

Analyse floristique et évaluation du stock de carbone dans trois types d'habitats au sein du domaine de chasse de Rubi-Télé, en République Démocratique du Congo (RDC)

Floristic analysis and carbon stock assessment in three habitat types within the Rubi-Tele hunting domain, Democratic Republic of Congo (DRC)

Wani Mariba Grace¹
Nshimba Seya Wa Malale Hippolyte²
Amani Ya Igugu Christian³

¹gracewani94@gmail.com
²hippolytenshimba@gmail.com
³achristianamani@gmail.com

^{1,2}Université de Kisangani, ³Université Officielle de Bukavu, ^{1,2,3}République Démocratique du Congo

<https://doi.org/10.51867/ajernet.6.3.19>

RESUME

Les estimations de stock de carbone forestier sont nécessaires pour suivre les variations des stocks de carbone sur une étendue forestière. Cette étude vise l'analyse floristique et la comparaison des stocks de carbone dans trois types d'habitats (forêt primaire, forêt secondaire et jachère) du domaine de chasse de Rubi-tele, République Démocratique du Congo (RDC). Les inventaires ont été conduits dans 12 unités de sondage ayant chacune 2500 m² de superficie. Ainsi, les données étaient collectées sur 1ha par type d'habitat, l'ensemble faisant 3ha de forêt inventoriée. La hauteur et le DHP ont été mesurés sur tous les arbres de DHP ≥ 5cm. Les données ont été traitées grâce à Microsoft Excel et logiciel R. L'étude révèle des stocks de carbone qui diffèrent entre les trois types d'habitats. La forêt primaire stocke 179,6 ± 10,5 Mgha⁻¹ qui est significativement supérieur au stock de forêt secondaire 64,2 ± 5,3 Mgha⁻¹ (p-value = 0,0005598) et reste élevée significativement au stock de 15,1 ± 1,8 Mgha⁻¹ dans la jachère (p-value = 0,0000367). Ces résultats affirment que le stock de carbone est fonction de type d'habitat. L'indice de Shannon montre que la diversité floristique en jachère, forêt primaire et forêt secondaire n'est pas très variable (p-value = 0,384). Tenant compte de l'importance de forêts de Rubi-tele dans le cycle global du carbone, son potentiel pour réduire une partie du CO₂ atmosphérique et de perturbation qui pèse sur cette dernière, les pratiques de gestion forestière durable s'avèrent indispensables, car elles ont une incidence importante sur les stocks de carbone.

Mots clés : Stock de Carbone, Forêt Primaire, Forêt Secondaire, Jachère, Rubi-Tele

ABSTRACT

Estimations of forest carbon stocks are necessary to track variations in carbon stocks across a forested area. This aim of this study is conduct a floristic analysis and compare carbon stocks in three types of habitats (primary forest, secondary forest, and fallow) in the Rubi-tele hunting in Republic Democratic of the Congo (DRC). Inventories were conducted in 12 plots (50 by 50 m). Thus, data were collected over 1ha per habitat type, amounting to a total of 3ha of forest inventory. The height and diameter at breast height (DBH) were measured for all trees with a DBH greater or equal to 5cm. The data were processed with Microsoft Excel and R software. The study reveals that carbon stocks vary between the three types of habitats. The primary forest stores 179.6 ± 10.5 Mgha⁻¹, which is significantly higher than the secondary forest stock of 64.2 ± 5.3 Mgha⁻¹ (p-value = 0.0005598), and remains significantly higher than the stock of 15.1 ± 1.8 Mgha⁻¹ in fallow land (p-value = 0.0000367). These findings support the notion that carbon stock varies with habitat type. The Shannon index indicates that the floristic diversity recover quickly in these forests (p-value = 0.384). Given the importance of Rubi-tele forests in the global carbon cycle, their potential to reduce part of atmospheric CO₂ and the disturbances weighing on them, sustainable forest management practices are essential, as they have a significant impact on carbon stocks.

Keywords: Carbon Stock, Fallow Land, Primary Forest, Rubi-Tele, Secondary Forest

I. INTRODUCTION

La gestion durable des forêts joue un rôle crucial dans le développement durable. Des informations sur la situation des ressources forestières, non seulement en termes de superficie et de ses changements mais aussi en termes de matériel sur pied, produits forestiers ligneux et non ligneux, carbone, aires protégées, affectation de forêts aux loisirs

et autres services, diversité biologique et participation aux économies nationales, favorisent la prise de décisions dans le cadre de politiques et de programmes forestiers et de développement durable à tous les niveaux.

L'estimation du stock de carbone dans les écosystèmes forestiers requiert des estimations pour les réservoirs de carbone suivants: Au-dessus du sol (AG) : arbres, lianes, végétation du sous-bois, litière et bois mort ; En-dessous du sol (BG) : carbone contenu dans les racines et le sol. Le carbone total stocké dans le Bassin du Congo est estimé à 46 milliards de tonnes. Les forêts denses humides de basse altitude représentent 60% du stock de carbone pour seulement 35% de la superficie (Nasi et al, 2008).

Razakamanarivo (2009), dans son étude, démontre que l'application des équations allométriques reliant la quantité de biomasse (aérienne et racinaire) de taillis d'*Eucalyptus* aux variables dendrométriques (circonférence des souches, surface terrière des rejets) et la caractérisation du stock de carbone du sol (0-30 cm) ont montré que les plantations d'*Eucalyptus* sur les hautes terres malgaches présentent un stock total de carbone élevé en comparaison aux autres modes d'usage des terres : 150, 8 ± 25,3 Mg C /ha contre 112 ± 15 Mg C /ha pour le pseudo-steppe et savane ; 72,3 ± 9,9 Mg C/ha pour la culture et jachère. Ceci est en raison de la contribution importante du système racinaire (21,22 Mg C/ha dans la souche et 20,38 Mg C/ha dans les racines à diamètre > 2 mm) et du sol (de l'ordre de 84,8 Mg C/ha).

Plusieurs facteurs contribuent à la séquestration de carbone dans une forêt, comme par exemple l'espèce, l'âge des plantations, les modes de gestion et la densité (nombre d'arbre à l'hectare) (Ebuy, 2009), ainsi que la gestion raisonnable et l'utilisation de techniques forestières appropriées qui peuvent induire un gain cumulé en carbone de l'ordre de 15 à 18 % (Durrieu de Madron et al., 2011), etc. C'est dans l'idée d'estimation du stock de carbone que ce travail est réalisé dans le domaine de chasse de Rubi-tele/R.D. Congo

En effet, le changement climatique provoqué est la plus grande menace à laquelle le monde est actuellement confronté. Les émissions mondiales du CO₂ liées à la déforestation tropicale représentent à elles seules, jusqu'à 25% du total annuel des émissions anthropiques de CO₂ (Greenpeace, 2007). Le monde voit apparaître les effets des changements climatiques sur la forêt. Les scientifiques pensent que ces changements observés jusqu'à présent ne sont que le début d'un processus continu et il est difficile d'en estimer l'ampleur effective (Rigling et Peter, 2015).

Depuis 2 millions d'années, le réchauffement du climat tropical est de plus en plus alarmant (Van der, 2012). Or, nous savons que les forêts du bassin du Congo (230 millions d'hectares) constituent le deuxième plus grand massif de forêts tropicales au monde après celui de l'Amazonie. Celles de la République Démocratique du Congo représentent à elles seules, environ 60% de ce massif forestier (Croizer et Trefon, 2007). Elles abritent une importante biodiversité en Afrique (Picard et Gourlet-Fleury, 2008) et constituent un réservoir de gènes et de molécules de première importance (Peguín et Delangue, 2013). Ces forêts jouent un rôle important dans le cycle global du carbone (Vieira et al., 2004) ; elles sont uniques au monde et aussi sources de toutes les convoitises et des nombreux conflits d'usages. Il y a donc urgence à agir si on veut éviter une catastrophe écologique irréversible (Croizer et Trefon, 2007). De ce fait, la conservation de ces forêts devient une priorité mondiale.

Malgré plusieurs projets réalisés en aménagement forestier, les écosystèmes forestiers restent insuffisamment connus à cause d'un effort de recherche insuffisant et disparate (Chave, 2000). Cependant, contrairement aux essences européennes, très peu d'études dendrométriques existent actuellement pour les essences africaines (Ernst, 2012). La gestion durable des forêts contribuant à la gestion de stock de carbone est un enjeu international nécessitant l'estimation du matériel ligneux sur pied et de ses variations dans l'espace et dans le temps (Ernst, 2012) afin de planifier la gestion des ressources forestières.

Le maintien du couvert forestier (forêts de production ou de conservation) est donc le défi majeur des décennies à venir. Relever un tel défi passe par la résolution d'une série d'autres défis tels que l'amélioration de la gouvernance, la généralisation de la certification forestière et des plans d'aménagement, etc. (De Wasseige et Devers, 2008). Pour y arriver, il faut avoir une connaissance sur le stock de carbone ; or très peu d'études ont mesuré la variabilité du stock de carbone dans les écosystèmes forestiers de la République Démocratique du Congo à l'instar de la forêt du domaine de chasse de Rubi-tele (RD Congo). Généralement, Cette étude tente de répondre à la question de savoir quelle est la composition floristique et les stocks de carbone contenus dans les différents types d'habitats (primaire, secondaire et la jachère) du domaine de chasse de Rubi-tele. De façon spécifique, elle veut répondre aux questions de savoir si le stock de carbone dans la forêt du domaine de chasse de Rubi-tele varie en fonction de type d'habitat et si dans ce domaine, il existe une différence de composition floristique entre les trois types d'habitats (forêt primaire, forêt secondaire et jachère).

1.2 Hypothèses de Recherche

H₀₁: En général, la composition floristique et les stocks de carbone diffèrent selon le type d'habitat dans le domaine de chasse de Rubi-tele.

H₀₂: Spécifiquement, le stock de carbone dans la forêt du domaine de chasse de Rubi-tele est fonction de type d'habitat et puis il existe une différence significative de composition floristique entre les différents types d'habitats (primaire, secondaire et jachère) dans ce domaine de chasse.

1.3 Objectifs de recherche

- i. De façon générale : analyser la flore et comparer les stocks de carbone dans trois types d'habitats du domaine de chasse de Rubi-tele.
- ii. Spécifiquement : estimer le stock de carbone dans les différents types d'habitats du domaine de chasse de Rubi-tele et évaluer la composition floristique entre les différents types d'habitats (primaire, secondaire et jachère) dans ce domaine de chasse.

