



**ECOLE REGIONALE POSTUNIVERSITAIRE D'AMENAGEMENT ET
DE GESTION INTEGRES DES FORETS ET DE TERRITOIRES
TROPICAUX
– ERAIFT–**

*Mémoire présenté et défendu en vue de l'obtention du Titre de Master en Technique
d'Aménagement Forestier à l'ERAIFT-UNESCO/MAB*

**DIVERSITE FLORISTIQUE, VARIABILITE
STRUCTURALE ET ESTIMATION DE STOCK DE
CARBONE EPIGE DANS LA SAVANE MISE EN
DEFENS DE MANZONZI, PROVINCE DU KONGO-
CENTRAL, RD Congo.**

Par

BIKAKA ANGOSOLO Max

Promoteur : LUMANDE KASALI Joseph,
Professeur ordinaire de L'Université
de KINSHASA

Co-promoteur : LUBALEGA Tolérant
Professeur Docteur à l'Université de
KIKWITI

Encadreur : Elvis TSHIBASU
Expert SIG & Télédétection
WWF/ERAIFT

ANNEE ACADEMIQUE 2019-2020



ECOLE REGIONALE POSTUNIVERSITAIRE D'AMENAGEMENT ET
DE GESTION INTEGRES DES FORETS ET DE TERRITOIRES
TROPICAUX

– ERAIFT–

*Mémoire présenté et défendu en vue de l'obtention du Titre de Master en Technique
d'Aménagement Forestier à l'ERAIFT-UNESCO/MAB*

**DIVERSITE FLORISTIQUE, VARIABILITE
STRUCTURALE ET ESTIMATION DE STOCK DE
CARBONE EPIGE DANS LA SAVANE MISE EN
DEFENS DE MANZONZI, PROVINCE DU KONGO-
CENTRAL, RD Congo.**

Par

BIKAKA ANGOSOLO Max

Membres effectifs du jury

1. Pr. Jean-Pierre MATE MWERU : Président du Jury
2. Pr. Raymond LUMBWENAMO : Secrétaire du Jury
3. Pr. Joseph LUMANDE KASALI : Promoteur
4. Pr. Dominique MWEZE C. NK. : Membre

Membres suppléants

5. Pr. Roger NTOTO
6. Pr. Damier MUTEBA

ANNEE ACADEMIQUE 2019-2020

DEDICACE

A Toi l'Eternel Dieu source des toutes connaissances savantes, Dieu des promesses et des provisions, Ton amour est infiniment grand envers moi ;

A mes parents votre souvenir reste à jamais gravé dans ma mémoire ;

A vous famille BIKAKA, Carmen BIKAKA, Josée BIKAKA, Myriam BIKAKA, Onan BIKAKA, Olive BIKAKA et Honnête BIKAKA

REMERCIEMENTS

Au terme de ce travail, nous aimerions présenter nos remerciements à l'Eternel notre Dieu, Source de notre vie pour tant de merveilles qu'il nous comble.

Je remercie le Directeur professeur BAUDOUIN Michel, et les enseignants de l'ERAIFT pour le sacrifice consentis afin de nous intégrer dans la société savante.

Je remercie l'Union européenne qui a accepté de financer cette étude de Master pendant 24 mois de bourse en passant par ERAIFT-UNESCO/MAB-GIZ.

Je remercie l'ERAIFT qui a accepté de m'octroyer la bourse complémentaire pour la recherche de terrain dans le cadre de projet de la résilience face aux changements climatiques en province du Kongo-Central.

Je voudrais adresser mes vifs remerciements au promoteur de ce travail, le professeur LUMANDE KASALI Joseph qui a accepté de me prendre par la main pour faire ce chemin de questionnement jusqu'à son aboutissement.

Je remercie le Professeur Tolérant LUBALEGA, l'encadreur de ce travail pour les nombreux sacrifices qu'il a consentis à l'aboutissement du présent travail qu'il a suivi patiemment, avec doigté et surtout avec le professionnalisme qu'on lui connaît et également pour tous les partages scientifiques et du savoir pour la vie de tous les jours, je lui rends le témoignage de toute ma reconnaissance.

Merci à l'Expert SIG et Télédétection, Monsieur Elvis TSHIBASU pour votre encadrement de proximité avec beaucoup d'amour. Mes sincères Merci,

Je n'aurais jamais pu faire ce travail de Master sans la ferme volonté du SAR et de l'administration ERAIFT, Trouvez ici très chers (es) : Professeur ordinaire Jean Pierre MATE MWERU, Docteur Isaac DIANSANDU, Madame Ernestine LONPI TIPI, Maman Aimé LUZINGU, Maman Valentine MUZEMBA, Maman Josée MATUMBU, mes sincères remerciements.

Je dis sincère merci aux assistants de l'ERAIFT, Ass. BAMENGA Louis Pasteur, Ass. BESISA Timothé, Ass. MUBERE Charles, Ass. Francine LUHUSU, vos assistances, orientations et conseils ont permis que ce travail puisse avoir un heureux aboutissement.

Toute ma reconnaissance au comité de collecte des données au terrain s'agit de technicien Lidjo-LANDU de l'INERA Luki, Placide BAMBI de l'INERA Luki, Papa DAQUIN, Papa BAMBI de l'INERA Luki, qui m'a beaucoup aidé dans la collecte des données de ce mémoire, dans ses aspects les plus sensibles.

Je dis merci aux Professeurs de la faculté des sciences de l'Unikis particulièrement le Professeur ordinaire Doudou AKAIBE, le Professeur ordinaire NDJELE MINDA-BUNGI Léopard, le professeur ordinaire Jean Marie KAHINDO grâce à vos bonnes volontés que nous étions admis à l'ERAIFT. Sincères Merci

A tous les compagnons de lutte provenant de divers pays Africains retrouvés à l'ERAIFT 2019-2020, je vous dis merci pour tout.

RESUME

L'objectif général de ce travail est de déterminer la diversité floristique, la variabilité structurale et l'estimation du stock de carbone épigé des différentes formations végétales dans la savane mise défens de 97ha à Manzonzi, province du Kongo-Central, RD. Congo. Les inventaires floristiques et dendrométriques ont concerné seulement les individus ligneux vivants ayant un dhp ≥ 1 cm dont les mesures ont été prise à 1,30 m au-dessus du sol.

Les indices de diversité floristique ont été testés à partir du logiciels Past et le logiciel R a permis d'effectuer les tests statistiques. Nous avons obtenu au total 3553 individus repartis à 96 espèces (75 dans la galerie et 70 dans la savane), 77genres et 34 familles dans la mise en défens.

La structure diamétrique présente une allure à J inversé pour les deux formations végétales. La valeur moyenne de biomasse est de 67,32 tonnes/ha soit une moyenne de 33tonnes de C/ha (121 tonnes de CO₂ équivalent /ha séquestré), la savane a la moyenne de biomasse de 19,6 tonnes/ha soit 9,62 tonnes de C/ha (35,27 tonnes de CO₂ équivalent /ha séquestré).

Le logiciel Arc Gis 10.5 a été utilisé pour calculer la quantité de carbone issue de la carte LiDAR 2015 de la RDC, une moyenne de 12,2 tonnes de C/ha a été obtenue dans la savane et celle de 43,65 tonnes de C/ha pour la galerie forestière. L'AFC et ACP ont été réalisé et l'indice de Jaccard révèle qu'il y a une similarité moyenne de 35% entre la savane et la galerie forestière.

Mots Clés : Formation végétale, Galerie forestière, savanes, mise en défens, variabilité structurale.

SUMMARY

The general objective of this work is to determine the floristic diversity, structural variability and estimation of the epigeous carbon stock of the different plant types in the 97-ha protected savannah at Manzonzi, in Central Kongo Province, DR Congo. The floristic and dendrometric inventories included only live woody individuals with a dhp ≥ 1 cm whose measurements were taken at 1.30 m above the ground level.

The floristic diversity indices were tested using the "Past" software and the R software was used to carry out the statistical tests. We obtained a total of 3553 individuals divided into 96 species (75 in the gallery and 70 in the savannah), 77 genders and 34 families in the protected savannah.

The diametric structure has an inverted J shape for both plant groups. The average biomass value is 67.32 tonnes/ha or an average of 33 tonnes of C/ha (121 tonnes of CO₂ equivalent /ha sequestered), the savannah has the average biomass value of 19.6 tonnes/ha or 9.62 tonnes of C/ha (35.27 tonnes of CO₂ equivalent /ha sequestered).

The Arc Gis 10.5 software was used to calculate the amount of carbon from the DRC LiDAR 2015 map, and an average of 12.2 tonnes of C/ha was obtained in the savannah and 43.65 tonnes of C/ha for the forest gallery. The AFC was carried out and the Jaccard index reveal that there is a middle similarity of 35% between the savanna and the forest gallery.

Keywords: Plant group, Forest Gallery, savannah, protected savannah, structural variability.

TABLE DES MATIERES

DEDICACE	i
REMERCIEMENTS.....	ii
RESUME	iv
SUMARY	v
TABLE DES MATIERES	vi
ACRONYMES	x
0. INTRODUCTION	1
0.1. Revue de la littérature	3
0.2. PROBLEMATIQUE.....	4
0.3. QUESTION DE RECHERCHE	6
0.4. HYPOTHESE ET OBJECTIF D'ETUDE.....	7
0.4.1. HYPOTHESE	7
0.5. OBJECTIFS D'ETUDE.....	7
0.5.1. Objectifs spécifiques.....	7
0.6. INTERET DE RECHERCHE.....	8
0.6.1. Intérêt scientifique	8
0.6.2. Intérêt social ou pratique.....	8
0.6.3. Intérêt politique et économique	8
0.7. CADRE CONCEPTUEL ET JUSTIFICATION DE L'ETUDE	8
0.8. JUSTIFICATION AVEC L'APPROCHE SYSTEMIQUE.....	10
La figure 1. .- Interactions autour de la RB	10
La figure 2. Approche systémique appliquée à ce travail.....	11
CHAPITRE I. METHODOLOGIE	12
1.1. Milieu d'étude.....	12
La figure 3. Carte de localisation du milieu d'étude	12
1.1.1. Situation administrative du milieu d'étude	12
La figure 4. Carte actualisée de Manzonzi à partir des données de Maloti., 2012.	13
1.1.2. Caractéristiques climatiques et végétation dans le site	14
La figure 5. Précipitation (pluviométrie), humidité relative et température moyenne de la station climatologique de Luki de 2007 à 2010 (Maloti.,2012).	15
1.1.3. Caractéristique topographique	15
1.1.4. Relief et sols.....	16
1.2. Collecte des données.....	16
1.2.1. Les logiciels utilisés :.....	17

1.2.2.	Appareils et matériels utilisés au terrain	17
1.2.3.	Collecte des données biomasse	17
1.2.3.1.	Technique d'installation des parcelles.	18
La figure 6. Dispositif de collecte des données floristiques et la carte de technique d'échantillonnage.....		19
1.3.	Méthode d'analyse des données	19
1.3.1.	Données floristiques	19
1.3.1.1.	Indice de diversité de Shannon H'	19
1.3.1.2.	Indice de diversité de Simpson D	20
1.3.1.3.	Indice de diversité Fisher-alpha	20
1.3.1.4.	Richesse spécifique.....	20
1.3.1.5.	La diversité beta.....	20
1.3.1.6.	Indice de similarité de Jaccard.....	21
1.3.1.7.	La diversité gamma.....	21
1.3.2.	Analyse des données structurales.....	21
1.3.2.1.	Surface terrière.....	22
1.3.2.2.	Indice des valeurs d'importance	22
1.3.2.3.	Abondance relative des espèces	22
1.3.2.4.	Dominance relative des espèces.....	22
1.3.2.5.	Fréquence <i>relative</i>	23
1.3.3.	Estimation de la biomasse aérienne	23
1.3.4.	Estimations de stock de carbone Lidar	23
CHAPITRE II. PRESENTATION DES RESULTATS.....		25
2.1.	La diversité floristique des deux formations dans la savane mise en défens	25
Tableau 1. Valeurs des différents indices observés pour chacune des formations étudiées.		25
Figure 7a.- La courbe de raréfaction des espèces dans les formations		26
Figure 7b- La courbe de raréfaction des espèces dans les parcelles d'inventaire.		26
Figure8.- Dispersion des valeurs de diversité pour chaque formation étudiée.		27
Figure 9.1. Top_10 dhp≤5cm en savane.....		28
fFigure 9.2. Top_10 dhp≤5cm en Galerie_F		28
Figures 10a et 10b. ci-haut présentent les dix premières espèces de dhp supérieur ou égal à 5cm dans les deux formations végétales de la savane mise en défens.		28
Figure 11a. Le top 10 de la savane		29
Figure 11b. Le top-10 de la Galerie forestière.....		29
Figures 11c. Le top_5 des espèces importantes dans toutes les deux formations.....		30
Figure 12. Top de 10 familles dans la mise en défens		30

2.2. Liens floristiques entre les formations dans le site de la mise en défens	31
Figure 13b- Ordination des espèces.....	31
Figure 13a- Ordination des parcelles	31
Figure 14- Le regroupement des parcelles par analyse de composante principale	33
Figure 15.-Similarité de Jaccard.	32
2.3. Comparaison de la structure entre les deux formations	33
2.3.1. Comparaison de la structure diamétrique entre les deux formations	33
Figure 16.- Distribution diamétrique des tiges inventoriées dans les formations étudiées	34
Figure17:- Variation de la biomasse dans les différentes parcelles d'études.....	35
Figure 18.-Dispersion des valeurs de carbone pour chacune des formations étudiées	
2.4. Comparaison des moyennes de stock de carbone issues des données de terrain (Savane mise en défens à Manzonzi) et de la carte de distribution spatiale des stocks de carbone produite par Télédétection Lidar aéroporté.....	36
Figures19.- Les deux images raster montrent une carte forêt/non forêt «à gauche» datant de 2015 et celle du stock de carbone associé « A droite »	37
Figures 20a et 20b. l'occupation du sol issue de la technologie Lidar aéroportée superposée avec le type de formation et des parcelles de terrain	38
Figure 21.- La position de nos parcelles de terrain telles que superposées sur les pixels de la répartition de l'occupation du sol à l'échelle de la RD. Congo issue de la technologie Lidar.	39
Figure 22. – La position des parcelles de terrain par rapport aux valeurs des pixels de la carte Carbone issue de la technologie Lidar.	39
CHAPITRE III. : DISCUSSION	41
3.1. La diversité floristique des deux formations dans la mise en défens	41
Figure 23. Variation de l'indice Fisher-alpha dans la zone des forêts denses humides d'Afrique (source : Parmentier et al., 2007).	41
3.2. La composition floristique similaire entre les deux formations.....	42
3.3. Comparaison de la structure entre les deux formations	43
Photo 1 : À gauche le pied de jeune <i>xylopia aethiopica</i> à côté d'une <i>Lannea anticorbis</i> à l'état critique	44
Photos 2 : - Les empreintes de la carbonisation dans la mise en défens de Manzonzi	45
3.4. Comparaison des moyennes de stock de carbone issues des données de terrain (Savane mise en défens à Manzonzi) et de la carte de distribution spatiale des stocks de carbone produite par Télédétection Lidar aéroporté.....	45
Photo 3. Formation savanicole de la mise en défens de Manzonzi.....	46
Photo4 : Fruit de <i>Xylopia aethiopica</i>	47
Photo5 : Le pied coupé de <i>Xylopia aethiopica</i>	47
CONCLUSION ET SUGGESTION.....	48
REFERENCE	49
ANNEXE	56

Tableau 3.Le cortège floristique dans la mise en défens de Manzonzi.....	56
Tableau 4.Les différentes familles dans la mise en défens de Manzonzi	58
Tableau 5.L'indice de valeur d'importance des espèces dans la mise en défens de Manzonzi	59
Tableau 6.Les espèces communes dans les deux formations.....	61
Tableau 7. Espèces qu'on a trouvé uniquement dans la galerie forestière.....	62
Tableau 8.Valeur des indices de diversité pour chaque parcelle	64
Tableau 9.Localisation des parcelles de terrain associées à leurs estimations de stock de carbone	64
Tableau 10.Valeur moyenne globale de stock de carbone issu de la technologie Lidar	65
Tableau 11.Valeur de carbone aérien et souterrain de chaque parcelle d'étude	65
Tableau 12.Familles accompagnées des espèces dans la savane mise en défens de Manzonzi.....	66
Tableau 13.Nombre d'espèce inventorié dans chacune des parcelles d'un hectare à Manzonzi	68
Photos 6a et 6b Les traces fauniques dans la savane mise en défens de Manzonzi...	69
Photo7. Formation sur MRV à Manzonzi.....	70

ACRONYMES

AGB	: Above Ground Biomass-Biomasse épigée
BGB	: Below Ground Biomass-Biomasse souterraine
C	: Carbone
CCNUCC	: Convention Cadre des Nations Unies sur le Changement Climatique
CIFOR	: Centre International pour la Recherche Forestière
CIRAD	: Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement
CLD	: Comité Local de Développement
CN-REDD	: Coordination Nationale REDD de la République Démocratique du Congo
CNUED	: Conférence des Nations Unies sur l'Environnement et le Développement
CO ₂	: Dioxyde de Carbone
COMIFAC	: Commission sur les Forêts d'Afrique Centrale.
DHP	: Diamètre à la Hauteur de Poitrine
DOR	: Dominance Relative
DR	: Densité Relative
ERAIFT	: Gestion Intégrés des Forêts et Territoires Tropicaux
FAO	: Food and Agriculture Organisation- Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation
FLEGT	: Forest Law Enforcement, Governance and Trade
G	: Galerie forestière
GES	: Gaz à Effet de Serre
GIEC	: Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat
GIZ	: Deutsche Gesellschaft für internationale Zusammenarbeit
Ha	: Hectare
INERA	: Institut National pour l'Étude et la Recherche Agronomiques
IVI	: Indice de Valeur d'Importance
LIDAR	: Light Direction And Ranging
m ² /ha	: mètre carré par hectare
MECNT	: Ministère de l'Environnement Conservation de la Nature et Tourisme
MEDD	: Ministère d'Environnement et Développement Durable
Mg C/ha	: Méga gramme de carbone/hectare
MRV	: Mesurages Rapportages Vérifications.

NERF	: Niveau d'Emissions de Reference pour les Forêts
OLI	: Operational Land Imager
OSFAC	: Observation Satellitale des Forêts d'Afrique Centrale
P	: Parcelle
PAST	: Paleontological statistics software package (logiciel des statistiques paléontologiques)
RBL	: Réserve de Biosphère de Luki
RDC	: République Démocratique du Congo
REDD+	: Réduction+ des émissions des gaz à effet de serre issues de la déforestation et dégradation des forêts
S	: Savane
SPIAF	: Service de Payement d'Inventaires d'Aménagements Forestiers
UNESCO	: Organisation des Nations Unies pour l'Education, la Science et la Culture
UNIKIN	: Université de Kinshasa
UNIKIS	: Université de Kisangani
WSC	: Wildlife Conservation Society- Société de Conservation de la Faune Sauvage
WWF	: Word Wildlife Fund- Fonds Mondial pour la Nature

0.INTRODUCTION

La conférence des Nations Unies sur l'environnement et le développement (CNUED) ou « Sommet de la planète Terre », tenue en juin 1992 à Rio de Janeiro fut la manifestation la plus spectaculaire de la planète sur les changements globaux.

Les négociations autour du changement climatique et du rôle des forêts dans la régulation du climat sont de première importance pour les pays de la COMIFAC.

En Afrique Sub-Sahélienne, les ressources naturelles constituent la base de la vie quotidienne des hommes, particulièrement pour les pauvres qui dans la majorité des cas vivent dans le milieu rural où leurs moyens de subsistances dépendent presque exclusivement des activités agricoles et de l'élevage (Issa, 2006).

Les forêts tropicales ont un sol très pauvre, les feuilles d'arbres qui tombent les rendent riche en fertilité par rapport à l'apport de matière organique et cette fertilité touche simplement 20 premiers centimètres en dessous de sol (Doucet J_L., 2003).

De nombreux facteurs, tels que l'accroissement de la démographie accompagné d'un taux élevé de chômage ont pour conséquence l'apparition d'une pression croissante sur les ressources naturelles. La recherche a montré qu'il est possible de trouver une différence très marquée entre les peuplements forestiers spatialement proches mais établis sur un substrat distinct à l'échelle locale dans une forêt semi-caducifoliée (Lisingo.,2016).

La variation de la composition floristique et structurale le long de gradients pédologiques est bien documentée dans les zones tempérées (Gleason & Cronquist, 1964), dans certaines zones tropicales telles que l'Amazonie, les données de la composition floristique et de la structure sont également disponibles (Pitman & *al.*, 2001).

Les facteurs susceptibles d'influencer la variation de la composition floristique en Afrique tropicale sont :

- La spéciation locale et la dispersion limitée qui ne permettent pas aux plantes de coloniser les zones potentiellement favorables. Une espèce est originaire d'un lieu et elle ne peut se disperser qu'à une distance limitée de ce lieu. Ce paramètre est

notamment à l'origine des différences de composition floristique entre régions biogéographiques.

- L'hétérogénéité environnementale qui limite l'installation et le développement d'espèces du fait qu'elles sont différemment équipées face à la compétition pour l'accès à l'énergie lumineuse d'une part, à l'eau et aux substances nutritives d'autre part.

Les forêts tropicales font partie des écosystèmes les plus riches de la planète. Leigh et al. (2004) les qualifient de « musées de diversité ». Elles couvrent globalement 1,9 milliards d'hectares, soit environ 48 % de la superficie totale des terres boisées (FAO, 2007), et constituent pour le moment les écosystèmes les plus étudiés suite à leur importance capitale dans la stabilisation des conditions environnementales (Séquestration de carbone atmosphérique et modération des climats locaux et régionaux) (Goulet, 2011).

Plusieurs études ont abordé la question de l'organisation spatiale de la diversité végétale dans différents faciès de végétation et sur base d'approches méthodologiques différentes (Proctor et al., 1983 ; Barthes, 1991a ; Clark & al., 1998), et affirment que les compositions floristiques et structurales varient fortement en réponse aux variations environnementales, en particulier d'ordre édaphique.

Dans les pays tropicaux, la fragmentation des habitats naturels liée aux activités humaines est devenue l'un des processus dominants de la dynamique paysagère. Par la réduction de la taille des fragments et de l'augmentation de leur isolement (Fahrig, 2003 ; Bogaert et al., 2004). La fragmentation entraîne également une augmentation de surface des lisières et des trouées (Asner et al., 2004). Ces dernières modifient le microclimat au sein des fragments forestiers par une baisse de l'humidité et une augmentation de l'éclairement (Heithöcker et al., 2007 ; Laurence et al., 2008), ce qui stimule la prolifération des héliophytes invasives comme *Chromolaena odorata*(L.), ce microclimat augmente la sensibilité des fragments forestiers au feu (Cochrane., 2003). Le feu a longtemps été utilisé comme technique culturelle pratiquée par les populations locales. Les multiples passages de feu sur la couverture forestière conduisent à des savanes (pyroclimax) (Scholes et al, 1996).

La déforestation et la dégradation de la biomasse ont causé 17% des émissions mondiales de gaz à effets de serre (GIEC., 2007). Parmi les nombreux moyens d'aboutir à une réduction du CO₂ de l'atmosphère, celui de la séquestration du carbone par les arbres constitue

un avenir prometteur. Les savanes du Bassin du Congo sont au cœur de nouveaux enjeux de services environnementaux (Lubalega et *al.*, 2017).

