

Estimation du stock de carbone et potentiel de la biodiversité ligneuse à sequestrer le carbone en milieux urbains: Cas de la ville de Bunia en province de l'Ituri (RDC)

Mposo Nsangua Benoit¹
 Nshimba Nseywa Wa Malale Hippolyte²
 Katembo Wasingya Éric³
 Sabongo Y. Prosper⁴
 Katembo Kasekete Desiré⁵
 Mbuyu Mulongo Lauriane⁶

^{1*}benoitmposo@gmail.com (+2438 1038 2443 et +24399 7228 832)

^{1,2,3,4,5,6}L'université de Bunia (RDC), Democratic Republic of Congo (DRC)

<https://doi.org/10.51867/ajernet.6.4.31>

RESUME

La biodiversité ligneuse joue un important rôle écosystémique de réduction de dioxyde de carbone à travers le processus de la photosynthèse pour le bien être de l'homme et pour certains autres êtres vivants. Malheureusement ce processus est souvent négligé ou mal connu en milieux urbains. Cette étude réalisée en ville de Bunia (RDC) a permis de développer, grâce aux mesures dendrométriques, les modèles spécifiques des équations allométriques pour estimer le stock de carbone séquestré par la biodiversité ligneuse des milieux urbains, cas de la ville de Bunia (RDC). 21 parcelles de 100mx100m chacune ont été installées pour les inventaires des arbres à la hauteur de la poitrine (Dhp \geq 10 cm), soit à 1,30 m au-dessus du niveau de sol en raison de 7 parcelles par commune dans les trois communes (Mbunya, Nyakasanza et Shari) que compose la ville de Bunia. Les résultats obtenus grâce à la méthode non destructive de la biomasse aérienne ont montré que 2311 arbres ont été inventoriés. La biomasse aérienne totale obtenue pour les arbres inventoriés dans le milieu d'étude est estimée à 1 759 055,50 kg (1 759,06 tonnes), ce qui correspond à un stock de carbone estimé à 879 527,75 kg (8 795,27 tonnes) de carbone. L'Equivalent CO₂ est de 237 472,49 kg (2 374,72 tonnes). L'équivalent CO₂ par arbre est estimé à 124,39 kg de CO₂. La quantité estimée de carbone séquestré pour une moyenne de 110,05 arbres/ha de la ville de Bunia est estimée à (47 658,53 \pm 27 275,93) /ha. La quantité estimée de carbone absorbée par un arbre dans le milieu d'étude est de (380,58 kg) de carbone/arbre. Un constat fait observer une variabilité des stocks de carbone dans toutes les parcelles et/ou des communes. La valeur statistique F (183,99) est également très élevée et très statistiquement significative (p-value < 0,001). Cela signifie qu'il y a une différence très significative des quantités du stock de carbone estimée dans les trois différentes communes. Cinq espèces ligneuses contribuent efficacement au stockage de carbone dans cette ville. L'espèce d'*Eucalyptus globulus* absorbe plus le carbone estimée à (61%) par rapport aux autres espèces; *Mangifera indica* contribue au stockage de carbone à (14%), *Persea americana* absorbe à (9%), *Grevillea robusta* absorbe le carbone à la hauteur de (7%) et *Senna siamea* stocke le carbone estimé à 5%. Cela justifie que la quantité de carbone séquestré par la biodiversité ligneuse varie d'une espèce à une autre. Six espèces possèdent les bois qui stockent plus le carbone que les autres, il s'agit de: *Eucalyptus globulus* qui stocke 30 021,18 kg de carbone; *Mangifera indica* suit avec 5 028,44 kg; *Pinus montana* a stocké 3 938,54 kg de carbone; *Grevillea robusta* (1 718,16 kg); *Albizia chinensis* (1 718,76 kg) et *Persea americana* (1 347,77 kg de carbone). Le constat est que la quantité du stock de carbone est fonction de la qualité du bois de l'arbre bien que certaines espèces ont la même densité du bois numérique. Ces résultats obtenus dans ce travail contribuent à l'effort d'une gestion durable des écosystèmes urbains enfin de réduire les gaz carboniques (CO₂) et aussi pour atténuer les impacts environnementaux dus au changement climatique. Nous suggérons que les études futures, devraient envisager le développement d'équations allométriques localement calibrées, par des méthodes destructives ou des techniques non destructives avancées telles que le LiDAR terrestre pour compléter les résultats de ce travail. La collecte de données primaires sur la densité du bois des espèces locales, ou la collaboration avec des laboratoires d'anatomie du bois, permettrait d'améliorer la précision des estimations de carbone.

Mots-Cles : Biodiversité, Boisés, Environnements Estimation, Ituri, Potentiel, Province, RDC, Séquestration, Stock de Carbone, Urbains, Ville de Bunia

ABSTRACT

Woody biodiversity plays a significant ecosystem role in reducing carbon dioxide through photosynthesis for the well-being of humans and other living things. Unfortunately, this process is often neglected or poorly understood in urban environments. This study, conducted in Bunia (DRC), utilized dendrometric measurements to develop specific allometric equations to estimate the carbon stock sequestered by woody biodiversity in urban environments, specifically in the city of Bunia (DRC). 21 plots, each 100m x 100m, were established for tree inventories at breast height (DBH \geq 10 cm), which is 1.30 m above ground level, with seven plots per commune in the three communes (Mbunya, Nyakasanza, and Shari) that make up the city of Bunia. The results from the non-destructive aboveground biomass method showed that 2,311 trees were inventoried. The total aboveground biomass for the

inventoried trees in the study area is estimated at 1,759,055.50 kg (1,759.06 tons), which corresponds to an estimated carbon stock of 879,527.75 kg (8,795.27 tons) of carbon. The CO₂ equivalent is 237,472.49 kg (2,374.72 tons). The CO₂ equivalent per tree is estimated at 124.39 kg of CO₂. The estimated quantity of sequestered carbon for an average of 110.05 trees/ha in Bunia is estimated at (47,658.53 ± 27,275.93.)/ha. The estimated quantity of carbon absorbed per tree in the study area is (380.58 kg) of carbon/tree. An observation was made of the variability of carbon stocks across all plots and/or communes. The statistical F-value (183.99) is also very high and statistically significant (p-value < 0.001). This means there is a very significant difference in the estimated carbon stock quantities in the three different communes. Five woody species effectively contribute to carbon storage in this city. The species *Eucalyptus globulus* absorbs the most carbon, estimated at (61%) compared to other species; *Mangifera indica* contributes to carbon storage at (14%), *Persea americana* absorbs (9%), *Grevillea robusta* absorbs carbon at (7%), and *Senna siamea* stores an estimated 5% of carbon. This justifies that the quantity of carbon sequestered by woody biodiversity varies from one species to another. Six species have wood that stores more carbon than others: *Eucalyptus globulus*, which stores 30,021.18 kg of carbon; *Mangifera indica* follows with 5,028.44 kg; *Pinus montana* has stored 3,938.54 kg of carbon; *Grevillea robusta* (1,718.16 kg); *Albizia chinensis* (1,718.76 kg); and *Persea americana* (1,347.77 kg of carbon). The finding is that the quantity of carbon stock is a function of the quality of the tree's wood, although some species have the same numerical wood density. The results obtained in this work contribute to the effort of sustainable management of urban ecosystems to reduce carbon gases (CO₂) and also to mitigate the environmental impacts of climate change. We suggest that future studies should consider developing locally calibrated allometric equations using destructive methods or advanced non-destructive techniques such as terrestrial LiDAR to complement the results of this work. The collection of primary data on the wood density of local species, or collaboration with wood anatomy laboratories, would improve the accuracy of carbon estimates.

Keywords: Biodiversity, Carbon Stock, City of Bunia, Estimation, Ituri, and DRC, Potential, Province, Sequester, Urban Environments, Woody

I. INTRODUCTION

Les composants atmosphériques tels que, l'azote (78,1%), l'oxygène (20,9%), un certain nombre de gaz à l'état de trace dont l'argon (0,93%), l'hélium et les gaz à effet de serre (GES) (Ramarson, 2009) contribuent grandement au changement climatique. l'effet de serre qui n'est qu'un processus qui permet à l'atmosphère de se maintenir à une température de +15°C, condition indispensable à la vie sur terre. Les gaz à effet de serre sont les constituants gazeux de l'atmosphère tant naturels qu'anthropiques, qui absorbent et émettent un rayonnement à des longueurs d'ondes données du spectre du rayonnement infrarouge thermique émis par la surface de la terre, l'atmosphère et les nuages. La vapeur d'eau (H₂O), le dioxyde de carbone (CO₂), l'Oxyde nitreux (N₂O), le méthane (CH₄) et l'Ozone (O₂) sont les principaux gaz à effet de serre présents dans l'atmosphère. Parmi ces gaz, le dioxyde de carbone (CO₂) est le gaz le plus abondant dans l'atmosphère. L'augmentations des émissions du gaz carbonique (CO₂) au niveau mondial, avec l'urbanisation croissante d'ici 2030, provenant du milieu urbain devraient atteindre 76% (Laïlle, et al., 2013 ; Vroh et al., 2014).