II. MÉTHODOLOGIQUE

3.1 Conception de la recherche

L'évaluation du stock de carbone sans analyse floristique peut négliger l'impact de la diversité sur la productivité des écosystèmes. Inversement, une étude floristique sans estimation de carbone ne valorise pas le rôle des espèces dans la régularisation du climat. Une stratégie efficace de gestion des forêts ou des écosystèmes passe par une double évaluation : écologique (floristique) et climatique (carbone). Ces deux approches sont fondamentales pour les projets REDD+, la planification de réserves naturelles, la restauration écologique, et la certification carbone. C'est dans cet ordre d'idée que va se réaliser notre recherche dans le domaine de chasse de Rubi-tele/ R. D. Congo.

3.2 Milieu d'étude

Le domaine de chasse Rubi-Tele (superficie de 9080 km²) est un espace protégé et sérieusement menacé par la population locale, les chasseurs et les diamantaires. C'est l'une des huit aires protégées en République démocratique du Congo située à 324 km au nord de Kisangani entre les rivières Rubi et Tele dans le Bas-Uélé (Omasombo, 2014).

En 2004, il n'y avait plus d'autorité ICCN (Institut Congolais pour la Conservation de la Nature) à la tête du domaine, bien que des policiers aient tenté de rétablir l'ordre. Et, c'est durant cette période que les gisements d'or et de diamants ont été découverts dans le domaine. Le laxisme des autorités a permis un flux important de personnes de s'y établir. Les exploitations minière et industrielle des essences telles que l'Afrormosia sont alarmantes (Omasombo, 2014). Sa forêt est caractérisée par l'abondance de *Gilbertiodendron dewevrei* et contient des populations faunistiques réduites (petits ongulés, éléphant, chimpanzé, Okapi, singe, etc.), mais toujours présentes (Omasombo, 2014). Ce domaine est dominé par le climat de type Am caractérisé par l'existence de quatre saisons climatiques : deux saisons pluvieuses séparées par deux saisons sèches. Les températures moyennes annuelles se situent autour de 25° C et les précipitations sont abondantes ; la hauteur pluviométrique varie entre 1500 et 1800 mm par an. (Omasombo, 2014).

3.3 Matériels

Les matériels non biologiques utilisés étaient : un mètre ruban pour la mesure de la circonférence des essences, penta décamètre pour délimiter les surfaces des placettes, formulaires préparés sur Word pour enregistrer les données sur le terrain, le Vertex était utilisé pour mesurer la hauteur des arbres, la boussole avait servi à orienter dans l'ouverture de layons et implantation de placettes, le GPS marque Garmin a facilité le géo référencement du site d'étude, des machettes pour l'ouverture des layons et un appareil photographique de marque Samsung pour la prise de photos

Les matériels biologiques utilisés dans cette étude étaient constitués de tous les arbres appartenant aux espèces botaniques et familles confondues. Vu que les arbres avec des diamètres inférieurs à 5 cm retiennent une petite fraction de la biomasse aérienne des forêts (Chidumayo, 2002), nous considérons uniquement tous les arbres ayant un diamètre à hauteur de poitrine supérieur ou égal à 5 cm.

3.4 Méthode d'étude

Avant l'échantillonnage, nous avons procéder à l'investigation du domaine de chasse de Rubi-tele pour localiser les différents types d'habitats (primaire, secondaire et jachère), puis les coordonnées géographiques étaient prélevées à l'aide d'un GPS. Les unités d'échantillonnages étaient distribuées dans chacun de trois types d'habitats (primaire, secondaire et jachère) à raison de 4 unités de sondage ayant chacune 2500 m² de superficie, soit 50 m x 50 m. Ainsi, les données étaient collectées sur 10000 m² par type d'habitat (soit 1 ha), l'ensemble faisant 3 ha de forêt qui étaient inventoriés. Dans la figure 1 (ci-dessous) est indiquée la localisation des parcelles d'échantillonnage dans le domaine de chasse de Rubi-tele.

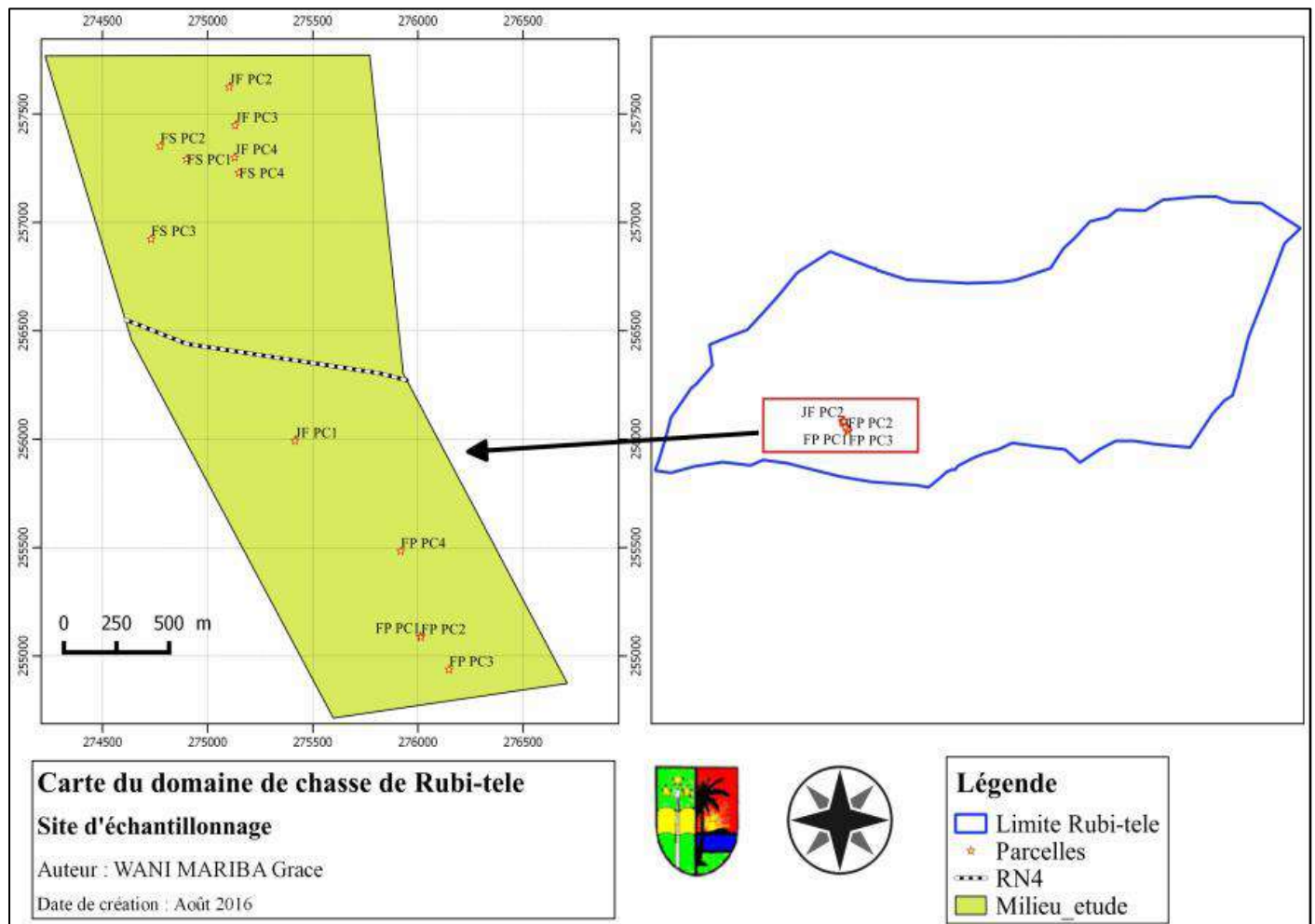


Figure 1
Localisation des parcelles d'échantillonnage

3.4.1 Inventaire

La collecte des données de terrain était réalisée au mois de mai 2016. Au cours de l'inventaire, les données relatives à l'étude en cause étaient collectées au sein de chacune des unités de sondage de trois types d'habitats. Il s'agissait notamment de : *nom scientifique des espèces*. Pour les espèces communément connues, l'identification de leur nom vernaculaire ou scientifique s'était réalisée en forêt. Par contre, les espèces qui étaient difficiles à identifier sur le terrain étaient encodées pour une identification postérieure. Ainsi, en vue de la crédibilité de l'identité botanique, des herbiers étaient constitués pour l'ensemble d'espèces recensées.

Diamètre à la hauteur de poitrine (DHP) : Cette variable était mesurée sur tous les individus d'arbres. La mesure était prise à la hauteur conventionnelle de 1,30 m au-dessus du sol pour les arbres de diamètre supérieur ou égal à 5 cm à l'aide d'un ruban diamétrique.

Hauteur totale de l'arbre. Pour chaque arbre situé au sein des unités de sondage, il était mesuré la hauteur à l'aide du Vertex. Toutes ces données étaient enregistrées sur des fiches de terrain qui étaient préparées avant la descente sur le terrain.

3.4.2 Traitement des données

Le traitement des données étaient fait sur Excel, Logiciel R (version 3.1.2) et l'indice de diversité de Shannon a été calculé grâce au logiciel PAST. Caractéristiques du peuplement : Les paramètres du peuplement évalués sont la composition floristique de chaque peuplement, la structure diamétrique de chaque type d'habitat, la densité relative des tiges correspond au nombre d'arbres sur une surface donnée multiplié par cent, Mathématiquement, la densité sera calculée comme suit (Ndamiyehe et Kadiata, 2015) :

$$Densité \left(\frac{tiges}{ha} \right) = \frac{\text{nombre de tiges d'une essence donnée}}{\text{Superficie considérée (ha)}} [1]$$

Et la surface terrière (notée g) est la surface de la section transversale, supposée circulaire, de cet arbre à 1,30 m du sol. Elle peut se calculer aisément à partir du diamètre D ou DHP ou de la circonférence C de l'arbre estimant le

degré de couverture du sol par les sections transversales des tiges d'arbres à l'hectare (Marchal et Rondeux, 1995). Elle est calculée par la relation [2] suivante (Ndamiyehe et Kadiata, 2015) :

$$\text{Surface terrière} \left(\frac{m^2}{ha} \right) = \sum_{i=1}^n \frac{\frac{\pi \cdot (DHP_i)^2}{4} (m^2)}{\text{Superficie considérée (ha)}} \quad [2]$$

Estimation de la biomasse

Calcul de la biomasse aérienne : Dans cette étude, nous avons utilisé l'équation allométrique de Chave et al., (2014), pour préciser la biomasse épigée totale d'un arbre (AGB). Cette équation prend en compte le diamètre, la hauteur et la densité afin d'éviter la sous-estimation ou la surestimation de la biomasse aérienne (Gourlet-Fleury et al., 2011). Et ce modèle a été testé et validé en Afrique; dans six sites d'études, allant de la forêt sempervirente à la forêt semi-décidue et sur un vaste échantillon de de 845 arbres (Fayolle et al., 2018).

$$AGB_{est} = 0.0673 \times (\rho D^2 H)^{0,976} \quad [3]$$

AGB = biomasse aérienne, ρ = densité du bois et H = hauteur totale des arbres.

