospora, Macaranga kilimandscharica, Myrianthus holstii, Syzygium guineense* et *Tabernaemontana stapfiana* sont les espèces dominantes dans le PNK. La distribution des espèces ne montre pas de regroupement suivant les secteurs. La composition floristique est similaire dans les trois secteurs du PNK, seule l'abondance varie. Cette similarité floristique est expliquée par le fait que les inventaires ont été effectués dans un même étage de végétation.

Cependant, selon les paramètres édaphiques, les résultats ont mis en évidence deux groupements de végétation. Le degré de fidélité indique que le premier groupement associé aux sols riches en cations échangeables (CEC) et en éléments nutritifs (Phosphore, Azote et Carbone organique), est constitué par les espèces caractéristiques d'une forêt primaire. Il s'agit de *Carapa grandiflora*, *Syzygium guineense*, *Tricalisia spp, Diospyros polystemone* et *Lepidotrichilia volkensii*. Par contre, le second groupement ne montre pas d'espèces caractéristiques.

La distribution des individus suivant les classes de diamètre a indiqué un bon état de régénération des individus du PNK. Il est évident que le potentiel de régénération n'est pas le même pour toutes les espèces. Ainsi, des études sur la régénération des espèces du PNK dans leur milieu naturel s'avèrent nécessaires pour une meilleure compréhension de la dynamique de ce massif forestier d'une part et pour orienter les activités d'une gestion durable de ce dernier, d'autre part.

Un modèle du type polynomial a été choisi pour l'estimation de la hauteur des arbres du PNK. Ceci, a permis d'estimer la biomasse du PNK à base de trois paramètres de l'arbre dont le diamètre, la hauteur et la densité du bois (WMD). Le stock de carbone ne varie pas significativement au sein des trois secteurs du PNK. Il est estimé à 140,6 ± 49,8 tC/ha. Une étude sur la variation de stocks de carbone le long du gradient altitudinale est à envisager afin d'avoir l'information complète sur la variation des stocks de carbone du PNK. Ceci, intégrerait l'ensemble des réservoirs de carbone forestier : biomasse aérienne et souterraine, humus, litière, bois mort et sol minéral.

Les dix premières espèces ayant un stock élevé de carbone représentent à elles seules 70,2 % de du stock total. Il s'agit de *Syzygium guineense, Xymalos monospora, Macaranga kilimandscharica, Myrianthus holstii, Tabernaemontana stapfiana, Prunus africana, Entandrophragma excelsum,* Intobo, *Strombosia scheffleri* et *Symphonia globulifera*.

Au début de ce travail, trois hypothèses avaient été formulées. Les résultats ont permis d'infirmer les deux premières hypothèses qui stipulent que la structure de la végétation, la composition floristique et le stock de carbone varient suivant les secteurs. Toutefois, on note un regroupement de la végétation suivant les caractéristiques du sol. Ce regroupement se fait indépendamment des secteurs. La troisième hypothèse stipulant que les espèces n'ont pas le même potentiel de stockage de carbone a été affirmée sans réserve.

Références

Brown, S. et A. E. Lugo. 1992. Aboveground biomass estimates for tropical moist forests of the Brasilian Amazon. *Interciercia* 17(1):8–18.

Bruijnzeel, L. A., F. N. Scatena, et L. S. Hamilton. 2011. Tropical montane cloud forests. *Science for Conservation and Management*. Cambridge. 137p

Bussmann, R. W. 2006. Vegetation zonation and nomenclature of african mountains - An overview. *Lyonia* 11:41–66.

Charan, G., V. K. Bharti, S. E. Jadhav, S. Kumar, S. Acharya, P. Kumar, D. Gogoi, et R. B. Srivastava. 2013. Altitudinal variations in soil physico-chemical properties at cold desert high altitude. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition* 13(2):267–277.

Chave, J., C. Andalo, S. Brown, M. A. Cairns, J. Q. Chambers, D. Eamus, H. Folster, F. Fromard, N. Higuchi, T. Kira, J. P. Lescure, B. W. Nelson, H. Ogawa, H. Puig, B. Riéra, T. Yamakura, et Tree. 2005. Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. *Ecosystem Ecology* 145(2005):87–99.

Chave, J., M. Réjou-Méchain, A. Búrquez, E. Chidumayo, M. S. Colgan, W. B. C. Delitti, A. Duque, T. Eid, P. M. Fearnside, R. C. Goodman, M. Henry, A. Martínez-Yrízar, W. A. Mugasha, H. C. Muller-Landau, M. Mencuccini, B. W. Nelson, A. Ngomanda, E. M. Nogueira, E. Ortiz-Malavassi, R. Pélissier, P. Ploton, C. M. Ryan, J. G. Saldarriaga, and Gh. Vieilledent. 2014. Improved allometric models to estimate the aboveground biomass of tropical trees. *Global Change Biology* 20:3177–3190.

Clark, D. A., S. C. Piper, C. D. Keeling, and D. B. Clark. 2003. Tropical rain forest tree growth and atmospheric carbon dynamics linked to interannual temperature variation during 1984 – 2000. *Ecology* 100(10):5852–5857.

COMIFAC. 2013. *Les forêts du bassin du congo – État des forêts. Belgique*. 328p

CPVQ. 2000. Guide des pratiques de conservation en grandes cultures : gestion de la matière organique (Module 3).

Cuni-Sanchez, A., M. Pfeifer, R. Marchant, K. Calders, C. L. Sørensen, P. V. Pompeu, S. L. Lewis, et N. D. Burgess. 2017. New insights on above ground biomass and forest attributes in tropical montane forests. *Forest Ecology and Management* 399:235–246.

Djomo, A. N., N. Picard, A. Fayolle, M. Henry, A. Ngomanda, P. Ploton, J. McLellan, J. Saborowski, I. Adamou, et P.Lejeune. 2016. Tree allometry for estimation of carbon stocks in african tropical forests. *Forestry* 89(4):1–10.