Toutefois, les plantes utilisent le processus de la photosynthèse pour absorber le CO₂ et rejeter de l'O₂ utilisable par les autres êtres vivants pour la respiration. Le CO₂ est converti en différents composés organiques qui constituent le matériel végétal contenu dans le bois, l'écorce et dans les feuilles. Cela contribue donc à la diminution du CO₂ dans l'atmosphère. Dans les milieux urbains ce processus est souvent négligé ou mal connu. Compte tenu de l'ampleur des émissions de CO₂, si les villes et leurs autorités ne prennent pas des mesures pour atténuer le changement climatique, la situation risque d'être inquiétante. Les conséquences des activités anthropiques sur les écosystèmes urbains peuvent être difficiles à cerner.

Les types des plantes en particulier les vieux arbres ou vieilles forêts ont une capacité de stocker une quantité supérieure de carbone que les jeunes plantes et cela d'une espèce à une autre. Le taux de séquestration de carbone ralentisse avec l'âge de l'arbre et leur masse déjà existante constitue un réservoir important de carbone accumulé pendant les décennies. Une grande densité de la végétation augmente généralement le stock de carbone. Quant à la séquestration de carbone (absorption), les jeunes plantes et les jeunes forêts sont très efficaces pour séquestrer le carbone de l'atmosphère. Leur croissance rapide nécessite une grande quantité de carbone qu'elles absorbent par la photosynthèse pour construire leur biomasse (tronc, branches, feuilles, écorces et racines). Plus la croissance est rapide, plus le taux d'absorption de CO₂ est élevé.

La biodiversité arborescente en milieux urbains joue un rôle crucial dans la séquestration de carbone. Toutefois sa dégradation due aux activités anthropiques fait que le CO₂ atmosphérique augmente avec comme conséquence principale le changement climatique. La vitesse moyenne du réchauffement climatique est observée au cours des cinquante dernières années et varie de 0,10 à 1,16 °C par décennie, elle est environ le double de la vitesse moyenne observée pendant les cent dernières années (GIEC, 2007).

La mise en œuvre des stratégies d'atténuation et de lutte contre le changement climatique nécessite les estimations précises de la biomasse aérienne, des stocks de carbone (Gibbs et al., 2007) et le choix d'un modèle allométrique approprié (Fayolle et al., 2018). Les prédictions du modèle pantropical pour les forêts humides ont toutefois été jugées impartiales et précises au Cameroun (Fayolle et al., 2013) mais ont montré une surestimation de 40% au

Gabon (Ngomanda et al., 2014), bien que dans ce dernier site, l'équation de la forêt humide soit appropriée. La sélection du modèle allométrique approprié parmi un ensemble de modèles existants n'est donc pas simple, comme l'a également montré en Colombie (Alvarez et al., 2012). Les équations allométriques pantropicales ont été récemment révisées (Chave et al., 2014).

En République Démocratique du Congo (RDC) en général et en particulier dans la ville de Bunia, on observe actuellement une croissance démographique galopante qui fait pression sur les espaces verts en milieux urbains, à la recherche des espaces pour la construction des infrastructures routières, des maisons d'habitation, l'installation des camps des déplacés des guerres dans la ville de Bunia et des espaces des loisirs, exploitation des bois de chauffage pour l'énergie et l'agriculture périurbaine. Cela a comme conséquences; la dégradation des écosystèmes urbains et l'augmentation des pollutions atmosphériques en particulier le CO₂ due à ces activités anthropiques. Cette dégradation de la biodiversité végétale qui joue le rôle d'atténuer les impacts dus au changement climatique par l'absorption des gaz carbonique (CO₂), entraîne ainsi une perte d'important stock de carbone. Le manque des données chiffrées en terme d'estimation du stock de carbone séquestré par la biodiversité végétale, en particulier ligneuse en milieu urbain et une connaissance limitée de leur importance constituent un défi de taille pour contribuer à l'atténuation des impacts environnementaux dus au changement climatique.

Pour contribuer à l'effort d'atténuation du réchauffement climatique par la réduction des émissions de dioxyde de carbone (CO₂) par la biodiversité ligneuse, la présente étude se démarque d'une part, à développer les équations allométriques spécifiques pour combler le manque des données quantitatives sur le stock de carbone (C) des milieux urbains et d'autre part, à utiliser une nouvelle approche non destructive et identifier les espèces les plus adaptées qui contribuent le plus au stock de carbone séquestré dans les milieux urbains; cas de la ville de Bunia et en particulier dans ses trois communes (Mbunya, Nyakasanza et Shari) en province de l'Ituri (RDC).

1.1 Objectif de la Recherche

- i. Développer, grâce aux mesures dendrométriques, les modèles spécifiques des équations allométriques pour estimer le stock de carbone séquestré par la biodiversité ligneuse des milieux urbains, cas de la ville de Bunia.
- ii. Déterminer le potentiel des espèces ligneuses du milieu urbain de Bunia à séquestrer le carbone

1.2 Hypothèses de Recherche

H₀₁ : Différents modèles des équations allométriques spécifiques des milieux urbains sont développés pour estimer le stock de carbone séquestré par la biodiversité ligneuse.

H₀₂ : Le potentiel des espèces ligneuses à séquestrer le stock de carbone en milieu urbain de Bunia varie d'une espèce à l'autre au sein de ses trois communes.

II. MÉTHODOLOGIE

2.1 Milieu d'étude

Le présent travail s'est déroulé dans les trois communes (Mbunya, Nyakasanza et Shari) de la ville de Bunia, chef-lieu de la province de l'Ituri en République Démocratique du Congo (RDC). Elle est située au Nord-est du pays aux environs du lac Albert (Mobutu) qui constitue en partie la frontière avec l'Ouganda. Dans sa partie Est, elle se situe en dessous des chaînes des montagnes des Monts bleus qui forment le flanc occidental du rift albertin du lac Albert au Nord à l'extrémité septentrionale du lac Kivu en passant par le lac Edouard (Robyns, 1948). Cette ville est située sur la latitude : 30° 15'00'' Est, la longitude : 1° 34'00'' Nord et sur l'altitude moyenne de 1250 m. Elle s'étend sur une superficie de 5 760 ha = 57,6 km² (Figure 1) (Tshinyama et al., 2023).