0.1. Revue de la littérature

L'utilisation de terme savane n'a pas toujours été acceptée par tous les botanistes dont la plupart considèrent que ce terme n'a pas d'origine Africaine (White, 1983). En fonction des physionomies de la végétation, certains auteurs préféraient les terminologies de « Formation arborée ».

Le concept de savane s'est forgé depuis la seconde moitié du XX^e siècle avec les apports scientifiques anglo-saxons et francophones et des chercheurs des pays où ce milieu naturel est présent. Le mot savane a une polysémie marquée, développée en fonction des différentes approches biogéographiques. Ainsi sa définition varie sur base de la biogéographie, des conditions écologiques, du climat, des sols et de la géomorphologie. Les spécialistes de la phytogéographie africaine, lors de la réunion tenue à Yangambi en 1956 ont débattu des savanes sans en donner une définition précise (Aubréville, 1957).

Trochain (1957) définit la savane comme des formations végétales terrestres dominées par les graminées. Letouzey (1982) a défini les savanes d'Afrique centrale comme une « formation herbeuse comportant un tapis de grandes herbes graminéennes mesurant au moins en fin de saison de végétation, 80 cm de hauteur, avec des feuilles planes disposées à la base ou sur les chaumes, et des herbes et plantes herbacées de moindres tailles ».

D'après White (1983), les savanes sont des formations herbeuses appelées aussi formations ouvertes. Ces formations ouvertes sont composées principalement de plantes herbacées vivaces de la famille de Poaceae formant un tapis continu atteignant 2 m de haut à maturité ; elles peuvent être parsemées d'arbustes ou d'arbres. La proportion des ligneux au sein des savanes détermine le qualificatif terminologique de savane herbeuse, savane arbustive, savane arborée et savane boisée.

Ce dernier auteur en (1986), considèrent que le terme savane initialement utilisé pour les formations herbeuses d'Amérique du sud tropicale ne saurait être appliqué à la végétation similaire d'Afrique tropicale et propose la terminologie suivante : « formation herbeuse basse (pour la savane herbeuse), formation herbeuse arbustive (savane arbustive), formation herbeuse arborée (savane arborée), formation herbeuse boisée (savane boisée) ».

D'après Lubini (1997), on trouve la savane guinéo-congolaise au centre-sud et dans le sud-ouest de la RDC.

Les savanes trouvent leur origine dans les diverses fluctuations paléo climatiques (Lubalega, 2016) et sont des écosystèmes intertropicaux qui ont une distribution bien localisée entre les deux tropiques, au Nord (le tropique du Cancer) et au Sud (le tropique du Capricorne), ce qui limite leur extension en zone tropicale d'Asie, d'Amérique, d'Afrique et en Australie. En Afrique centrale les savanes se répartissent en trois grands ensembles :

- Les savanes de la bordure sud du massif forestier équatorial, elles prennent une partie du Congo, elles se prolongent au nord du Gabon et vers le sud dans une grande partie de la République démocratique du Congo.
- Les savanes de la bordure nord du massif forestier équatorial forment avec la forêt une mosaïque, elles sont une zone de transition entre les forêts semi-caducifoliées au sud et les savanes soudano-guinéennes au nord,
- Les savanes incluses que l'on trouve au sein des massifs forestiers.

Globalement les savanes se développent sous des précipitations insuffisantes variant de 500 à 1500 mm, une saison sèche longue, un sol à faible capacité de rétention d'eau avec des températures trop basses et sont souvent perturbées par le feu. Les savanes se développent dans les endroits où les précipitations deviennent inférieures à 1200-1400 mm/an. Par ailleurs, en fonction de la nature de leur phytocénose et du gradient de pluviométrie décroissante, les savanes se répartissent en savanes arborées dites guinéennes là où les pluies excèdent 1200 mm/an (Ramade, 2008).

En dessous de 1200 mm de la lame d'eau annuelle, se rencontrent les savanes soudaniennes. Les savanes sahéliennes sont observées là où les pluies sont inférieures à 600 mm et avoisinent 500 mm/an. Les savanes sahéliennes sont caractérisées par une prédominance de végétaux épineux et sont nettement plus pauvres en végétaux ligneux que les deux précédentes (Lubalega, 2016).

0.2. PROBLEMATIQUE

La République démocratique du Congo (RDC) dont plus de la moitié du territoire national est couvert par la forêt, est l'un des réservoirs mondiaux de la biodiversité tant floristique que faunique comme les témoignent les résultats de travaux de recherche récents

(Verbist et *al.*, 2017). Ce pays continent possède à lui seul 60% des espèces végétales et animales répertoriées dans la sous-région (Bokota., 2013).

Les forêts de la RDC abritent près de 67% de la superficie totale du territoire national, soit 155,5 millions d'hectares qui représentent environ 47% des forêts denses de l'Afrique tropicale (REDD, 2009), et environ 70 % de population qui habite ce pays vit en milieu rural (Lubalega et *al.*, 2018).

Hormis la forêt, en RDC on trouve également 76,8 millions d'hectares de savanes (Lubini, 1997 ; Olson et *al.*, 2001 ; Defourny et *al.*, 2011), ces dernières constituent le second type d'écosystème après les forêts denses qui représentent 10% des forêts au niveau mondial.

Les savanes herbeuses et arbustives offrent des potentialités importantes de séquestration du dioxyde de carbone pouvant contribuer par le fait même à la lutte contre le réchauffement climatique (Lubalega., 2016).

Considéré comme l'arrière-pensée de Kinshasa, la province du Bas Congo constitue l'une des principales entités pourvoyeuses en produits vivriers de la capitale. Cela a pour conséquence l'augmentation de la pression des populations rurales sur les ressources naturelles (Bogaert et *al.*, 2009), ce qui fait que la matrice du paysage initialement constituée par les forêts secondaires, s'est dégradée au détriment des savanes et des jachères et champs.

La réserve de biosphère de Luki possède une riche biodiversité dans son environnement interne. Elle incarne la relique des forêts de la zone phytogéographique du Mayombe congolais (Lubalega et *al.*, 2018). Cette réserve subit une forte pression liée à l'afflux de population qui met la durabilité de ses ressources naturelles en péril. Les influences exercées sur la réserve de Biosphère de Luki sont nombreuses et intenses. Un nombre croissant de ménages vit à proximité de la réserve et des villages entiers ont été illégalement établis dans les zones protégées. En plus du braconnage, la réserve subit la déforestation rapide qui résulte de l'agriculture, également du commerce illégal de bois d'œuvre et de charbon de bois.

Outre la forêt, la réserve de biosphère de Luki possède en son sein une étendue d'écosystème savanicole atteignant 3000 hectares.

Sur le pourtour de Luki on trouve des mosaïques des savanes des superficies parfois importantes. Cette dernière formation subit des chocs répétés de feu d'origine anthropique. Ces

chocs ne favorisent pas la dynamique des savanes du point de vu diversité et structure à l'allure forestière dans et aux environs de Luki.

En 2007, le WWF a mis en défens 97 hectares de savane à Manzonzi comme bretelle de la conservation de diversité biologique. Les aspects sur la recolonisation forestière suite régénération naturelle faite par la mise en défens des savanes après un long passage répété de feu sont en train d'être abordés par les chercheurs en RDC (Maloti., 2012 ; Lubalega., 2016). Ces rares études se sont limitées à comparer la composition et la structure des savanes mise en défens à d'autres non mise en défens. La mise en défens de Manzonzi est constituée des deux formations végétales (Savanes et Galerie forestière). La présente recherche va tenter d'étudier diversité floristique, la variabilité structurale et va estimer le stock de carbone épigé cette fois-ci en se focalisant uniquement dans la même entité, celle mise en défens à Manzonzi dans la province du Kongo Central, RD Congo.

0.3. QUESTIONS DE RECHERCHE

Dans le cas de cette recherche nous nous posons la question centrale suivante : dans un écosystème savanicole hébergeant deux formations végétales différentes mise défens, est-ce que la diversité, la composition floristique et la structure de la végétation restent particulières pour chacune de formation dans un intervalle de temps donné ?

Des questions secondaires suivantes seront ensuite posées :

- i Comment s'est faite l'organisation spatiale du point de vu diversité, composition et structure de la végétation en dehors des activités humaines ?
- ii Est-ce qu'il y a la ressemblance floristique entre les deux formations végétales dans la mise en défens de Manzonzi ?
- iii La carte de carbone réalisée par la télédétection Lidar apporte-t-elle des résultats approximatifs à celui des données collectées au terrain ?

0.4. HYPOTHESE ET OBJECTIF D'ETUDE

0.4.1. HYPOTHESE

Dans le bassin congolais, il est vrai qu'autour de grandes agglomérations, des villages et des voies de transport (routes, cours d'eau navigables, etc.), les forêts naturelles sont sous une forte pression de l'homme. Abandonnées suite à la perte de fertilité du sol, après quelques années, ces zones auparavant sous actions anthropiques sont couvertes par une végétation à une dynamique particulière : la végétation recouvre rapidement et de manière différente des espaces qui ne sont plus utilisés par l'homme.

En s'appuyant sur ce phénomène et surtout que notre étude va se dérouler dans deux formations végétales issues d'une même limite mise en défens localisée dans la zone périphérique de Luki, nous pouvons présumer que :

- (i) Les formations végétales dans la savane mise en défens de la région de Luki sont diversifiées différemment, tandis qu'elles sont structurellement différentes.
- (ii) Les deux formations végétales dans la mise défens de Manzonzi ont des similarités floristiques.
- (iii) La nouvelle technologie Lidar pourrait apporter le résultat semblable à celui réalisé par l'inventaire de terrain.

0.5. OBJECTIFS D'ETUDE

L'objectif global est celui de déterminer la diversité végétale, la variabilité structurale et l'estimation de stock de carbone épigé dans la savane mise en défens de Manzonzi, Province du Kongo central, RD Congo.

0.5.1. Objectifs spécifiques

Les objectifs spécifiques se définissent comme suit :

- (i) Comparer la diversité du point de vu floristique et structural de différentes formations végétales dans la savane mise en défens de Manzonzi à la périphérie de la RBL.
- (ii) Evaluer les affinités floristiques et structurales des formations issues de ce site d'étude.
- (iii) Comparer les résultats de carbone issu des données du terrain à celui de la carte carbone réalisée à partir de la télédétection Lidar pour toute l'étendue de la RDC.

0.6. INTERET DE RECHERCHE

L'intérêt de ce sujet se situe à 3 niveaux, entre autres :

0.6.1. Intérêt scientifique

La présente étude constitue une base de données fiables tenant compte de la réalité du terrain. La méthodologie abordée dans notre travail apporte la contribution à la science dont les autres chercheurs se serviront comme support scientifique de référence dans le cas de collecte des données d'inventaire floristique, car cette méthodologie ne pas seulement rentable, efficient économiquement en termes de coût mais également elle est précise.

0.6.2. Intérêt social ou pratique

Le travail aidera ceux qui vont le lire à comprendre l'importance de la savane dans la contribution à l'atténuation du réchauffement climatique en dépend. Hormis les valeurs d'options liées à la biodiversité, la communauté riveraine sera garantie d'une part de bénéfices tangibles et durables attachés au capital naturel à travers le paiement des services environnementaux. Par ailleurs cette étude va épanouir la connaissance de la communauté riveraine de la savane mise en défens de Manzonzi en matière de Mesurages Rapportages et Vérifications (MRV) sur le carbone forestier.

0.6.3. Intérêt politique et économique

Ce travail va tenter de concilier les attentes des différents acteurs scientifiques et politiques dans la validation de la nouvelle technologie Lidar dans le cadre de l'aménagement des forêts et des territoires. Ce mémoire s'enregistre dans ce cadre, nous sommes motivés par le souci de bien vouloir aider les décideurs et la population à protéger l'environnement car l'atténuation de réchauffement climatique en dépend. Ceci vaut l'intérêt à la communauté congolaise mais à l'effort consentis par tout le monde.

0.7. CADRE CONCEPTUEL ET JUSTIFICATION DE L'ETUDE

Au cours des dernières années, un certain nombre d'actions ont été entreprises par le Gouvernement pour améliorer la situation dans le secteur forestier.

Elles incluent la promulgation d'un nouveau Code forestier défini avec le soutien de la Banque mondiale et qui comprend, entre autres, les innovations fondamentales suivantes : des incitations aux investisseurs privés avec l'introduction d'une série de mesures qui favorisent un climat plus clair, plus sûr et plus transparent propice aux investissements privés pour tous les opérateurs qui souhaitent valoriser les ressources forestières de façon responsable sur le plan social, environnemental et fiscal.

La REDD⁺ a été retenue comme une des méthodes qui visent à ralentir les dynamiques de la déforestation, de la dégradation forestière et/ou augmenter les stocks de carbone forestier, sur une zone délimitée, afin de réduire les émissions de gaz à effet de serre. La REDD⁺ vise à valoriser ces réductions dans un mécanisme de compensations basées sur le résultat. Ces réductions devant être assurées, suivies et validées, selon une méthodologie internationalement reconnue et, se faire par rapport à un scénario de référence préalablement établi par les parties prenantes. Aux critères fiduciaires « d'Additionnalité », de fuite et de permanence par rapport à un niveau de référence doivent s'ajouter ceux d'efficacité climatique, d'efficacité transactionnelle et d'équité sociale.

En effet la REDD a pour soubassement le paiement d'un service environnemental en l'occurrence la réduction des émissions et l'augmentation de la séquestration du CO₂ basé sur les résultats. Ces paiements sont ainsi consentis pour générer l'incitation à protéger les forêts par les propriétaires et les usagers de manière à ce que la préservation de la forêt devienne plus rentable c'est-à-dire capable de compenser le manque à gagner encouru par ces derniers en ne mettant pas en défriche et en ne consacrant pas les surfaces forestières à d'autres usages.

La RDC est le second pays à posséder une superficie forestière très large dans le monde, elle couvre un écosystème très complexe où il y a des grandes rivières, forêt dense et humide, les taches de savane, paysage dégradé et sol nu. Ces forêts riches en carbone représentent l'un de plus important centre de diversité biologique dans le monde avec 15000 espèces des plantes et animales (Liang Xu et *al.*, 2017). Le gouvernement congolais a initié un programme de réduction des émissions de CO₂ à l'échelle nationale pour la quantification et le monitoring de stock de carbone forestier en compromis avec le WWF et l'Université de Californie en Los Angeles, la nouvelle technologie LiDAR a été choisie comme outil qui promet non seulement pour avoir de l'information sur la structure forestière mais également elle donne les estimations assez précises, lorsqu'il s'agit de connaître la quantité de biomasse

forestière à partir de model de la hauteur de la canopée. Elle est également rapide à collecter les données dans une étendue vaste à un temps réduit.

0.8. JUSTIFICATION AVEC L'APPROCHE SYSTEMIQUE

Cette étude a comme socle une approche systémique car elle utilise l'analyse systémique, une logique intégrée dans les dynamiques des territoires, elle s'appuie sur le concept du développement durable. Elle s'oppose à l'approche analytique, sectorielle (Lumande., 2013). Son application s'avère essentielle pour un développement durable (Maldague., 2003).

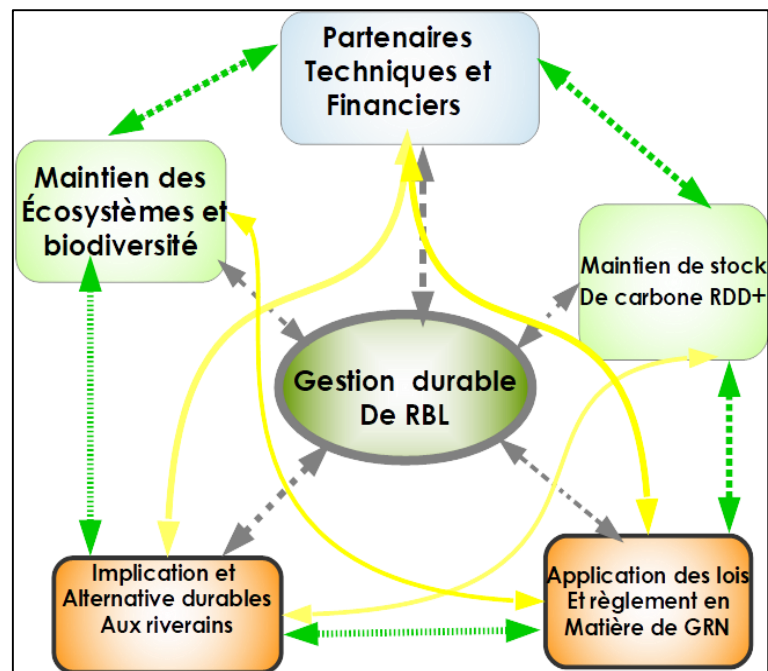
Dans une optique d'aménagement intégré du territoire, la présente étude s'inscrit dans une approche systémique de résolution du problème de dégradation de la qualité écologique des habitats, celui de la conservation de la biodiversité. Les problèmes de gestion de la réserve de biosphère ont des fondements théoriques en relation avec les plusieurs concepts et notions, notamment, ceux qui ont un rapport avec la gestion des ressources naturelles et l'aménagement de territoire. Etant qu'un système fonctionnel ouvert en interaction, le paysage forestier influence et renseigne sur l'environnement socio-économique et cet environnement influence les projets des acteurs qui œuvrent tout autour, ce qui fait que ces derniers choisissent les pratiques et ces pratiques modifient le paysage.

La figure 1 ci-dessous montre les interactions qui se font au tour de la réserve de biosphère de Luki.



Figure1. Interactions autour de la RB

Dans le souci de pérenniser les ressources naturelles dans notre milieu d'étude, nous avons opté d'appliquer l'approche globale et intégrée qui est illustrée sur la figure2 qui suit.



La figure2. Approche systémique appliquée à ce travail.

1.1.1. Situation administrative du milieu d'étude

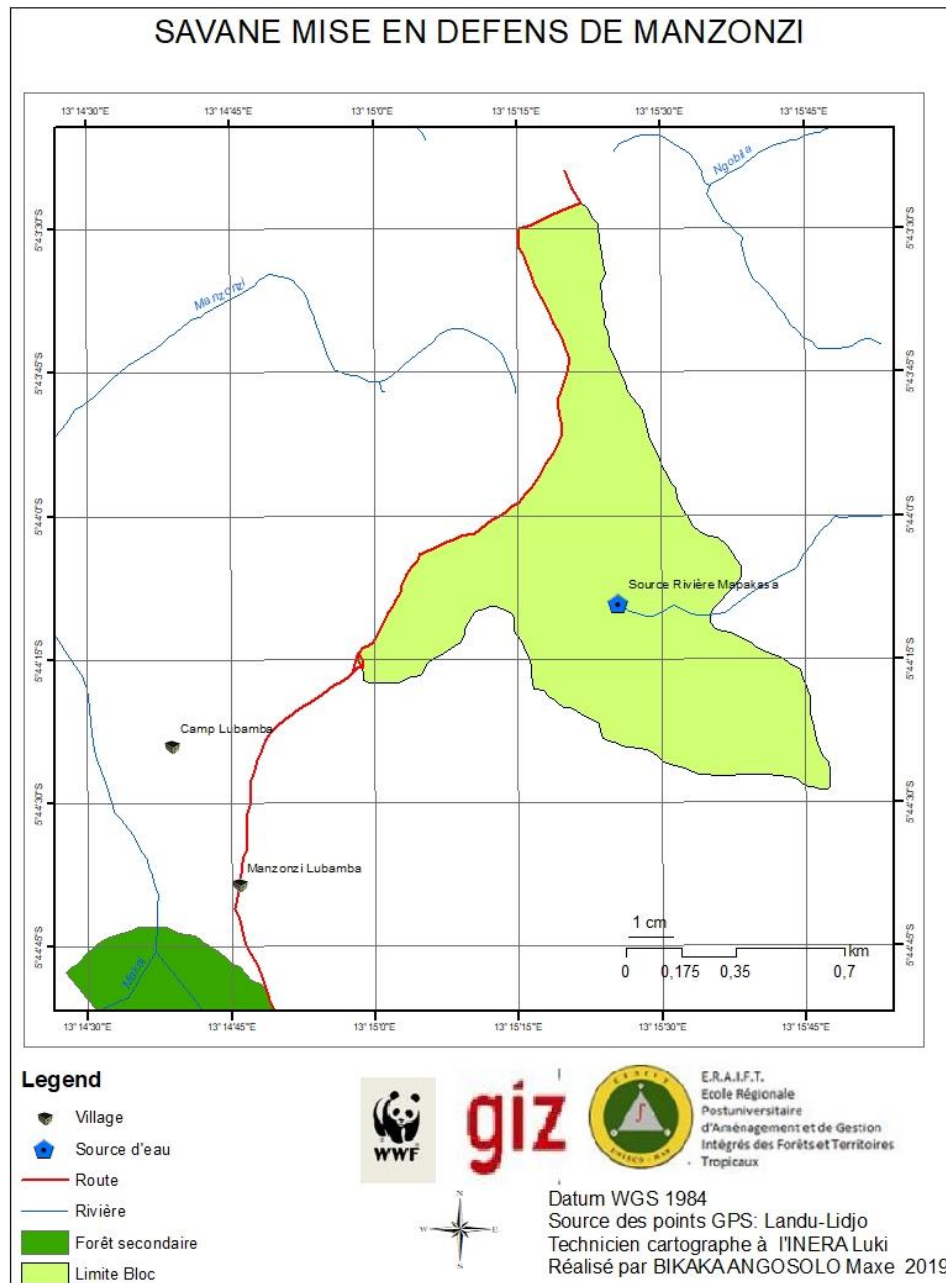
**LOCALISATION DU MILIEU D'ETUDE AUTOUR
DE LA RESERVE DE BIOSPHERE DE LUKI**

Source des données cartographiques
Shafefila Coordonnées GPS
Limite national (IGC)
Limite RBL (ICCN)

Coordinate System: WGS UTM Zone 33 S
Projection: Transverse Mercator
Datum: WGS 1984

1cm
1 cm = 3 000 m

La figure4. Ci-dessous, illustre la carte de la savane mise en défens actualisée de 97ha à partir des données de Maloti., 2012.



La figure4. Carte actualisée de Manzonzi à partir des données de Maloti., 2012.

Selon les données fournies par le CLD Manzonzi à 2019, la taille de la population est d'environ 161 personnes répartie entre 36 ménages, la densité moyenne de population par ménage est de 4,41 dont moyenne de l'âge est de 19,75ans.

1.1.2. Caractéristiques climatiques et végétation dans le site

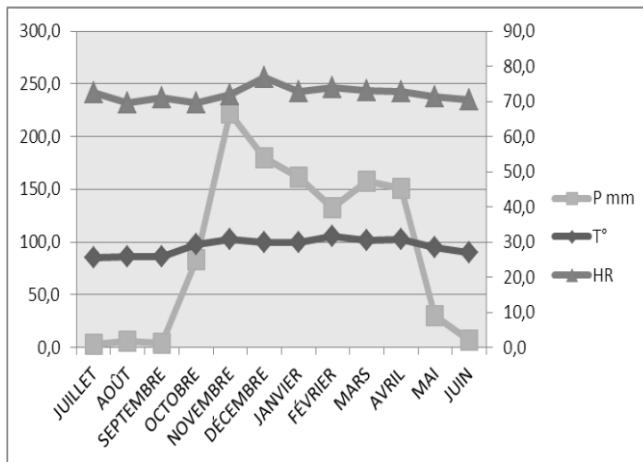
La région du Kongo Central connaît un climat tropical caractérisé par deux saisons bien distinctes : Une saison sèche et une saison des pluies. La saison sèche est bien repérée avec une saison qui va de mai en septembre, ainsi qu'une petite saison sèche de 2 ou 3 semaines en février (Quinif., 1986). Cette région phytogéographique du Mayombe congolais appartient au système (AW4) sM.