Pour chaque espèce, les valeurs moyennes de densité du bois disponibles dans les bases de données internationale (Zanne et al., 2009) et régionale (Fayolle et al., 2018) ont été collectées. Pour les espèces non renseignées, la moyenne du genre a été utilisée.

Conversion de la biomasse en stock de carbone : L'estimation de stock de carbone dans la forêt dépend de la connaissance de la biomasse aérienne sèche (Vieira et al., 2008). Il a été signalé que le carbone contenu dans la biomasse sèche d'un arbre est de 50 % (Brown, 1997; Houghton et al., 2001 ; Baker et al., 2004 ; Chave et al., 2005 ; Lewis et al., 2009). La quantité de dioxyde de carbone (CO₂) qui serait émise dans l'atmosphère quand tous les arbres dans nos trois types d'habitats seront coupés et brûlés complètement peut être calculée comme suit : AGB x 0,5 [4].

Où : AGB = La biomasse aérienne sèche et vivante totale dans le terrain-échantillon.

0,5 = facteur de conversion.

Mesure de la variabilité du carbone : Les résultats de stock de carbone au sein des différents types d'habitats (primaire, secondaire et jachère) étaient testés statistiquement afin d'évaluer la variabilité de la productivité des écosystèmes en fonction de nombre d'années de rotation. Pour ce faire, les données du stock de carbone étaient d'abord groupées par classe de diamètre, puis testées grâce à l'analyse de la variance (ANOVA I).

Relevés GPS : Trois étapes fondamentales décrivent succinctement la réalisation cartographique de la géolocalisation des parcelles dans le domaine de chasse de Rubi-tele: La première étape consistait à relever sur le terrain les points GPS en coordonnées cartésiennes sur la projection UTM (Universal Transverse Mercator) dans l'Ellipsoïde WGS84 (World Geodetic System 84) au niveau d'un point de la parcelle choisi au hasard. La deuxième étape était consacrée au traitement des données cartographiques à l'aide du logiciel QGIS comme suit :

D'abord, l'enregistrement des coordonnées dans le logiciel Mapsource; ensuite, s'est suivie l'importation des coordonnées de logiciel Mapsource dans le logiciel QGIS. Une couche dénommée waypoints a été créée sous le logiciel QGIS. Cette opération a permis de fixer les points à l'endroit exact sur le fond de carte numérique de la Forêt de domaine de chasse de Rubi-tele; enfin, s'en est suivie la digitalisation par thème (couche des waypoints, couche de limite administrative de la République Démocratique du Congo, couche d'hydrographie de la République Démocratique du Congo, l'orientation, l'échelle du dessin etc.) de la carte. La troisième étape était l'empilement des couches suivant une logique hiérarchique permettant de ressortir toutes les informations nécessaires à la restitution d'un fond cartographique et la mise en page de la carte avant sa sortie papier au format voulu.

IV. RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

4.1 Densité et Caractéristiques des Peuplements Forestiers étudiés

La composition floristique varie fortement d'un type d'habitat à un autre. Ainsi, 2413 individus d'arbres ont été recensés sur l'ensemble de trois types d'habitats (1ha chacun), répartis à raison de 542, 965 et 906 individus respectivement au sein de la jachère, la forêt primaire et la forêt secondaire ; cette différence est significative. Au total, les individus inventoriés appartiennent à 121 espèces de 39 familles botaniques. La jachère renferme plus d'espèces de Fabaceae (23,3%) et les Euphorbiaceae occupent la seconde place (19,4%). La forêt primaire présente plus des Rubiaceae (19,5%) suivie de Fabaceae, Ebenaceae, Sapindaceae avec respectivement 16,8%, 15,3% et 14,1% d'individus. Quant à la forêt secondaire, les Euphorbiaceae sont les plus représentés avec 21,9% suivie des familles Phyllanthaceae (17,1%) et Urticaceae (14,8%).

4.1.1 Structure Diamétrique

Le nombre de tiges/ha révèle des différences significatives de densité au seuil de 0,05 (F =8,707, p-value =0,0145 et ddl =1) entre les trois types d'habitats considérés (figure 2). La répartition des individus par classe de diamètre est illustrée par la figure 2.

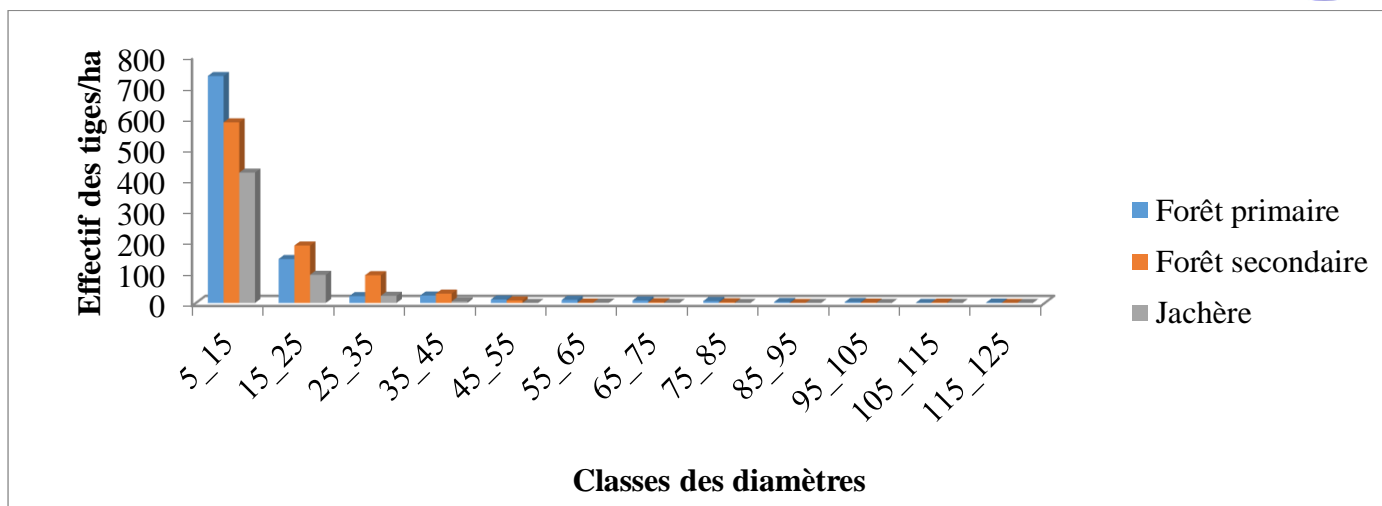


Figure 2

Structure diamétrique des arbres dans la forêt primaire, secondaire et la jachère dans le domaine de chasse de Rubitele

Ainsi, la figure 2 indique une répartition des tiges d'arbres par classe de diamètre qui donne une structure diamétrique en forme de *J* inversé, caractéristique des forêts naturelles à croissance normale. Dans cette structure, le nombre d'individus d'arbres décroît rapidement dans les trois types d'habitats (primaire, secondaire et jachère) au fur et à mesure qu'on approche les tiges ayant des diamètres à hauteur de poitrine élevés. Ainsi, seule la classe de grosseur de 5-15 cm représente plus de 70% de tiges à l'hectare.

4.1.2 Occupation du sol

Le degré de couverture au sol varie d'un site à l'autre en fonction du stade de développement de la forêt. Classées suivant l'ordre décroissant de surface terrière, la forêt primaire couvre plus de surface au sol ($29 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$), suivie de la forêt secondaire ($24,3 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$) et de la jachère ($7,3 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$). Toutefois, à chaque stade de la forêt, certaines espèces sont les plus dominantes en termes de couverture du sol. Le test statistique (ANOVA) montre une différence significative (seuil de 0,05) entre les trois types d'habitats (primaire, secondaire et jachère), ($F = 30,48$, $ddl = 2$ et $p\text{-value} = 0,0000983$ au seuil de 0,001).

4.1.3 Relation entre le diamètre et la hauteur

La relation entre le diamètre et la hauteur des arbres pour les trois types d'habitats (primaire, secondaire et jachère) se lit sur la figure (3) suivante.

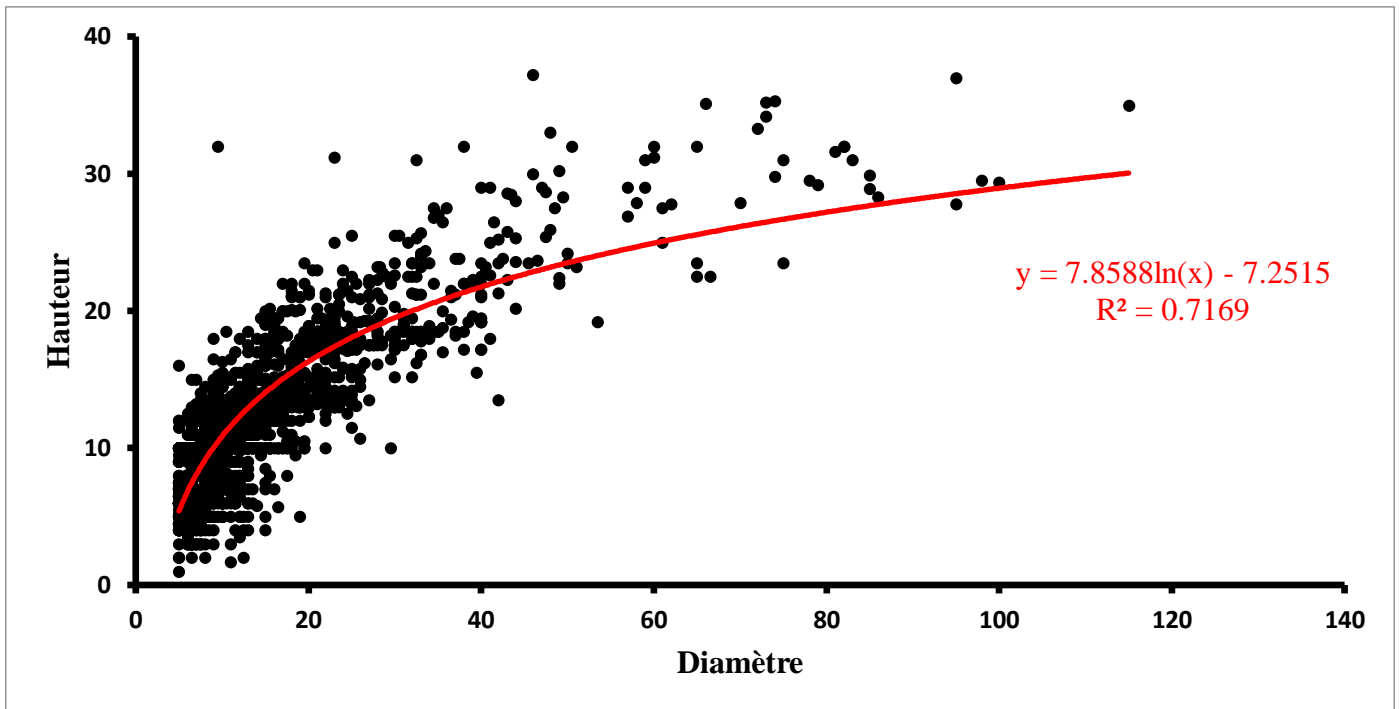


Figure 3
Relation entre le diamètre et la hauteur pour les trois types d'habitats.