Djuikouo, N. M. K., J. L. Doucet, C. K. Nguembou, S. L. Lewis, and B. Sonké. 2010. Diversity et aboveground biomass in three tropical forest types in the Dja biosphere reserve , Cameroon. *African Journal of Ecology* 48:1053–1063.

Doucet, J. L. et Y. L. Kouadio. 2007. Le Moabi, une espèce phare de l'exploitation forestière en Afrique Centrale. *Parcs et Réserves* 62(2):25–31.

Dufresne, J. L. 2009. *L ' Effet de Serre : Sa Découverte , Son Analyse Par La Méthode Des Puissances Nettes Échangées et Les Effets de Ses Variations Récentes et Futures Sur Le Climat Terrestre.* 103p

Ensslin, A., G. Rutten, U. Pommer, R. Zimmermann, A. Hemp, et M. Fischer. 2015. Effects of elevation and land use on the biomass of trees , shrubs and herbs at mount Kilimandjaro. *Ecosphère* 6(3):15.

FAO. 2010. *Global Forest Resources Assessment*. Rome. 340p

Fayolle, A., B. Engelbrecht, V. Freycon, F. Mortier, M. Swaine, M. Réjou-Méchain, J. L. Doucet, N. Fauvet, G. Cornu, et S. Gourlet-Fleury. 2012. Geological substrates shape tree species and trait distributions in african moist forests. *Plos One* 7(8):10.

Fayolle, A., J. G. L. Panzou, T. Drouet, M. D. Swaine, S. Bauwens, J. Vleminckx, A. Biwole, P. Lejeune, et J. L. Doucet. 2016. Taller trees , denser stands and greater biomass in semi-deciduous than in evergreen lowland Central African forest'. *Forest Ecology and Management* 374(2016):42–50.

Feeley, K. J., Joseph W.S., M. N. Nur Supardi, A. R. Kassim, et S. J. Davies. 2007. Decelerating Growth in tropical forest trees. *Ecology Letters* 10:461–469.

Feldpausch, T.R., J. Lloyd, S. L. Lewis, R. J. W. Brienen, M. Gloor, A. M. Mendoza, G. Lopez-Gonzalez, L. Banin, K. A. Salim, K. Affum-Baffoe, M. Alexiades, S. Almeida, I. Amaral, A. Andrade, L. E. O. C. Aragõo, A. A. Murakami, E. J. M. M. Arets, L. Arroyo, G. A. C. Aymard, T. R. Baker, O. S. Bánki, N. J. Berry, N. Cardozo, J. Chave, J. A. Comiskey, E. Alvarez, A. de Oliveira, A. D. Fiore, G. Djagbletey, T. F. Domingues, T. L. Erwin, P. M. Fearnside, M. B. França, M. A. Freitas, N. Higuchi, C. E. Honorio, Y. Iida, E. Jiménez, A. R. Kassim, T. J. Killeen, W. F. Laurance, J. C. Lovett, Y. Malhi, B. S. Marimon, B. H. Marimon-Junior, E. Lenza, A. R. Marshall, C. Mendoza, D. J. Metcalfe, E. T. A. Mitchard, D. A. Neill, B. W. Nelson, R. Nilus, E. M. Nogueira, A. Parada, K. S. H. Peh, A. P. Cruz, M. C. Penuela, N. C. A. Pitman, A. Prieto, C. A. Quesada, F. Ramırez, H. Ramırez-Angulo, J. M. Reitsma, A. Rudas, G. Saiz, R. P. Salomao, M. Schwarz, N. Silva, J. E. Silva-Espejo, M. Silveira, B. Sonké, J. Stropp, H. E. Taedoumg, S. Tan, H. ter Steege, J. Terborgh, M. Torello-Raventos, G. M. F. van der Heijden, R. Vasquez, E. Vilanova, V. A. Vos, L. White, S. Willcock, H. Woell, et O. L. Phillips. 2012. Tree height integrated into pantropical forest biomass estimates. *Biogeosciences* 9:3381–3403.

Feldpausch, T. R., J. Lloyd, S. L. Lewis1, R. J. W. Brienen, E. Gloor, A. Monteagudo Mendoza, G. Lopez-Gonzalez, L.Banin, K. Abu Salim, K. Affum-Baffoe, M. Alexiades, S. Almeida, I. Amaral, A. Andrade, L. E. O. C. Aragao, A. Araujo Murakami, E. J. M. M. Arets, L. Arroyo, G. A. C. Aymard, T. R. Baker, O. S. B´anki, N. J. Berry, N. Cardozo, J. Chave, J. A. Comiskey, E. A. D´avila, A. de Oliveira, A. DiFiore, G. Djagbletey, T. F. Domingues, T. L. Erwin, P. M. Fearnside, M. B. França, M. A. Freitas, N. Higuchi, E. C. Honorio, Y. Iida, E. Jiménez, A. R. Kassim, T. J. Killeen2, W. F. Laurance, J. C. Lovett, Y. Malhi, B. S. Marimon, B. H. Marimon-Junior, E. Lenza, A. R. Marshall, C. Mendoza, D. J. Metcalfe, E. T. A. Mitchard, B. W. Nelson, R. Nilus, E. M. Nogueira, A. Parada, K. S. H. Peh, A. Pena Cruz, M. C. Pe ˜nuela, N. C. A. Pitman, A. Prieto, C. A. Quesada, F. Ram´ırez, H. Ram´ırez-Angulo, J. M. Reitsma, A. Rudas, G. Saiz, R. P. Salom˜ao, M. Schwarz, N. Silva, J. E. Silva-Espejo, M. Silveira, B. Sonké, J. Stropp, H. E. Taedoumg, S. Tan, H. ter Steege, J. Terborgh, M. Torello-Raventos, G. M. F. van der Heijden, et R. Vasquez. 2012. Tree Height integrated into pan-tropical forest biomass estimates. *Biogeosciences Discuss* 9:2567–2622.