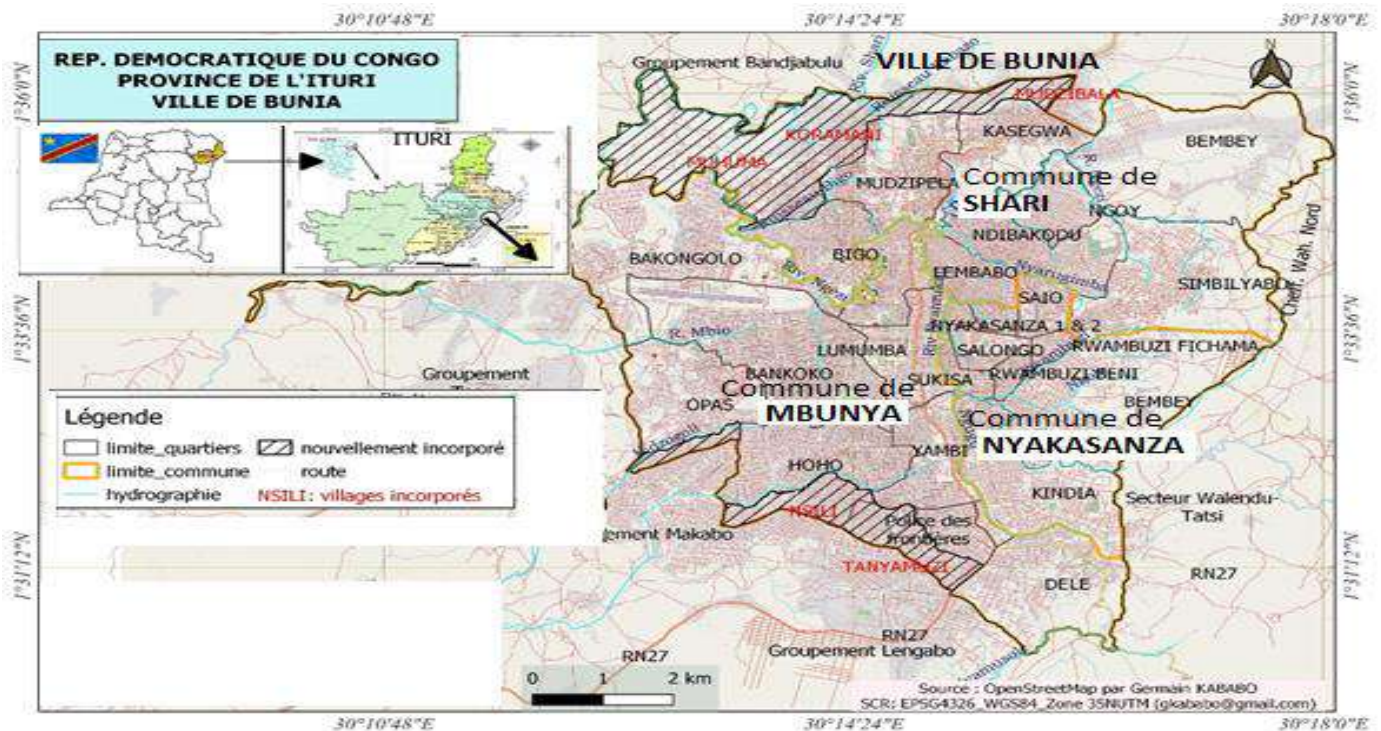


Figure 1

Carte Administrative de la Province de l'Ituri à l'aide de QGIS 3.22 (Source ; présent travail).

2.2 Méthodes

2.2.1 Méthodes de collecte des données

Pour atteindre les objectifs de cette étude qui se veut proposer les modèles spécifiques d'équations allométriques grâce aux mesures dendrométriques pour estimer le stock de carbone séquestré par la biodiversité ligneuse en milieu urbain de Bunia spécifiquement dans ses trois communes (Mbunya, Nyakasanza et Shari), les inventaires des arbres et des arbustes à la hauteur de la poitrine ($D_{hp} \geq 10$ cm), soit à 1,30 m au-dessus du niveau de sol, ont été effectués pour collecter les données en vue de comparer le stock de carbone séquestré par les arbres au sein de ces différentes communes de la ville de Bunia. Dans chaque commune, 7 parcelles d'inventaire dont chacune avait une superficie d'un hectare, soit 100m x 100 m de côté, ont été installées en tenant compte de la densité possible des arbres observés dans les différents quartiers que compose la ville de Bunia. Ces parcelles étaient installées suivant les protocoles de Dallmeier *et al.*, (1992) et de Picard *et al.*, (2008) a boussole du GPS nous a servi pour l'orientation et le pentamètre pour la mesure de la distance d'une parcelle d'inventaire. Le Vertex IV laser a servi à mesurer la longueur de l'arbre inventorié, le mètre ruban était utile pour prendre les mesures de circonférences des arbres inventoriés enfin de calculer les diamètres. Le choix de ce dispositif d'une manière aléatoire dans les différents quartiers de la ville de Bunia a permis d'inventorier tous les arbres et arbustes à $D_{hp} \geq 10$ cm en parcourant les distances (25m) entre les layons au sein de la parcelle pour éviter d'oublier et/ou de répéter l'inventaire d'un arbre déjà inventorié.

2.2.2 Méthodes d'analyse des données

L'allométrie est la relation entre une mesure d'arbres (généralement sa biomasse) et une autre mesure, plus facilement mesurable sur le terrain, c'est-à-dire le diamètre et/ou la hauteur de l'arbre (Picard *et al.*, 2012). Une équation allométrique est une expression mathématique qui formalise cette relation de manière quantitative (Fayolle *et al.*, 2018).

Les équations allométriques sont des outils précieux pour estimer la biomasse et, par extension, le stock de carbone dans les arbres urbains. Elles établissent une relation mathématique entre une variable facile à mesurer (comme le diamètre à hauteur de poitrine, DHP) et une variable plus difficile à mesurer directement comme la biomasse aérienne. Elles permettent également d'évaluer le stock de carbone d'un grand nombre d'arbres sans les abattre. Bien que moins précises que les méthodes destructives, elles offrent une bonne estimation du stock de carbone.

En raison des lacunes constatées en matière des équations allométriques spécifiques qui peuvent changer d'une zone géographique à une autre (Nowak *et al.*, 1996; Jo, 2002; Kouadio *et al.*, 2016), nous avons utilisé les équations allométriques relatives à la biodiversité ligneuse des zones urbaines pour cette étude. Les équations adaptées aux arbres en milieu urbain, car leur croissance peut être différente de celles des forêts naturelles en raison des contraintes d'espace, de la gestion (taille, élagage) et des conditions du sol. Il est crucial d'utiliser la densité du bois appropriée pour chaque espèce d'arbre urbain de savane. Les densités du bois des espèces des savanes peuvent varier significativement

de celles des espèces des forêts denses humides. Les arbres des savanes (et encore plus en milieu urbain) ont souvent une structure plus trapue, des cimes plus larges et des troncs plus courts que leurs homologues des forêts denses.

Les équations développées pour les forêts denses peuvent sous-estimer ou surestimer la biomasse de ces arbres à cause de ces différences structurales. Pour cette étude, une méthode non destructive de la biomasse a été utilisée pour estimer la biomasse aérienne (AGB) qui correspond au stock de carbone séquestré par la biodiversité ligneuse. Les modèles d'équations allométriques spécifiques des milieux urbains sont développés pour calculer les stocks de carbone en utilisant les paramètres dendrométriques notamment; le diamètre à la hauteur de poitrine (Dhp) et la hauteur de l'arbre inventorié (Brown *et al.*, 1989; Brown, 1997 et Kouadio *et al.*, 2016). Nous avons estimé le stock de carbone séquestré par la biodiversité ligneuse de la ville de Bunia en utilisant quatre équations allométriques spécifiques de formes générales pour les arbres des milieux urbains comme suite ;

$$(1) \text{ AGB} = \text{Biom}_r (\text{Arbres urbains}) = 0,16155 \times \text{DHP}^{2,310647}$$

Où : -AGB = Biomasse aérienne (en kg/tige).

DBH= Diamètre à la hauteur de la poitrine en cm.

Une fois que la biomasse totale de l'arbre est estimée, le stock de carbone est calculé en appliquant un facteur de conversion. La recommandation générale de GIEC (2007) est d'utiliser un facteur de conversion de 0,5 (50%) pour le carbone.

$$(2) \text{ Stock de Carbone (kg)} = \text{Biomasse aérienne (kg)} \times 0,5.$$

En incluant la hauteur (m), une excellente équation allométrique plus performante qui est spécifique en milieux urbains et aux zones boisées qui incluent les savanes urbaines africaines a été retenue (Kuyah *et al.*, 2012; Aabeyir, R *et al.*, 2020). Étant donné que la spécificité des régions des savanes (arbres plus épars, structures différentes, espèces adaptées à l'aridité), il est préférable d'utiliser les équations allométriques développées pour ces écosystèmes, notamment l'équation ci-après (3):

$$(3) \text{ AGB} = 0,0580 \times \rho \times (\text{DBH}^2 \times \text{H})^{0,999}$$

Où : - H = Hauteur totale de l'arbre (en m) mesurée à l'aide d'un vertex IV Laser;

DBH (D) = Diamètre à la hauteur de poitrine (en cm);

(ρ) = Densité spécifique du bois (en g/cm^3) qui varie d'une espèce à une autre. L'inclusion de la densité du bois (ρ) de l'espèce dans l'équation allométrique améliore grandement la précision du stock de carbone. Il est noté que la densité du bois (ρ) spécifique aux espèces locales présentes dans la zone d'étude est déterminée par les bases des données fiables (www.wood-database.com). Si l'espèce n'est pas dans une base de données, une moyenne pour le genre ou la famille, ou une valeur moyenne pour les espèces de savane de la région est prise en compte (*Global Wood Density Database* ; Tropix (Cirad). les valeurs de la densité sont souvent données pour un bois séché à l'air (environ 12 % d'humidité).