Il y a une corrélation positive entre la hauteur et le diamètre ($R^2 = 0.7169$, F-statistic: 6094, ddl = 2406, p-value $< 2.2 \times 10^{-16}$ au seuil de 0.001) ; c'est-à-dire le diamètre varie en fonction de la hauteur ($y = 7,8588\ln(x) - 7,2515$).

4.1.4 Groupement des espèces par types d'habitats

Le dendrogramme ci-dessous (figure 4) présente les affinités floristiques dans les sites considérés au sein du domaine de chasse de Rubi-tele.

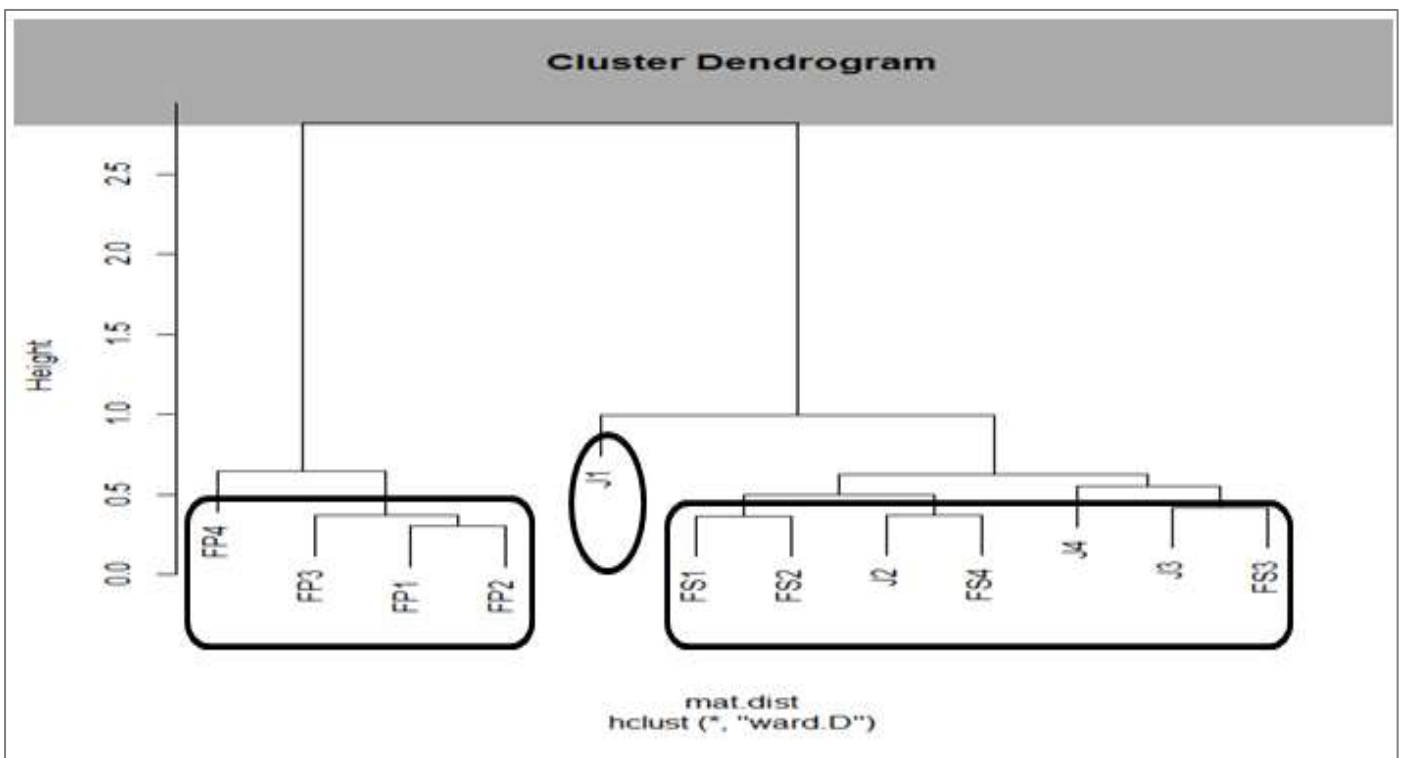


Figure 4
Ressemblance floristique entre les trois types d'habitat.

Légende

J1, 2, 3 et 4= Parcelles de la jachère 1, 2, 3 et 4.

FP1, 2, 3 et 4= Parcelles de la forêt primaire 1, 2, 3 et 4.

FS1, 2, 3 et 4= Parcelles de la forêt secondaire 1, 2, 3 et 4.

Dans ce graphique, le regroupement des espèces montre que la forêt secondaire et la jachère ont presque une même composition floristique. La jachère se rapproche de la forêt secondaire *via* la placette n°1 de la jachère.

4.1.5 Richesse spécifique et Indices de diversité

La richesse spécifique est élevée en forêt secondaire (72 espèces/ha), suivie de la forêt primaire (67 espèces/ha) et de la jachère avec 51 espèces par ha. Indice de diversité de Shannon pour les trois types d'habitats sous études dans le domaine de chasse de Rubi-tele se présente comme suit :

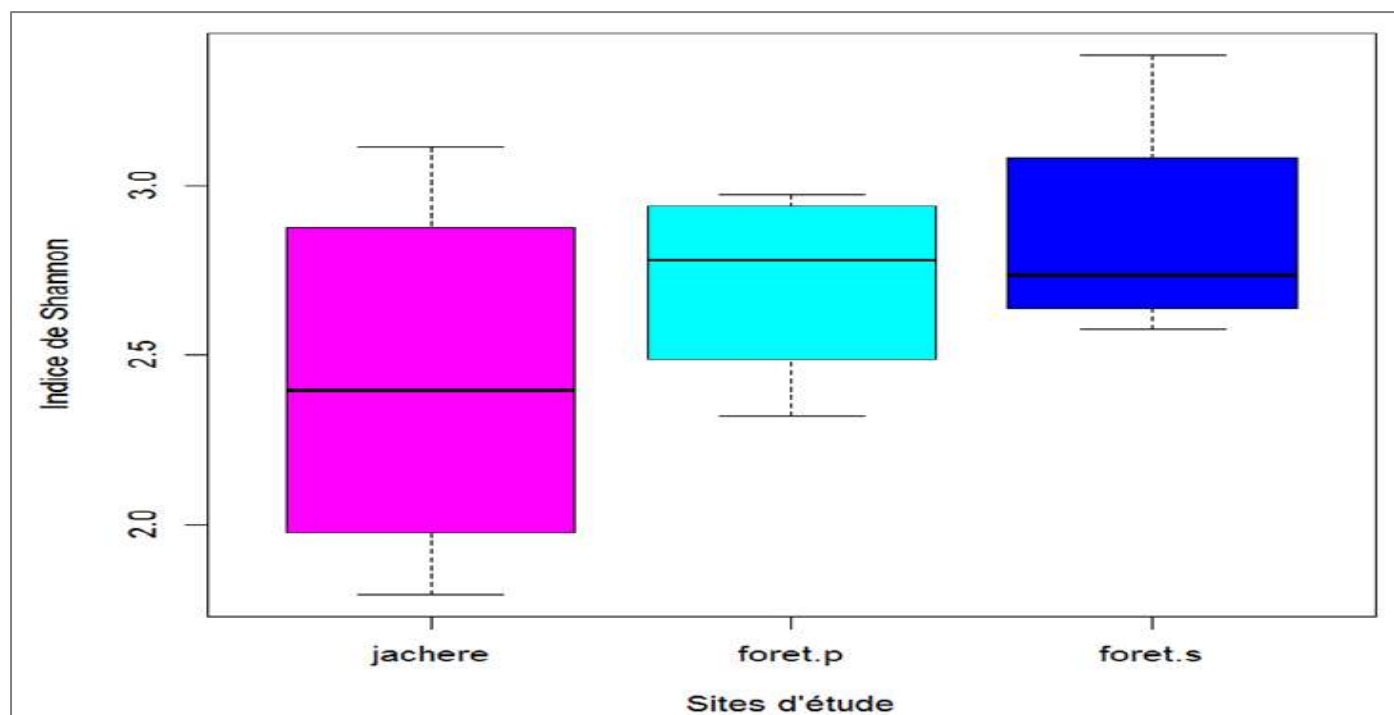


Figure 5

Diversité floristique fournie par l'indice de Shannon dans les écosystèmes considérés.

L'indice de Shannon démontre que la diversité floristique en jachère, forêt primaire et forêt secondaire n'est pas très variable, car les valeurs obtenues présentent des faibles différences. Le test statistique d'ANOVA confirme que cette différence n'est pas significative (p -value = 0.384, seuil = 0.05, $F = 1,068$ et $ddl = 2$).