GIEC. 2014. *Changements climatiques 2014: Rapport de synthèse*. 163p

Habonayo, R., A. F. Azihou, G. H. Dassou, F. Havyarimana, A. C. Adomou, et B. Habonimana. 2019. Influence de la liane envahissante *Sericostachys scandens* Gilg & Lopr . (Amaranthaceae) sur la diversité des espèces végétales ligneuses du Parc National de la Kibira au Burundi. *International Journal of Environmental Studies* 1–15.

Hakizimana, D., M.C. Huynen, et A. Hambuckers. 2016. Structure and floristic composition of Kibira rainforest , Burundi. *Tropical Ecology* 57(4):739–749.

Havyarimana, F., J. Bogaert, J. Ndayishimiye, S. S. Y. Barima, M. J. Bigendako, J. Lejoly, et C. De Cannière. 2013. Impact de la structure spatiale de *Strombosia scheffleri* Engl. et *Xymalos monospora* (Harv.) Baill. sur la régénération naturelle et la coexistence des espèces arborescentes dans la réserve naturelle forestière de Bururi, Burundi. *Bois Et Forêts Des Tropiques* 316(2):49–61.

Houghton, R. A. 2005. Aboveground forest biomass and the global carbon balance. *Global Change Biology* 11(6):945–958.

Imani, G., F. Boyemba, S. Lewis, N. L. Nabahungu, K. Calders, L. Zapfack, B. Riera, C. Balegamire, et A. Cuni-Sanchez. 2017. Height-diameter allometry and above ground biomass in tropical montane forests : Insights from the Albertine Rift in Africa. *Plos One* 12(6):1–20.

Imani, G., L. Zapfack, P. Baraka, et I. A. Mungu. 2016. Étude préliminaire de la flore et de la biomasse ligneuse des clairières en haute altitude du Parc National de Kahuzi-Biega, République Démocratique Du Congo. *VertigO - La Revue Électronique En Sciences de l'environnement* 16.

Imani, G., L. Zapfack, B. Riera, I. J. C. Mwanga-Mwanga, F. Bulonvu, et F. Boyemba. 2016. Variabilité structurale des peuplements d ' arbres en forêt de montagne du Parc National de Kahuzi-Biega et ses environs, RD. Congo. *European Scientific Journal* 12(23):88–111.

Kayiranga, A., A. Kurban, F. Ndayisaba, L. Nahayo, F. Karamage, A. Ablekim, H. Li, et O. Ilniyaz. 2016. Monitoring forest cover change and fragmentation using remote sensing and landscape metrics in Nyungwe-Kibira Park. *Journal of Geoscience and Environment Protection* 4:13–33.

Kearsley, E., T. de Haulleville, K. Hufkens, A. Kidimbu, B. Toirambe, G. Baert, D. Huygens, Y. Kebede, P. Defourny, J. Bogaert, H. Beeckman, K. Steppe, P. Boeckx, et H. Verbeeck. 2013. Conventional tree height–diameter relationships significantly overestimate aboveground carbon stocks in the Central Congo Basin. *Nature Communications* 8.

Larjavaara, M. et H. C. Muller-landau. 2013. Measuring tree height : A quantitative comparison of two common field methods in a moist tropical forest. 793–801.

Läuchli, A. et S. R. Grattan. 2012. Soil PH extremes. *Plant Stress Physiology* 194–209.

Lescuyer, G. et B. Locatelli. 1999. Rôle et valeur des forêts tropicales dans le changement climatique. *Bois & Forêts Des Tropiques* 260(2):5–18.

Lewalle J. 1972. Les Étages de végétation du burundi occidental. *Bulletin Du Jardin Botanique National de Belgique* 42:1–142.

Lewis, S. L., S. K. Begne, G. Lopez-Gonzalez, O. L. Phillips, T. R. Baker, S. Fauset, T. R. Feldpausch, J. Lloyd, J. C. Lovett, K. S. H. Peh, G. Pickavance, J. Talbot, S. Willcock, B. Sonké, M. N. K. Djuikouo, M. Simo, H. E. Taedoumg, L. Zemagho, T. Sunderland, D. Sheil, G. M. F. van der Heijden, K. Affum-Baffoe, L. Banin, J. F. Bastin, C. De Cannière, J. Bogaert, T. de Haulleville, H. Beeckman, E. Kearsley, B. Toirambe, P. Boeckx, K. Hufkens, D. Huygens, E. Chezeaux, C. J. Clark, J. R. Poulsen, M. Collins, G. Djagbletey, E. G. Foli, V. Droissart, J. L. Doucet, J. F. Gillet, C. E. N. Ewango, J. R. Makana, A. C. Hamilton, D. J. Harris, T. B. Hart, A. Hladik, P. Jeanmart, K. J. Jeffery, L. J. T. White, K. Steppe, H. Verbeeck, M. E. Leal, Y. Malhi, A. R. Marshall, L. Ojo, J. M. Reitsma, J. R. D. Taplin, D. Taylor, S. C. Thomas, J. Vleminckx, et H. Woell. 2013. Above-ground biomass and structure of 260 african tropical forests. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 368:414.

Marniesse, S. et E. Filipiak. 2003. *Lutte contre l'effet de serre enjeux & débats*. France.128p

Masumbuko, N. C., M. F. Habiyaremye, et J. Lejoly. 2012. Woody climbing plants influence the structure of the mountain forest in the Kahuzi-Biega National Park, DR Congo. *Regional Environmental Change* 12(4):951–959.

Motsara, M. R. et R. N. Roy. 2008. *Guide to laboratory establishment for plant nutrient analysis*. 219p

Mugasha, W. A., O. M. Bollandsås, et T. Eid. 2013. Relationships between Diameter and height of trees in natural tropical forest in Tanzania. *Southern Forests* 75(4):221–237.

Mugasha, W. A., E. E. Mwakalukwa, E. Luoga, R. E. Malimbwi, E. Zahabu, D. S. Silayo, G. Sola, P. Crete, M. Henry, et A. Kashindye. 2015. Allometric models for estimating tree volume and aboveground biomass in lowland forests of Tanzania. *International Journal of Forestry Research* 2016:13.