La pluviosité annuelle moyenne est comprise entre 1200 - 1400 mm (Sys, 1960). Cependant, les données actuelles recueillies dans la station climatologique de Luki (plateau) la place dans le système Aw₅ contrairement à Sys (1960), où les premières pluies ne sont attendues qu'après mi-octobre et, les moyennes annuelles atteignent difficilement 1100 mm.

Le climat du Mayombe dont fait partie Manzonzi est tributaire de l'océan Atlantique. Il est influencé par le courant marin froid de Benguela et les alizés de Sud-est (Lubini., 1997). Ce courant marin froid de Benguela est responsable des petites pluies de saison sèche connues localement sous le nom de "masala " (Kapa *et al.*, 1987).

Ces pluies dites occultes (De Foresta), sont attendues vers la fin du mois d'Août, et joue le rôle de compensation du déficit en eau du sol. La saison sèche se caractérise par une baisse légère de température due aux fréquents brouillards matinaux ou brumes.

Pour ce travail, les données météorologiques sont celles de la réserve de biosphère de Luki du fait que notre site Manzonzi bénéficie généralement de condition climatique que la réserve de Luki.



La figure5. Précipitation (pluviométrie), humidité relative et température moyenne de la station climatologique de Luki de 2007 à 2010 (Maloti.,2012).

La végétation de Manzonzi est du type secteur de transition bas Guinéo-Zambézien, très hétérogène et diversifiée (Koffi *et al*, 2008). Elle va des formations herbeuses aux forêts denses humides de type semi-sempervirent. Ces forêts restent fortement déchirées par des activités anthropiques dont l'agriculture et le sciage de bois. Néanmoins, le paysage reste dominé par les savanes de plusieurs physionomies comprenant des forêts secondaires et rarement les forêts matures. Dans cette région, les savanes varient en fonction notamment de l'altitude et la durée de la saison sèche (Sys 1960).

1.1.3. Caractéristique topographique

La chaîne du Mayombe dont fait partie Manzonzi a une structure géologique qui comprend quatre étages dont le plus récent est l'étage ouest-congolien (Lubini., 1997). Elle est formée des roches volcaniques et métamorphiques formées au précambrien moyen (Quinif., 1986). Sa composition géologique comprend plusieurs séries reconnues pour l'ensemble de la chaîne du Mayombe. On y reconnaît entre autres les systèmes schisto-gréseux et schisto-calcaire (Lubini., 1997). Ainsi, on observe dans et autour de la Luki des schistes, quartzites, roches graphiteuses, grès feldspathiques, des micaschistes, muscovites, amphiboloschistes et des roches intrusives. Ces diverses roches ont permis la formation des divers types de sols qu'on y rencontre.

Les études géotectoniques réalisés dans les deux Congo confirment l'existence de deux événements orogéniques principaux, lesquels sont situés entre 2000 millions et 600 millions d'années (Lubini., 1997). On estime que la chaîne du Mayombe s'est édifiée dans un

contexte tectonique d'intérieur de plaque. Elle résulte de la fermeture d'un bassin océanique étroit qui séparait le craton de Chaillu (Congo-Brazzaville) et les cratons de l'Angola et du Kasaï. Par la suite, ce bassin de sédimentation aurait été plissé et une nouvelle orogénèse aurait achevé la structure actuelle de la chaîne (Lubini., 1997).

1.1.4. Relief et sols

La région est formée par une succession de collines assez jeunes à l'échelle géologique dont l'altitude varie entre 150 et 500 m. L'amplitude altitudinale entre le sommet des collines et le fond des vallées varie de 40 à 70 m. Les pentes des collines sont parfois très raides jusqu'à 15%. Les vallées sont très encaissées, ce qui ne permet pas l'existence des zones marécageuses (Donis., 1948).

Le Bas Congo est en majeure partie constitué des ferralsols sur roches non définies (Sys., 1960). Les sols sont le résultat des formations rocheuses qui ont subi une altération profonde. Ces formations rocheuses sont recouvertes d'une couche des terres superficielles d'épaisseur allant de 20 cm à 3 m. Ces éluvions ou colluvions dérivent du socle géologique sous-jacent ou environnant (Sys., 1960).

Les sols de la région résultent d'une longue pédogénèse et sont développés sur des schistes, amphiboloschistes, quartzites et gneiss.

Quatre principaux types basés sur la nature de la roche-mère peuvent être distingués : les sols rouges violacés développés sur les amphibolites, les sols rouges formés sur les gneiss, les sols jaunes développés sur les gneiss et enfin les sols alluvionnaires récents. La fraction argileuse de ces sols varie entre 1 et 26% et l'acidité est élevée. Ces sols rouges violacés sont rencontrées sur les collines le long de l'axe Boma - Matadi (Lubini., 1997), axe sur lequel se situe notre zone d'étude.

1.2. Collecte des données

Dans cette étude, les données préalablement utilisées sont les documentations ainsi que la délimitation de la zone d'étude.

1.2.1. Les logiciels utilisés :

Les logiciels utilisés dans notre étude seront composés de : Logiciel Arc GIS 10.4 pour faire les travaux de la cartographie et SIG ; le logiciel R et Past pour les études statistiques.

1.2.2. Appareils et matériels utilisés au terrain

Appareil photo numérique : pour la prise de quelques images sur le terrain ; GPS : Pour délimiter et prendre les coordonnées géographiques des zones d'intérêt, une Boussole : Pour connaître les points cardinaux ; Clinomètre : Pour prendre les distances d'un type de formation à un autre mais aussi pour connaître les pentes et prendre la hauteur des arbres.

Étiquettes métalliques en aluminium : pour numérotter les individus inventoriés ; Clous de 5cm : Pour fixer l'étiquette sur les arbres inventoriés ; Boîte à Peinture : Pour marquer les parcelles d'études ; Penta décimètre : Pour mesurer la dimension de la parcelle d'étude, Pied à coulisse, Ruban métrique et Compas forestier : Pour prendre le DHP des arbres ligneux ; Machette : Pour ouvrir les layons de l'inventaire ; Papier duplicateur et stylo : Pour écrire les informations de la recherche ; Image raster de distribution de carbone à l'échelle de la RDC à partir des estimations Lidar fournies par WWF 2015 : Pour comparer avec les données du terrain. Presses et Papiers journaux : Pour conserver les échantillons botaniques.

1.2.3. Collecte des données biomasse

Avec le Shape file de limite de la savane mise en défens occupant une superficie de 200ha, 20 points ont été projetés de façon aléatoire avec l'outil Arc Tools box de logiciel Arc GIS 10.4, les points ont été enregistrés par GPS GARMIN78. Avec le GPS chaque point a été suivi par l'outil « go to », une fois arrivé sur le point, l'observation de formation végétale a été faite suivie de l'installation de parcelle carrée de dimension 100mX100m a été faite pour chaque point.

Au total 20 parcelles ont été installées dans la mise en défens. Chacune a une forme carrée de 100mX100m soit une superficie de 10000m² chacune ou 1ha. Elles couvrent donc une superficie totale 20ha sur 97ha mis en défens.

Nous avons ouvert deux layons secondaires équidistants de 60 m, portant chacun vers l'extrémité opposée à l'autre une placette de (10m X 10m). Les deux layons secondaires sont reliés au centre par un layon perpendiculaire long de 60 m (Pieter Moonen et *al.*, 2017).

Une fois l'endroit choisi, sur place une superficie d'un Hectare (100 m x 100 m) a été délimitée et le recensement (espèce végétale) et les mesures concernaient seulement les individus de diamètre à hauteur de poitrine (dhp). Les individus à $1\text{ cm} \geq \text{dhp} < 5\text{ cm}$ ont été inventoriés dans les placettes de 10m x 10m tandis que ceux à $\text{dhp} \geq 5\text{ cm} < 30\text{ cm}$ (les ligneux et palmiers), seront inventoriés sur deux layons secondaires ainsi que sur le layon perpendiculaire. Mais les individus à $\text{dhp} \geq 30\text{ cm}$ ont été inventoriés dans l'ensemble de chacune des parcelles de 100 m x 100 m (Kearsley et *al.*, 2017).

Les mesures de dhp des individus ont été prises à 1,30 m au-dessus du niveau du sol par mètre ruban et avec pied à coulisse. Le clinomètre nous a servi à mesurer la hauteur des individus et la pente de chacune des parcelles.

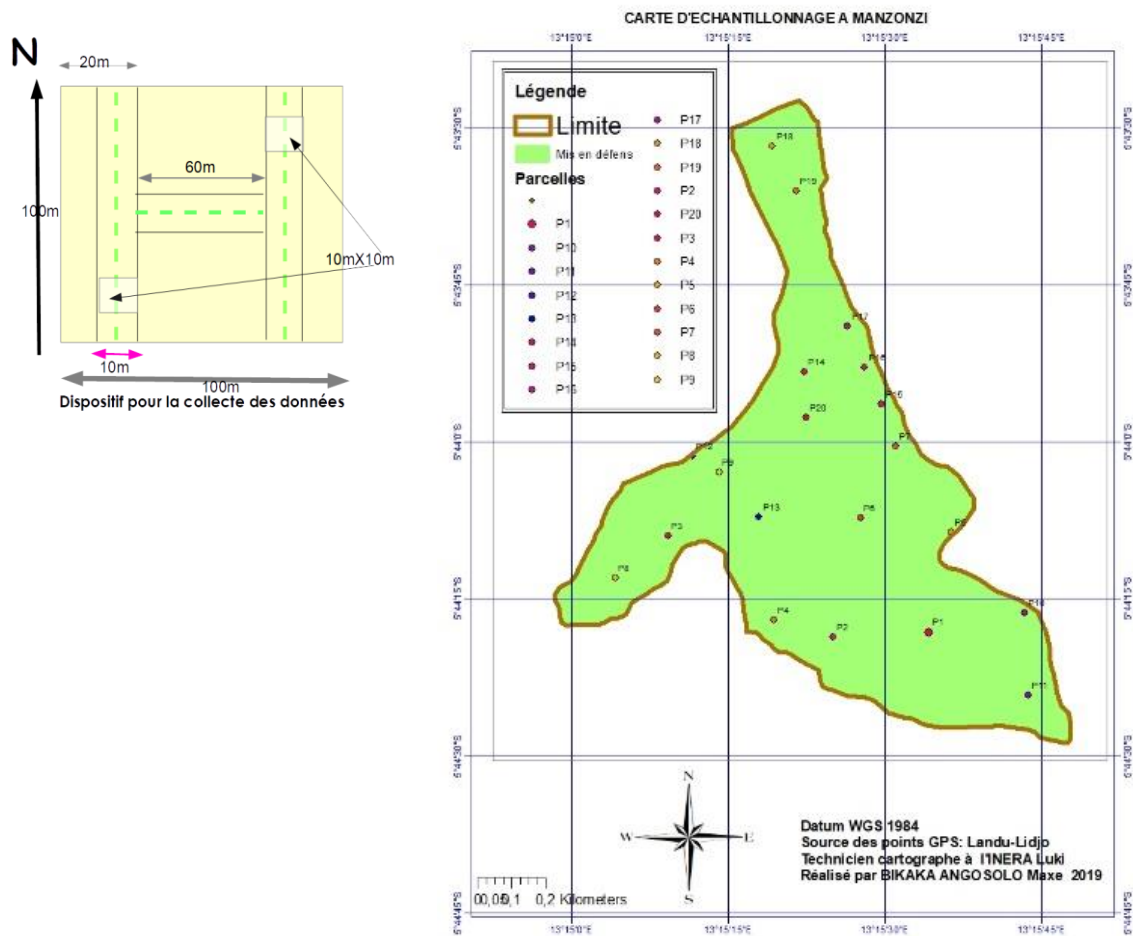
1.2.3.1. Technique d'installation des parcelles.

Pour installer nos parcelles semi-permanentes, nous avons formé une équipe composée de cinq (5) personnes dont un (1) boussolier, deux (2) machetteurs de tête, un (1) arpenteur et un (1) piqueur de jalons.

Après localisation du site pour l'installation de parcelle, la matérialisation sur terrain a nécessité les étapes suivantes : (1) Choisir la direction du layon principal et des layons secondaires ; (2) Couper des piquets servant de jalons ; (3) Positionner la boussole sur un trépied (en bois) en évitant de mettre à proximité tout objet métallique pouvant perturber la lecture sur la boussole ; (4) Procéder à l'ouverture de la forêt sur une bande de 100 m de long pour 0,25 m de large en étant orienté par le boussolier suivant l'azimut choisi ; (5) Aligner des jalons en bois dur suivant l'orientation du Boussolier à une équidistance bien précise à chaque 25 m, en se servant d'un topo fil.

Dans un hectare, l'inventaire de ligneux de $\text{dhp} \geq 1\text{cm} < 5\text{cm}$ a été fait sur la superficie de 200m² ; les ligneux à $\text{dhp} \geq 5\text{cm} < 30\text{cm}$ ont été inventoriés sur une superficie de 2600m² et les ligneux $\geq 30\text{cm}$ de dhp ont été inventoriés dans 10000m² échelle d'une parcelle.

Les figures 6. Ci-dessous, à gauche le dispositif de collecte des données floristique et à droite la technique d'échantillonnage où les points représentent les centres des parcelles de 100m X 100m (Pieter Moonen, Bruno Verbist et *al.*, 2014).



La Figure6. Dispositif de collecte des données floristiques et la carte de technique d'échantillonnage.

1.3. Méthode d'analyse des données

1.3.1. Données floristiques

1.3.1.1. Indice de diversité de Shannon H'

L'indice de diversité (H') de Shannon (1948) a été calculé. Il s'agit d'un indice couramment utilisé pour apprécier l'hétérogénéité et la diversité d'un biotope (Adou & *al.*, 2007 ; Kouamé & *al.*, 2008). Il se calcule en utilisant la formule suivante : $H' = -\sum (n_i/N) \times \ln(n_i/N)$ où n_i est le nombre d'individus d'une espèce i et N le nombre total des individus de toutes les espèces du biotope considéré. L'équilibre entre les espèces, qui donne une valeur forte de H' , est considéré comme ce qui caractérise une bonne biodiversité, susceptible de se maintenir durablement (Adou., 2005).

1.3.1.2. Indice de diversité de Simpson D

Pour mesurer la diversité spécifique à partir d'une liste d'espèces et leurs fréquences associées, l'indice de Simpson (1949), cité par Rennolls & *al.*, (2006), a été utilisé. Cet indice rend compte de l'abondance d'une ou quelques espèces. Il n'est pas entièrement indépendant de la taille de l'échantillon et est fortement dépendant du nombre d'espèces rares (Rennolls & *al.*, 2006). La diversité des groupements utilisés pour comparaison a pu être estimée grâce à cet indice qui a été calculé pour les différents types forestiers. La comparaison de ces indices nous a permis d'estimer l'homogénéité de formations effectuées.

Cet indice se calcule de la manière suivante :

$$D = 1 - \left(\frac{\sum n_i(n_i - 1)}{N(N - 1)} \right) \quad (1)$$

1.3.1.3. Indice de diversité Fisher-alpha

L'indice de diversité alpha de Fisher (α) a été calculé afin de comparer la diversité de nos types de formations étudiées entre elles et avec d'autres peuplements étudiés par d'autres auteurs d'autres régions. Cet indice a l'avantage d'être peu sensible à l'effort d'échantillonnage et de ne nécessiter que la connaissance du nombre total d'individus d'une communauté forestière et du nombre d'espèces correspondant (Leigh & *al.*, 2000, Boyemba, 2011). Il se calcule de la manière suivante :

$$S = \alpha \ln \left(1 + \frac{N}{\alpha} \right) \quad (2)$$

N = nombre total d'individus ; S = nombre total d'espèces ; α = diversité alpha de Fisher.

1.3.1.4. Richesse spécifique

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

1.3.1.5. La diversité beta

Elle reflète la modification de la diversité alpha lorsqu'on passe d'un écosystème à un autre dans un site. Elle représente le taux de remplacement des espèces dans un gradient utilisé pour étudier une végétation (Smith 1983, Scientia Silvica, 1997 et Condit *et al.*, 2002

cités par Nshimba, 2008). Cette diversité est plus exprimée par les indices ou coefficients de similarité.

La similarité entre deux parcelles ou deux milieux différents peut être calculée selon les abondances de leurs espèces (exemple : indice de similarité de Bray-Curtis, Morisita et Horn) ou selon leur présence-absence, données d'incidence ou binaires (exemple : indice de similarité de Simpson, Jaccard, Sorensen et Distance Euclidienne). Dans ce travail, c'est l'indice de similarité de Jaccard qui est a été calculé.

1.3.1.6. Indice de similarité de Jaccard

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

$$Jac = \frac{j}{(a+b-j)} \quad (3)$$

Où : j = nombre d'espèces trouvées dans les deux sites comparés ; a = nombre d'espèces trouvées dans le site A ; b= nombre d'espèces trouvées dans le site B. Son intérêt est qu'il permet de regrouper les parcelles d'inventaires ayant des richesses spécifiques comparables (Magurran, 2004). Cet indice Jaccard varie de 0 à 100 % de similarité. Quand la valeur est de 0 %, cela veut dire que les deux parcelles comparées n'ont aucune ressemblance. La valeur de 100 % veut dire que les deux parcelles ont une similarité maximale.

1.3.1.7. La diversité gamma

Elle correspond à la richesse spécifique au niveau régional ou géographique.

C'est la somme de diversité de toute l'entité étudiée (Crist *et al.*, 2003). Elle n'a pas été développée dans cette étude.

1.3.2. Analyse des données structurales

Pour comparer la structure entre les formations, nous avons analysé la structure diamétrique qui est la distribution des grosseurs, indiquant le nombre des tiges inventoriées par classes de diamètre. En suite pour tester les différences de dominance et de densité entre les classes diamètre de deux formations, nous avons réalisé des analyses de variance à un facteur (suivies des tests du Chi-carré (χ^2)).

1.3.2.1. Surface terrière

La Surface terrière est définie comme la surface occupée par le tronc à 1,30 m du sol. Elle a été calculée pour chaque individu à partir de la formule :

$$G = \frac{\pi D^2}{4} \text{ (Gounot, 1969) où } D : \text{diamètre à 1,30 m du sol (où la hauteur de la poitrine) (4)}$$

1.3.2.2. Indice des valeurs d'importance

Afin de déterminer les espèces dominantes pour chaque type forestier d'étude, nous avons calculé l'Indice de Valeur d'Importance (IVI). Il représente pour chaque espèce i , la somme de sa densité relative (DR), de sa surface terrière relative (DoR) et de sa fréquence relative (FR) varie entre 0 et 300. Cet indice permet de classer les espèces par ordre de leur importance (Curtis & *al.*, 1950 cités par Boyemba., 2011). Elle se calcule par la formule suivante :

$$IVI(i) = DR(i) + DoR + FR \quad (5)$$

1.3.2.3. Abondance relative des espèces

L'abondance relative d'une espèce correspond au nombre d'individus de la même espèce divisé par le nombre total d'individus dans l'échantillon multiplié par 100.

$$p_i = \frac{n_i}{N_i} \times 100 : \quad (6)$$

Où i = une espèce du milieu d'étude ; n_i = nombre d'individus pour l'espèce " i " ;

N_i = nombre total d'individus de toutes les espèces ; p_i = abondance relative de l'espèce " i ".

La densité relative d'une espèce (%) est le nombre de pieds d'une espèce, ramené au nombre de pieds total et multiplié par 100.

1.3.2.4. Dominance relative des espèces

La dominance relative d'une espèce est le rapport de la surface terrière de cette espèce à la surface terrière totale multipliée par 100.

$$Do_i = \frac{\sum_{a=1}^n g_a}{G_i} \times 100 \quad (7)$$

Où g_a = surface terrière de l'arbre a ; n = nombre total d'arbres de l'espèce i ; G_i = surface terrière totale d'individus de toutes les espèces ; Do_i = dominance relative de l'espèce " i ".

1.3.2.5. Fréquence relative

La fréquence d'une espèce est égale au nombre d'apparition de cette espèce sur la surface d'inventaire.

La fréquence relative d'une espèce est égale au quotient de la fréquence par la somme de fréquences de toutes les espèces et multipliée par 100 (Curtis & McIntosh, 1950).

$$\text{Fréquence relative d'une espèce} = \frac{\text{fréquence d'une espèce}}{\sum \text{des fréquences de toutes les espèces}} \times 100 \quad (8)$$

1.3.3. Estimation de la biomasse aérienne

Dans la présente étude, l'estimation de la biomasse épigée totale de l'arbre (AGB) a été déterminée à partir d'une équation allométrique en se servant de l'équation de Chave, 2014 applicable pour les espèces végétales des forêts tropicales. L'équation considérée dans la présente étude utilise trois données d'entrée qui sont le dhp, la densité du bois ainsi que le facteur environnemental (Deklerck *et al.*, 2019).

$$\text{AGB (Tonne/ha)} = 0,0673 \times (\rho(D)^2 \times H)^{0.976/1000} \quad (9)$$

Pour le palmier à huile nous avons procédé par la formule d'ICRAF, 2009 telle que reprise ci-après.

$$\text{AGB} = 0,0976 \times H + 0,0706 \quad (10)$$

1.3.4. Estimations de stock de carbone LiDAR

Ces estimations de carbone ont été basées sur les données de terrain de la savane mise en défens à Manzonzi confrontée aux estimations extraites de carte de la distribution du stock de carbone dans les forêts de la RDC, produite par Télédétection LiDAR aéroporté.

Afin de s'assurer de l'exactitude Et de précision des estimations provenant des inventaires réalisés au sein de la savane de Manzonzi du mois de Juillet au mois d'Août 2019.

Il est judicieux de comparer les résultats de ces estimations avec des données qui

existent déjà. En effet, un travail intéressant mené par le WWF-RDC en collaboration avec le Ministère de l'Environnement et Développement Durable avec ses autres partenaires techniques et financiers.

Ce travail ayant été fait à l'échelle des forêts de la RDC en utilisant la technologie innovante LiDAR aéroportée et combinée aux images satellitaires optiques (Landsat) et radar (Alos Palsar). Ce capteur a permis de connaître à un hectare près, la moyenne de stock de carbone dans les forêts congolaises (Liang Xu et *al.*, 2017), avec des estimations d'incertitude minimisées significativement, pour appuyer au niveau national les programmes de réduction des émissions de gaz à effet de serre (RE) dans le cadre du processus REDD+.

Les données LiDAR ont été collectées sur des échantillons générés par l'approche systématique aléatoire couvrant plus de 432.000 ha des forêts du pays. La biomasse souterraine (notée BGB) a été estimée en utilisant un quotient racinaire/foliacé (root-shoot ratio - RSR), en considérant AGB (1cm) comme étant la partie foliacée. Pour les classes (i) forêt dense humide sur terre ferme, (ii) forêt dense humide sur sol hydromorphe, (iii) forêt secondaire et (iv) culture et régénération de culture abandonnée, le RSR utilisé est de 0,3720 correspondant à la zone écologique de la forêt dense tropicale (Mokany et *al.* cité dans GIEC 2006).

Pour les classes (i) forêt sèche/forêt claire (miombo) et (ii) savane, le RSR utilisé est de 0,2021 correspondant à la zone écologique de la forêt décidue humide tropicale (Mokany et *al.* cité dans GIEC 2006).