4.2 Stock de carbone forestier

4.2.1 Biomasse et équivalent stock de carbone par hectare et par type d'habitat (primaire, secondaire et jachère)

La biomasse et le stock de carbone calculés révèlent des valeurs qui diffèrent d'une forêt à une autre en fonction du stade de maturation ainsi que suivant la composition floristique. Les résultats indiquent la forêt primaire contient trois fois plus de carbone sur pied que la forêt secondaire. Ce stock représente douze fois plus de carbone sur pied que celui de la jachère. On remarque que $179,6 \pm 10,5 \text{ Mgha}^{-1}$ de carbone dans la forêt primaire tandis que dans la forêt secondaire et la jachère, les valeurs sont respectivement de $64,2 \pm 5,3 \text{ Mg ha}^{-1}$ et $15,1 \pm 1,8 \text{ Mg ha}^{-1}$. La figure 6 montre la synthèse du stock de carbone contenu dans les trois types d'habitats.

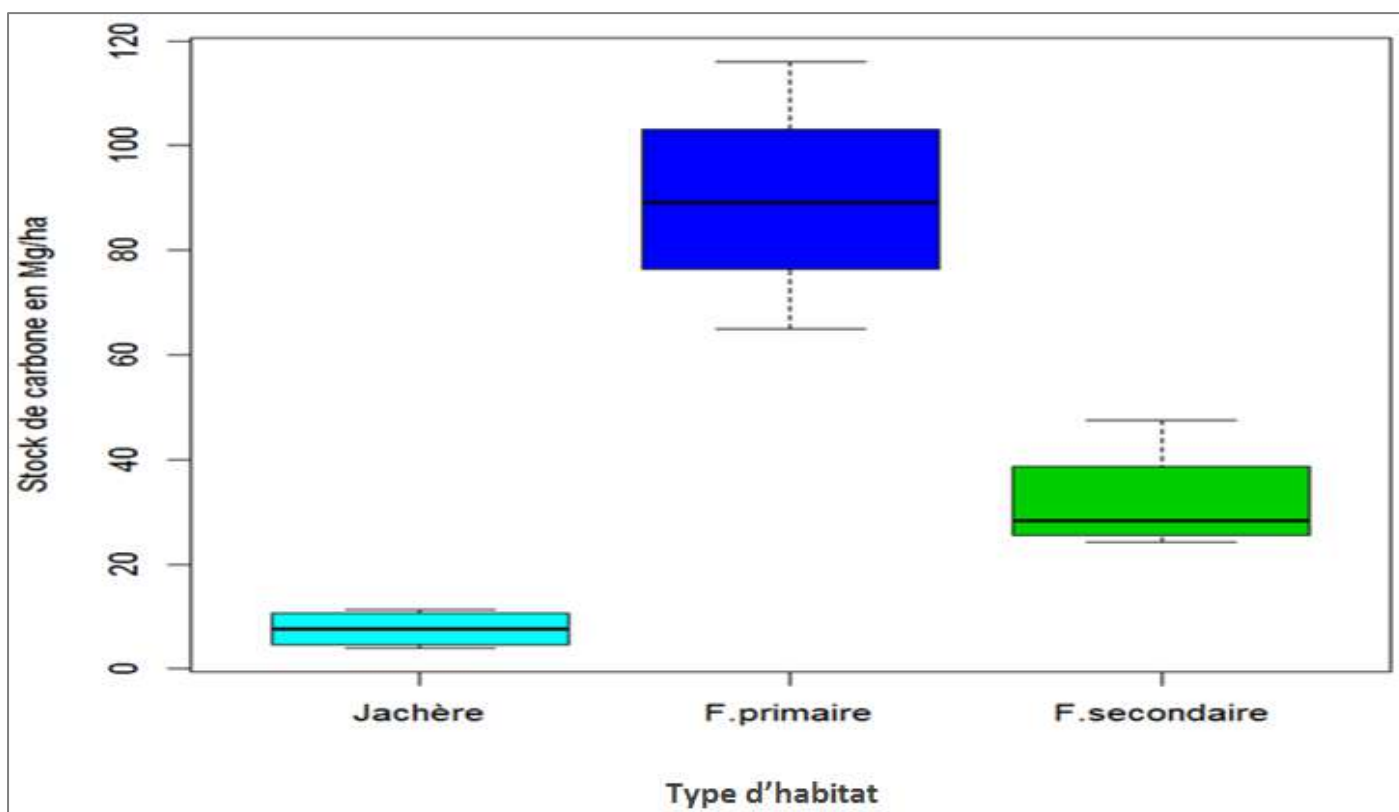


Figure 6
Stock de carbone par type d'habitat dans le domaine de chasse de de la Rubi-tele.

Dans cette figure le stock de carbone est plus élevé en forêt primaire suivie de la forêt secondaire et en enfin, la jachère. L'analyse ANOVA I des valeurs de stock de carbone révèle qu'il existe des différences significatives entre les différents types d'habitats. La p-value obtenue est de 0,0000411 (ddl = 2 et F = 37,96) permet d'affirmer une significativité de variation de stock de carbone au seuil de 0.001. Ainsi, ce résultat préliminaire a permis de réaliser l'analyse post ANOVA I visant la comparaison des moyennes entre les paires d'habitats dans le domaine de chasse de Rubi-tele. Les résultats de cette analyse sont synthétisés dans le tableau 1 ci-dessous.

Tableau 1
Synthèse de l'Analyse post ANOVA I.

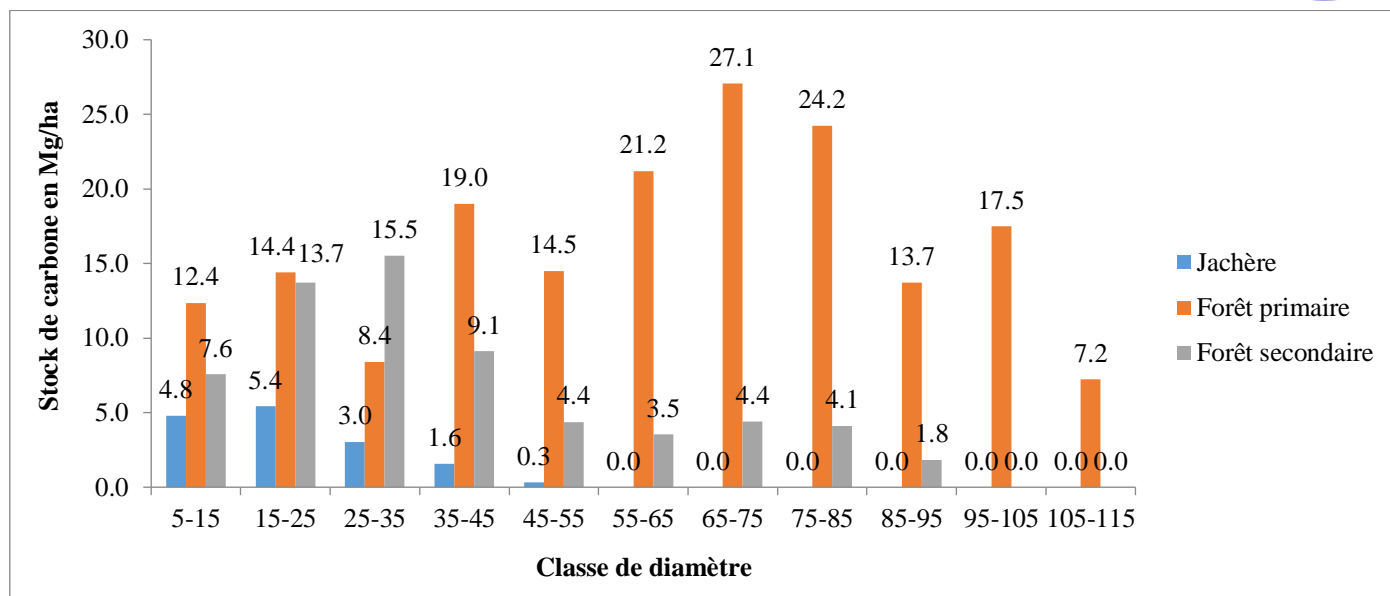
Types d'habitats	diff	lwr	upr	p adj
Forêt primaire-Jachère	41,10	27,576935	54,62307	0,0000367
Forêt secondaire-Jachère	12,25	-1,273065	25,77307	0,0752539
Forêt secondaire-Forêt primaire	-28,85	-42,373065	-15,32693	0,0005598

Légende : diff = différence, lwr = lower, upr = uper et p adj = valeur de la probabilité calculée.

Au regard de ces résultats, la forêt primaire stocke significativement plus de carbone que la jachère (p-value = 0,0000367). De même, elle détient significativement plus de carbone que la forêt secondaire (p-value = 0,0005598). Par contre, quoique la forêt secondaire détient plus de carbone que la jachère, la différence n'est pas statistiquement significative au seuil de 0,05 (p-value = 0,0752539).

4.2.2 Variation de stock de carbone par classe de diamètre et type d'habitat (primaire, secondaire et jachère)

La mise en évidence de biomasse sur pied par les classes de diamètre s'avère indispensable afin de dénicher laquelle des classes de diamètre détiennent plus de biomasse. La figure 7 fournit des informations quant à ce sujet.

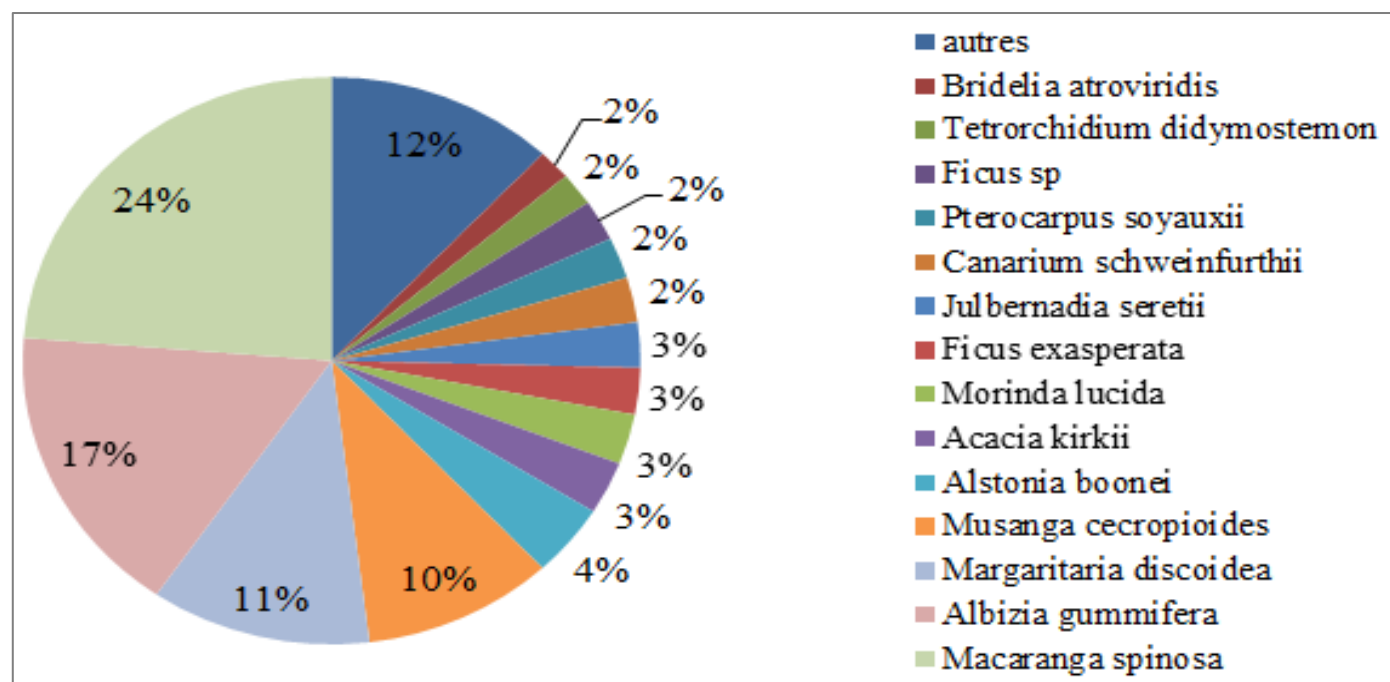
**Figure 7**

Variation de stock de carbone par classe de diamètre et type d'habitat.