Ndayizeye, G., G. Imani, J. Nkengurutse, R. Irampagarikiye, N. Ndihokubwayo, F. Niyongabo, et A. Cuni-Sanchez. 2020. Ecosystem services from mountain forests : local communities ' views in Kibira National Park, Burundi. *Ecosystem Services* 45(2020):9.

Nyirambangutse, B., E. Zibera, F. K. Uwizeye, D. Nsabimana, E. Bizuru, H. Pleijel, J. Uddling, et G. Wallin. 2016. Carbon stocks and dynamics at different successional stages in an afromontane tropical forest. *Biogeosciences* 14(5):39.

Nzigidahera, B. 2006. *Assessment of socio-cultural , economic characteristics and livelihood of riparian population of the Kibira National Park*. BUJUMBURA.81p

Nzigidahera, B. 2007. *Ressources biologiques sauvages au Burundi. Etat des connaissances traditionnelles*. Bujumbura, Burundi. 115p

Nzigidahera, B. 2012. Vulnérabilité des forêts ombrophiles de montagne aux changements climatiques au Burundi : Renforcement de leur pouvoir d'adaptation'. *Bull. Sci. Inst. Natl. Environ. Conserv. Nat.* 10:35–45.

OBPE. 2014. *Plan d'aménagement et de gestion du Parc National de la Kibira*. Bujumbura. 124p

Oulaïtar, M. E., G. B. Z. Bertin, et E. N. Kouakou. 2016. Evaluation de la diversité et estimation de la biomasse aérienne des arbres du jardin botanique de Bingerville (district d'Abidjan , Côte d'Ivoire). *European Scientific Journal* 12(6):168–184.

Pan, Y., R. A. Birdsey, J. Fang, R. Houghton, P. E. Kauppi, W. A. Kurz, O. L. Phillips, A. Shvidenko, S. L. Lewis, J. G. Canadell, P. Ciais, R. B. Jackson, S. W. Pacala, A. D. McGuire, S. Piao, A. Rautiainen, S. Sitch, et D. Hayes. 2011. A large and persistent carbon sink in the world's forests. *Science* 333:988–993.

Pascal, J. P. 2003. Notions sur les structure et dynamique des forêts tropicales humides. *Revue Forestière Française LV* 118–130.

Plumptre, A. J., M. Masozera, P. J. Fashing, A. McNeilage, C. Ewango, B. A. Kaplin, et I. Liengola. 2002. *Biodiversity surveys of the Nyungwe Forest Reserve in S.W. Rwanda*. 96p

Priess, J. A., M. Mimler, A. M. Klein, S. Schwarze, T. Tscharntke, et I. Steffan-Dewenter. 2007. Linking deforestation scenarios to pollination services and economic returns in coffee agroforestry systems. *Ecological Applications* 17(2):407–417.

Ricketts, T. H. 2004. Tropical forest fragments enhance pollinator activity in nearby coffee crops. *Conservation Biology* 18(5):1262–1271.

Shirima, D. D., P. K. T. Munishi, S. L. Lewis, N. D. Burgess, A. R. Marshall, A. Balmford, R. D. Swetnam, and E. M. Zahabu. 2011. Carbon storage , structure and composition of miombo woodlands in Tanzania's Eastern Arc mountains. *African Journal of Ecology* 49:332–342.

Shirima, D. D., Ø. Totland, P. K. T. Munishi, et S. R. Moe. 2015. Relationships between tree species richness, evenness and aboveground carbon storage in montane forests and miombo woodlands of Tanzania. *Basic and Applied Ecology* 16:239–249.

Slik, J. W. F., G. Paoli, K. Mcguire, I. Amaral, J. Barroso, M. Bastian, L. Blanc, F. Bongers, P. Boundja, C. Clark, M. Collins, G. Dauby, Y. Ding, J. L. Doucet, E. Eler, L. Ferreira, O. Forshed, G. Fredriksson, J. F. Gillet, D. Harris, M. Leal, Y. Laumonier, Y. Malhi, A. Mansor, E. Martin, K. Miyamoto, A. Araujo-Murakami, H. Nagamasu, R. Nilus, E. Nurtjahya, Á. Oliveira, O. Onrizal, A. Parada-Gutierrez, A. Permana, L. Poorter, J. Poulsen, H. Ramirez-Angulo, J. Reitsma, F. Rovero, A. Rozak, D. Sheil, J. Silva-Espejo, M. Silveira, W. Spironelo, H. ter Steege, T. Stevart, G. E. Navarro-Aguilar, T. Sunderland, E. Suzuki, J. Tang, I. Theilade, G. van der Heijden, J. van Valkenburg, T. Van Do, E. Vilanova, V. Vos, S. Wich, H. Wöll, T. Yoneda, R. Zang, M. G. Zhang, et N. Zweifel. 2013. Large trees drive forest aboveground biomass variation in moist lowland forests across the tropics. *Global Ecology and Biogeography* 22(12):1261–1271.

Spracklen, D. V. et R. Righelato. 2014. Tropical montane forests are a larger than expected global carbon store. *Biogeosciences* 11:2741–2754.

Stephens, B. B., K. R. Gurney, P. P. Tans, C. Sweeney, W. Peters, S. Aoki, T. Machida, G. Inoue, N. Vinnichenko, et J. Lloyd. 2007. Weak Northern and strong tropical land carbon uptake from vertical profiles of atmospheric CO_2. *Science* 316:1732–1734.

Swamy, P. S., S. M. Sundarapandian, P. Chandrasekar, et S. Chandrasekaran. 2000. Plant species diversity and tree population structure of a humid tropical forest in Tamil Nadu , India. *Biodiversity and Conservation* 9:1643–1669.