Pour calculer la masse molaire du CO_2 , la masse du carbone est additionné avec celle des deux oxygènes de la manière suivante; masse molaire du CO_2 = masse de C + (2 * masse de l'O). La masse atomique du carbone (C) est d'environ 12,01 g/mol. La masse atomique de l'oxygène (O) est d'environ 16,00 g/mol. Ainsi, la masse molaire du CO_2 = 12,01 + (2 * 16,00) = 12,01 + 32,00 = 44,01 g/mol. Le facteur de conversion est calculé par la proportion de carbone dans le CO_2 en divisant la masse atomique du carbone par la masse molaire du CO_2 : Le facteur de conversion = masse de C / masse molaire du CO_2 = 12,01 / 44,01 \approx 0,2728, souvent arrondi à 0,2727 ou 0,27.

$$(4) \text{ Un équivalent } \text{CO}_2 \text{ (kg) absorbé} = \text{Stock de carbone (kg)} \times 0,27.$$

Un kg de CO_2 est multiplié par 0,27 (ou 0,2727) pour trouver le nombre de kg de carbone pur qui sont contenues dans cette masse de CO_2 . En milieux urbains, pour obtenir l'équivalent en CO_2 absorbé. le stock de carbone est multiplié par un facteur de 0,27 (Brown & Lugo, 1982 ; Baker *et al.*, 2004 ; GIEC, 2007).

III. RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

3.1 Estimation du Stock de Carbone Séquestré par la Biodiversité Ligneuse dans la ville de Bunia

Pour estimer le stock de carbone contenu dans la biodiversité ligneuse du milieu urbain de Bunia, un certain nombre des relations allométriques spécifiques a été déterminé. Le stock de carbone obtenu dans la biomasse aérienne montre une variabilité spatiale entre les communes (Tableau 1). Légende: Parcelles d'inventaire (P1, P2, P3, P4, P5, P6 et P7) pour les communes de Mbunya, de Nyakasanza et de Shari; AGB=Biomasse aérienne (kg/ha), (F)=Test statistique, EQ.CO2 =équivalent carbone (kg/ha), Arbre/ha/com.= arbre par hectare pour chaque commune et Moy./ha/Com.(kg)= moyenne à l'hectare par commune en kg.

Tableau 1*Biomasse Aérienne et Stock de Carbone Séquestré dans les Parcelles Pour Chaque Commune*

COMMUNES									
	MBUNYA			NYAKASANZA			SHARI		
PARCELLES	AGB (Kg/ha)	Stock de carbone (Kg/ha)	EQ. CO ₂ (Kg/ha)	AGB (Kg/ha)	Stock de carbone (Kg/ha)	EQ. CO ₂ (Kg/ha)	AGB (Kg/ha)	Stock de carbone (Kg/ha)	EQ.CO ₂ (Kg/ha)
P1	211 024,37	105 512,18	28 488,29	170 046,85	85 023,42	22 956,32	31 090,66	15 545,33	4 197,24
P2	116 460,84	58 230,42	15 722,21	139 200,68	69 600,34	18 792,09	89 867,23	44 933,62	12 132,08
P3	71 742,65	35 871,32	9 685,26	55 790,70	27 895,35	7 531,74	27 043,48	13 521,74	3 650,87
P4	67 303,35	33 651,68	9 085,95	60 964,81	30 482,40	8 230,25	59 449,35	29 724,67	8 025,66
P5	73 820,35	36 910,18	9 965,75	41 708,44	20 854,22	5 630,64	68 021,15	34 010,57	9 182,86
P6	73 038,53	36 519,26	9 860,20	77 889,91	38 944,96	10 515,14	94 588,17	47 294,09	12 769,40
P7	53 829,35	26 914,67	7 266,96	59 499,97	29 749,98	8 032,50	116 674,66	58 337,33	15 751,08
Total/commune	667 219,44 kg	333 609,72 kg	90 074,62 kg	605 101,36 kg	302 550,68 kg	81 688,68 kg	486 734,71 kg	243 367,35 kg	65 709,19 kg
Arbre/ha/com.	941,07kg	470,53 kg	127,04 kg	673,83kg	336,91 kg	90,97 kg	691,38 kg	345,69 kg	93,33 kg
TOTAL GENERAL	AGB (Kg)=1759055,50kg (761,17kg/arbre); Stock de Carbone (kg)=879527,75kg (380,58kg/arbre) et Eq.CO ₂ (kg)=237472,49 kg (124,39kg/arbre).								
Moy./ha/Com. + Ecart-type (kg)	95317,06 ± 54551,86	47658,53 ± 27275,93	12867,80 ± 7364,50	86443,05 ± 48583,16	43221,53 ± 24291,58	11669,81 ± 6558,72	69533,53 ± 33293,43	34766,76 ± 16646,71	9387,03 ± 4494,61
Moyenne totale +Ecart -type	AGB (Kg/ha)=586351,84 ± 91691,56; Stock de Carbone (kg/ha)=293175,92 ± 45845,78; Eq. CO ₂ (kg/ha)=79157,50 ± 12378,35								
TEST (F)	5,50	16,50	0,55	4,7253	22,1609	16,883	9486,87	183,99	3,472
P-value	0,009	0,001	0,76	0,010778	0,000094	0,0003	0,001	0,001	0,024

L'analyse des résultats obtenus dans cette étude montre que, sur un total de 2311 arbres inventoriés dans les 21 parcelles de trois communes (Mbunya, Nyakasanza et Shari) de la ville de Bunia, la biomasse aérienne varie d'une parcelle d'inventaire à une autre et d'une commune à l'autre. Elle varie également selon la densité observée des individus et des espèces inventoriées dans chaque parcelle et/ou chaque commune.

La quantité totale de biomasse aérienne des arbres inventoriés dans la ville de Bunia est estimée à 1759 055,50kg (1 759,06 tonnes). Ce qui correspond à un stock de carbone estimé à 879527,75kg (8795,27 tonnes). L'Equivalent CO₂ total est de 237472,49kg (2374,72 tonnes). La commune de Mbunya a enregistré plus de biomasses aériennes, soit 667219,44 kg (667, 21 tonnes). La faible quantité de biomasse aérienne est obtenue dans la commune de Shari (486 734,71 kg) soit 486,73 tonnes. La quantité moyenne de carbone séquestré pour une moyenne de 110,05 arbres/ha de la ville de Bunia est estimée à (47658,53 ± 27275,93 kg/ha). La quantité de carbone absorbée par un arbre dans le milieu d'étude est estimée à (380,58 kg)/arbre.

Les arbres de la commune de Mbunya ont produit plus de biomasses aériennes (941,07 kg/arbre) contre une faible quantité de biomasses aériennes enregistrée dans la commune de Shari (691,38 kg/arbre). La valeur F (9486.87) est extrêmement élevée et très statistiquement significative (p -value < 0.001). Cela indique qu'il y a une différence très significative entre les biomasses aériennes obtenues dans les trois communes. Les moyennes calculées de ces biomasses aériennes le confirment visuellement à savoir; 95317,06 ± 54551,86 kg à la commune de Mbunya; 86443,05 ± 48583,16 kg à Nyakasanza contre une moyenne de 69533,53 ± 33293,43 kg pour la commune de Shari. Cette variabilité des biomasses aériennes s'observe aussi au sein des parcelles d'inventaire où la parcelle CMP1 de la commune de Mbunya a obtenu plus de biomasses aériennes (211024,37 kg/ha) soit 211,02 tonnes/ha et contre une faible quantité de biomasses aériennes enregistrée dans la parcelle CSP3 (27 043,48 kg/ha) soit (27,04 tonnes/ha) dans la commune de Shari.

La quantité totale estimée du stock de carbone pour les arbres inventoriés dans la ville de Bunia varie d'une commune à l'autre et d'une parcelle à l'autre. Les arbres de la commune de Mbunya ont séquestré une quantité de stock de carbone estimée à 333 609,72 kg (333,60 tonnes). La parcelle CMP1 de la même commune a stocké plus de carbone estimé à 105512,18 kg/ha (105,51 tonnes/ha) que la commune de Shari qui a séquestré une faible quantité de carbone estimée à (243 367,35 kg) soit (243,36 tonnes). La parcelle CSP3 n'a obtenu qu'une très faible quantité estimée à 13521,74 kg/ha (13,52 tonnes/ha) dans cette commune.