En se basant sur la définition officielle des forêts de la RDC, un total de $23,3 \pm 1,6$ Gt de carbone avec une densité moyenne de carbone de 140 ± 9 MgC ha⁻¹ a été estimé. Mais à l'échelle de la savane ayant fait l'objet de nos travaux, nous avons eu recours au logiciel Arc GIS 10.5, spécifiquement son module « zonal statistics as table », pour extraire de la carte de carbone de la RDC issue du LiDAR, les statistiques nécessaires à la comparaison des résultats.

CHAPITRE II. PRESENTATION DES RESULTATS

2.1. La diversité floristique des deux formations dans la savane mise en défens

Afin de mieux visualiser les diversités floristiques entre les deux formations végétales dans la mise en défens de Manzonzi, l'analyse des indices de diversités a été faite à l'aide du logiciel Past. Ce dernier a permis de déterminer la diversité spécifique avec l'indice de Shannon 3,74 et l'indice de Fisher alpha 23,92 dans la galerie forestière et ces indices sont respectivement de l'ordre de 3,03 et 12,8 dans la savane.

L'indice de Simpson qui approche l'unité a montré que la répartition des espèces dans les deux formations est similaire. Une prédominance des espèces forestières sur les espèces de la savane semble être importante.

Les valeurs des différents indices observés pour chacune de formation végétale sont données par le tableau 1.

Tableau 1. Valeurs des différents indices observés pour chacune des formations étudiées.

	Galerie Forestière	Savane
Taxas	75	70
Individuals	526	3027
Dominance_D	0,03564	0,08179
Simpson_1_D	0,9644	0,9182
Shannon_H	3,744	3,03
Equitability_J	0,8671	0,7132
Fisher_alpha	23,92	12,8

Figures 7a et 7b. En haut la courbe de raréfaction des espèces dans les deux formations, alors qu'en bas la courbe de raréfaction des espèces dans les parcelles d'inventaire

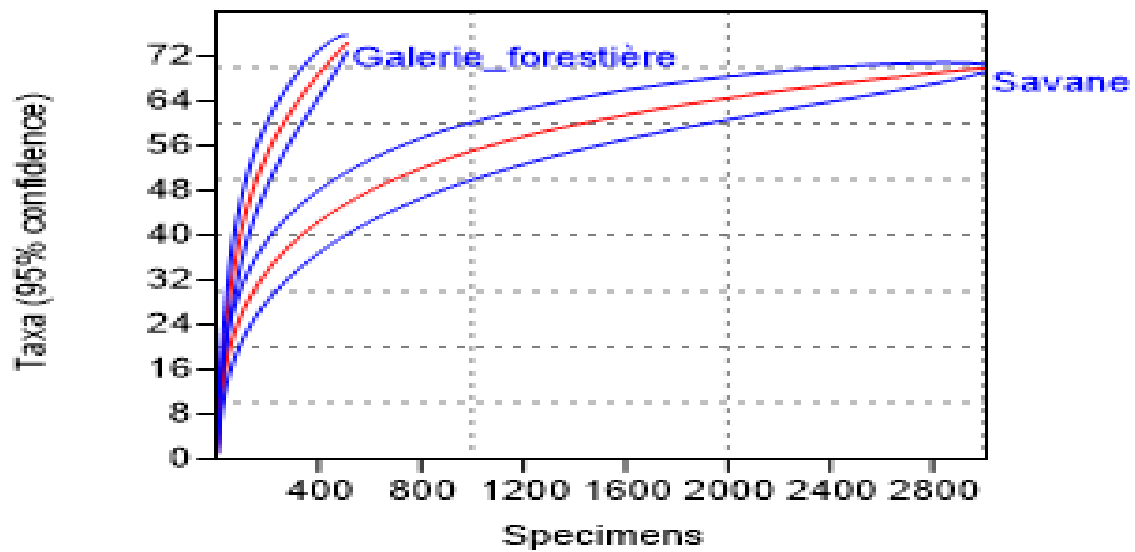


Figure 7a.- La courbe de raréfaction des espèces dans les formations étudiées

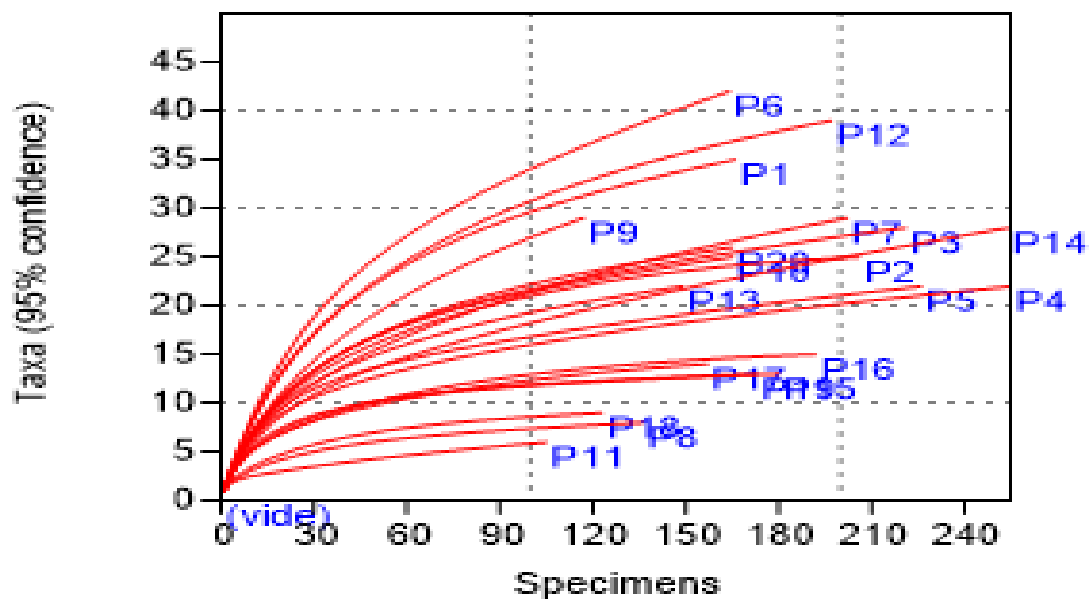


Figure 7b- La courbe de raréfaction des espèces au sein des parcelles d'inventaire.

L'analyse statistique a été effectuée sur l'indice de Fischer alpha, le test t de student appliqué a montré une différence significative de la diversité sur les 2 formations végétales. Les valeurs suivantes ont été observées $t = 2,5$, $df = 2,3$, $p\text{-value} = 0,1$

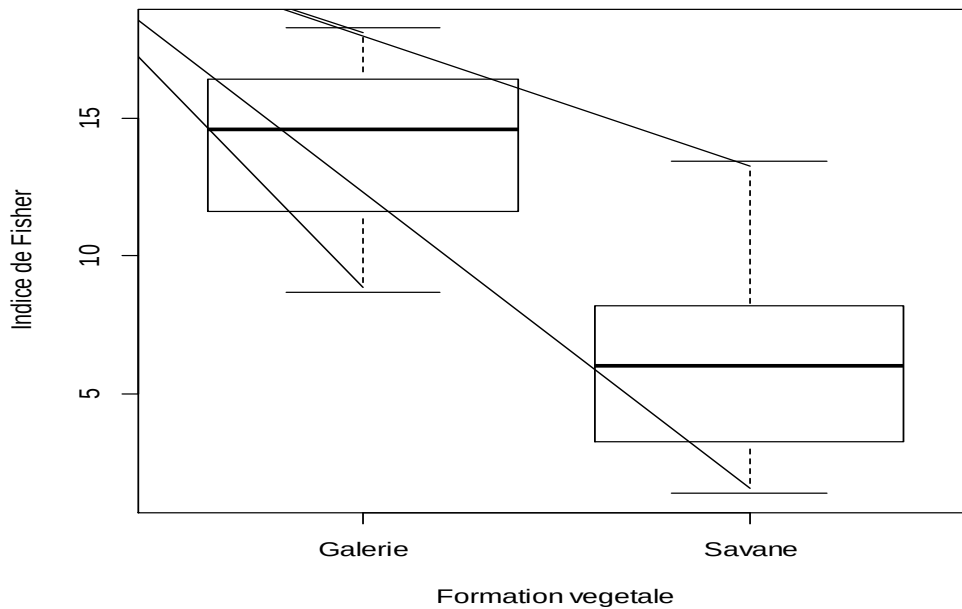


Figure8.- Dispersion des valeurs de diversité pour chaque formation étudiée.

La figure 8 présentée sous forme de la boîte à moustaches représente l'intervalle dans lequel sont regroupés 5% des diversités, la barre épaisse à l'intérieur de la boîte indique la diversité moyenne, la barre basse indique la diversité minimale et la barre haute indique la diversité maximale.

Après l'inventaire réalisé dans le site de la savane mise en défens, les figures 9. Qui viennent, présentent les résultats des dix premières espèces abondantes dans les deux formations végétales. À gauche la figure 9.1.- Top_10 des espèces à $dhp \leq 5\text{cm}$ dans la savane (à gauche) et la figure9.2. - Top_10 des espèces à $dhp \leq 5\text{cm}$ dans la galerie forestière à droite.

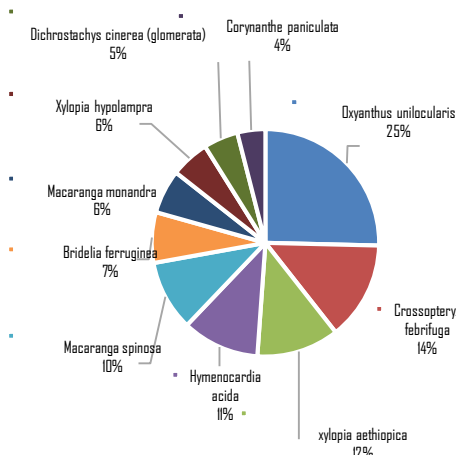


Figure9.1 :Top_10 dhp≤5cm en savane

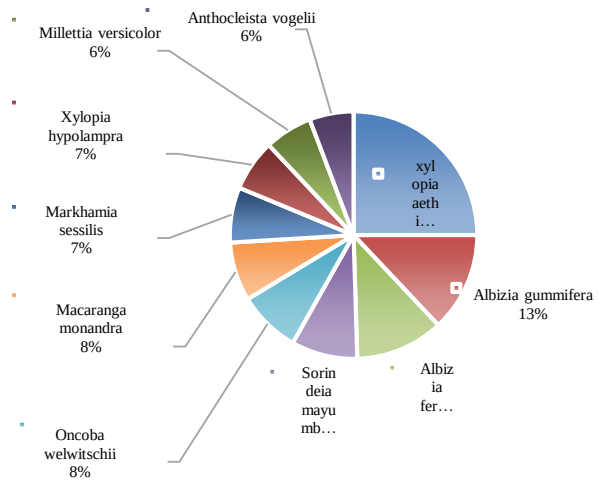
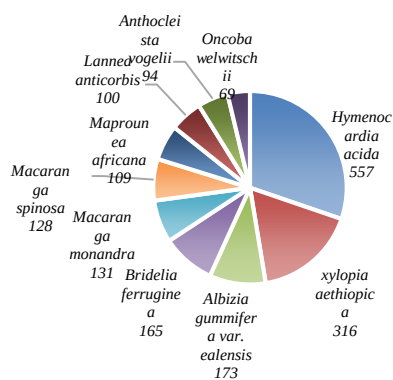


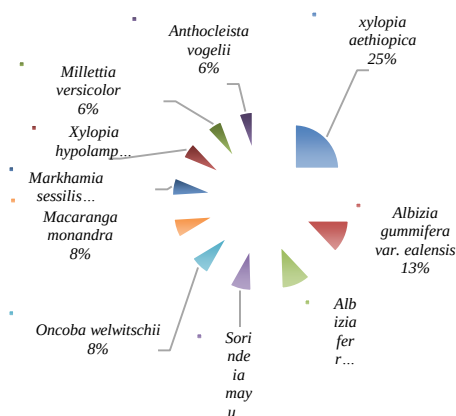
Figure9.2 :Top_10dhp≤5cm en Galerie_F

Il ressort de Figure9.1. que les espèces de la savane se mélangent ensemble avec les espèces cicatricielles de la forêt (*Corynanthe paniculata* et le *Xylopi aethiopica*). Le *Bridelia ferruginea*, *Hymenocardia acida*, *Dichrostachys glomerata* et *Crossopteryx febrifuga* sont les espèces caractéristique et typique de la savane.

Figures 10a et 10b. ci-après présentent les dix premières espèces de dhp supérieur ou égal à 5cm dans les deux formations végétales de la savane mise en défens.



Figures10a.



Figures10b

Figures 10a et 10b :ci-haut présentent respectivement les dix premières espèces à dhp supérieur ou égal à 5cm retrouvées dans la savane et dans la galerie forestière.

De la figure 10a, dans la cortège de dix espèces abondantes du côté savane ayant atteint un dhp supérieur ou égal à 5cm, nous constatons la présence des espèces d'origine forestière à l'occurrence des (*Xylopia aethiopica*, *Macaranga spinosa*, *Lannea anticorbis* et *Oncoba welwitschii*) qui sont les espèces d'établissement d'une forêt secondaire.

L'espèce *Hymenocardia acida* qui vient en tête ne joue que le rôle de la densification de peuplement pour l'établissement de l'ambiance forestière. A cette stade, cette invinte les espèces forestières de la première phase d'établissement.

Les figures 11a, 11b et 11c. ci-dessous, montrent respectivement de gauche à droite le top_10 des espèces de toutes les classes de diamètre dans la savane et dans la galerie forestière, alors que la figure 11c, d'en bas montre le top_5 des espèces importantes dans toutes les deux formations à l'intérieur du site de la savane mise en déffens.

Dans cette dernière figure les genres *Hymenocardia* et les *Albizia*, leurs espèces botaniques stimulent ou facilitent la recoloniasation. D'où la présence de *Xylopia* en abondance, une bioindicatrice qui traduit un milieu à hygrometrie importante. L'augmentation de leur nombre est liée à l'humidité de l'environnement ce qui revele donc une sucession écologique et installation progressive des espèces cicatriciellles de la forêt.

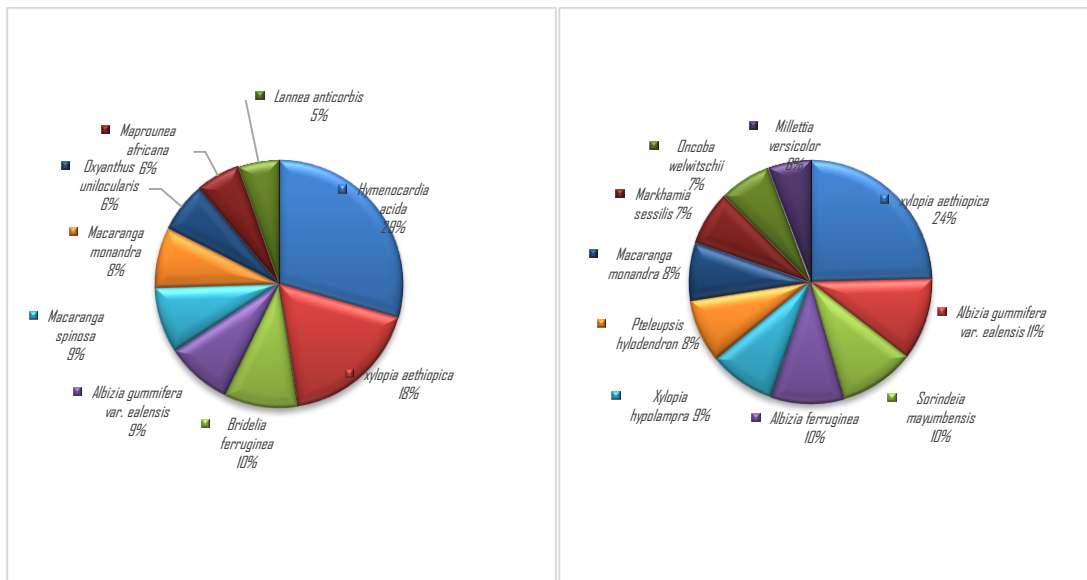
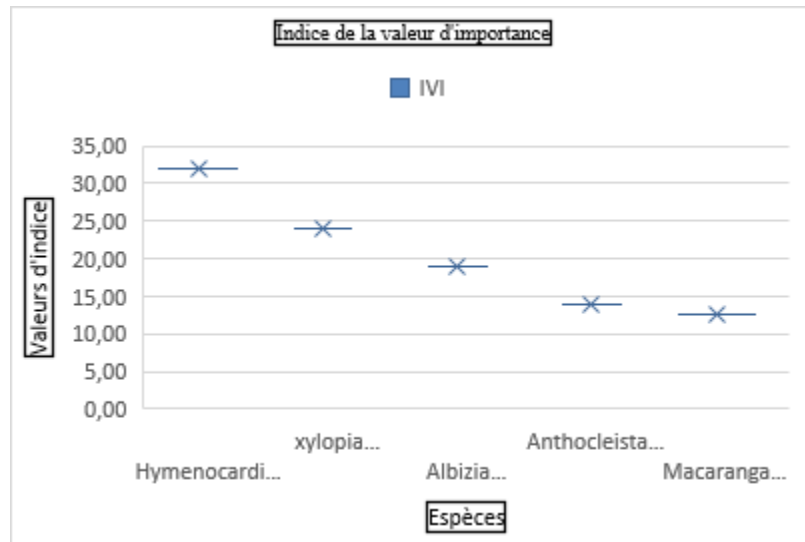


Figure 11a. Le top 10 de la savane

Figure 11b. Le top-10 de la Galerie forestière



Figures 11c. Le top_5 des espèces importantes dans toutes les deux formations.

Le résultat issu de figure 11.c. montre les espèces qui sont très abondantes, occupent la valeur élevée de la surface terrière et en même temps elles ont une fréquence relative élevée dans la mise en défens. L'espèce *Xylopi aethiopica* cicatricielle de la forêt secondaire vient en deuxième position en terme d'abondance relative, fréquence relative et dominance relative.

La figure 12. Ci-dessous présente les dix familles les plus abondantes observées après l'inventaire floristique dans les deux formations ciblées sur le site de la mise en défens à Manzonzi.

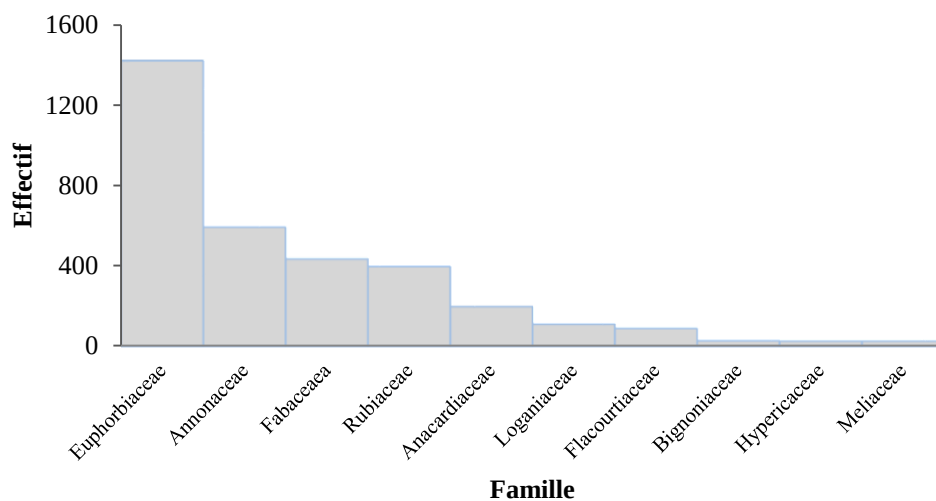


Figure 12. Top de 10 familles dans la mise en défens

La Figure 12. Présente les 10 familles les plus abondantes dans la mise défens. L'abondance de 4 premières familles (Euphorbiaceae, Annonaceae, Fabaceae et Rubiaceae) montre les familles typiques des espèces de forêt tropicale.

2.2. Liens floristiques entre les formations dans le site de la mise en défens

Afin de mieux visualiser les liens floristiques entre les formations, une analyse factorielle de correspondance (AFC) a été faite. De cette analyse, on a constaté que nos formations sont quasi identiques du point de vue floristique. Les deux premiers axes (les figures 13.) de l'AFC réalisée sur les différentes parcelles en prenant en compte les différentes espèces, ont révélé un lien positif exprimant environ 15 % de l'inertie totale, c'est-à-dire que la reforestation des différentes parcelles due à la mise en défens affecte 15% de leurs typologies forestières.

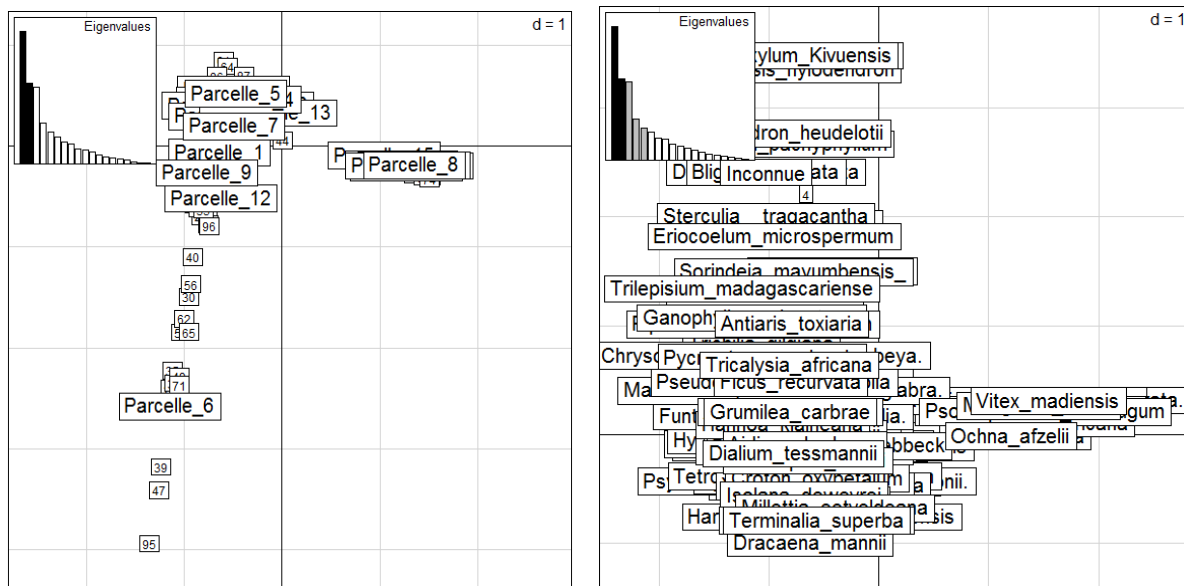


Figure 13b- Ordination des espèces

Figure 13a- Ordination des parcelles

De la figure 14, pour mieux visualiser la corrélation entre les relevés, un ACP a été réalisée. De cette analyse, le facteur de synthèse sélectionné est le type de formation végétale.

L'examen de la figure 14, la longueur, la direction et l'angle des flèches donnent les explications sur le degré des affinités du point de vu différence floristique d'une parcelle à une autre.