Comme le montre la figure 7, la biomasse aérienne est élevée en forêt primaire pour les individus d'arbres appartenant à la classe 65-75 (variant entre 25 et 30 Mg ha⁻¹), ce qui n'est pas le cas pour la jachère et la forêt secondaire où les stocks de carbone sont plus élevés pour les petits diamètres ; c'est-à-dire les classes 15-25 (environ 5 Mg ha⁻¹) et 25-35 (environ 15 Mg ha⁻¹) respectivement pour la jachère et la forêt secondaire. En plus, le stock de carbone est nul dans tous les deux types d'habitats (secondaire et jachère) pour les classes à diamètre à hauteur de poitrine très élevé (par exemple, les classes 95-105 et 105-115).

4.2.3 Variation du stock de carbone par espèce

Les sous points suivants présentent la variation de stock de carbone par espèce pour chaque type d'habitat (figure 8 à 10). Au niveau de la jachère (figure 8), il ressort que l'espèce *Macaranga spinosa* Müll. Arg contribue à 24% à la constitution du stock de carbone dans la jachère du domaine de chasse de la Rubi-tele ; elle est suivie de l'espèce *Albizia gummifera* (J.f. GMELIN) C.A. SM avec 17%, mais les autres espèces regroupées ensemble représentent 12% du stock de carbone.

**Figure 8**

Variation du stock de carbone par espèce dans la jachère.

Dans la forêt primaire (figure 9), l'espèce *Julbernardia seretii* (De Wild.) à elle seule contribue à 55% au stock de carbone que les autres. L'espèce *Gilbertiodendron dewevrei* (De Wild) J. Léonard apporte 20% du total de stock. Les autres espèces regroupées contribuent avec 4 % seulement.

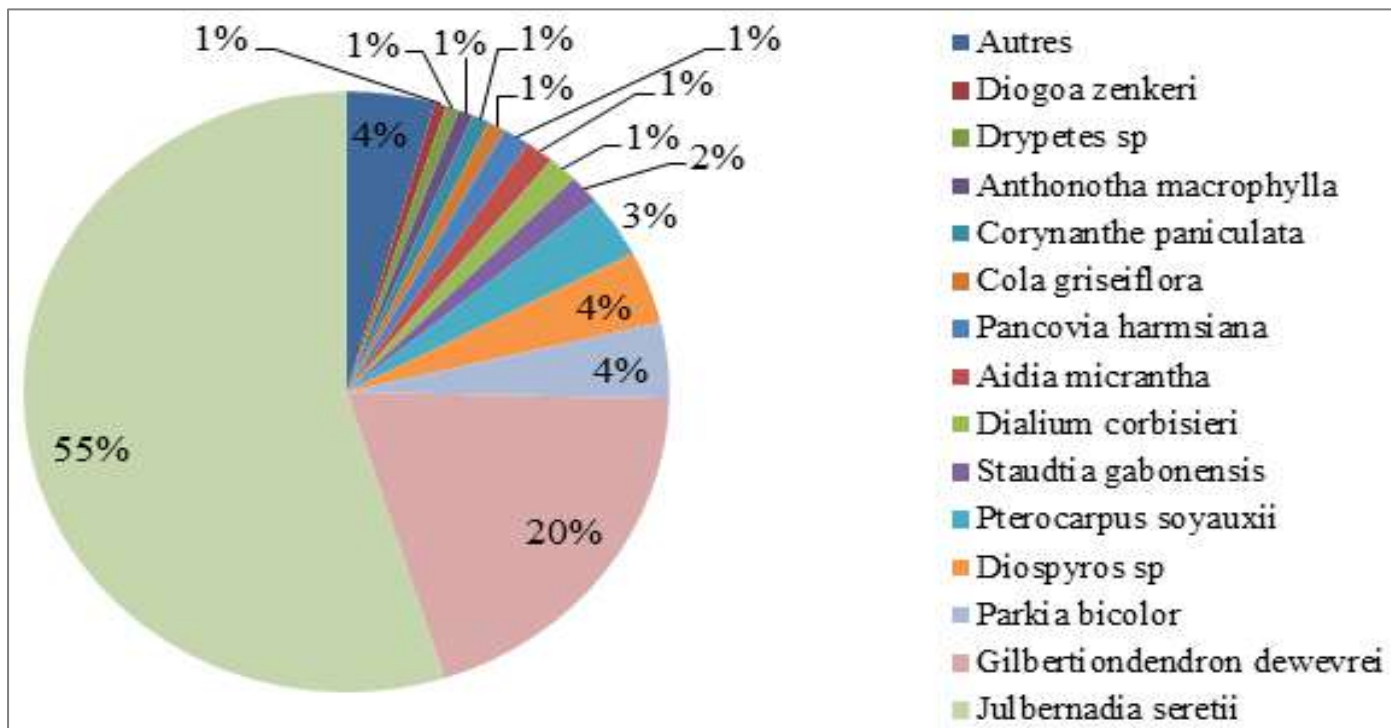


Figure 9
Variation du stock de carbone par espèce en forêt primaire.

Il ressort clairement de la figure 9 que l'espèce *Julbernardia seretii* (De Wild.) à elle seule contribue à 55% au stock de carbone que les autres. L'espèce *Gilbertiodendron dewevrei* (De Wild) J. Léonard apporte 20% du total de stock. Les autres espèces regroupées contribuent avec 4 % seulement. Enfin, en forêt secondaire (figure 10), 24% de stock de carbone sont apportés par l'espèce *Musanga cecropioides* R. Br.Ex Tedlie, suivie des espèces *Margaritaria discoidea* (BAILLON) WEBSTER et *Albizia gummifera* (J.f. GMELIN) C.A. SM avec respectivement 14 et 11% du stock total de carbone en forêt secondaire du domaine de chasse de la Rubi-tele.

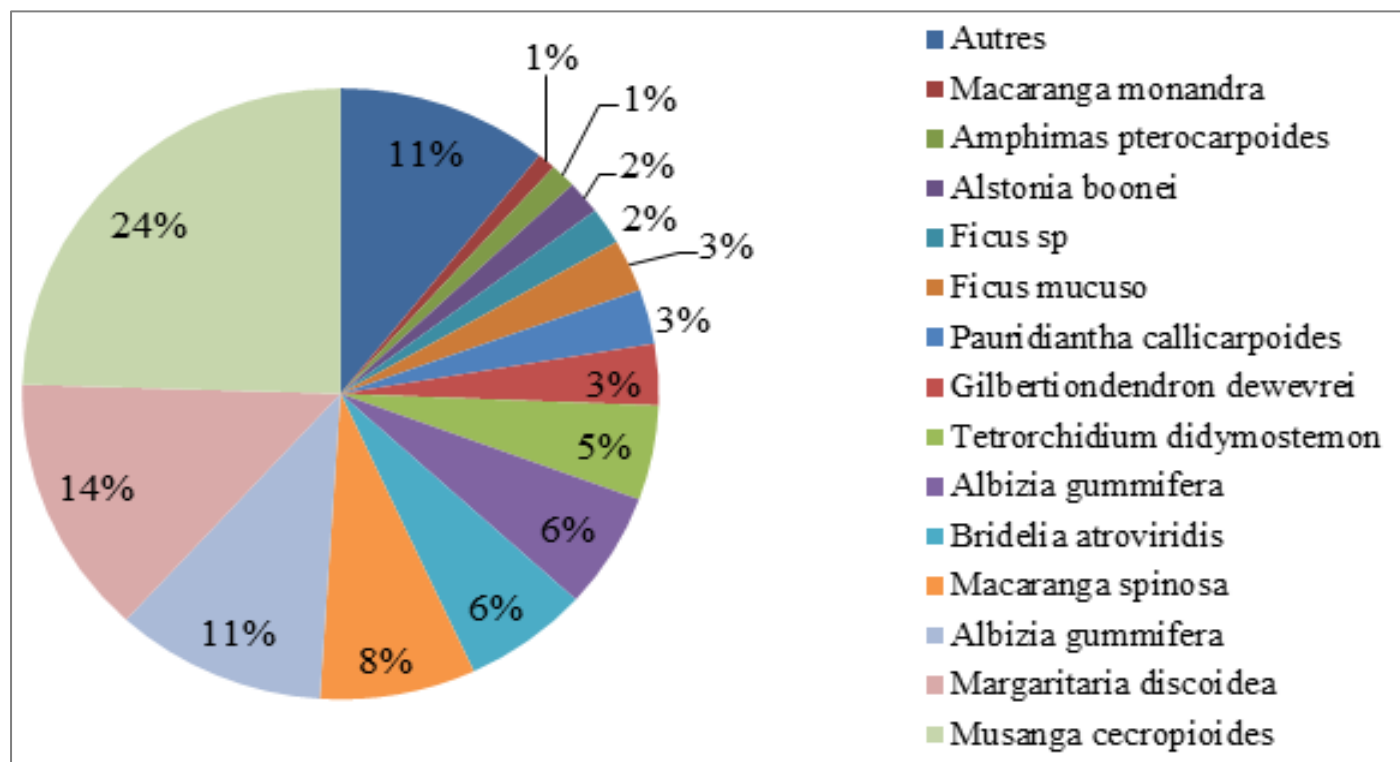


Figure 10

Variation du stock de carbone par espèce en forêt secondaire.