Les arbres de la commune de Mbunya stockent plus de carbone soit (470,53kg/arbre), tandis que la commune de Shari a stocké une faible quantité de carbone (345,69 kg/arbre). Cette variabilité de la quantité du stock de carbone absorbée par la biodiversité ligneuse de la ville de Bunia se confirme par la valeur statistique F (183.99) qui est très élevée et très statistiquement significative (p < 0.001). Cela signifie qu'il y a une différence très significative des

quantités du stock de carbone estimée dans les trois différentes communes. Pour l'équivalent carbone (CO₂), les arbres de la commune de Mbunya se distinguent avec 90 074,62 kg (90,07 tonnes) de CO₂ atmosphériques absorbés. La parcelle CMP1 de la même commune a enregistré une quantité supérieure de CO₂ estimée à 28 488,29 kg/ha (28,48 tonnes/ha). Les arbres de la commune de Shari où le CO₂ est faiblement absorbé (65709,19kg) soit (65,70 tonnes). Les arbres de la parcelle CSP3 de la même commune ont absorbé une très faible quantité de CO₂ atmosphérique (3 650,87 kg/ha) soit 3,65 tonnes/ha. L'Eq.CO₂ est de 124,39 kg de CO₂ /arbre dans toutes les communes où il est supérieur (127,39 kg/arbre) dans la commune de Mbunya, tandis qu'à Shari, il est inférieur (93,33 kg/arbre).

3.2 Relation entre le Stock de Carbone et les Diamètres des Arbres Étudiés

L'analyse du stock de carbone absorbé en fonction des structures diamétriques groupées par classes des arbres inventoriés à la hauteur de la poitrine (DBH ≥ 10cm) mesuré à 1,30 m du pied de l'arbre est indispensable pour comprendre la quelle des tranches des diamètres stocke plus le carbone (Figure 2).

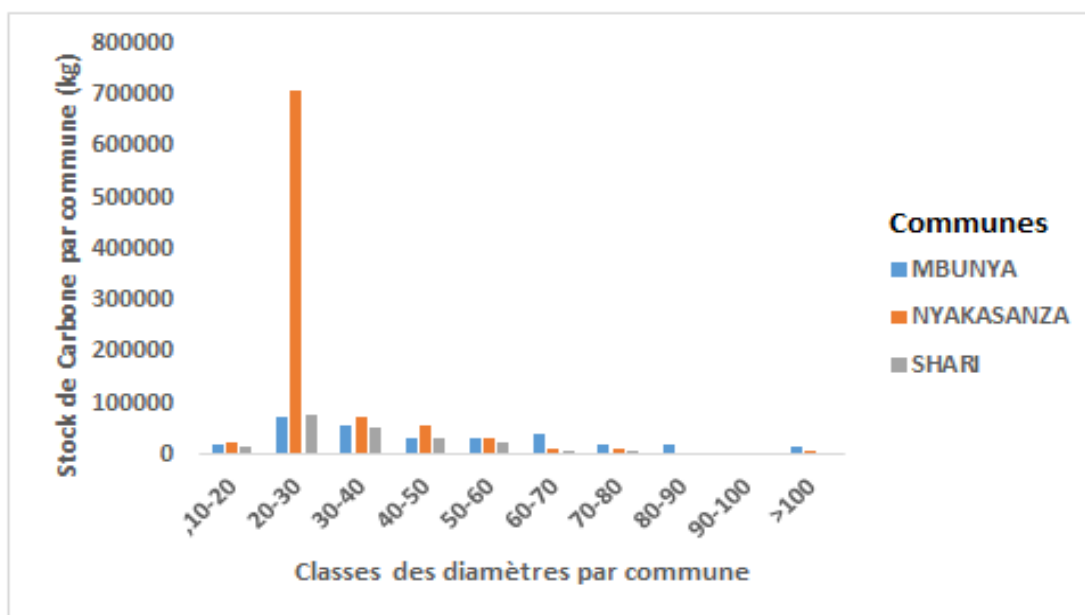


Figure 2

Illustration du Stock de Carbone en Fonction des classes des Diamètres de l'arbre par Commune.

L'analyse de cette figure (2) indique que les arbres des petites tailles surtout situés dans la classe des diamètres compris entre (20-30 cm) ont stocké plus de carbone dans la commune de Nyakasanza que dans d'autres classes où le stock de carbone diminue au fur et à mesure que les structures diamétriques des arbres augmentent.

3.3 Stock de Carbone et la Hauteur de l'arbre Inventorié

La hauteur de l'arbre est l'un des paramètres dendrométriques utilisé en méthode non destructive pour calculer la biomasse aérienne d'un arbre, le stock de carbone en fonction de la hauteur (m) des arbres inventoriés se présente dans la figure 3 ci-après ;

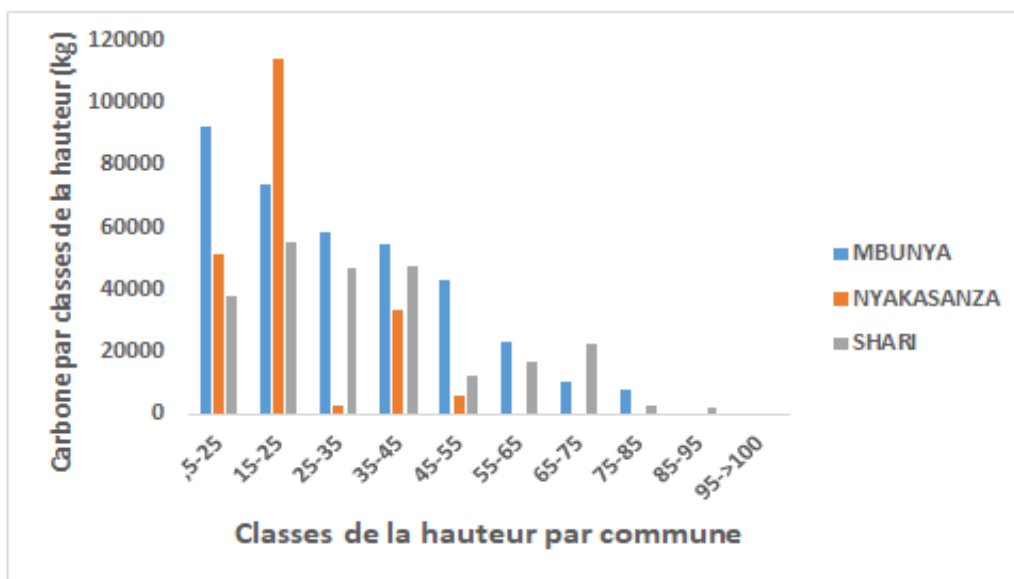


Figure 3
Présentation du Stock de Carbone en Fonction de la Hauteur des Arbres Inventoriés par Commune

Nous constatons que le stock de carbone est élevé pour les arbres des petites tailles situés entre la classe (15-25 m) des hauteurs dans la commune de Nyakasanza et diminue au fur et à mesure que la hauteur des arbres augmentent dans toutes les communes (classe ≥ 100 m).

3.4 Potentiel des Espèces Ligneuses et Stock de Carbone Séquestré dans les Milieux Urbains de Bunia

3.4.1 Stock de Carbone en Fonction des Espèces Recensées

Compte tenu de l'importance écologique et socio-économique des espèces ligneuses en milieu urbain, la connaissance de leur potentiel à stocker le carbone ainsi que la compréhension de leur fonction écologique est fondamentale en milieu urbain comme celui de Bunia. Le couvert végétal de cette ville est dégradé suite aux activités anthropiques, en particulier les espèces ligneuses avec comme conséquence la perte des différentes espèces végétales et l'augmentation de CO₂ dans l'atmosphère qui est la cause principale du changement climatique. Le carbone stocké dans la biomasse aérienne des arbres varie en fonction des espèces (Figure 4).