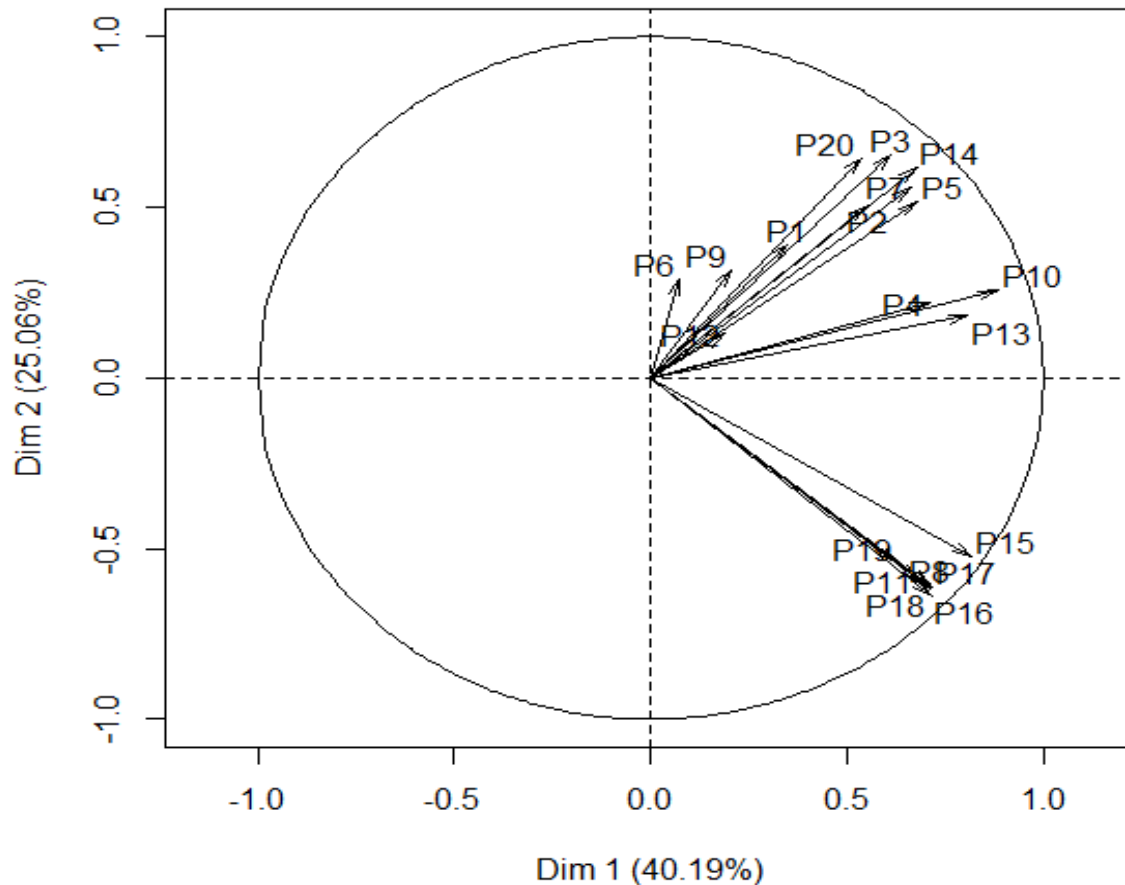


Figure 14.- Le regroupement des parcelles par analyse de composantes principales.

- (1) Il se dégage de l'analyse de composantes principales qu'au total trois catégories de parcelles sont observées : les parcelles en évolution d'une reforestation (P6, P9, P1, P2, P3, P5, P7, P20), (2) Les parcelles savane typique (P11, P15, P16, P17, P18, P19), (3) Les parcelles intermédiaires à tendance forestière (P4 ; P10 ; P13).

Le degré de similarité des relevés floristiques dans le site d'étude est montré par la figure 15 ci-dessous.

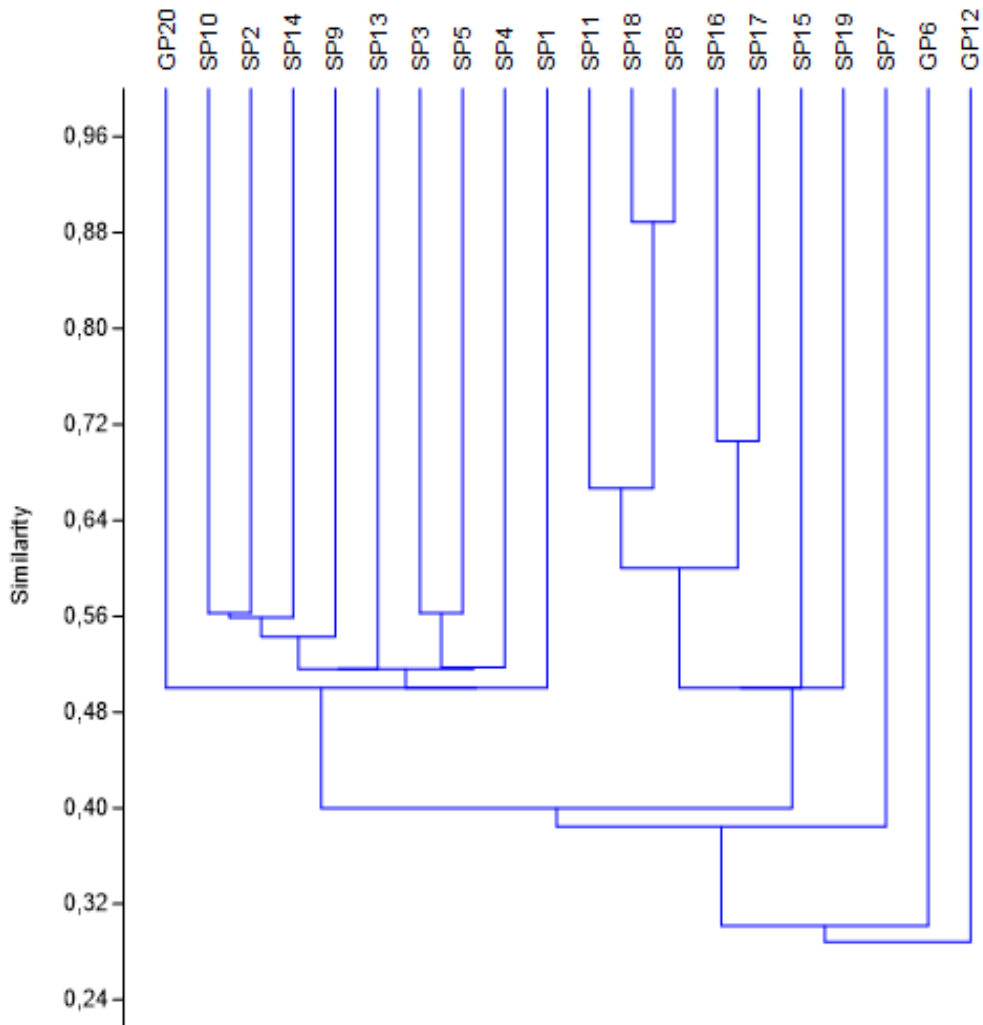


Figure 15- Similarité de Jaccard

De la figure 15 l'indice de similarité de Jaccard a montré qu'il y a une similarité moyenne de 35% entre les espèces forestières et celles inventoriées dans la savane à Manzonzi. Séparément, la ressemblance entre les relevés fluctue entre 25% à 88%.

2.3. Comparaison de la structure entre les deux formations

2.3.1. Comparaison de la structure diamétrique entre les deux formations

La figure 16 montre la répartition des espèces dans les classes de diamètre pour les deux formations de la mise en défens. La distribution de l'abondance des tiges en fonction de classe de diamètre observée dans cette figure montre une structure diamétrique en « J inversé », les classes de diamètre de la régénération sont très importantes dans la formation savanicole (10-20 et 20-30) mais les espèces forestières vont prendre le devant en terme de densité que celles de savane, il y aura l'effet inverse. En prenant la classe de dhp de 40 à 50 d'après

Lubalega et *al.*, 2017, les accroissements de 0,7 utilisés montrent que l'âge de ces individus avoisine 8 décennies et dans cette étude on a observé qu'il y a un nombre inférieur de tige que celui de Lubalega (2016), qui traduit l'action anthropique liée à la carbonisation.

L'augmentation de dhp des espèces de galerie forestière fera que les espèces de savane disparaissent, car elles sont des héliophiles et ne peuvent supporter l'ombre.

Quant à la comparaison statistique de la structure diamétrique de ces 2 formations, le test de Chi carré a montré que les deux structures diamétrique sont différentes. (X-squared=202.1, df=10, p-value< 2.2e-16).

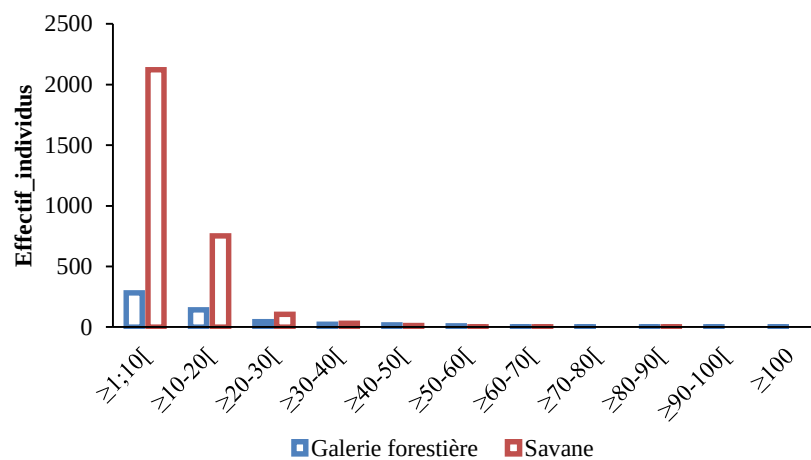


Figure 16.- Distribution diamétrique des tiges inventoriées dans les formations étudiées

La variation de la biomasse entre les parcelles de deux formations est illustrée par la figure17

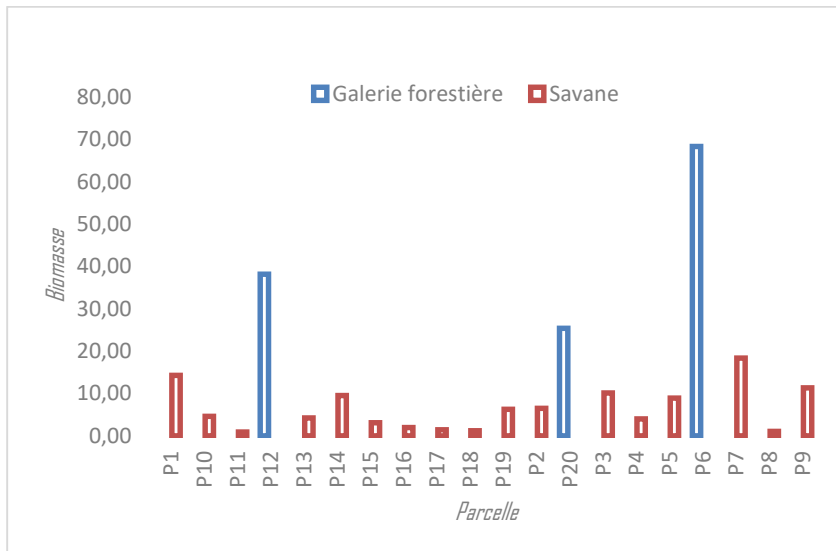


Figure17:- Variation de la biomasse dans les différentes parcelles d'études.

Il ressort de cette figure 17 que les parcelles 20,12 et 6 ont des valeurs plus élevées de la biomasse. Ces valeurs sont respectivement de l'ordre de 25,4 tonnes, 38,2 tonnes et 68,4 tonnes de biomasse.

Pour un total de carbone, la galerie forestière présente une moyenne de la biomasse proche de 67,32 tonnes/ha soit une moyenne de 33 tonnes de C/ha correspondant à (121 tonnes de CO₂ équivalent /ha séquestré). Et une moyenne de 19,6 tonnes de biomasse/ha a été estimée dans la savane soit 9,62 tonnes de C/ha correspondant à (35,27 tonnes de CO₂ équivalent /ha séquestré).

Le test t de student a été appliqué et n'a pas montré de variation importante entre les différentes parcelles qui stockent la même quantité de carbone dans les deux formations. ($t = 3.7661$, $df = 2.1988$, $p\text{-value} = 0.05497$).

La figure 18. ci-après montre la dispersion de la moyenne de stock de carbone pour chacune des formations dans la savane mise en défens de Manzonzi.

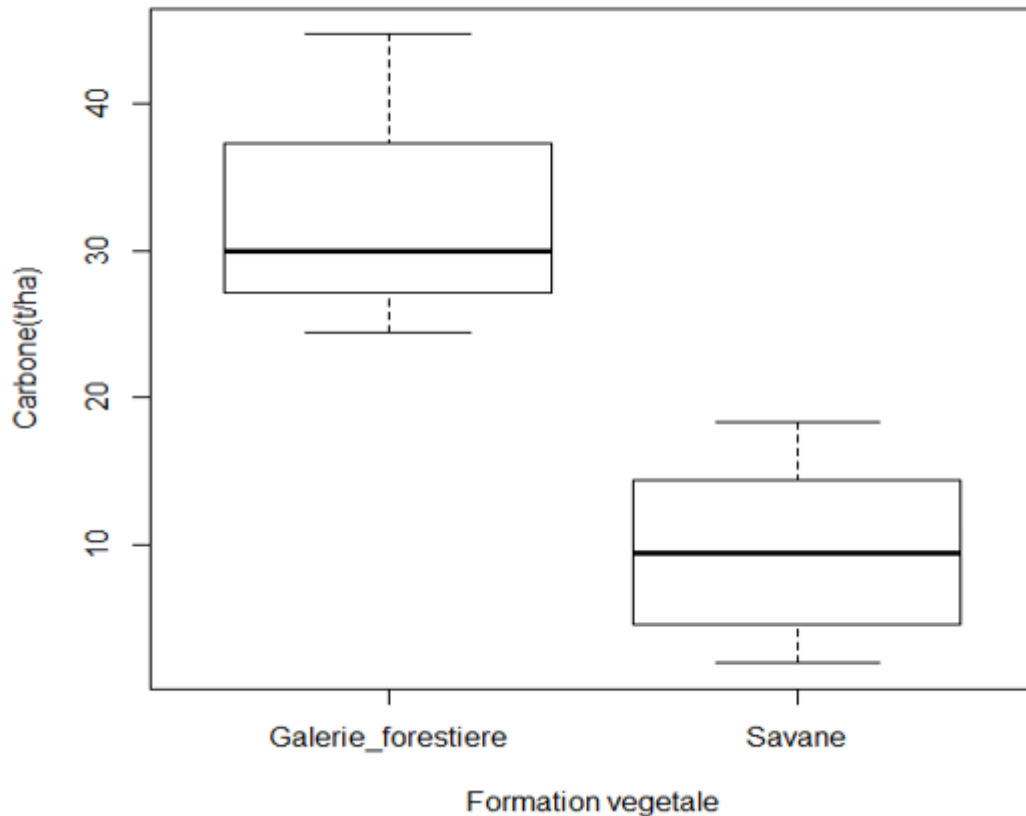
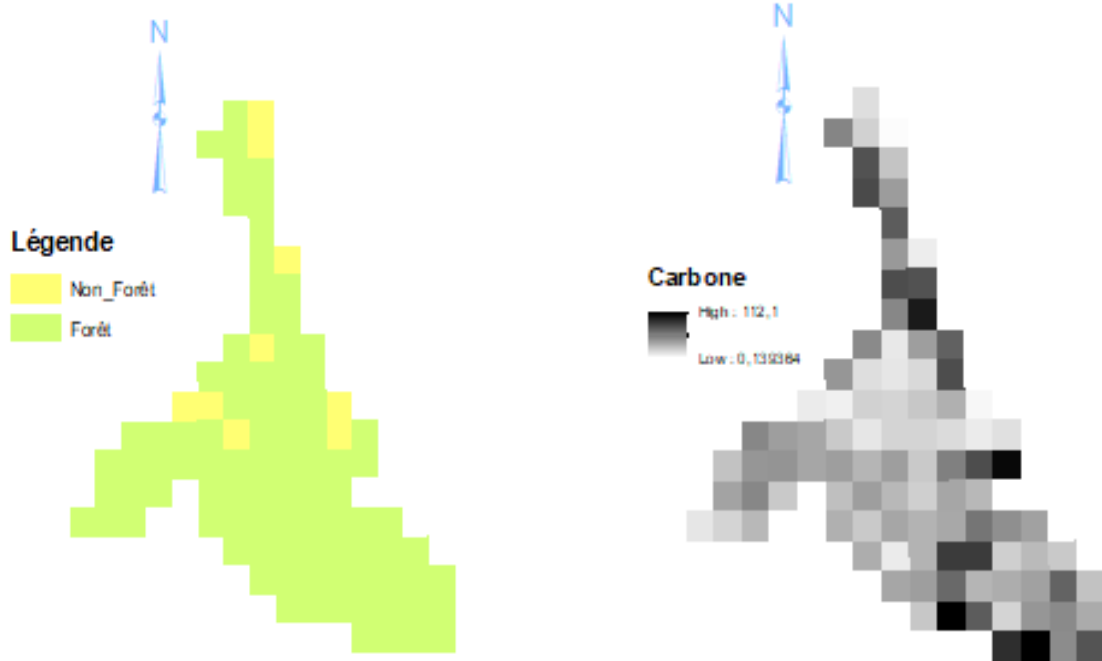


Figure 18.-Dispersion des valeurs de carbone pour chacune des formations étudiées.

La boîte représente les intervalles dans lesquels sont regroupés 50 % des valeurs de carbone, la barre épaisse à l'intérieur de la boîte indique la valeur moyenne de carbone, tandis que la barre basse et la barre haute indiquent respectivement la valeur minimale de carbone et la valeur maximale de carbone.

2.4. Comparaison des moyennes de stock de carbone issues des données de terrain (Savane mise en défens à Manzoni) et celles estimées par Télédétection LIDAR aéroporté

Pour une meilleure comparaison, nous nous sommes basés pour un premier temps sur les données disponibles issues des travaux de Liang Xu et *al.*, 2017, notamment une carte forêt/non forêt et celle de la distribution du stock de carbone associé (voir les figures19) datant de 2015, dont nous avons extrait notre zone d'étude en utilisant l'outil « ArcGIS ».



Figures19.- Les deux rasters montrent la forêt/non forêt « à gauche » datant de 2015 et celui du stock de carbone associé « A droite »

Nous avons par la suite procédé par une vérité terrain en superposant nos parcelles d'inventaires sur les deux données susmentionnées (Voir figures 20a et 20b). Pour se donner une idée du niveau de correspondance entre ce qui a été observé sur terrain et ce qui a été discriminé par Télédétection LIDAR (Combinée aux images satellitaires optiques (Landsat) et radar (Alos Palsar)), en terme de formations végétales. L'analyse a été faite à l'échelle du pixel telle que présenté ci-dessous.

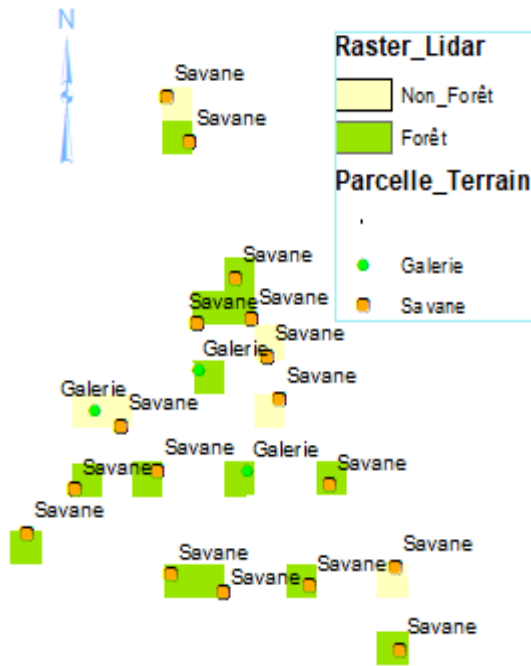


Figure 20a

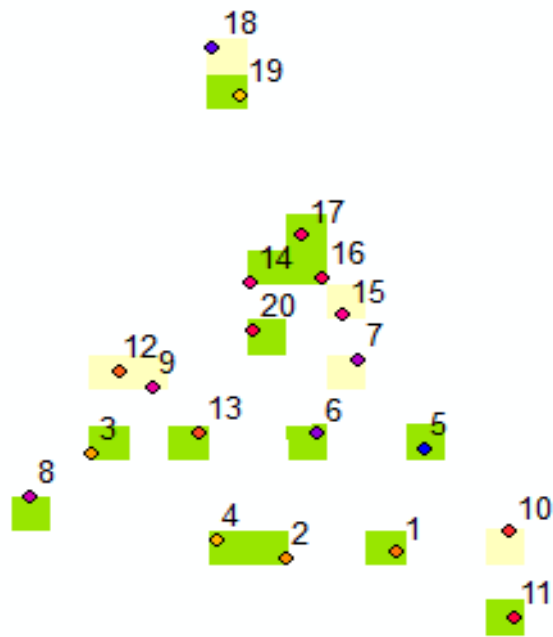


Figure 20b

Figures 20a et 20b. l'occupation du sol issue de la technologie LIDAR aéroportée superposée avec le type de formation et des parcelles de terrain

De l'analyse faite, l'observation suivante a été faite : les parcelles 6, 12 et 20 qui sont des galeries forestières tombent sur ce que la carte LIDAR discrimine effectivement comme forêt, alors que quelques autres parcelles vues comme savane sur le terrain apparaissent comme forêt sur la carte LIDAR. Ceci peut s'expliquer par le fait que toutes les estimations basées sur l'outil LiDAR ont été faites en se référant à la définition officielle des forêts de la RDC, prenant en compte notamment une superficie cartographique minimale de 0,5 ha, d'un couvert forestier > 30 % et d'une hauteur de forêt > 3 m. Or, les individus inventoriés dans la partie Nord de la savane sont effectivement des espèces typiques de la savane, mais ayant des hauteurs supérieures à 3 m.



Figure 21.- Localisation de nos parcelles de terrain telles que superposées sur les pixels de la répartition de l'occupation du sol à l'échelle de la RD. Congo issue de la technologie LIDAR.

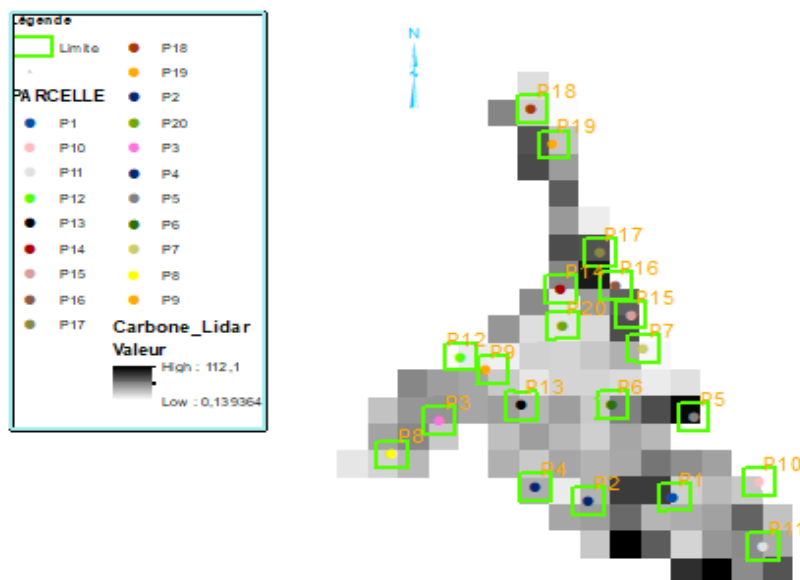


Figure 22. – Localisation des parcelles de terrain par rapport aux valeurs des pixels de la carte Carbone issue de la technologie Lidar.