4.3 Discussion

La présente étude avait pour objectifs de comparer le stock de carbone dans trois types d'habitats (primaire, secondaire et jachère) dans le domaine de chasse de la Rubi-tele. A l'issue de résultats obtenus, ci-dessous sont présentés les principaux points retenus.

4.3.1 Caractéristiques des peuplements forestiers étudiés

Dans le domaine de chasse de Rubi-tele, les familles les plus représentées sont celles des Fabaceae (23,6%), Rubiaceae (19,5%) et Euphorbiaceae (21,9%) respectivement, en jachère, forêt primaire et forêt secondaire. La prédominance de la famille de Fabaceae dans la jachère se justifie par le fait qu'elle constitue une des grandes familles qui caractérisent les forêts denses ombrophiles tropicales (Lomba, 2012). Or, on constate une présence élevée des Rubiaceae en forêt primaire et d'Euphorbiaceae en forêt secondaire, cela se justifie par le fait que la structure et texture du sol de la forêt du domaine de chasse de Rubi-tele favorise la régénération et la croissance des espèces appartenant à ces familles.

En effet, la distribution des tiges par classe de diamètres révèle que l'effectif va en diminuant quand croît le diamètre de troncs des arbres. La courbe montre une allure décroissante en forme de « *J renversé* », c'est une courbe caractéristique des forêts naturelles (Suzanne, 2014) à l'instar du dispositif de Paracou (Gourlet-Fleury, 1997) et de la forêt classée de la Mondah (Toung, 2010). Ceci permet à la forêt naturelle de se reconstituer, une forêt d'avenir ; et comme il existe une corrélation entre le diamètre et la hauteur des arbres ($R^2 = 0.7169$, $p\text{-value} < 2,2 \times 10^{-16}$ au seuil de 0.001), cela aurait sans doute un impact sur le stock de carbone dans le domaine de chasse de Rubi-tele. En plus, la forêt primaire couvre plus de surface au sol ($29 \text{ m}^2\text{ha}^{-1}$) suivie de la forêt secondaire ($24,2 \text{ m}^2\text{ha}^{-1}$) et la jachère ($7,3 \text{ m}^2\text{ha}^{-1}$). Quant aux résultats obtenus par Makana et al. (2008) dans le parc national de la Salonga, les individus d'arbres occupent $25,5 \text{ m}^2 \text{ha}^{-1}$, $19,37 \text{ m}^2 \text{ha}^{-1}$ et $14,64 \text{ m}^2 \text{ha}^{-1}$ respectivement pour la forêt primaire, la forêt secondaire et la jachère. Cette différence des résultats serait due densité de peuplement, au sol, climat, exposition et la présence d'autres espèces influencent la vitesse de croissance.

Les espèces *Macaranga spinosa*, *Julbernardia seretii* et *Musanga cecropioides* occupent de grandes surfaces terrières respectivement en jachère, forêt primaire et secondaire. Cette dominance serait expliquée par la densité à l'hectare conditionnée par les facteurs environnementaux (biotiques et abiotiques) dans les milieux sous étude.

L'indice de diversité de Shannon montre qu'il n'y a pas de différence ($p\text{-value} = 0.384$) de diversité entre la forêt primaire, la forêt secondaire et la jachère. Ceci infirme la deuxième hypothèse qui stipule qu'il existe une différence significative entre les différents types d'habitats (primaire, secondaire et jachère) du domaine de chasse de Rubi-tele. Ce manque de différence dans la diversité floristique serait dû à une homogénéité de l'écosystème du domaine de chasse.

Dans des travaux réalisés par Makana (2008) dans le parc national de la Salonga, l'indice de Shannon révèle que la forêt secondaire est plus diversifiée que la jachère et la forêt primaire. Ainsi, l'inventaire des individus d'arbres à partir de 5 cm de diamètre favorise l'échantillonnage de presque tous les individus contenus dans un hectare donné, le stade de succession écologique, les activités humaines passées, ainsi que les caractères écologiques de chaque habitat expliqueraient la différence entre nos résultats avec les deux autres auteurs.

4.3.2 Stock de carbone

Les résultats indiquent qu'il y a plus de carbone sur pied dans la forêt primaire ($179,6 \pm 10,5 \text{ Mg ha}^{-1}$) qu'en forêt secondaire ($64,2 \pm 5,3 \text{ Mg ha}^{-1}$) et jachère ($15,1 \pm 1,8 \text{ Mg ha}^{-1}$). Il existe des différences significatives entre les différents types d'habitats sous étude. Ce qui permet de confirmer la première hypothèse selon laquelle, le stock de carbone dans la forêt du domaine de chasse de Rubi-tele est fonction types d'habitats. La différence de stock de carbone entre la forêt primaire et secondaire est très significative, elle se justifierait par le fait que la forêt primaire fonctionne comme un écosystème fermé et équilibré, où le carbone est capté, stocké et recyclé de manière efficace. La différence significative est approuvée dans un travail réalisé par Ngo et al. (2013) en Singapour.

L'analyse de variance de stock de carbone entre les différents types d'habitats (forêt primaire, forêt secondaire et jachère) montre qu'il existe une différence significative ($p\text{-value} = 0,0000411$) de stock de carbone. Ceci impose une nécessité de la conservation de forêt primaire, car cette forêt joue un rôle crucial dans la séquestration de carbone.

En effet, le résultat obtenu en forêt primaire ($179,6 \pm 10,5 \text{ Mgha}^{-1}$) dans le domaine de chasse de Rubi-tele est légèrement supérieur à celui de Makana et al. (2008) dans le parc national de la Salonga (152 Mgha^{-1}) et de Ngo et al. (2013) à Singapour ($167,5 \text{ Mgha}^{-1}$). La densité élevée d'arbres due à l'estimation de stock de carbone à partir des individus ayant un diamètre à hauteur de la poitrine supérieur à 5 cm expliquerait cette légère différence entre nos résultats et ceux de Makana et al. (2008) et Ngo et al. (2013). Mais, il se trouve dans l'intervalle moyen de 120-194 Mgha^{-1} de stock de carbone estimé en forêt tropicale (Lebreton, 2015). Le stock de carbone en forêt secondaire ($64,2 \pm 5,3 \text{ Mgha}^{-1}$) est inférieur au résultat de Toung (2010) dans la forêt classée de la Mondah ($84,013 \text{ Mgha}^{-1}$) et aux valeurs de Chave et al. (2005) en forêt tropicale ($75,2 \text{ Mgha}^{-1}$). Néanmoins, le stock de carbone en jachère ($15,1 \pm 1,8 \text{ Mgha}^{-1}$) se rapproche de celui obtenu dans le bassin d'approvisionnement de bois énergie à Kinshasa par Dubiez et al. (2014) ($16,85 \text{ Mgha}^{-1}$). Si on comparait les stocks de carbone de la forêt primaire avec celui de la forêt secondaire dans le domaine de chasse de Rubi-tele, la forêt primaire contient trois fois plus de carbone sur pied que la forêt secondaire ; ceci environne les résultats de Suzanne (2014) en Indonésie, où la forêt primaire contient 2,5 fois de stock de carbone que la forêt secondaire ; en effet, les stocks de carbone en forêt primaire et secondaire sont respectivement $175,0 \text{ Mgha}^{-1}$ et $70,3 \text{ Mgha}^{-1}$. Les différences de stock de carbone avec d'autres auteurs se justifieraient par les particularités de chaque site, les méthodes d'échantillonnage, les équations allométriques utilisées mais aussi de la composition floristique.

La biomasse aérienne est élevée en forêt primaire pour les individus d'arbres appartenant à la classe 65-75 (variant entre 25 et 30 Mg ha^{-1}), ce qui n'est pas le cas pour la jachère et la forêt secondaire où les stocks de carbone sont plus élevés pour les petits diamètres ; c'est-à-dire les classes 15-25 (environ 5 Mg ha^{-1}) et 25-35 (environ 15 Mg ha^{-1}) respectivement pour la jachère et la forêt secondaire. Dans la forêt primaire l'espèce *Julbernardia seretii* (De Wild.) à elle seule contribue à 55% au stock de carbone que les autres, en forêt secondaire, 24% de stock de carbone sont apportés par l'espèce *Musanga cecropioides* R. Br. Ex Tedlie, tandis qu'en jachère, l'espèce *Macaranga spinosa* Müll. Arg contribue à 24% à la constitution du stock de carbone du domaine de chasse de la Rubi-tele.

Cette variation de stock de carbone par classe de diamètre et par espèce et type d'habitat (primaire, secondaire et jachère) serait dû aux diamètres à hauteur de poitrine mesurés et au nombre d'individus d'arbres inventoriés dans chaque type de forêt. Elle est aussi soutenu dans l'étude de Terakunpisut (2007) ; où il avait trouvé qu'en forêt nationale de Thong Pha Phum de Thailand, la séquestration du carbone varie selon les types et âges de forêt ; et la capacité d'une forêt à séquestrer le carbone dépend de classe de diamètre d'arbre.

V. CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

5.1 Conclusion

Les forêts de la République Démocratique du Congo, à l'instar de celle du domaine de chasse de la Rubi-tele sont considérées comme un réservoir important de carbone, notamment si les biomasses sont préservées. Cette étude montre que la forêt du domaine de chasse de la Rubi-tele joue un rôle dans la séquestration du CO_2 , ce qui est bénéfique pour atténuer le changement climatique en favorisant l'échange entre les arbres et l'atmosphère à travers la photosynthèse.

Cette étude a permis de faire l'analyse floristique et comparer le stock de carbone de trois types d'habitats (primaire, secondaire et jachère). Les résultats de cette étude nous ramènent à conclure que la forêt primaire représente un stock de carbone plus important que les deux autres forêts, ce qui permet de confirmer la première hypothèse. En

plus, l'indice de diversité de Shannon montre qu'il n'y a pas de différence (p -value = 0.384) dans la composition floristique et ceci infirme la deuxième hypothèse.