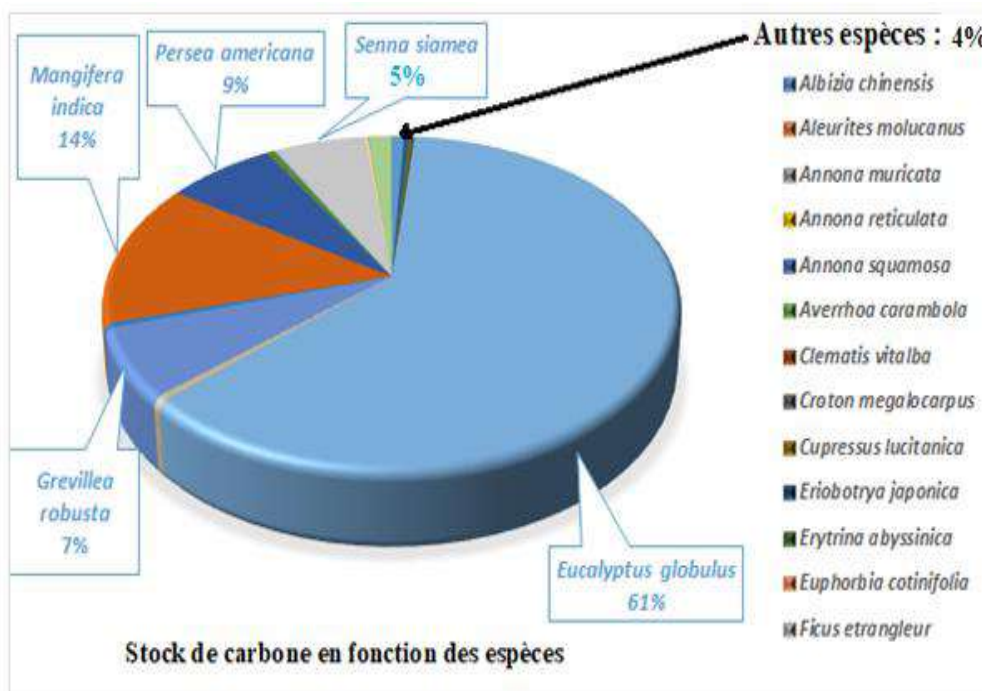


Figure 4
Illustration Du Stock de Carbone en Fonction des Espèces Recensées dans les Trois Communes

Les résultats obtenus dans la figure 4 font observer que la quantité du stock de carbone séquestrée par la biodiversité ligneuse en milieux urbains de Bunia se diffère d'une espèce à l'autre. Cinq espèces ligneuses contribuent efficacement au stock de carbone dans la ville de Bunia. Il est important de noter que l'espèce *Eucalyptus globulus* présente des valeurs exceptionnellement élevées par rapport aux autres espèces. Ces valeurs extrêmes peuvent fortement influencer les résultats et les moyennes globales du stock de carbone du milieu d'étude.

L'*Eucalyptus globulus* vient en tête avec une contribution du stock de carbone à (61%); *Mangifera indica* enregistre un stock de carbone de (14%); *Persea americana* contribue à l'effort de stockage de carbone à (9%); *Grevillea robusta* absorbe le carbone à la hauteur de (7%) et *Senna siamea* stocke le carbone estimé à 5%. La valeur statistique ($F=10,26$, $p\text{-value} = 0,0001$). Puisque la $p\text{-valeur}$ est inférieure à 0.05, cela signifie qu'il existe une différence statistiquement significative entre les moyennes des différentes espèces des plantes de la ville de Bunia. D'autres espèces participent très faiblement à l'effort du stockage de carbone avec (4%), entre autres ; *Terminalia catappa*, *Vernonia amygdalina*, *Ricinus communis* et *Annona muricata*.

3.5 Corrélation Entre le Stock de Carbone et les Espèces Recensées

L'analyse factorielle des données mixtes (AFDM) révèle que le stock de carbone varie significativement d'une parcelle à l'autre en fonction de l'espèce telle qu'illustré par deux figures (Figure 27 A&B). De plus, la plupart d'individus et d'espèces contribuent significativement au stockage de carbone dans les parcelles, et très peu d'espèces et d'individus avaient une contribution qui s'écartait de la moyenne. Le test statistique ($F= 69.25$, $p\text{-value}=0,10001$) indique que les valeurs de carbone stocké par les espèces de la ville de Bunia sont significativement différentes les unes des autres.

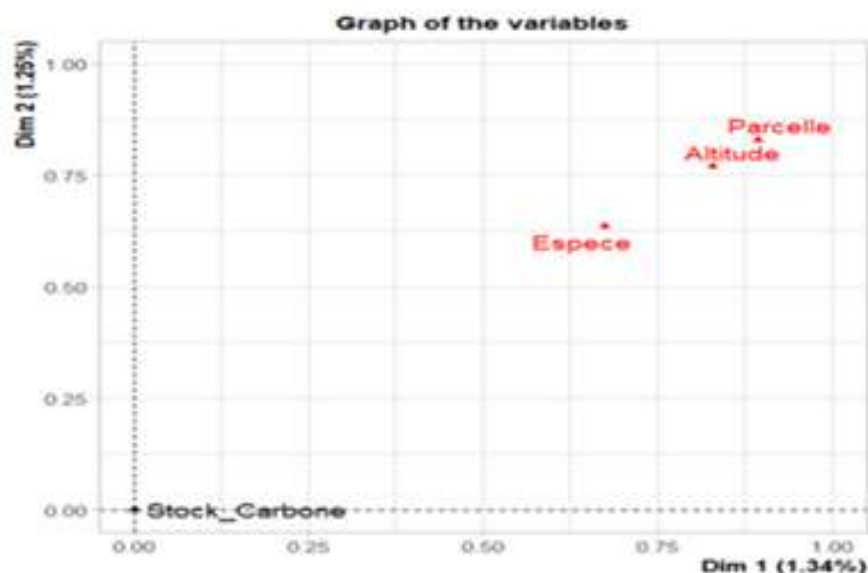


Figure A

Figure 5 A

Poids des différentes variables dans les composantes

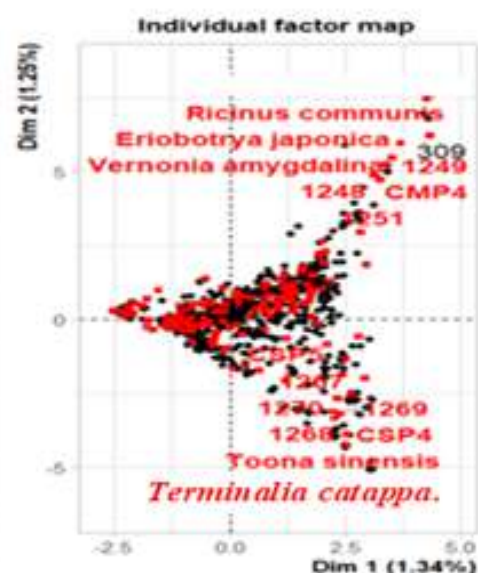


Figure B

Figure 5 B

Projection des individus (points en noir) et des espèces (points en rouge) sur les composantes.

3.5.1 Relation Entre le Stock de Carbone et la Densité du bois des Espèces Recensées dans le Milieu d'étude

Les données fournies sur la densité du bois pour ce travail sont des estimations générales basées sur des informations compilées à partir de diverses sources de référence sur les propriétés du bois (www.wood-database.com). Il n'y a pas une source unique et exhaustive qui contient la densité de toutes les espèces des bois du monde, en particulier celles qui ne sont pas couramment exploitées commercialement (*Global Wood Density Database*; Tropix (Cirad)). Pour être précis, les densités données sont des moyennes ou des plages typiques car la densité d'un bois n'est pas une valeur fixe absolue, elles varient d'une espèce à l'autre, même pour une même espèce donnée, la densité du bois peut varier en fonction du taux de croissance, des conditions des sols du milieu, de l'âge de l'arbre, du type de bois et de la partie de l'arbre d'où provient le bois (Tableau 2). Légende: AGB (Biom.)=Biomasse aérienne (kg/tige); Stock de carbone (kg/tige)=Stock de carbone (kg/tige); EQ.CO2 =équivalent carbone (kg/tige) et ρ (g/m^3)=densité du bois en (g/m^3) et par espèces.