Tng, D. Y. P., D. M. G. Apgaua, M. J. Campbell, C. J. Cox, D. M. Crayn, F. Y. Ishida, M. J. Laidlaw, M. J. Liddell, M. Seager, et S. G. W. Laurance. 2016. Vegetation and floristics of a lowland tropical rainforest in Northeast Australia. *Biodiversity Data Journal* 4:e7599.

UICN/PACO. 2011. *Parcs et réserves du Burundi : Evaluation de l'efficacité de gestion des aires protégées*. 107p

Walker, W., A. Baccini, M. Nepstad, N. Horning, D. Knight, E. Braun, et A. Bausch. 2011. *Guide de terrrain pour l'estimation de la biomasse et le carbone forestier*. Version 1. Woods Hole Research Center, Falmouth, Massachusetts, USA. 56p

Zanne, A. E., Lopez-Gonzalez, G. Coomes, Ilic D.A., Jansen J., S. L. Lewis, R. B. Miller, N. G. Swenson, M. C. Wiemann, and J. Chave. 2009. *Global wood density database*.

Annexes

Annexe 1 : Composition floristique du PNK

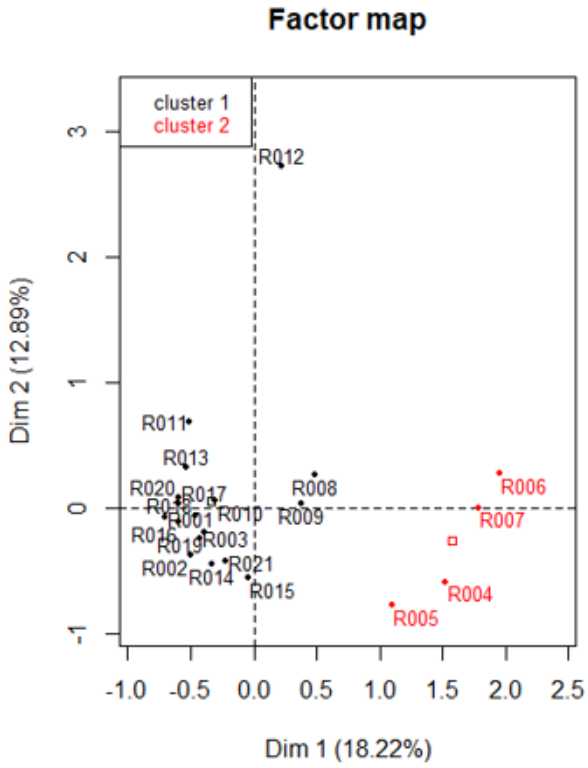
Familles	Espèces	Non vernaculaire	N° d'herbier
Agavaceae	*Dracaena afromontana* Mildbr.	Inganigani	IR&NK019 IR&NK031
Apocynaceae	*Tabernaemontana stapfiana* Britten	Umudwedwe	IR&NK020
Aquifoliaceae	*Ilex mitis (L.)Radlk.*	Umugambagamba	-
Araliaceae	*Polyscias fulva* (Hiern) Harms	Umwungo	-
Celastraceae	*Maytenus acuminata* (L.f.) Loes.	Umunembo	IR&NK008
Chrysobalanaceae	*Magnistipulata butayei*	Umushwankima	IR&NK036
Chrysobalanaceae	*Parinari excelsa* Sabine	Umunazi	IR&NK011
Clusiaceae	*Symphonia globulifera* L f.	Umushishi	IR&NK039 IR&NK010
Cornaceae	*Alangium chinense* (Lour.) Harms	Umugofo	-
Ebenaceae	*Diospyros polystemon* Gürke	-	IR&NK007
Euphorbiaceae	*Alchornea hirtella Benth.*	Umuvobo	IR&NK026
Euphorbiaceae	*Bridelia brideliifolia* (Pax) Fedde	Umugimbu	IR&NK021
Euphorbiaceae	*Croton macrostachyus* Hochst. ex Delile	umukore	IR&NK040
Euphorbiaceae	*Shirakiopsis elliptica* (Hochst.) Esser	Umusasa	IR&NK023
Euphorbiaceae	*Macaranga kilimandscharica* Pax	Umutwenzi	IR&NK038
Euphorbiaceae	*Neoboutonia macrocalyx* Pax	Igihondogori	-
F1 indét	*Inconnu 1 P4*	Inconnu 1 P5	-
F2 indét	*Inconnu 2 P5*	Inconnu 2 P6	-
F3 indét	*Inconnu 3 P8*	Inconnu 3 P9	-
F4 indét	*Intobo*	Intobo	-
F5 indét	*Umunywana*	Umunywana	-
F6 indét	*Inconnu 4 P14*	Inconnu 4 P15	-
F7 indét	*Umushehe*	Umushehe	IR&NK022
F8 indét	*Umutundati*	Umutundati	IR&NK033
F9 indét	*Inconnu 5 P19*	Inconnu 5 P20	-
F10 indét	*Inconnu 6 P20*	Inconnu 6 P21	-
Hypericaceae	*Harungana madagascariensis* Lam. ex Poir.	Umushayishayi	IR&NK032
Icacinaceae	*Apodytes dimidiata* E.Mey. ex Arn.	Umusivya	IR&NK035
Loganiaceae	*Nuxia floribunda*	Umunyarugongo	-
Malvaceae	*Indét. P8*	Indét. P9	-
Meliaceae	*Entandrophragma excelsum* (Dawe & Sprague) Sprague	Umuyove	IR&NK029
Meliaceae	*Lepidotrichilia volkensii*(Gürke) J.F.Leroy	Umunywamazi	-
Meliaceae	*Carapa grandiflora* Sprague	Umushwati	IR&NK002
Melianthaceae	*Bersama abyssinica* Fresen.	Umurerabana	IR&NK016
Mimosaceae	*Albizia gummifera* (J.F.Gmel.) C.A.Sm.	Umusebeyi	IR&NK013
Mimosaceae	*Newtonia buchananii* (Baker f.) G.C.C. Gilbert & Boutique	Umukerekwa	IR&NK025
Monimiaceae	*Xymalos monospora (Harv.)* Baill. ex Warb.	Umuhotora	IR&NK001 IR&NK014
Moraceae	*Ficus spp 1*	Imvumu	-
Moraceae	*Ficus spp 2*	Imvumu	-