Une fois cette analyse réalisée, l'outil « Zonal statistics as table » dans Arc GIS a été utilisé, le statistiques renseignant à partir de deux sources de données disponibles, à savoir

la carte Forêt/Non Forêt et la carte de carbone LiDAR, les valeurs moyennes de carbone associées. L'essentiel de ces informations est repris dans le tableau 2. ci-après:

Tableau 2.- Les valeurs de moyenne de stock de carbone en tonne/ha à Manzonzi, issue de l'extraction sur la carte de carbone de la RD. Congo

VALEUR	NOMBRE DE PIXEL	MINIMUM	MAXIMUM	MOYENNE
SAVANE	9	0,139364	17,06	12,21
FORET	91	14,8	112,1	43,73

De cette extraction, la valeur moyenne globale de carbone dans la savane est donc de 12,21 tonnes de C/ha et cette moyenne est de 43,7 tonnes/ha dans la galerie forestière relativement à l'année 2015.

CHAPITRE III. : DISCUSSION

3.1. La diversité floristique des deux formations dans la mise en défens

D'après les travaux de Parmentier et *al.*, 2007, l'indice de diversité de Fisher alpha peut avoir une moyenne comprise entre 31 et 40. Nous avons trouvés cet indice avec une valeur de 23,9 dans la galerie forestière et 12,8 dans la savane, l'écart entre nos résultats et celui de l'auteur cité ci-haut peut être expliqué suite à la situation phytogéographique et climatique. Le travail de Parmentier a été réalisé dans la zone forestière de la région de Kisangani où les conditions climatiques et pédologiques du milieu diffèrent de notre zone d'étude. Selon Bukasa (2009), la moyenne de cet indice varie entre 18,27 à 31,51 dans les écosystèmes forestiers du nord de la réserve de biosphère de Luki, ce qui n'est pas différent de notre résultat trouvé à Manzonzi.

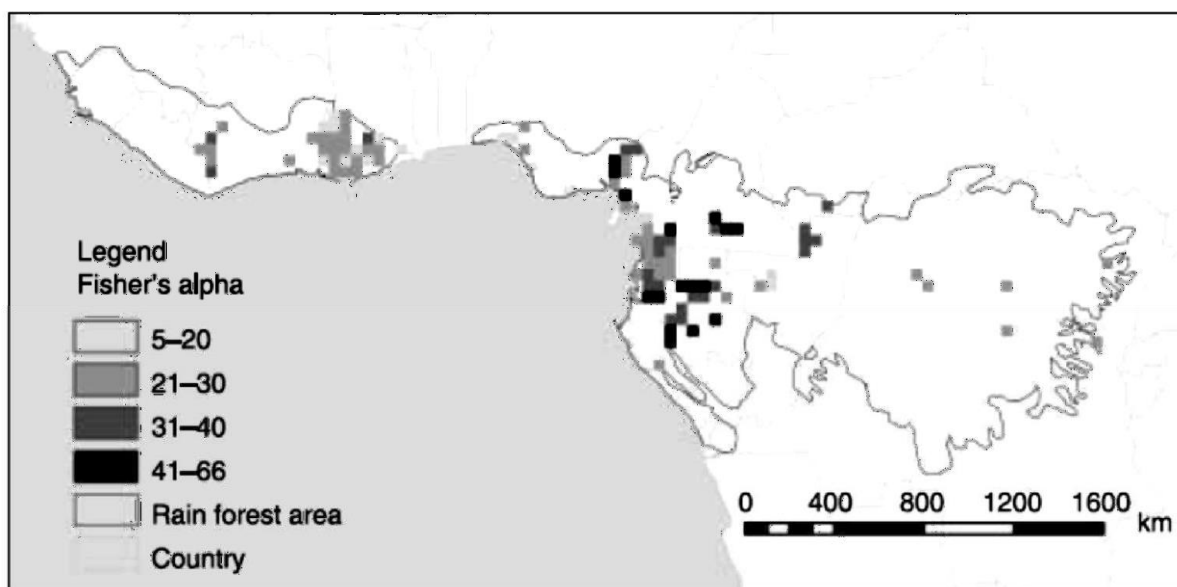


Figure 23. Variation de l'indice Fisher-alpha dans la zone des forêts denses humides d'Afrique (source : Parmentier et al., 2007).

Nous avons constaté qu'à Manzonzi les savanes mises en défens convergent vers les forêts. La reforestation est marquée par les espèces forestières d'établissement dites pionnières. Les espèces telles que celles des familles d'Annonaceae (*Xylopia aethiopica*, *Xylopia hypolampra*, *Xylopia chrysophylla*), de Meliaceae (*Markhamia sessilis*, *Carapa procera*, *Trichilia gilgiana*), le Rubiaceae (*Aidia ochroleuca*, *Corynanthe paniculata*) sont présentes dans les sous-bois de cette savane. Ces espèces sont des cicatricielles de forêt secondaire, comme témoigne le travail de Lubalega.,2016.

Ces cohortes des espèces ont des diaspores lourdes et donc elles sont incapables de se disséminer à des distances lointaines des forêts où elles sont attachées.

En Côte d'Ivoire, on a observé dans une défriche de forêt secondaire totalisant mille trois cents millimètres des précipitations par an, après quinze ans de mise en défens, les *Aidia adiantifolia*, *Sterculia tragacantha*, alors qu'après vingt ans de mise en défens avec un régime pluviométrique de mille cinq cents millimètres des précipitations par an on a observé les espèces de la formation forestière telles que *Macaranga barteri* et *Xylopia aethiopica* (Devineau, 1984). Les résultats observés dans ces différentes conditions pluviométriques ne s'en écartent pas de nos observations à Manzonzi, où on observe une pluviosité annuelle proche de valeurs de 1100 à 1200 mm. Cette pluviométrie déficitaire est complétée par l'apport hydrique du courant marin de Benguela qui arrose notre zone d'étude.

Par ailleurs, vers le Nord de la mise en défens où la galerie forestière était éloignée de nos parcelles, les espèces telles que *Hymenocardia acida*, *Maprounea africana*, *Bridelia ferruginea*, *Crotopteryx febrifuga*, *Ocna afzelii*, *Dichrostchys glomerata* qui sont les espèces typiques et caractéristiques de ces savanes, le sous-bois a été constitué de *Hyparrhenia displandra* en compétition avec *Chromolaena odorata*. Cette dernière espèce remplace le *Trema orientalis* une bioindicatrice de l'action anthropique souvent observé après trois ans de défriche en Côte d'Ivoire (Gautier, 1992). D'après Mitja (1992) les espèces *Crotopteryx febrifuga*, *Hymenocardia acida* sont des espèces de stades post-cultureux. Leur abondance en savanes en terme de densification traduit l'ambiance avant l'installation des espèces forestières colonisatrices de savanes.

3.2. La composition floristique similaire entre les deux formations

La position des parcelles d'études de nos sites dans l'AFC montre que la majorité des parcelles sont occupées par des espèces végétales similaires dont le degré d'affinité est différent. Après les analyses, globalement la savane de Manzonzi se ressemble à 35% la galerie forestière du point de vue composition floristique. Nous avons observé les familles d'Euphorbiaceae, Annonaceae, Fabaceae et Rubiaceae en première position, en terme d'abondance dans notre zone d'étude. Le résultat de notre étude n'est pas différent de celui de l'hypothèse de Lubalega, où la présence en première position de ces dernières familles dans un écosystème, reflète la présence de la forêt tropicale.

Ce chercheur a comparé la richesse et de la diversité spécifiques de deux formations végétales, îlot forestier et galerie forestière au plateau de Batéké, ses résultats ont révélés 22 familles botaniques inventoriées avec 55 espèces dans l'îlot forestier contre 27 familles et 58 espèces dans la galerie forestière. Il a obtenu quarante-trois espèces communes dans les deux formations végétales. Nous avons obtenu 96 espèces réparties en 77 genres et 35 familles dans notre site d'étude, où 49 espèces sont communes dans les deux formations végétales, 21 sont spécifiques à la savane et 26 sont retrouvés uniquement dans la galerie forestière. Et ces sont les espèces *Hymenocardia acida*, *Xylopia aethiopica*, *Albizia gumifera*, *Macaranga monandra*, *Macaranga spinosa* qui sont les plus importantes dans nos relevés de deux formations. La présence des espèces telles que *Annona senegalensis*, *Maprounea africana*, *Ocna afzeli*, *Dichrostachys glomerata* qui sont uniquement dans la savane, cela peut s'expliquer par les caractéristiques de ce milieu. Ce sont les espèces héliophiles, qui, une fois la canopée fermée par les espèces pionnières d'origine forestière sciaphyles, leur dominance dans la canopée empêchera les héliophiles d'avoir la lumière en suffisance et après un temps, ces dernières vont disparaître.

3.3. Comparaison de la structure entre les deux formations

Nous avons trouvé que la distribution de l'abondance des tiges en fonction de classe de diamètre présente une structure diamétrique en « J inversé », cela veut dire qu'en observant la distribution des individus par classe de diamètre, on trouve qu'il y a l'effectif élevé dans la classe de régénérant. Autrement dit aussi longtemps qu'on passe des classes des individus des petits diamètres à ceux des classes de gros diamètre, le nombre des individus décroît. Par conséquent, il serait nécessaire d'argumenter l'hypothèse de Rollet (1978) faisant croire que « Dans une forêt naturelle, les diamètres des arbres se conforment à une distribution exponentielle ». Le même résultat a été trouvé au plateau de Batéké par Lubalega et *al.*, 2017. Dans leur recherche, ils ont trouvé beaucoup d'individu dans la classe de dhp 40 à 50, les accroissements de 0,7cm par ans qu'ils ont utilisés, montrent que l'âge des individus de cette classe avoisine 8 décennies. Pour le cas de cette recherche dans la mise en défens de Manzonzi, l'effectif des tiges que nous avons observé dans cette classe est inférieur à celui de Lubalega et *al.*, 2017. Cette différence d'effectif peut être justifiée suite à l'action anthropique liée à la carbonisation dans notre milieu d'étude.

Par ailleurs, pour tester la quantité de biomasse aérienne dans notre étude, l'équation allométrique de Chave (2014) prenant en compte les données de diamètre, de la hauteur et de la densité de bois a été utilisée. Les résultats de cette recherche révèlent que la galerie a la moyenne de biomasse de 67,32 tonnes/ha soit une moyenne de 33 tonnes de C/ha (121 tonnes de CO₂ équivalent /ha séquestré), la savane a la moyenne de 19,6 tonnes de biomasse/ha soit 9,62 tonnes de C/ha (35,27 tonnes de CO₂ équivalent /ha séquestré). Adeito (2014) a trouvé une moyenne de carbone aérien égale à 33,9t/ha dans la forêt dégradée d'Isangi dans la province de la Tshopo.

Maloti (2012) qui a travaillé dans le même site que nous a trouvé une moyenne de 14,9 tonne de carbone par hectare. Son résultat est apparemment différent de notre pour trois raisons que nous pouvons présumer : (1) Sa recherche a eu lieu 4 ans après la mise défens, à cette période nous pouvons dire qu'il avait encore un établissement d'ambiance forestière, ce qui fait que les espèces dans la savane étaient devenues denses dans ce biotope. Nos inventaires dendrométriques datent d'il y a 11 ans après la mise en défens où sur terrain on a observé le processus de transition proche à son terme.

Les individus des espèces que Maloti a pu inventorier meurent et cèdent la place aux espèces pionnières, ces dernières majoritairement représentées par les espèces du genre *Xylopia* de la famille d'Annonaceae. Signalons que la majorité d'effectif des individus de ces espèces pionnières se retrouvait dans la classe de diamètre comprise entre « 1 à 10 » cm de dhp.



Photo 1 : À gauche le pied de jeune *xylopia aethiopica* à côté d'une *Anthocleista vogelii* à l'état critique

(2) Pour estimer la biomasse, notre prédécesseur a utilisé les équations allométriques développées par Malimbwi et al. (1994). Cette équation permet d'obtenir la biomasse des tiges

et des racines des arbres. Le résultat de carbone obtenu dans ce travail est le fruit de l'équation allométrique de Chave (2014), cette équation n'intègre pas la biomasse racinaire des arbres.

(3) Nous avons observé des traces de la carbonisation dans la mise en défens surtout dans la partie sud où la forêt se reconstitue.



Photos 2 : Les empreintes de la carbonisation dans la mise en défens de Manzonzi

La combinaison de tous ces paramètres pourrait avoir un effet négatif sur le stock de carbone épigé.

3.4. Comparaison des moyennes de stock de carbone issues des données de terrain (Savane mise en défens à Manzonzi) à celles estimées par Télédétection LIDAR aéroporté

Après les analyses approfondies telles que présentées sur les figures 17 et 18 plus haut, certaines de nos parcelles d'inventaire sur terrain à l'occurrence les parcelles 6, 12 et 20 situées dans des galeries forestières coïncidaient effectivement avec celles que la carte LiDAR discrimine comme forêt, alors que quelques autres parcelles vues comme savane sur le terrain apparaissent comme forêt sur la carte LiDAR.

Ceci peut s'expliquer par le fait que toutes les estimations basées sur la technologie LiDAR ont été faites en se référant à la définition officielle des forêts de la RDC, qui prend en compte notamment une superficie cartographique minimale de 0,5 ha, d'un couvert forestier > 30 % et d'une hauteur de forêt > 3 m (Arrêté Ministériel n°5094/CAB/MIN/ECN-T/JEB/08 du 22 octobre 2008). De ce fait, les superficies beaucoup plus importantes de savane boisée ont été classées en forêts à l'échelle du pays. Or, sur le terrain notre discrimination des formations végétales était basée sur un recouvrement de la couverture de la canopée et de sous-bois d'une part, et d'autre part sur la densité des espèces abondantes mais également de la hauteur des arbres selon la FAO (2010).

Les individus qui ont été inventoriés dans la partie Nord de la savane sont effectivement des espèces typiques de la savane, alors qu'ils avaient déjà des hauteurs supérieures à 3 m, d'où le Lidar les correspondait à la forêt.

Signalons que partout où la technologie Lidar a révélé la savane, ces endroits sont vraiment savane dans nos observations du terrain, ce sont les espèces particulières telles que *Maprounea africana*, *Crotopteryx febrifuga*, *Annona senegalensis*, *Bridelia ferruginea*, *Dichrostachys glomerata* et un peu des espèces de *Psorospermum fibrifugum*. Ces espèces sont caractéristique de savane de Bas-Congo et dépassent difficilement les 5m de hauteur. Dans ces endroits, les individus de ces dernières espèces sont épars et forment un tapis continu de poaceae à *Hyparrhennia displandra* dans le sous-bois.



Photo 3. Formation savanicole de la mise en défens de Manzonzi

En procédant par l'extraction des valeurs moyenne de stock de carbone à partir de la carte de carbone LIDAR, la valeur moyenne globale de carbone (estimation faite à partir de la biomasse aérienne et la biomasse souterraine) dans la savane est de 12.21 tonnes de C/ha et cette moyenne est de 43,7 tonnes/ha dans la galerie forestière relativement à l'année 2015. Les moyennes de stock de carbone épigé dans ce travail sont de 9,6 tonnes/hectare dans la savane et 33 tonnes/hectare de carbone dans la galerie forestière. Pour mieux comparer les résultats de ceux basés sur la technologie LIDAR, il était indispensable d'aligner notre méthodologie d'estimation à celle utilisée en ayant recours à la technologie LiDAR par la prise en compte dans nos calculs de la biomasse souterraine, se référant aux travaux de (Mokani et *al.*, 2006), où les quotients racinaires dans les différents types des formations végétales étaient appliqués pour trouver la biomasse souterraine.

En ajoutant les quotients selon chaque catégorie des formations, la valeur moyenne dans la savane a été réévaluée à 11,5 tonnes de C/ha et celle de la galerie forestière à 45,2 tonnes de C/ha.

Par conséquent et de manière globale, après ces ajustements, les estimations de carbone calculées à partir de nos données de terrain (collectées en 2019), ne s'écartent pas de celles obtenues par Télédétection LiDAR à partir des données de 2015 dans le cadre du projet Carbon Map and Model de WWF. Donc en comparant les estimations sur ces deux dates, année 2015 et 2019, nous observons d'après nos résultats, une diminution de 0,71 tonnes de C/ha en moyenne dans la formation savanicole, ce qui vaut une moyenne de 1 448,97Kg/ha en terme de biomasse perdue en 4 années. Par contre dans la galerie forestière, nous avons observé une augmentation de 1,5 tonnes de C/ha en moyenne, ce qui équivaut à une augmentation de 3061,2 Kg de biomasse/ha en moyenne.

Excluant les raisons évoquées ci-haut, nous signalons également l'exploitation non durable notamment de l'espèce ciblée de *Xylopia aethiopica* dont les fruits sont commercialisés par les acheteurs venant de Kinshasa, les fruits de *xylopia aethiopica* sont utilisés comme produits condimentaux de la cuisine, ces commerçant achètent à 500 Francs Congolais le gobelet de ce fruit les enfants à l'âge scolaire et le vieux du village riverain n'ont pas la force de grimper pour se servir des fruits, ils coupent les individus de cette espèce qui portent les fruits (source : CLD,2019).

Rappelons que l'espèce *Xylopia aethiopica* est parmi les leaders en terme de surface terrière et de la densité dans la galerie forestière de Manzonzi, notamment c'est elle qui recolonise en première place la savane. En terme d'importance (Confère figure10), elle vient en deuxième position après *Hymenocardia acida* du point de vu importance dans la mise en défens.



Photo4 : Fruit de *Xylopia aethiopica*



Photo5 : Le pied coupé de *Xylopia aethiopica*

CHAPITRE IV : CONCLUSION ET SUGGESTION

L'objectif global de ce travail était celui de déterminer la diversité végétale, la variabilité structurale et ainsi que d'estimer le stock de carbone épigé dans la savane mise en défens de Manzonzi, au Kongo centrale, RD Congo. La méthode d'échantillonnage aléatoire a été utilisée pour la collecte des données floristiques.

Les indices de diversité floristique ont facilité la comparaison de la diversité entre les deux formations, l'indice de Fisher Alpha a permis de voir la diversité à l'échelle de la parcelle d'étude. L'équation allométrique de Chave 2014 nous a permis d'estimer le stock de carbone épigé et l'indice de similarité de Jaccard nous a facilité d'évaluer les affinités floristiques dans les parcelles de notre site d'étude. En moyenne nous avons inventorié 20,2 espèces par hectare dans la savane et 35,6 espèces par hectare en moyenne dans la galerie forestière. Alors que dans l'ensemble des formations végétales à l'intérieur de la savane mise en défens nous avons obtenu un total de 96 espèces, 77 genres et 35 familles.

Les résultats obtenus après les analyses ont montré que les deux formations sont diversifiées différemment (Valeur de Fisher alpha 23,92 dans la galerie forestière et 12,3 dans la savane). Ce résultat permet d'affirmer l'hypothèse première selon laquelle « les formations végétales dans la savane mise en défens de la région de Luki sont diversifiées différemment ».

Après les analyses sur la similarité floristique, les résultats ont montré que la valeur de la similarité est en moyenne de 35% entre les espèces de deux formations végétales inventoriées (Galerie forestière et savane). Alors qu'individuellement la ressemblance entre les relevés de deux formations végétales fluctue entre 25% à 88%, ce qui permet d'affirmer l'hypothèse deuxième qui stipule que les deux formations ont des similarités floristiques.

Les résultats issus des estimations de stock de carbone épigé ont révélé que la galerie forestière a stocké plus le carbone que la savane. En comparant le stock de carbone de 2015 obtenu suite à la technologie LiDAR aéroporté et celui de 2019 issu de l'inventaire du terrain, les résultats obtenus ont montré qu'il y a diminution de la valeur moyenne de 0,71 tonnes de C/ha dans la savane, soit une perte de biomasse moyenne de 1448,97 Kg/ha dans 4 ans, équivaut à une diminution moyenne annuelle de biomasse égale à 362,2425 Kg/ha. De 2015 à

2019 le stock de carbone a augmenté d'une valeur moyenne de 1,5 tonnes de C/ha dans la galerie forestière. Ces résultats permettent d'affirmer l'hypothèse troisième selon laquelle « La nouvelle technologie Lidar pourrait apporter le résultat semblable à celui réalisé par l'inventaire de terrain ».

La mise en défens au feu de la savane à Manzoni a favorisé la reforestation. Malgré cette défense au feu, la population exerce les pressions liées à la carbonisation, à la chasse et à l'utilisation non durable de ressource floristique sélectionnée de l'espèce *Xylopia aethiopica*. Ces pressions se sont traduites par la diminution de stock de carbone dans la formation savannicole, cette dernière formation est victime des actions anthropiques à cause de sa facilité d'atteindre les ressources.

Lors de notre descente sur terrain, nous avons remarqué qu'en général la végétation de ce site ne connaît pas encore de fortes perturbations et la présence des traces de grande faune était fréquente. Il n'y a aucune garantie que cette savane pourra rester floristiquement intacte, des actions anthropiques dévastatrices étant toujours possibles, nous suggérons donc ce qui suit :

- Que les études sur la dynamique paysagère soient menées dans ce site d'étude pour pouvoir quantifier le changement des classes d'occupation du sol entre 2008 et 2019
- Que des recherches très poussées sur la caractérisation de la faune soient menées dans cette savane car celle-ci regorge de traces fauniques particulières.
- Que les études mettant en relation la végétation et la pédologie soient menées dans ce site pour compléter cette étude et contribuer à l'éclaircissement de la prise des décisions sur l'aménagement de la savane mise en défens de Manzoni.