Tableau 2*Densité du Bois et Carbone Stocké par les Espèces Recensées*

ESPECES	ρ (g/m ³)	AGB (kg/tige) (Biom.)	Stock de carbone (kg/tige)	EQ CO ₂ (kg/tige)
<i>Eucalyptus globulus</i>	0,67	60 042,36	30 021,18	8 105,72
<i>Mangifera indica</i>	0,56	10 056,88	5 028,44	1 357,68
<i>Pinus montana</i>	0,45	7 877,07	3 938,54	1 063,40
<i>Grevillea robusta</i>	0,54	3 436,32	1 718,16	463,9
<i>Albizia chinensis</i>	0,32	3 437,51	1 718,76	464,06
<i>Persea americana</i>	0,50	2 695,54	1 347,77	363,9
<i>Aleurites molucanus</i>	0,14	39,18	19,59	5,29
<i>Annona muricata</i>	0,4	4,96	2,48	0,67
<i>Annona reticulata</i>	0,4	115,2	57,6	15,55
<i>Annona squamosa</i>	0,4	397,56	198,78	53,67
<i>Averrhoa carambola</i>	0,58	174,94	87,47	23,62
<i>Clematis vitalba</i>	0,14	479,8	239,9	64,77
<i>Croton megalocarpus</i>	0,70	349,99	174,99	47,25
<i>Cupressus lucitanica</i>	0,38	526,23	263,11	71,04
<i>Eriobotrya japonica</i>	0,70	671,47	335,73	90,65
<i>Erythrina abyssinica</i>	0,70	1 671,71	835,86	225,68
<i>Euphorbia cotinifolia</i>	0,2	272,65	136,32	36,81
<i>Ficus etrangleur</i>	0,4	575,58	287,79	77,7
<i>Ficus mucoso</i>	0,5	212,2	106,1	28,65
<i>Hibiscus elatus</i>	0,62	99,65	49,83	13,45
<i>Leucaena glauca</i>	0,69	2 054,69	1 027,34	277,38
<i>Mespilus germanica</i>	0,70	682,36	341,18	92,12
<i>Moringa oleifera</i>	0,25	74,08	37,04	10
<i>Psidium guajava</i>	0,70	2 488,96	1 244,48	336,01
<i>Ricinus communis</i>	0,24	46,9	23,45	6,33
<i>Senna siamea</i>	0,88	1 781,71	890,85	240,53
<i>Tamarandus indica</i>	0,80	3 131,75	1 565,87	422,79
<i>Terminalia catappa</i>	0,55	957,17	478,58	129,22
<i>Toona sinensis</i>	0,50	338,36	169,18	42,68
<i>Ura crepitens</i>	0,24	136,98	68,49	18,49
<i>Vernonia amygdalina</i>	0,70	146,23	73,11	19,74
TOTAL		104 975,99	53 287,97	14 546,75

L'analyse de ce tableau montre une variabilité du stock de carbone en fonction de la densité du bois et de l'espèce. Un total de 104975,99 kg de biomasses aériennes qui correspond à 53287,97 kg de carbone et à un équivalent CO₂ de 14546,75 kg ont été enregistrés pour toutes les espèces recensées dans les trois communes (Mbunya, Nyakasanza et Shari) du milieu d'étude parmi lesquelles, six espèces possèdent les bois qui stockent plus le carbone que les autres, il s'agit de: *Eucalyptus globulus* qui se distingue avec un stock de carbone séquestré (30 021,18 kg); *Mangifera indica* (5028,44 kg); *Pinus montana* (3938,54 kg); *Grevillea robusta* (1718,16 kg); *Albizia chinensis* (1718,76 kg) et *Persea americana* avec 1347,77 kg de carbone. Le constat est que la quantité du stock de carbone est fonction de la qualité du bois de l'arbre bien que certaines espèces ont la même densité du bois numérique.

3.6 Discussion

3.6.1 Estimation du Stock de Carbone Séquestré par la Biodiversité Ligneuse à Bunia

Au total 2311 arbres inventoriés dans les 21 parcelles de trois communes en raison de 7 parcelles par commune (Mbunya, Nyakasanza et Shari) que compose la ville de Bunia, la biomasse aérienne totale obtenue est estimée à 1759055,50 kg (1759,06 tonnes), ce qui correspond à un stock de carbone estimé à 879527,75 kg (8795,27 tonnes) de carbone. L'Equivalent total de CO₂ est de 237472,49kg (2374,72 tonnes). La quantité estimée de carbone séquestré pour une moyenne de 110,05 arbres/ha de la ville de Bunia est de (47658,53 ± 27275,93)/ha. La quantité de carbone absorbée par un arbre est estimée à (380,58 kg)/arbre dans le milieu d'étude. Cependant, les arbres de la commune de Mbunya stockent plus de carbone soit (470,53kg/arbre), tandis que la commune de Shari stocke à son tour une faible quantité de carbone 345,69 kg/arbre.

Une variabilité des biomasses aériennes et des stocks de carbone est observée au sein de chaque commune. Cette variabilité de la quantité du stock de carbone absorbée par la biodiversité ligneuse de la ville de Bunia est due à la variabilité de la densité des individus, de la hauteur des arbres et aux différentes structures diamétriques des arbres inventoriés dans chaque commune. Ces arbres jouent un rôle important dans la production de biomasse aérienne qui est aussi un facteur déterminant dans le calcul du stock de carbone. La valeur statistique F (183.99) est également très élevée et très statistiquement significative (p -value < 0.001). Cela signifie qu'il y a une différence très significative des quantités du stock de carbone estimée dans les trois différentes communes. Vroh *et al.* (2014) ont montré que la biomasse aérienne augmente avec l'aire basale qui est liée à la grosseur des arbres. Ces résultats ont été soutenus par les études de Novak et Crane en 2002, qui ont trouvé que le stockage du carbone est influencé par le diamètre de l'arbre à maturité. Ces résultats corroborent avec ceux obtenus dans ce travail.

3.6.2 Stock de Carbone en Fonction des Espèces Recensées

Les résultats obtenus (figure 4) montrent que la quantité estimée du stock de carbone séquestré par la biodiversité ligneuse en ville de Bunia, varie d'une espèce à l'autre. L'analyse de ces résultats fait observer cinq espèces ligneuses qui contribuent grandement au stockage de carbone dans cette ville. L'espèce d'*Eucalyptus globulus* absorbe plus de carbone estimée à (61%) par rapport aux autres espèces; *Mangifera indica* contribue au stockage de carbone à (14%), *Persea americana* absorbe le carbone à (9%), *Grevillea robusta* contribue au stock de carbone à la hauteur de (7%) et *Senna siamea* stocke le carbone estimé à 5%.

La valeur statistique ($F=10,26$, p -value = 0,0001). Comme la p -valeur est inférieure à 0.05, cela signifie qu'il existe une différence statistiquement significative entre les moyennes des différentes espèces des plantes ligneuses. D'où l'importance de reboiser les espaces dégradés de la biodiversité ligneuse par les espèces à croissance rapide ayant un potentiel à séquestrer efficacement le carbone enfin de bien jouer le rôle compensatoire des émissions du CO₂ provenant des activités humaines.

Les résultats obtenus dans une étude au Madagascar ont montré que les plantations d'*Eucalyptus* permettent le stockage important de carbone, ces résultats peuvent être utilisés, d'après l'auteur, dans d'autres zones pour valoriser les nouvelles plantations d'*Eucalyptus* sur le marché du carbone (Ramarson, 2009).

Home *et al.*, 2009; Vroh *et al.*, 2014; définissent les espèces emblématiques ou « flagship species » comme des espèces (animales ou végétales) célèbres et attrayantes qui permettent d'éveiller la prise de conscience sur la protection de l'environnement. Vroh *et al.*, 2014; ont fait observer que certaines espèces jouent un rôle très important dans la reconstruction et la conservation des écosystèmes. Six espèces possèdent les bois qui leurs permettent de stocker plus le carbone que les autres, il s'agit de: *Eucalyptus globulus* (30021,18 kg); *Mangifera indica* (5 028,44 kg); *Pinus montana* (3938,54 kg); *Grevillea robusta* (1718,16 kg); *Albizia chinensis* (1718,76 kg) et *Persea americana* (1347,77 kg). La participation des arbres à la réduction des gaz à effet de serre dont le dioxyde de carbone (CO₂) qui contribue le plus au changement climatique est énorme (GIEC, 2001). Selon les données de la Banque mondiale en 2010 sur les émissions des gaz à effet de serre, chaque habitant émet environs 300 kg de CO₂ au niveau mondiale et varie d'un pays à un autre en fonction du mode de vie (Transport, alimentation, consommation énergétique). D'après les données du PNUD, La moyenne d'émission du CO₂ par personne en RDC est plus faible (0,04 tonnes/an et 0,11 kg/jour) et varie d'une personne à l'autre. La quantité de carbone séquestré par arbre pour notre travail est estimée à 380,58 kg de carbone/arbre. Cela témoigne un caractère compensatoire des espèces arborescentes de la ville de Bunia dans la réduction des émissions de CO₂. D'où l'importance de planter les arbres dans cette ville pour réduire les gaz carbonique et contribuer à l'effort d'atténuer les impacts environnementaux dus au changement climatique.