Myrsinaceae	*Maesa lanceolata* Forssk.	Umuhangahanga	IR&NK003
Myrsinaceae	*Rapanea melanophloeos* (L.) Mez	Intiritiri	-

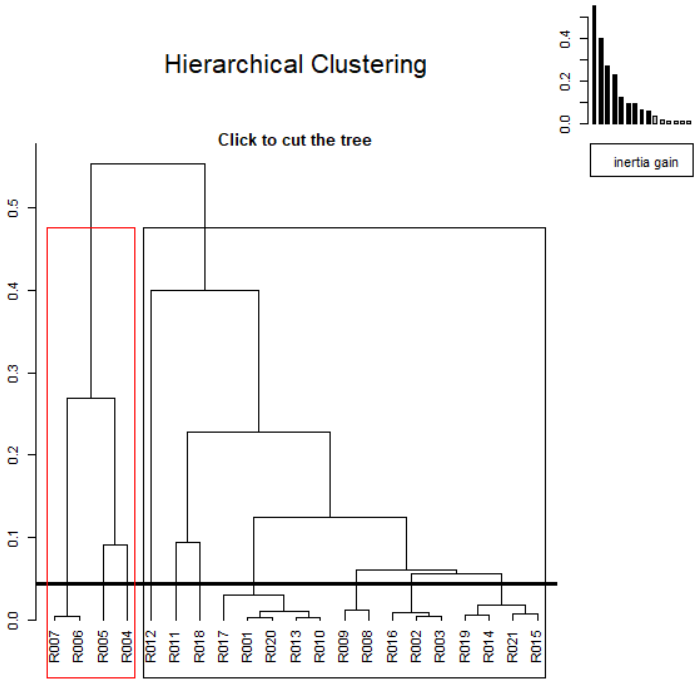
Annexe 1 : Suite

Familles	**Espèces**	**Non vernaculaire**	**N° d'herbier**
Myrtaceae	*Syzygium guineense* (Willd.) DC.	Umugoti	IR&NK005
Olacaceae	*Strombosia scheffleri* Engler.	Umushiga	IR&NK034
Rhizophoraceae	*Cassipourea ruwenzoriensis (Engl) Alston*	Umutobo, Ingongo	-
Rosaceae	*Prunus africana* (Hook.f.) Kalkman	Umuremera	IR&NK017 IR&NK030
Rubiaceae	*Galiniera saxifraga* (Hochst.) Bridson	Umuryohera	IR&NK037
Rubiaceae	*Chassalia subochreata* (De Wild.) Robyns	Umukotambugita	IR&NK009
Rubiaceae	*Fleroya rubrostipulata* (K.Schum.) Y.F.Deng	Umugomera	-
Rubiaceae	*Oxyanthus troupinii* Brison	Umusugisugi	IR&NK018 IR&NK024
Rubiaceae	*Tricalisia sp.*	Inkondokondo	-
Rutaceae	Clausena anisata (Willd.) Hook.f. ex Benth.	Umutana	IR&NK027
Sapindaceae	*Allophillus sp.*	Umuzo	IR&NK028
Sapotaceae	*Chrysophyllum gorungosanum* Engl	Umuho	IR&NK012
Sapotaceae	*Chrysophyllum sp.*	Umuho	IR&NK006
Sterculiaceae	*Sterculia quinqueloba*	Imbonerakure	-
Theaceae	*Ficalhoa laurifolia* Hiern.	Umuhumba	IR&NK004
Urticaceae	*Myrianthus holstii* Engl	Umwufe	IR&NK015
Verbenaceae	*Vitex sp.*	Indét	-

Annexe 2 : Distinction de deux blocks au niveau de la composition floristique



Annexe 3 : Analyse de similarité entre la composition floristique de différentes parcelles



Annexe 4 : Variation de la richesse spécifique, abondance (NI) et des indices (Shannon, Fisher_Alpha et Equitabilité_J) au sein des différentes parcelles.

Plot	Espèces	NI	Shannon_H	Fisher_Alpha	Equitabilité_J

R001	6	64	1,206	1,621	0,673
R002	10	52	1,861	3,681	0,8082
R003	10	64	1,848	3,324	0,8026
R004	9	39	1,874	3,668	0,8531
R005	15	61	2,2	6,353	0,8126
R006	9	51	1,734	3,171	0,7894
R007	11	58	1,591	4,02	0,6637
R008	18	47	2,493	10,67	0,8624
R009	7	30	1,56	2,871	0,8019
R010	15	45	2,43	7,879	0,8972
R011	8	56	1,537	2,554	0,7391
R012	11	52	1,978	4,264	0,8247
R013	10	33	1,789	4,88	0,7771
R014	13	55	2,068	5,374	0,8063
R015	8	47	1,58	2,769	0,7596
R016	8	62	1,515	2,445	0,7285
R017	11	85	1,975	3,366	0,8234
R018	18	67	2,47	8,071	0,8546
R019	21	80	2,34	9,273	0,7684
R020	12	40	2,192	5,812	0,882
R021	15	102	2,197	4,851	0,8113

Annexe 5 : Structure de la végétation et distribution du Carbone suivant les espèces