REFERENCE

- Adou Yao, C.Y., Denguéadé, K.T.S., Kouamé, D. & N'Guessan, K.E., 2007. Diversité et distribution des ligneux dans le Sud du Parc National de Taï (PNT), Côte d'Ivoire. *Agronomie Africaine*, n°19 (2) 113-122 pp.
- Aguilaret, Lindenmayer, 2006. Aguilar R., Ashworth L., Galetto L. & Aizen M.A., 2006. Plant reproductive susceptibility to habitat fragmentation: review and synthesis through a meta- analysis. *Ecol. Lett.*, 9(8), 968-980.
- Amani, I.A.C., 2011. Vegetation patterns and role of substrate heterogeneity on plant communities in semi-deciduous forests from the Congo basin. Thesis, Brussels Libra University, Belgium, 215 p.
- Asner, G.P., Hughes, R.F., Varga, T.A., Knapp, D.E. & Kennedy-Bowdoin, T., 2009. Environmental and Biotic Controls over Aboveground Biomass Throughout a Tropical Rain Forest. *Ecosystems* 12, 261–278 pp.
- Barthes, B., 1991a. Influence des caractères pédologiques sur la répartition spatiale de deux espèces du genre *Eperua* (Caesalpinaceae) en forêt guyanaise. *Revue d'Ecologie (la Terre et la Vie)* 46 (4) : 303-320 pp.
- B. Bokota. Impact des activités anthropiques sur les ressources forestières de l'axe LUBUTU (cas de 8 à 70 Km). Rapport de Stage présenté et défendu dans le cadre de formation professionnelle en aménagement durable et gestion des terroirs, 2013.
- Bogaert J., Ceulemans R. & Salvador-Van Eysenrode D., 2004. Decision tree algorithm for detection of spatial processes in landscape transformation. *Environ. Manage.*, 33(1), 6273.
- Boyemba, B.F., 2011. Ecologie de *Pericopsis elata* (Harms) Van Meeuwen (Fabaceae), arbre de forêt tropicale africaine à répartition agrégée. Thèse de doctorat, Université Libre de Bruxelles, Bruxelles, 212 p.
- Bukasa, 2009. Analyse de la diversité des ligneux arborescents des principaux types forestiers du nord de la réserve de biosphère de Luki(RDC). Mémoire de Master, Unikis, RDCongo, 56p
- C. Croizer. Nos forêts notre avenir. Magazine de la coopération belge en République Démocratique du Congo, 2007.
- Chave, 2014. Improved allometric models to estimate the above ground biomass of tropical trees : *Global Change Biology* (2014) 20, 3177–3190, doi : 10.1111/gcb.12629
- Clarissa C. et all., 2012. Le Ralentissement du taux de Déforestation en Amazonie : Brésilienne : dû aux Prix ou aux Politiques?7p

- Clark, D.B., Clark, D.A. & Read, J.M. 1998. Edaphic variation and the mesoscale distribution of tree species in a neotropical rain forest. *Journal of Ecology* 86: 101-112 pp.
- Cochrane M.A., 2003. Fire science for rainforests. *Nature*, 421(6926), 913-919. RD. Congo).
Mémoire de D.E.S, Fac. des sciences, Unikis, 60p.
- Crist, Thomas, O., Joseph, A. Veech, Jon, C. Gering, and Keith, S. Summerville., 2003. Partitioning species diversity across landscapes and regions: a hierarchical analysis of α , β , and γ diversity. *The American Naturalist* 162, no. 6 (2003): 734–743.
- C.S. Katembera, J.F. Mikwa, M.A. Cirhuza, V. Gond, B.F. Boyemba. Identification des moteurs de déforestation dans la région d'Isangi, République Démocratique du Congo. *Bois et Forêts des Tropiques* Vol. 324, no. 2, pp. 29-38, 2015.
- Defourny J.-P., Delhage C., Kibambe Lubamba J.-P., 2011. Analyse quantitative des causes de la déforestation et de la dégradation des forêts en République Démocratique du Congo. Rapport. FAO, Kinshasa, République Démocratique du Congo.
- DONIS C., (1948a) : Essai d'économie forestière au Mayombe. Publications de l'INEAC, série scientifique, 37, Bruxelles, 92p.
- Doucet J-L., 2003. L'Alliance délicate de la gestion et de la biodiversité dans les forêts du Gabon. Thèse de doctorat, Faculté Universitaire des Sciences Agronomiques Gembloux, 323 p + Annexes.
- Elizabeth Kearsley, Pieter Cj Moonen, Koen Hufkens, Sebastian Doetterl, Janvier Lisingo, et al. Model performance of tree height-diameter relationships in the central Congo Basin. *Annals of Forest Science*, Springer Verlag/EDP Sciences, 2017, 74 (1), pp.7. 10.1007/s13595-016-0611-0. hal-01702518
- E. Okangola, E. Solomo, Y. Lituka, W.B. Tchatchambe, M. Mate, A. Upoki, A. Dudu, J.A. Asimonyio, P.T. Mpiana, K.N. Ngbolua. Etude ethnobotanique et floristique de quelques plantes hôtes des chenilles comestibles à usage médicinal dans le secteur de Bakumu-Mangongo (Territoire d'Ubundu, Province de la Tshopo, RD Congo). *International Journal of Innovation and Scientific Research* Vol. 26, no. 1, pp. 161-168, 2016.
- FAO, 2007. Inventaire forestier national du Congo : manuel de terrain, Brazzaville, Département des Forêts, CNIAC, 78 p.

- Fahrig L., 2003. Effets of habitat fragmentation on biodiversity. *Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.*, 34, 487-515.
- Farella, N. 2005. « Les fermes des régions frontières d'Amazonie brésilienne : relations entre les origines familiales, les pratiques agricoles, les impacts sur les sols et le déboisement ». Thèse de doctorat en sciences de l'environnement, Montréal, Université du Québec à Montréal, 185 p.
- Fayolle, A., Doucet, J-L, Gillet, J-F, Bourland, N. & Lejeune, P. 2013. Tree allometry in Central Africa : Testing the validity of pantropical multi-species allometric equations for estimating biomass and carbon stocks. *Forest Ecology and Management* 305, 29–37 pp.
- GIEC, 2007 : Bilan 2007 des changements climatiques. Contribution des Groupes de travail I, II et III au quatrième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat [Équipe de rédaction principale, Pachauri R.K., et Reisinger A., (publié sous la direction de~)]. GIEC, Genève, Suisse, 103 pp.
- Gourlet, F.S., Rosssi, V., Maxime, R-M, Freycon, V., Fayolle, A., Laurent, S-A, Cornu, G., Gérard, J., Sarrailh, J-M, Flores, O., Bayemba, F., Billand, A., Fauvet, N., Gally, M., Henry, M., Hubert, D., Pasquier, A. & Picard, N., 2011. Environmental filtering of densewooded species controls above-ground biomass stored in African moist forests, *Journal of Ecology* 2011, 99, 981–990 pp.
- Gleason, H. A. & Cronquist, A., 1964. The natural geography of plants. Columbia University Press, New York, New York.
- Issa, M.B., 2006. Problématique de la gestion durable des ressources naturelles et du développement agricole en Afrique de l'Ouest. In: J.S. Zoundi, I. Butare, J. Ndikumana et K. Adomefa (Eds), *Intégration agriculture –Elevage : Alternative pour une gestion durable des ressources naturelles et une amélioration de l'économie familiale en Afrique de l'Ouest et du Centre*. Ouagadougou : INERA, Nairobi : ILRI, Dakar: CORAF /WECARD, 7-22.
- (Jean LEJOL., Jan BOGAER., Issouf BAMBA et all., 2009). Effet des actions anthropiques sur la dynamique spatio-temporelle de l'occupation du sol d'un paysage rural dans la province du Bas-Congo
- KAPA, B., NKIAMA, M., MALELE M., et RITVISAY, M., 1987. *Aménagement de la réserve biosphérique de la Luki*. SPIAF, 67 p.
- Karsenty. A., 1999 Vers la fin de l'Etat forestier ? Appropriation des espaces et partage de la rente forestière au Cameroun, www.politique-africaine.com/numero/pdf/075147.pdf.
- Laurence et al., 1997 ; Hennenbrtg et al., 2008 in Bogaert J., Ceulemans R. & SalvadorVan Eysenrode D., 2004. Decision tree algorithm for detection of spatial processes in

- landscape transformation. *Environ. Manage.*, 33(1), 6273. Halpern C.B., 2007. Edge-relate gradients in microclimate in forest aggregate following structural retention harvests in western Washington. *For. Ecol. Manage.*, 248(3), 163-173.
- Leigh, E.G. & Loo De Lao, S., 2000. Fisher's Alpha : measuring tree diversity. Center for Tropical Forest Science, 7-12 pp.
- Letouzey J., Wannesson J. et Cherchi A.; 1982: Apport de la microtectonique au probleme de la rotation du bloc corso-sarde. *C.R. Acad. Sci., Paris*, 294, 595-602.
- Liang Xu et all., 2017. High Resolution Carbon Distribution in forest of Democratic of Congo. 62p
- Lisingo J., 2016. Organisation spatiale de la diversité spécifique d'arbres en forêt tropicale dans le bassin du nord-Est de la cuvette centrale Congolaise. Thèse de doctorat, Université de Kisangani, RD. Congo, 170p.
- Lubalega, T.K., Lubini, C., Ruel, J.C., Khasa, D.P., Ndembo, J., Lejoly, J. .2016. Structure et composition floristique des savanes arbustives en système préservé du feu à Ibi, plateau des Bateke, en République Démocratique du Congo. En préparation pour soumission la revue scientifique internationale 'Écologie : Terre et vie.
- Lubalega T.K., Lubini C., Ruel J.C., Khasa D.P., Ndembo J. & Lejoly J., 2017. Le patron de la régénération naturelle et assistée en système préservé du feu dans les savanes. *VertigO*, in press.
- Lubalega T.K. & Mananga P.M., 2018. Évaluation de la biodiversité spécifique ligneuse des cultures agricoles sous couvert arboré à Patu, dans le Mayombe, en République Démocratique du Congo (RDC), *CongoSciences*, 6 (2), 1-8.
- Lubini A. 1997. Les ressources phytogénétiques des savanes du Zaïre méridional. Actes du colloque « Gestion des ressources génétiques des plantes en Afrique des savanes 24-28 février 1997, Bamako-Mali.
- Lubini A., 2003. Ressources des forêts secondaires en Afrique centrale et occidentale francophone. Actes atelier régional FAO/IUCN sur la gestion des forêts tropicales. Douala, Cameroun, 17 – 21 novembre 2003
- Maloti, M.S., 2012. Effets de la mise en défens des savanes soumises au régime des feux sur la composition et la structure de leur végétation : cas de la savane de Manzonzi (Bas Congo). Mémoire de DESS, ERAIF/Unikin, 69p., Univ.
- Maldague, M., 2003. Traité de gestion de l'environnement tropical. Tome II : Aménagement intégré des territoires tropicaux. Analyse systémique appliquée à l'aménagement et à la gestion intégrée du territoire et des établissements humains. École régionale post-universitaire d'aménagement et de gestion intégrés des forêts et territoires tropicaux (ÉRAIFT), Université de Kinshasa, Kinshasa, République démocratique du Congo.

- MALIMBWI, R.E., SOLBERG, B. & LUOGA, E. (1994) : *Estimation of biomass and volume in miombo woodland at Kitulungalo Forest Reserve, Tanzania*. Journal of Tropical Forest Science 7(2), pp230-242.
- Makana, J-R, Hart, T.B., Liengola, I, Ewango, C, Hart, J.A & Condit, R., 2004. Ituri forest dynamics plot, Democratic Republic of Congo. In: Losos EC, Leigh Jr EG (eds) Forest diversity and dynamism: findings from a large-scale plot network. University of Chicago Press, Chicago, 492–505 pp.
- Makana, J., Umunay, P., Ewango, C., Jeffer, S., 2008. Inventaire floristique et estimation de stock de carbone sur pieds dans les forêts primaires et secondaires du Parc National de la Salonga et ses environs, 34 p.
- Magurran, A. E., 2004. Measuring biological diversity. Princeten University Press. 215p.
- Marcon, E., 2013. Mesures de la Biodiversité.
- Mate, M. J-P., 2001. Croissance, phytomasse et minéralomasse des haies des légumineuses améliorantes en cultures en allées à Kisangani (R.D. Congo). Thèse de doctorat. Université Libre de Bruxelles, Bruxelles, Belgique.
- MECNT, 2010 Plan de préparation à la REDD 2010-2012, R-PP draft v.2, Février, puis R-PP v3.1 version finale.
- Ndjele, M.B., 1988. Les éléments phytogéographiques endémiques dans la flore vasculaire du Zaïre. Thèse de doctorat inédite, Univ. Libre Brux., Lab. Bot. Syst. Phytosoc: 528 p.
- Nshimba, S. M., 2008. Etude floristique, écologique et phytosociologique des forêts de l'île Mbîye à Kisangani, R.D.Congo. Thèse de doctorat, ULB. 271p.
- Olson D. M., Dinerstein E., Wikramanayake E.D., Burgess N.D., Powell G.V.N., Underwood Ec.C., D'amico J.-A., Itoua I., Strand H.E., Morrison J.C., Loucks C.J., Allnutt T.F., Ricketts T.H., Kura Y., Lamoreux J.F., Wettengel W.W., Hedao P. et Kassem K.R., 2001. Terrestrial Ecoregions of the World : A New Map of Life on Earth. BioScience, vol. 51, p. 933-938.
- OSFAC, 2010. Forêts d'Afrique centrale évaluées par télédétection FACET. Étendue et perte du couvert forestier en République démocratique du Congo de 2000 à 2010.
- Publié par l'Université d'État du Dakota du Sud, Brookings, Dakota du Sud, États-Unis d'Amérique. ISBN : 978-0-9797182-5- 0. Site web : <http://osfac.net>
- Parmentier, I., 2004. Etude de la végétation des inselbergs de la forêt dense d'Afrique centrale atlantique. Thèse de doctorat, Université Libre de Bruxelles, Bruxelles, 145 p.
- Pieter Mooney et all., 2017. Identification des moteurs de déforestation et incidence socio environnementale dans une économie du marché à l'hinterland de la ville de

Kisangani (Province de la Tshopo) en République Démocratique du Congo : Effets & stratégies. International Journal of Innovation and Scientific Research ISSN 2351-8014 Vol. 33 No. 2 Nov. 2017, pp. 186-197 © 2017 Innovative Space of Scientific Research Journals <http://www.ijisr.issr-journals.org/>

- Picard, N. & Gourlet-Fleury, S., 2008. Manuel de référence pour l'installation de dispositifs permanents en forêt de production dans le Bassin du Congo. CIRAD, Département Environnements et Sociétés, UPR Dynamique des forêts naturelles, Montpellier, France, 265 p.
- Proctor, J., Anderson, J.M., Chai, P. & Vallack, H.W., 1983. Ecological studies in four contrasting lowland rain forests in Gunung Mulu National Park, Sarawak. I. Forest environment, structure and floristics. *Journal of Ecology*, 71, 237–260 pp.
- Pyke, C.R., Condit, R., Aguilar, S. & Lao, S., 2001. Floristic composition across a climatic gradient in a neotropical lowland forest, *J. Veg. Sci.* 12, 553–566 pp.
- Quentin, M., 2012. Estimation de biomasse en forêt tropicale humide (Guyane Française). Thèse inédite. Fac. Sciences exactes et Naturelles. UAG. 184 p.
- QUINIF Y (1986) : *Genèse des karts à tours en pays intertropicaux l'exemple du Bas - Zaïre*. Annale de la société géologique de Belgique, T 109, pp 515- 527.
- Scholes R J & Hall D, 1996. The carbon budget of tropical savannas, woodlands and grasslands. Global change, effects on coniferous forest and grasslands. SCOPE (ed. by A.I. Breymeyer, I.D. Hall, J.M. Melillo and G.I. Agren), pp 69-100. John Wiley, New York.
- SYS C. (1960) : Carte des sols et de la végétation du Congo belge et du Ruanda-Urundi, notice explicative de la carte des sols du Congo belge et du Ruanda-Urundi. Publications de l'institut national pour l'étude agronomique du Congo belge (i.n.e.a.c.), A. R. du 22-12-33 et du 21-12-39, Bruxelles, 96 p.
- Trefon T., Hendricks T., Kabuyaya N. et Ngoy B., 2010 L'économie politique de la filière du charbon de bois à Kinshasa et à Lubumbashi : appui stratégique à la reconstruction post conflit en RDC. Institute of Development Policy and Management, Anvers, Belgique.
- Trochain J.-L., 1957. Accord interafricain sur la définition des types de végétation de L'Afrique Tropicale. *Bull. Inst. Études Centrafr.*, 13-14, 55-93
- Rollet, B., 1978. Description, functioning and evolution of tropical forest ecosystems. 5. Organization. In: *Tropical forest ecosystems*. UNESCO (Eds), Paris, pp 112-142 pp.
- Ramade F., 2008. Dictionnaire encyclopédique des sciences de la nature et de la biodiversité. Dunod, Paris. 726p.

ANNEXE

Tableau 3. Le cortège floristique dans la mise en défens de Manzonzi

Espèce	Effectif
<i>Adansonia digitata</i>	1
<i>Afzelia bella</i>	1
<i>Aidia ochroleuca</i>	4
<i>Albizia adianthifolia</i>	1
<i>Albizia ferruginea</i>	37
<i>Albizia gummifera</i> var. <i>ealensis</i>	208
<i>Albizia lebbeck</i>	8
<i>Amphymas pterocarpoides</i>	1
<i>Annona senegalensis</i>	29
<i>Anthocleista vogelii</i>	110
<i>Antiaris toxitaria</i>	3
<i>Antrocaryon nannanii</i>	1
<i>Barteria nigritana</i>	6
<i>Berlinia grandiflora</i>	2
<i>Blighia unijugata</i>	2
<i>Blighia welwitschii</i>	1
<i>Bridelia ferruginea</i>	208
<i>Carapa procera</i>	6
<i>Ceiba pentandra</i>	1
<i>Chrysophyllum africana</i> (Gambeya)	13
<i>Corynanthe paniculata</i>	24
<i>Crossopteryx febrifuga</i>	109
<i>Croton oxypetalum</i>	8
<i>Croton sylvaticus</i>	12
<i>Dacryodes buettneri</i>	12
<i>Deinbollia acuminata</i>	8
<i>Dialium pachyphyllum</i>	9
<i>Dialium tessmannii</i>	1
<i>Dichrostachys cinerea</i> (glomerata)	60
<i>Diospyros bipindensis</i>	1
<i>Diospyros</i> sp	1
<i>Diospyros undabunda</i>	2
<i>Dracaena mannii</i>	3
<i>Eriocoelum microspermum</i>	3
<i>Ficus mucuso</i>	2
<i>Ficus recurvata</i>	5
<i>Funtumia africana</i> (latifolia)	11
<i>Ganophyllum giganteum</i>	8

<i>Grumilea carbrae</i>	1
<i>Hannoa klaineana</i>	5
<i>Harungana madagascariensis</i>	28
<i>Heinsia pulchra</i>	23
<i>Heinsia sp</i>	2
<i>Hylodendron gabunensis</i>	16
<i>Hymenocardia acida</i>	621
<i>Hymenocardia ulmoides</i>	34
<i>Inconnue</i>	2
<i>Isolana dewevrei</i>	1
<i>Lannea anticorbis</i>	121
<i>Lannea welwitschii</i>	10
<i>Macaranga monandra</i>	183
<i>Macaranga spinosa</i>	194
<i>Maesopsis eminii</i>	4
<i>Mangifera indica</i>	2
<i>Maprounea africana</i>	120
<i>Maranthes glabra (Parinari glabra)</i>	8
<i>Markhamia sessilis</i>	30
<i>Microdesmis peberula</i>	3
<i>Millettia eetveldeana</i>	1
<i>Millettia versicolor</i>	77
<i>Monodora angolensis</i>	6
<i>Morinda lucida</i>	3
<i>Musanga cecropioides</i>	11
<i>Myrianthus arboreus</i>	1
<i>Nesogordonia dewevrei</i>	1
<i>Ochna afzelii</i>	4
<i>Oncoba welwitschii</i>	90
<i>Oxyanthus unilocularis</i>	151
<i>Paropsia guineensis</i>	1
<i>Piptadeniastrum africanum</i>	12
<i>Prioria basalmifera</i>	1
<i>Pseudospondias longifolia</i>	6
<i>Pseudospondias microcarpa</i>	33
<i>Psorospermum febrifugum</i>	6
<i>Psydrax oddonii (Canthium oddonii)</i>	35
<i>Pteleopsis hylodendron</i>	22
<i>Pycnanthus angolensis</i>	13
<i>Ricinodendron heudelotii</i>	3
<i>Sarcocephalus latifolius (Nauclea latifolia)</i>	43
<i>Sorindeia mayumbensis</i>	26
<i>Sterculia tragacantha</i>	8
<i>symphonia globulifera</i>	16
<i>Tapura lujae</i>	1

<i>Terminalia superba</i>	1
<i>Tetrorchidium didymostemon</i>	32
<i>Tricalysia africana</i>	1
<i>Trichilia gilgiana</i>	21
<i>Trichilia prieuriana</i>	2
<i>Trilepisium madagascariense</i>	1
<i>Vernonia conferta</i>	17
<i>Vitex madiensis</i>	2
<i>xylopi aethiopica</i>	439
<i>Xylopi chrysophylla</i>	17
<i>Xylopi hypolampra</i>	100
<i>Zanthoxylum gillettii</i>	18
<i>Zanthoxylum Kivuensis</i>	1

Tableau 4. Les différentes familles dans la mise en défens de Manzonzi

Famille	Effectif
Agavaceae	3
Anacardiaceae	199
Annonaceae	592
Apocynaceae	11
Asteraceae	17
Bignoniaceae	30
Bombacaceae	2
Burceraceae	12
Cecropiaceae	12
Chrysobalanaceae	8
Clusiaceae	16
Combretaceae	23
Dichapetalaceae	1
Ebenaceae	4
Euphorbiaceae	1418
Fabaceae	435
Flacourtiaceae	90
Hypericaceae	28
Hypericaceae(clusiaceae)	6
Loganiaceae	110
Meliaceae	27
Meliaceaea	2
Moraceae	11
Myristicaceae	13
Ochnaceae	4
Passifloraceae	7
Rhamnaceae	4
Rubiaceae	396
Rutaceae	19

Sapindaceae	22
Sapotaceae	13
Simaroubaceae	5
Sterculiaceae	8
Sterculioideae	1
Verbenaceae	2

Tableau 5. L'indice de valeur d'importance des espèces dans la mise en défens de Manzonzi

Espèces	Fréquence	Dominance	Abondance	Fré.rél	Abond.rél	Dom.rél	IVI
<i>Hymenocardia acida</i>	19,00	4,61	621,00	4,22	17,48	10,26	31,97
<i>xylopia aethiopica</i>	14,00	3,84	439,00	3,11	12,36	8,56	24,03
<i>Albizia gummifera</i> var. <i>ealensis</i>	14,00	4,45	208,00	3,11	5,85	9,91	18,88
<i>Anthocleista vogelii</i>	15,00	3,37	110,00	3,33	3,10	7,51	13,94
<i>Macaranga monandra</i>	17,00	1,63	183,00	3,78	5,15	3,64	12,56
<i>Bridelia ferruginea</i>	16,00	1,04	208,00	3,56	5,85	2,31	11,72
<i>Macaranga spinosa</i>	14,00	1,12	194,00	3,11	5,46	2,49	11,06
<i>Lannea anticorbis</i>	14,00	1,22	121,00	3,11	3,41	2,73	9,25
<i>Albizia ferruginea</i>	9,00	2,36	37,00	2,00	1,04	5,25	8,29
<i>Oxyanthus unilocularis</i>	12,00	0,07	151,00	2,67	4,25	0,17	7,08
<i>Maprounea africana</i>	9,00	0,69	120,00	2,00	3,38	1,54	6,92
<i>Xylopia hypolampra</i>	12,00	0,60	100,00	2,67	2,81	1,34	6,82
<i>Oncoba welwitschii</i>	9,00	0,99	90,00	2,00	2,53	2,20	6,73
<i>Psydrax oddonii</i> (<i>Canthium oddonii</i>)	10,00	1,22	35,00	2,22	0,99	2,73	5,94
<i>Millettia versicolor</i>	9,00	0,76	77,00	2,00	2,17	1,69	5,86
<i>Zanthoxylum gillettii</i>	9,00	1,43	18,00	2,00	0,51	3,20	5,70
<i>Crossopteryx febrifuga</i>	8,00	0,16	109,00	1,78	3,07	0,35	5,20
<i>Sarcocephalus latifolius</i> (<i>Nauclea latifolia</i>)	11,00	0,62	43,00	2,44	1,21	1,37	5,03
<i>Adansonia digitata</i>	1,00	1,77	1,00	0,22	0,03	3,94	4,19
<i>Musanga cecropioides</i>	8,00	0,88	11,00	1,78	0,31	1,96	4,04
<i>Dichrostachys cinerea</i> (<i>glomerata</i>)	8,00	0,21	60,00	1,78	1,69	0,47	3,94
<i>Piptadeniastrum africanum</i>	3,00	1,20	12,00	0,67	0,34	2,68	3,68
<i>Pseudospondias microcarpa</i>	7,00	0,43	33,00	1,56	0,93	0,96	3,45
<i>Tetrorchidium didymostemon</i>	8,00	0,34	32,00	1,78	0,90	0,75	3,43
<i>Markhamia sessilis</i>	7,00	0,31	30,00	1,56	0,84	0,69	3,09
<i>Harungana madagascariensis</i>	8,00	0,23	28,00	1,78	0,79	0,52	3,09
<i>Dacryodes buettneri</i>	5,00	0,70	12,00	1,11	0,34	1,57	3,02
<i>Corynanthe paniculata</i>	10,00	0,03	24,00	2,22	0,68	0,07	2,97
<i>Hymenocardia ulmoides</i>	7,00	0,16	34,00	1,56	0,96	0,36	2,88
<i>Pteleopsis hyloidendron</i>	2,00	0,75	22,00	0,44	0,62	1,67	2,74
<i>Croton sylvaticus</i>	7,00	0,35	12,00	1,56	0,34	0,78	2,67
<i>symphonia globulifera</i>	3,00	0,61	16,00	0,67	0,45	1,37	2,49
<i>Ganophyllum giganteum</i>	2,00	0,80	8,00	0,44	0,23	1,79	2,46