5.2 Recommandations

La gestion efficace des écosystèmes nécessite une connaissance approfondie ; cependant, il n'est pas toujours possible de tout connaître. Néanmoins, il est possible de découvrir ce que l'on ignore par la recherche, afin de réduire l'ignorance. À l'issue de notre recherche et des résultats obtenus, nous suggérons l'installation d'une institution étatique pour la conservation de ce domaine de chasse, car depuis 2004, il n'y avait plus d'autorité ICCN (Institut Congolais pour la Conservation de la Nature) à la tête du domaine, et la destruction de ce dernier est menacée par l'exploitation illicite de minerais et de bois d'œuvre. Nous recommandons également que d'autres chercheurs amorcent des inventaires systématiques dans l'ensemble de la forêt du domaine de chasse de Rubi-Tele, car peu d'études ont jusqu'à présent été réalisées dans ce milieu. Enfin, il serait pertinent d'effectuer une estimation du stock de carbone dans ce domaine de chasse afin d'avoir une idée précise de sa capacité en stock de carbone.

REFERENCES

- Baker, T., Phillips, O., Malhi, Y., Almeida, S., Arroyo, L., Di Fiore, A., Erwin, T., Killeen, T., Laurance, S., Laurance, W., Lewis, S. S., Lloyd, J., Monteagudo, A., Neill, D., Patiño, S., Pitman, N., Silva, J., & Vasquez, M. (2004). Variation in wood density determines spatial patterns in Amazonian forest biomass. *Global Change Biology*, 10(4), 545–562.
- Brown, S. (1997). Estimating biomass and biomass changes of tropical forests: A primer. Food and Agriculture Organization of the United Nations. FAO Forestry Paper 134, 17 pp.
- Chave, J. (2000). Dynamique spatio-temporelle de la forêt tropicale. *Annales de Physique (Paris)*, 25(6), 4–9.
- Chave, J., Andalo, C., Brown, S., Cairns, M., Chambers, J., Eamus, D., Folster, H., Fromard, F., Higuchi, N., Kira, T., Lescure, J.-P., Nelson, B., Ogawa, H., Puig, H., Riéra, B., & Yamakura, T. (2005). Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forest. *Oecologia*, 145(1), 87–99.
- Chave, J., Rejou-Mechain, M., Burquez, A., Chidumayo, E., Matthew, S., Welington, B. C., Duque, A., Tron, E., Fearnside, M., Goodman, C., Henry, M., Martinez-Yrizar, A., Mugasha, A., Muller-Landau, C., Mencuccini, M., Nelson, W., Ngomanda, A., Nogueira, M., Ortiz-Malavassi, E., Pelissier, R., Ploton, P., Ryan, M., Saldarriaga, G., & Vieilledent, G. (2014). Improved allometric models to estimate the aboveground biomass of tropical trees. *Global Change Biology*, 20(10), 3177–3190. <https://doi.org/10.1111/gcb.12629>
- Chidumayo, E. (2002). Changes in miombo woodland structure under different land tenure and use systems in central Zambia. *Journal of Biogeography*, 29(11), 1619–1626.
- Croizer, C., & Trefon, T. (2007). Quel avenir pour les forêts de la République démocratique du Congo ? Instruments et mécanismes innovants pour une gestion durable des forêts. CTB, Belgium, p. 73.
- De Wasseige, C., & Devers, D. (2008). *Etat des forêts 2008*. Luxembourg: Office des Communautés Européennes, p. 16.
- Dubiez, E., Gond, V., Peltier, R., Boulogne, M., Gigaud, M., Péroches, A., Pennec, A., Proches, P., Vermeulen, C., & Marien, J. N. (2014). Suivi de l'évolution des stocks de carbone, Chapitre 2-3. Gembloux Agro Bio Tech, Union Européenne, p. 26.
- Durrieu de Madron, L., Bauwens, S., Giraud, A., Hubert, D., & Billand, A. (2011). Estimation de l'impact de différents modes d'exploitation forestière sur les stocks de carbone en Afrique centrale. *Bois et Forêts des Tropiques*, 308(2), 85.
- Ebuy, J. (2009). Estimation du stockage de carbone dans les plantations de l'I.N.E.R.A.-Yangambi à Yangambi (R.D.Congo): Cas d'Autranella congolensis (De Wild), Gilbertiodendron dewevrei (De Wild) J. Léonard et Drypetes likwa (J. Léonard). Mémoire de DEA, Université de Kisangani, p. 103.
- Ernst, G. (2012). Estimation du volume et de la biomasse aérienne ligneuse pour les espèces d'arbres du Sud-Est du Cameroun. Mémoire Master, Université de Gembloux, 60 pp.
- Fayolle, A., Ngomanda, A., Mbasi, M., Barbier, N., Bocko, Y., Boyemba, F., Couteron, P., Fonton, N., Kamdem, N., Katembo, J., Kondaoule, H. J., Loumeto, J., Maïdou, H. M., Mankou, G., Mengui, T., et al. (2018). A regional allometry for the Congo Basin forests based on the largest ever destructive sampling. *Forest Ecology and Management*, 430, 228–240. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2018.07.030>
- Gourlet-Fleury, S. (1997). Modélisation individuelle spatialement explicite de la dynamique d'un peuplement de forêt dense tropicale humide (Dispositif de Paracou, Guyane française). Université Claude Bernard-Lyon I. (NNT: 00204403).
- Gourlet-Fleury, S., Rossi, V., Rejou-Mechain, M., Freycon, V., Fayolle, A., Saint-André, L., Cornu, G., Gérard, J., Sarrailh, J., Flores, O., Baya, F., Billand, A., Fauvet, N., Gally, M., Henry, M., Hubert, D., Pasquier, A., &

- Picard, N. (2011). Environmental filtering of dense-wooded species controls above-ground biomass stored in African moist forests. *Journal of Ecology*, 99(3), 981–990.
- Houghton, R., dos Santos, R., Soares, J., & Yu, Y. (2001). Distribution of aboveground live biomass in the Amazon basin. *Global Change Biology*, 7(4), 371–382.
- Lebreton, P. (2015). Carbone et forêts : réflexions et propositions sur la diversité des filières carbonées. FS, FRAPNA, LPO-CoRA, 58 pp.
- Lewis, S. L., Lloyd, J., Sitch, S., Mitchard, E. T., Laurance, W., & William, F. (2009). Changing ecology of tropical forests: Evidence and drivers. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 40, 529–549.
- Lomba, C. (2012). Systèmes d'agrégation et structures diamétriques en fonction des tempéraments de quelques essences dans les dispositifs permanents de Yoko et Biaro (Ubundu, Province Orientale, RDC). Mémoire D.E.S, Université de Kisangani.
- Makana, J.-R., Umunay, P., Ewango, C., & Hall, J. (2008). Floristic inventories and estimation of forest carbon stocks in primary and secondary forests in Salonga National Park and surrounding areas. *Wildlife Conservation Society, USAID, Smithsonian Tropical Research Institute, WWF*.
- Marchal, D., & Rondeux, J. (1995). Comment estimer la surface terrière d'un peuplement. Faculté des Sciences Agronomiques de Gembloux, Département de Gestion et Économie Forestières, p. 7.
- Nasi, R., Mayaux, P., Devers, D., Bayol, N., Eba'a R., Mugnier, A., Cassagne, B., Billand, A., & Sonwa, D. (2008). Un aperçu des stocks de carbone et leurs variations dans la forêt du Bassin du Congo. *Union Européenne*, pp. 199–216. <https://www.researchgate.net/publication/232660166>
- Ndamiyehe, J., & Kadiata, B. (2015). Floristic diversity and atmospheric carbon dioxide reduction in urban institutional lands of Bukavu. *Journal of Forest and Environmental Science*, 15.
- Ngo, K.-M., Turner, B. L., Muller-Landau, H. C., Davies, S. J., Larjavaara, M., bin N. P., Hasan, N., & Lum, S. (2013). Carbon stocks in primary and secondary tropical forests in Sangapore. *Forest Ecology and Management*, 296, 81–89.
- Omasombo, J., Akude, J., Stroobant, E., Kumbatulu, C., Zana, M., Edwine, S., Krawczyk, J., & Mohamed, L. (2014). BAS-UELE: Pouvoirs locaux et économie agricole, héritages d'un passé brouillé. Monographies des provinces de la République Démocratique du Congo. Koninklijk Museum voor Midden-Afrika, 471 pp.
- Penguin, M., & Delangue, J. (2013). Panorama des services écologiques fournis par les milieux naturels en France, Volume 2.1 : Les écosystèmes forestiers. pp. 6–12.
- Picard, N., & Gourlet-Fleury, S. (2008). Manuel de référence pour l'installation de dispositifs permanents en forêt de production dans le bassin du Congo. Yaoundé: COMIFAC. HAL Open Science, p. 265. <http://hal.science/cirad-00339816v1>
- Razakamanarivo, R. H. (2009). Potentialités de stockage du carbone dans le système plante-sol des plantations d'eucalyptus des hautes terres malgaches. Thèse en sciences du sol, Université de Montpellier, 181 pp.
- Rigling, A., & Peter, H. (2015). Rapport forestier 2015 : État et utilisation de la forêt suisse. OFEV & WSL, p. 143.
- Suzanne, M. (2014). Above-ground biomass and carbon stocks in a secondary forest in comparison with adjacent primary forest on limestone in Seram, the Moluccas, Indonesia. CIFOR, pp. 145. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.4473.8164>
- Terakunpisut, J., Gajasen, N., & Ruankawe, N. (2007). Carbon sequestration potential in aboveground biomass of Thong Pha Phum National Forest, Thailand. *Ecology and Environmental Research*, 5(2), 93–102. <http://www.ecology.uni-corvinus.hu>
- Toung, D. (2010). Estimation de la quantité de carbone stockée par une forêt en reconstitution : Cas d'une jeune jachère dans la forêt classée de la Mondah. Mémoire en ligne, École Nationale des Eaux et Forêts du Cap-Estérias, Gabon, 25 pp.
- Van der Wim, H. (2012). Climate change, aboveground–belowground interactions, and species' range shifts. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 43, 365–383.
- Vieira, S., de Camargo, P.-B., Selhorst, D., da Silva, R., Hutyra, L., Chambers, J.-Q., Brown, I.-F., Higuchi, N., Santos, J.-D., Wofsy, C., & Trumbore, E. (2004). Forest structure and carbon dynamics in Amazonian tropical rain forests. *Oecologia*, 140(3), 468–479.
- Zanne, A. E., Lopez-Gonzalez, G., Coomes, D. A., Ilic, J., Jansen, S., Lewis, S. L., Miller, R. B., Swenson, N. G., Wiemann, M. C., & Chave, J. (2009). Data from: Towards a worldwide wood economics spectrum [Data set]. *Dryad*. <https://doi.org/10.5061/dryad.234>