Espèces	**NI**	**ST**	**Dr**	**Dor**	**IVI**	**Carbone(t)**
Xymalos monospora (Harv.) Baill. ex Warb.	178	5,3	15,0	7,0	21,9	264,1
Macaranga kilimandscharica Pax	143	7,1	12,0	9,4	21,4	260,8
Myrianthus holstii Engl	161	5,7	13,5	7,5	21,1	221,6
Syzygium guineense (Willd.) DC.	88	7,4	7,4	9,9	17,3	356,0
Tabernaemontana stapfiana Britten	89	4,9	7,5	6,5	13,9	202,8
Polyscias fulva (Hiern) Harms	33	6,6	2,8	8,7	11,5	108,7
Strombosia scheffleri Engler.	66	2,9	5,5	3,8	9,4	146,8
Carapa grandiflora Sprague	68	2,5	5,7	3,4	9,1	116,6
Symphonia globulifera L f.	54	3,2	4,5	4,3	8,8	129,7
Entandrophragma excelsum (Dawe & Sprague) Sprague	17	5,0	1,4	6,7	8,1	159,9
Prunus africana (Hook.f.) Kalkman	19	4,5	1,6	6,1	7,6	182,5
Intobo	4	4,6	0,3	6,1	6,4	148,8
Bersama abyssinica Fresen.	18	2,3	1,5	3,1	4,6	103,8
Albizia gummifera (J.F.Gmel.) C.A.Sm.	9	2,3	0,8	3,0	3,8	75,5
Dracaena afromontana Mildbr.	34	0,7	2,9	0,9	3,8	37,4
Neoboutonia macrocalyx Pax	23	1,0	1,9	1,3	3,2	27,3
Maytenus acuminata (L.f.) Loes.	14	0,9	1,2	1,2	2,4	43,5
Magnistipulata butayei	11	1,0	0,9	1,3	2,2	41,8
Alangium chinense (Lour.) Harms	16	0,5	1,3	0,7	2,0	16,1
Chrysophyllum gorungosanum Engl	10	0,9	0,8	1,1	2,0	35,1
Tricalisia sp.	19	0,2	1,6	0,3	1,9	13,2

Cassipourea ruwenzoriensis (Engl) Alston	9	0,7	0,8	0,9	1,7	37,2
Allophillus sp.	9	0,7	0,8	0,9	1,7	26,6
Bridelia brideliifolia (Pax) Fedde	11	0,4	0,9	0,5	1,4	16,8
Umushehe	9	0,3	0,8	0,4	1,1	14,7
Shirakiopsis elliptica (Hochst.) Esser	7	0,4	0,6	0,5	1,1	17,3
Maesa lanceolata Forssk.	9	0,2	0,8	0,3	1,1	15,0
Mitragyna rubrostipulata	5	0,4	0,4	0,6	1,0	17,5
Ilex mitis (L.)Radlk.	4	0,4	0,3	0,5	0,8	13,6
Ficus spp 2	5	0,2	0,4	0,3	0,7	7,1
Galiniera saxifraga (Hochst.) Bridson	5	0,1	0,4	0,2	0,6	6,2
Croton macrostachyus Hochst. ex Delile	2	0,3	0,2	0,4	0,5	9,8
Newtonia buchananii (Baker f.) G.C.C. Gilbert & Boutique	2	0,3	0,2	0,4	0,5	9,3
Rapanea melanophloeos (L.) Mez	4	0,1	0,3	0,1	0,5	5,8
Diospyros polystemon Gürke	4	0,1	0,3	0,1	0,4	4,9
Ficalhoa laurifolia Hiern.	3	0,1	0,3	0,2	0,4	7,0
Vitex sp.	1	0,2	0,1	0,3	0,4	6,5
*Lepidotrichilia volkensii (*Gürke)J.F.Leroy	2	0,1	0,2	0,1	0,3	4,1
Inconnu 4 P14	1	0,1	0,1	0,2	0,3	5,5
Sterculia quinqueloba	1	0,1	0,1	0,2	0,2	6,1
Ficus spp 1	2	0,1	0,2	0,1	0,2	2,0
Parinari excelsa Sabine	2	0,0	0,2	0,1	0,2	2,9