<i>Pycnantus angolensis</i>	3,00	0,62	13,00	0,67	0,37	1,39	2,42
<i>Trichilia gilgiana</i>	5,00	0,30	21,00	1,11	0,59	0,67	2,37
<i>Annona senegalensis</i>	6,00	0,09	29,00	1,33	0,82	0,21	2,35
<i>Heinsia pulchra</i>	7,00	0,01	23,00	1,56	0,65	0,02	2,22
<i>Hylodendron gabunensis</i>	5,00	0,28	16,00	1,11	0,45	0,63	2,19
<i>Chrysophyllum africana (Gambeya)</i>	4,00	0,33	13,00	0,89	0,37	0,74	1,99
<i>Mangifera indica</i>	1,00	0,75	2,00	0,22	0,06	1,68	1,96
<i>Vernonia conferta</i>	5,00	0,14	17,00	1,11	0,48	0,31	1,90
<i>Ceiba pentandra</i>	1,00	0,69	1,00	0,22	0,03	1,53	1,78
<i>Xylopia chrysophylla</i>	5,00	0,08	17,00	1,11	0,48	0,17	1,76
<i>Funtumia africana (latifolia)</i>	6,00	0,05	11,00	1,33	0,31	0,10	1,75
<i>Sorindeia mayumbensis</i>	3,00	0,10	26,00	0,67	0,73	0,23	1,62
<i>Ficus recurvata</i>	5,00	0,13	5,00	1,11	0,14	0,29	1,54
<i>Albizia lebbek</i>	4,00	0,11	8,00	0,89	0,23	0,25	1,36
<i>Pseudospondias longifolia</i>	4,00	0,10	6,00	0,89	0,17	0,23	1,28
<i>Deinbollia acuminata</i>	2,00	0,24	8,00	0,44	0,23	0,53	1,20
<i>Croton oxypetalum</i>	3,00	0,13	8,00	0,67	0,23	0,30	1,19
<i>Psorospermum febrifugum</i>	4,00	0,03	6,00	0,89	0,17	0,07	1,12
<i>Monodora angolensis</i>	1,00	0,33	6,00	0,22	0,17	0,73	1,12
<i>Sterculia tragacantha</i>	3,00	0,08	8,00	0,67	0,23	0,17	1,06
<i>Ochna afzelii</i>	4,00	0,02	4,00	0,89	0,11	0,04	1,04
<i>Maesopsis eminii</i>	4,00	0,01	4,00	0,89	0,11	0,02	1,03
<i>Maranthes glabra (Parinari glabra)</i>	3,00	0,06	8,00	0,67	0,23	0,13	1,02
<i>Barteria nigritana</i>	3,00	0,07	6,00	0,67	0,17	0,16	0,99
<i>Ricinodendron heudelotii</i>	2,00	0,19	3,00	0,44	0,08	0,43	0,95
<i>Antiaris toxitaria</i>	3,00	0,06	3,00	0,67	0,08	0,13	0,88
<i>Hannoa klaineana</i>	3,00	0,03	5,00	0,67	0,14	0,06	0,87
<i>Lannea welwitschii</i>	2,00	0,06	10,00	0,44	0,28	0,13	0,85
<i>Aidia ochroleuca</i>	3,00	0,00	4,00	0,67	0,11	0,00	0,78
<i>Eriocoelum microspermum</i>	3,00	0,01	3,00	0,67	0,08	0,01	0,76
<i>Dialium pachyphyllum</i>	2,00	0,02	9,00	0,44	0,25	0,04	0,73
<i>Zanthoxylum Kivuensis</i>	1,00	0,18	1,00	0,22	0,03	0,40	0,66
<i>Afzelia bella</i>	1,00	0,15	1,00	0,22	0,03	0,33	0,58
<i>Antrocaryon nannanii</i>	1,00	0,14	1,00	0,22	0,03	0,30	0,55
<i>Blighia unijugata</i>	2,00	0,02	2,00	0,44	0,06	0,05	0,55
<i>Inconnue</i>	2,00	0,01	2,00	0,44	0,06	0,02	0,52
<i>Carapa procera</i>	1,00	0,04	6,00	0,22	0,17	0,09	0,49
<i>Ficus mucoso</i>	1,00	0,05	2,00	0,22	0,06	0,11	0,39
<i>Dracaena mannii</i>	1,00	0,03	3,00	0,22	0,08	0,07	0,37
<i>Morinda lucida</i>	1,00	0,03	3,00	0,22	0,08	0,06	0,36
<i>Trilepisium madagascariense</i>	1,00	0,03	1,00	0,22	0,03	0,07	0,33
<i>Microdesmis peberula</i>	1,00	0,00	3,00	0,22	0,08	0,01	0,31
<i>Heinsia sp</i>	1,00	0,01	2,00	0,22	0,06	0,02	0,30
<i>Tricalysia africana</i>	1,00	0,02	1,00	0,22	0,03	0,04	0,29
<i>Trichilia prieuriana</i>	1,00	0,01	2,00	0,22	0,06	0,01	0,29

<i>Vitex madiensis</i>	1,00	0,00	2,00	0,22	0,06	0,01	0,29
<i>Diospyros undabunda</i>	1,00	0,00	2,00	0,22	0,06	0,00	0,28
<i>Terminalia superba</i>	1,00	0,01	1,00	0,22	0,03	0,03	0,28
<i>Berlinia grandiflora</i>	1,00	0,00	2,00	0,22	0,06	0,00	0,28
<i>Albizia adianthifolia</i>	1,00	0,01	1,00	0,22	0,03	0,02	0,27
<i>Amphymas pterocarpoides</i>	1,00	0,01	1,00	0,22	0,03	0,02	0,27
<i>Paropsia guineensis</i>	1,00	0,01	1,00	0,22	0,03	0,02	0,27
<i>Grumilea carbrae</i>	1,00	0,01	1,00	0,22	0,03	0,02	0,27
<i>Nesogordonia dewevrei</i>	1,00	0,01	1,00	0,22	0,03	0,01	0,26
<i>Dialium tessmannii</i>	1,00	0,01	1,00	0,22	0,03	0,01	0,26
<i>Diospyros bipindensis</i>	1,00	0,01	1,00	0,22	0,03	0,01	0,26
<i>Blighia welwitschii</i>	1,00	0,00	1,00	0,22	0,03	0,01	0,26
<i>Tapura lujae</i>	1,00	0,00	1,00	0,22	0,03	0,01	0,26
<i>Prioria basalmifera</i>	1,00	0,00	1,00	0,22	0,03	0,00	0,25
<i>Isolana dewevrei</i>	1,00	0,00	1,00	0,22	0,03	0,00	0,25
<i>Myrianthus arboreus</i>	1,00	0,00	1,00	0,22	0,03	0,00	0,25
<i>Diospyros sp</i>	1,00	0,00	1,00	0,22	0,03	0,00	0,25
<i>Millettia eetveldeana</i>	1,00	0,00	1,00	0,22	0,03	0,00	0,25

Tableau 6. Les espèces communes dans les deux formations

Espèces	Galerie forestière	Savane	Espèces communes
<i>Aidia ochroleuca</i>	1	1	1
<i>Albizia ferruginea</i>	1	1	1
<i>Albizia gummifera</i> var. <i>ealensis</i>	1	1	1
<i>Anthocleista vogelii</i>	1	1	1
<i>Antiaris toxitaria</i>	1	1	1
<i>Barteria nigritana</i>	1	1	1
<i>Bridelia ferruginea</i>	1	1	1
<i>Chrysophyllum africana</i> (Gambeya)	1	1	1
<i>Corynanthe paniculata</i>	1	1	1
<i>Crossopteryx febrifuga</i>	1	1	1
<i>Croton sylvaticus</i>	1	1	1
<i>Dacryodes buettneri</i>	1	1	1
<i>Dichrostachys cinerea</i> (glomerata)	1	1	1
<i>Eriocoelum microspermum</i>	1	1	1
<i>Ficus recurvata</i>	1	1	1
<i>Funtumia africana</i> (latifolia)	1	1	1
<i>Ganophyllum giganteum</i>	1	1	1
<i>Hannoa klaineana</i>	1	1	1
<i>Harungana madagascariensis</i>	1	1	1
<i>Heinsia pulchra</i>	1	1	1
<i>Hylodendron gabunensis</i>	1	1	1
<i>Hymenocardia acida</i>	1	1	1

<i>Hymenocardia ulmoides</i>	1	1	1
<i>Lannea anticorbis</i>	1	1	1
<i>Macaranga monandra</i>	1	1	1
<i>Macaranga spinosa</i>	1	1	1
<i>Maesopsis eminii</i>	1	1	1
<i>Maranthes glabra (Parinari glabra)</i>	1	1	1
<i>Markhamia sessilis</i>	1	1	1
<i>Millettia versicolor</i>	1	1	1
<i>Musanga cecropioides</i>	1	1	1
<i>Oncoba welwitschii</i>	1	1	1
<i>Oxyanthus unilocularis</i>	1	1	1
<i>Piptadeniastrum africanum</i>	1	1	1
<i>Pseudospondias longifolia</i>	1	1	1
<i>Pseudospondias microcarpa</i>	1	1	1
<i>Psydrax oddonii (Canthium oddonii)</i>	1	1	1
<i>Pteleopsis hyloidendron</i>	1	1	1
<i>Pycnanthus angolensis</i>	1	1	1
<i>Sarcocephalus latifolius (Nauclea latifolia)</i>	1	1	1
<i>Sorindeia mayumbensis</i>	1	1	1
<i>Sterculia tragacantha</i>	1	1	1
<i>symphonia globulifera</i>	1	1	1
<i>Tetrorchidium didymostemon</i>	1	1	1
<i>Trichilia gilgiana</i>	1	1	1
<i>xylophia aethiopica</i>	1	1	1
<i>Xylophia chrysophylla</i>	1	1	1
<i>Xylophia hypolampra</i>	1	1	1
<i>Zanthoxylum gillettii</i>	1	1	1

Tableau 7. Espèces qu'on a trouvé uniquement dans la galerie forestière

Espèces	Galerie forestière	Savane	Espèces communes
<i>Adansonia digitata</i>	1	0	0
<i>Afzelia bella</i>	1	0	0
<i>Amphymas pterocarpoides</i>	1	0	0
<i>Antrocaryon nannanii</i>	1	0	0
<i>Berlinia grandiflora</i>	1	0	0
<i>Blighia unijugata</i>	1	0	0
<i>Blighia welwitschii</i>	1	0	0
<i>Carapa procera</i>	1	0	0
<i>Ceiba pentandra</i>	1	0	0

<i>Deinbollia acuminata</i>	1	0	0
<i>Dialium pachyphyllum</i>	1	0	0
<i>Dialium tessmannii</i>	1	0	0
<i>Diospyros bipindensis</i>	1	0	0
<i>Diospyros undabunda</i>	1	0	0
<i>Heinsia sp</i>	1	0	0
<i>Inconnue</i>	1	0	0
<i>Microdesmis peberula</i>	1	0	0
<i>Monodora angolensis</i>	1	0	0
<i>Myrianthus arboreus</i>	1	0	0
<i>Nesogordonia dewevrei</i>	1	0	0
<i>Prioria basalmifera</i>	1	0	0
<i>Ricinodendron heudelotii</i>	1	0	0
<i>Tapura lujae</i>	1	0	0
<i>Trichilia prieuriana</i>	1	0	0
<i>Trilepisium madagascariense</i>	1	0	0
<i>Zanthoxylum Kivuensis</i>	1	0	0

Tableau 6. Espèces qu'on trouve uniquement dans la savane

Espèces	Galerie forestière	Savane	Espèces communes
<i>Albizia adianthifolia</i>	0	1	0
<i>Albizia lebbek</i>	0	1	0
<i>Annona senegalensis</i>	0	1	0
<i>Croton oxypetalum</i>	0	1	0
<i>Diospyros sp</i>	0	1	0
<i>Dracaena mannii</i>	0	1	0
<i>Ficus mucoso</i>	0	1	0
<i>Grumilea carbrae</i>	0	1	0
<i>Isolana dewevrei</i>	0	1	0
<i>Lannea welwitschii</i>	0	1	0
<i>Mangifera indica</i>	0	1	0
<i>Maprounea africana</i>	0	1	0
<i>Millettia eetveldeana</i>	0	1	0
<i>Morinda lucida</i>	0	1	0
<i>Ochna afzelii</i>	0	1	0

<i>Paropsia guineensis</i>	0	1	0
<i>Psorospermum febrifugum</i>	0	1	0
<i>Terminalia superba</i>	0	1	0
<i>Tricalysia africana</i>	0	1	0
<i>Vernonia conferta</i>	0	1	0
<i>Vitex madiensis</i>	0	1	0

Tableau 8. Valeur des indices de diversité pour chaque parcelle

INDICE DE DIVERSITE	P1	P1	P1	P1	P1	P1	P1	P1	P1	P1	P1	P2	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9		0								
TAXA_S	36,0	26,0	8,0	39,0	23,0	29,0	15,0	16,0	15,0	10,0	15,0	26,0	27,0	30,0	23,0	23,0	44,0	31,0	9,0	30,0
INDIVIDUALS	70,0	50,0	14,0	76,0	44,0	56,0	28,0	30,0	28,0	18,0	28,0	50,0	52,0	58,0	44,0	44,0	86,0	60,0	16,0	58,0
DOMINANCE_D	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,0	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,0	0,3
SIMPSON_1-D	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,0	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,0	0,7
SHANNON_H	2,5	2,3	1,7	2,5	2,2	2,4	2,0	2,0	2,0	1,8	2,0	2,3	2,3	2,4	2,2	2,2	2,6	2,4	1,7	2,4
EVENNESS_EA	0,3	0,4	0,3	0,3	0,4	0,4	0,5	0,5	0,5	0,0	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,3	0,4	0,0	0,4
H/S																				
BRILLOUIN	2,0	1,8	1,2	2,0	1,7	1,9	1,5	1,6	1,5	1,1	1,5	1,8	1,8	1,9	1,7	1,7	2,1	1,9	1,1	1,9
MENHINICK	4,3	3,7	2,1	4,5	3,5	3,9	2,8	2,9	2,8	2,2	2,8	3,7	3,7	3,9	3,5	3,5	4,7	4,0	2,2	3,9
MARGALEF	8,2	6,4	2,7	8,8	5,8	7,0	4,2	4,4	4,2	3,1	4,2	6,4	6,6	7,1	5,8	5,8	9,7	7,3	2,9	7,1
EQUITABILIT Y J	0,7	0,7	0,8	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,0	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,0	0,7
FISHER ALPHA	29,8	21,8	7,8	32,2	19,5	24,2	13,2	13,9	13,2	9,3	13,2	21,8	22,6	25,0	19,5	19,5	36,1	25,8	8,5	25,0
BERGER-PARKER	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,0	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,0	0,5
CHAO-1	63,0	32,0	29,0	74,0	25,0	40,0	10,0	12,0	10,0	46,0	10,0	32,0	35,0	43,0	25,0	25,0	94,0	46,0	37,0	43,0

Tableau 9. Localisation des parcelles de terrain associées à leurs estimations de stock de carbone

PARCELLES	LATITUDE	LONGITUDE	Catonne/ha	TYPE
P1	-5,738389	13,2595	17,2615062	Savane
P10	-5,737882	13,262043	9,3693254	Savane
P11	-5,74007	13,262145	1,91324717	Savane
P12	-5,733718	13,253221	29,896115	Galerie forestière
P13	-5,735324	13,254991	8,04338033	Savane
P14	-5,731475	13,256196	16,2306281	Savane
P15	-5,732328	13,258249	6,37448017	Savane

P16	-5,731363	13,257795	4,59447892	Savane
P17	-5,730266	13,257349	4,29516434	Savane
P18	-5,725467	13,25535	2,88735562	Savane
P19	-5,726665	13,255979	6,95493191	Savane
P2	-5,738517	13,256961	13,0850464	Savane
P20	-5,732679	13,256242	24,397795	Galerie forestière
P3	-5,735829	13,252574	15,8096423	Savane
P4	-5,738068	13,255394	9,3981785	Savane
P5	-5,735737	13,260105	14,3234541	Savane
P6	-5,735346	13,257695	44,6949444	Galerie forestière
P7	-5,733445	13,258632	18,3722232	Savane
P8	-5,736957	13,251173	2,52073504	Savane
P9	-5,734135	13,253934	12,1271475	Savane

Tableau 10. Valeur moyenne globale de stock de carbone issu de la technologie Lidar

VALEUR	NOMBRE DE PIXEL	MINIMUM	MAXIMUM	MOYENNE
SAVANE	9	0,139364	17,06	12,21
FORET	91	14,8	112,1	43,73

Tableau 11. Valeur de carbone aérien et souterrain de chaque parcelle d'étude

Parcelles	TYPE	C/ha	Ratio biomasse aérienne/biomasse souterraine(1)	Carbone souterrain (BGB)	Carbone aérien+ Carbone souterrain
1	Savane	17,26	0,2	3,45	20,71
2	Savane	13,09	0,2	2,62	15,70
3	Savane	15,81	0,2	3,16	18,97
4	Savane	9,40	0,2	1,88	11,28
5	Savane	14,32	0,2	2,86	17,19
6	Galerie forestière	44,69	0,37	16,54	61,23
7	Savane	18,37	0,2	3,67	22,05
8	Savane	2,52	0,2	0,50	3,02
9	Savane	12,13	0,2	2,43	14,55
10	Savane	9,37	0,2	1,87	11,24
11	Savane	1,91	0,2	0,38	2,30
12	Galerie forestière	29,90	0,37	11,06	40,96
13	Savane	8,04	0,2	1,61	9,65
14	Savane	16,23	0,2	3,25	19,48
15	Savane	6,37	0,2	1,27	7,65
16	Savane	4,59	0,2	0,92	5,51
17	Savane	4,30	0,2	0,86	5,15
18	Savane	2,89	0,2	0,58	3,46

19	Savane	6,95	0,2	1,39	8,35
20	Galerie forestière	24,4 0	0,37	9,03	33,42

Tableau 12. Familles accompagnées des espèces dans la savane mise en défens de Manzonzi.

Familles	Espèces
Agavaceae	<i>Dracaena mannii</i>
Anacardiaceae	<i>Antrocaryon nannanii</i>
	<i>Lannea anticorbis</i>
	<i>Lannea welwitschii</i>
	<i>Mangifera indica</i>
	<i>Pseudospondias longifolia</i>
	<i>Pseudospondias microcarpa</i>
	<i>Sorindeia mayumbensis</i>
Annonaceae	<i>Annona senegalensis</i>
	<i>Isolana dewevrei</i>
	<i>Monodora angolensis</i>
	<i>Xylopia aethiopica</i>
	<i>Xylopia chrysophylla</i>
	<i>Xylopia hypolampra</i>
Apocynaceae	<i>Funtumia africana (latifolia)</i>
Asteraceae	<i>Vernonia conferta</i>
Bignoniaceae	<i>Markhamia sessilis</i>
Bombacaceae	<i>Adansonia digitata</i>
	<i>Ceiba pentandra</i>
Burceraceae	<i>Dacryodes buettneri</i>
Cecropiaceae	<i>Musanga cecropioides</i>
	<i>Myrianthus arboreus</i>
Chrysobalanaceae	<i>Maranthes glabra (Parinari glabra)</i>
Clusiaceae	<i>symphonia globulifera</i>
Combretaceae	<i>Pteleopsis hylodendron</i>
	<i>Terminalia superba</i>
Dichapetalaceae	<i>Tapura lujae</i>
Ebenaceae	<i>Diospyros bipindensis</i>
	<i>Diospyros sp</i>
	<i>Diospyros undabunda</i>
Euphorbiaceae	<i>Bridelia ferruginea</i>
	<i>Croton oxypetalum</i>
	<i>Croton sylvaticus</i>
	<i>Hymenocardia acida</i>

	<i>Hymenocardia ulmoides</i>
	<i>Macaranga monandra</i>
	<i>Macaranga spinosa</i>
	<i>Maprounea africana</i>
	<i>Microdesmis peberula</i>
	<i>Ricinodendron heudelotii</i>
	<i>Tetrorchidium didymostemon</i>
Fabaceae	<i>Afzelia bella</i>
	<i>Albizia adianthifolia</i>
	<i>Albizia ferruginea</i>
	<i>Albizia gummifera</i> var. <i>ealensis</i>
	<i>Albizia lebbeck</i>
	<i>Amphymas pterocarpoides</i>
	<i>Berlinia grandiflora</i>
	<i>Dialium pachyphyllum</i>
	<i>Dialium tessmannii</i>
	<i>Dichrostachys cinerea</i> (glomerata)
	<i>Hylodendron gabunensis</i>
	<i>Millettia eetveldeana</i>
	<i>Millettia versicolor</i>
	<i>Piptadeniastrum africanum</i>
	<i>Prioria basalmifera</i>
Flacourtiaceae	<i>Oncoba welwitschii</i>
Hypericaceae	<i>Harungana madagascariensis</i>
Hypericaceae(Clusiaceae)	<i>Psorospermum febrifugum</i>
Loganiaceae	<i>Anthocleista vogelii</i>
Meliaceae	<i>Carapa procera</i>
	<i>Trichilia gilgiana</i>
Meliaceaea	<i>Trichilia prieuriana</i>
Moraceae	<i>Antiaris toxitaria</i>
	<i>Ficus mucuso</i>
	<i>Ficus recurvata</i>
	<i>Trilepisium madagascariense</i>
Myristicaceae	<i>Pycnantus angolensis</i>
Ochnaceae	<i>Ochna afzelii</i>
Sapotacea	<i>Chrysophyllum africana</i> (Gambeya)
Simaroubaceae	<i>Hannoa klaineana</i>
Sterculiaceae	<i>Nesogordonia dewevrei</i>
	<i>Sterculia tragacantha</i>
Verbenaceae	<i>Vitex madiensis</i>

Tableau13.-Nombre d'espèce inventorié dans chacune des parcelles d'un hectare à Manzonzi

PARCELLES	FORMATIONS	NOMBRE D'ESPECE
P1	Savane	35
P10	Savane	25
P11	Savane	6
P12	Galerie	39
P13	Savane	22
P14	Savane	29
P15	Savane	13
P16	Savane	15
P17	Savane	14
P18	Savane	9
P19	Savane	13
P2	Savane	25
P20	Galerie	26
P3	Savane	28
P4	Savane	22
P5	Savane	22
P6	Galerie	42
P7	Savane	29
P8	Savane	8
P9	Savane	29

Photos 6a et 6b Les traces fauniques dans la savane mise en défens de Manzonzi



Photo 6a



Photo 6b



Photo7. Formation sur MRV à Manzoni