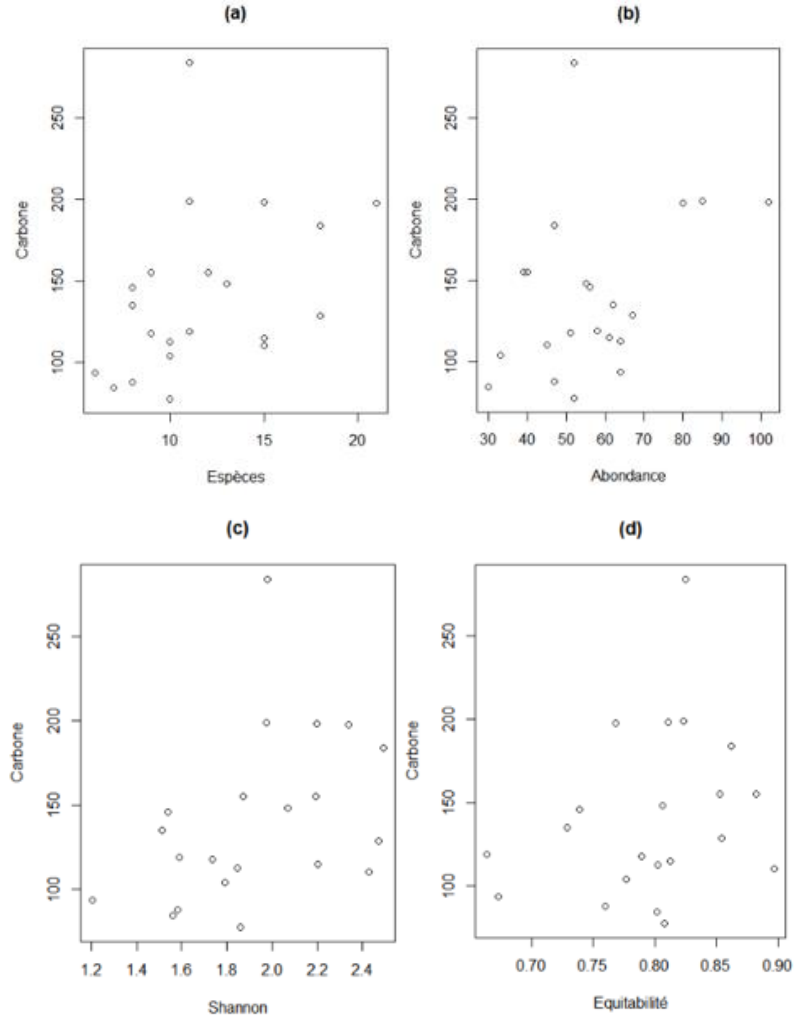
Annexe 5 : Suite

Espèces	**NI**	**ST**	**Dr**	**Dor**	**IVI**	**Carbone(t)**
Apodytes dimidiata E.Mey. ex Arn.	2	0,0	0,2	0,1	0,2	2,5
Harungana madagascariensis Lam. ex Poir.	1	0,1	0,1	0,1	0,2	3,2
Indét. P8	1	0,1	0,1	0,1	0,2	3,8
Alchornea hirtella Benth.	2	0,0	0,2	0,0	0,2	1,2
Chassalia subochreata (De Wild.) Robyns	2	0,0	0,2	0,0	0,2	1,1
Nuxia floribunda	1	0,1	0,1	0,1	0,2	3,7
Chrysophyllum sp.	1	0,1	0,1	0,1	0,2	2,4
Clausena anisata (Willd.) Hook.f. ex Benth.	1	0,0	0,1	0,0	0,1	1,3
Inconnu 3 P8	1	0,0	0,1	0,0	0,1	1,2
Inconnu 5 P19	1	0,0	0,1	0,0	0,1	1,0
Inconnu 2 P5	1	0,0	0,1	0,0	0,1	1,0
Inconnu 1 P4	1	0,0	0,1	0,0	0,1	0,8
Umunywana	1	0,0	0,1	0,0	0,1	0,8
Oxyanthus troupinii Brison	1	0,0	0,1	0,0	0,1	0,6
Umutundati	1	0,0	0,1	0,0	0,1	0,5
Inconnu 6 P20	1	0,0	0,1	0,0	0,1	0,5

Annexe 6 : Matrice de corrélation entre différents paramètres

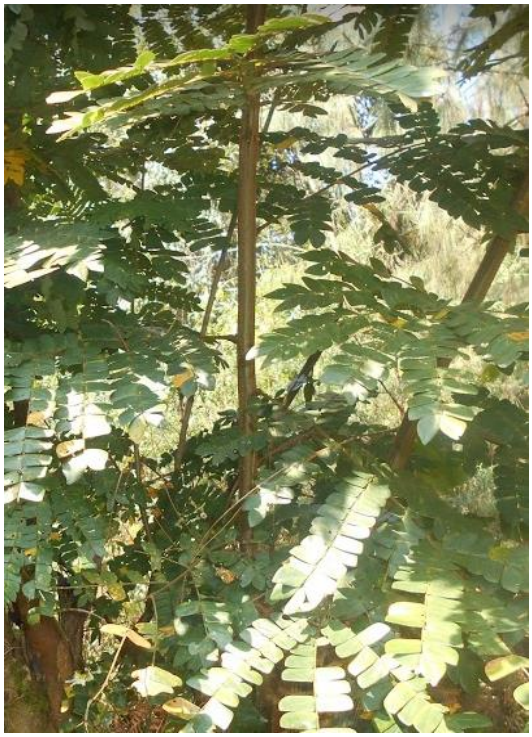
	CEC	pH	C	MO	N	P	K	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Ac.éch	$Al3^{+}$	H^{+}	Sable	Limon	Argile	AGB
CEC	1,00															
pH	-0,71	1,00														
C	0,41	-0,62	1,00													
MO	0,41	-0,62	1,00	1,00												
N	0,39	-0,63	0,99	0,99	1,00											
P	0,32	-0,49	0,25	0,25	0,28	1,00										
K	0,00	0,42	-0,21	-0,21	-0,23	-0,08	1,00									
Ca^{2+}	0,00	0,42	-0,21	-0,21	-0,23	-0,08	1,00	1,00								
Mg^{2+}	0,00	0,42	-0,21	-0,21	-0,23	-0,08	1,00	1,00	1,00							
Ac.éch	0,42	-0,63	0,67	0,67	0,66	0,39	-0,11	-0,11	-0,11	1,00						
$Al3^{+}$	0,29	-0,59	0,46	0,46	0,47	0,45	-0,40	-0,40	-0,40	0,81	1,00					
H^{+}	0,27	-0,15	0,43	0,43	0,40	-0,03	0,42	0,42	0,42	0,45	-0,15	1,00				
Sable	0,09	-0,12	0,10	0,10	0,10	0,26	0,01	0,01	0,01	0,34	0,12	0,39	1,00			
Limon	-0,30	0,33	-0,27	-0,27	-0,26	-0,45	0,04	0,04	0,04	-0,42	-0,70	-0,45	-0,83	1,00		
Argile	0,19	-0,17	0,14	0,14	0,13	0,07	-0,07	-0,07	-0,07	-0,10	0,01	-0,15	-0,76	0,27	1,00	
AGB	-0,26	**0,43**	**-0,54**	**-0,54**	**-0,55**	-0,12	0,16	0,16	0,16	-0,36	-0,33	-0,12	0,29	-0,11	-0,36	1,00

Annexe 7 : Corrélation entre la biomasse aérienne (AGB= aboveground biomass) et la richesse spécifique (a), l'abondance (b), l'indice de Shannon (c) et l'indice d'Equitabilité (d).



Annexe 8 : Illustration de quelques espèces du Parc National de la Kibira

Maesa lanceolata Forssk. (Umuhangahanga)



Newtonia buchananii (Baker f.) G.C.C. Gilbert & Boutique

Symphonia globulifera L f. (Umushishi)

Neoboutonia macrocalyx Pax (Igihondogori)

Fleroya rubrostipulata (K.Schum.) Y.F.Deng (Umugomera)

Tabernaemontana stapfiana Britten (Umudwedwe)

Fruit de *Carapa grandiflora* Sprague (Umushwati)

Dracaena afromontana Mildbr. (Inganigani)

Myrianthus holstii Engl (Umwufe)