IV. CONCLUSION & RECOMMANDATIONS

4.1 Conclusion

A l'issue de cette étude, les rôles joués par certaines espèces à stocker le carbone en milieu urbains, cas de la ville de Bunia sont mis en évidence. Parmi ces espèces appelées emblématiques qui contribuent plus au stockage de carbone que les autres espèces recensées, on note: L'*Eucalyptus globulus* contribue à 61% au stockage de carbone; *Mangifera indica* à 14%; *Persea americana* stocke 9% de carbone; *Grevillea robusta* contribue à la hauteur de 7% et *Senna siamea* avec 5% de stockage de carbone. Les résultats de ce travail indiquent aussi que la biomasse aérienne totale obtenue est estimée à 1759055,50 kg (1759,06 tonnes), ce qui correspond à un stock de carbone estimé à 879527,75 kg (8795,27 tonnes) de carbone. L'Equivalent CO₂ est de 237472,49 kg (2374,72 tonnes).

La quantité de carbone séquestré pour une moyenne de 110,05 arbres/ha de la ville de Bunia est estimée à (47658,53 ± 27275,93.)/ha. L'équivalent CO₂ par arbre est estimé à 124,39 kg de CO₂. La quantité estimée de carbone absorbée par un arbre est connue (380,58 kg)/arbre dans le milieu d'étude.

Nous retenons en définitif que la biodiversité ligneuse en milieu urbain contribue efficacement à l'effort de stockage de carbone et à la réduction des gaz carbonique (CO₂) atmosphérique qui est la cause principale du changement

climatique. La plantation des arbres en ville contribuerait également à produire des services nécessaires au bien être des citoyens. Ces résultats permettront aux utilisateurs une gestion durable des écosystèmes urbains enfin de contribuer à l'effort de réduction des gaz carboniques (CO₂) et pour ainsi atténuer les impacts environnementaux dus au changement climatique.

4.2 Recommendations

Nous suggérons que les études futures devraient envisager le développement d'équations allométriques localement calibrées, par des méthodes destructives ou des techniques non destructives avancées telles que le LiDAR terrestre. La collecte de données primaires sur la densité du bois des espèces locales, ou la collaboration avec des laboratoires d'anatomie du bois, permettrait d'améliorer la précision des estimations pour compléter les résultats obtenus dans ce travail. L'analyse au laboratoire des sols échantillonnés du milieu d'étude pourrait aussi estimer avec précision la quantité du stock de carbone organique fixée par les plantes. Il est également conseillé de mettre à jour et de valider régulièrement les bases de données existantes avec des informations spécifiques à la région.

REFERENCES

- Aabeyir, R., Adu-Bredu, S., Agyare, W. A., & Weir, M. J. C. (2020). Allometric models for estimating aboveground biomass in the tropical woodlands of Ghana, West Africa. *Forest Ecosystems*, 7(1), 1–23.
- Alvarez, E., Duque, A., Saldarriaga, J., Cabrera, K., de las Salas, G., Del Valle, J., & Rodriguez, L. (2012). Tree above-ground biomass allometries for carbon stock estimation in the natural forests of Colombia. *Forest Ecology and Management*, 267, 297–308.
- Baker, T. R., Phillips, O. L., Malhi, Y., Almeida, S., Arroyo, L., Di Fiore, A., Erwin, T., Higuchi, N., Killeen, T. J., Laurance, S. G., Laurance, W. F., Lewis, S. L., Monteagudo, A., Neill, D. A., Vargas, P. N., Pitman, N. C., Silva, J. N., & Martínez, R. V. (2004). Increasing biomass in Amazonian forest plots. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences*, 359(1443), 353–365. <https://doi.org/10.1098/rstb.2003.1422>
- Brown, S. (1997). *Estimating biomass and biomass change of tropical forests: A primer*. (FAO Forestry Paper 134). Rome: Food and Agriculture Organization.
- Brown, S., & Lugo, A. E. (1982). The storage and production of organic matter in tropical forests and their role in the global carbon cycle. *Biotropica*, 14, 161–187.
- Brown, S., Gillespie, A. J. R., & Lugo, A. E. (1989). Biomass methods for tropical forest with applications to forest inventory data. *Forest Science*, 35, 881–902.
- Chave, J., Réjou-Méchain, M., Búrquez, A., Chidumayo, E., Colgan, M. S., Delitti, W. B. C., Duque, A., Eid, T., Fearnside, P. M., Goodman, R. C., Henry, M., Martínez-Yrizar, A., Mugasha, W. A., Muller-Landau, H. C., Mencuccini, M., Nelson, B. W., Ngomanda, A., Nogueira, E. M., Ortiz-Malavassi, E., ... Vieilledent, G. (2014). Improved allometric models to estimate the aboveground biomass of tropical trees. *Global Change Biology*, 20, 3177–3190.
- Dallmeier, F., Kabel, M., & Rice, R. (1992). Methods for long-term biodiversity inventory plots in protected tropical forest. In F. Dallmeier (Ed.), *Long-term monitoring of biological diversity in tropical forest areas: Methods for establishment and inventory of permanent plots* (MAB Digest 11, pp. 11–46). Paris: UNESCO.
- 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.
- Fayolle, A., Ngomanda, A., Mbasi, M., Barbier, N., Bocko, Y., Oyemba, F., Couteron, P., Fonton, N., Kamdem, N., Katembo, J., Kondaoule, H. J., Loumeto, J., Maïdou, H. M., Mankou, G., Mengui, T., Mofack, G. II, Moundounga, C., Moundounga, Q., Nguimbous, L., ... Medjibe, V. P. (2018). A regional allometry for the Congo basin forests based on the largest ever destructive sampling. *Forest Ecology and Management*, 417, 228–240. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2018.07.030>
- Gibbs, H. K., Brown, S., Niles, J. O., & Foley, J. A. (2007). Monitoring and estimating tropical forest carbon stocks: Making REDD a reality. *Environmental Research Letters*, 2, 045023.
- GIEC. (2001). *Good practice guidance for land use, land-use change and forestry*. Hayama, Japan: Intergovernmental Panel on Climate Change National Greenhouse Gas Inventories Programme.
- 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. [Eds.]). Suisse.
- Home, R., Keller, C., Nagel, P., Bauer, N., & Hunziker, M. (2009). Selection criteria for flagship species by conservation organizations. *Environmental Conservation*, 36(2), 139–149.

- Jo, H. (2002). Impacts of urban greenspace on offsetting carbon emissions for middle Korea. *Journal of Environmental Management*, 64, 115–126.
- Kouadio, Y. J. C., Vroh, B. T. A., Gonebi, Z. B., Yao, C. Y. A., & N’Guessan, K. E. (2016). Évaluation de la diversité et estimation de la biomasse des arbres d’alignement des communes du Plateau et de Cocody (Abidjan, Côte d’Ivoire). [Unpublished manuscript], 11 pages.
- Kuyah, S., Dietz, J., & Muthuri, C. W. (2012). Allometric equations for estimating biomass in agricultural landscapes: I. Aboveground biomass. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 158, 216–224.
- Laille, P., Provendier, D., & Colson, F. (2013). *Les bienfaits du végétal en ville—Synthèse des travaux scientifiques et méthode d’analyse*. Plante & Cité: Ingénierie de la nature en ville, Plante et Cité, Suisse.
- Ngomanda, A., Obiang, N. L. E., Lbamba, J., & Mavouroulou, Q. M. (2014). Site-specific versus pantropical allometric equations: Which option to estimate the biomass of a moist Central African forest? *Forest Ecology and Management*, 312, 9–19.
- Nowak, D. J., Rowntree, R. A., McPherson, E. G., Sisinni, S. M., Kerkmann, E., & Stevens, J. C. (1996). Measuring and analyzing urban tree cover. *Landscape and Urban Planning*, 36, 49–57.
- 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, France.
- Picard, N., Saint-André, L., & Henry, M. (2012). *Manuel de construction d’équations allométriques pour l’estimation du volume et la biomasse des arbres: De la mesure de terrain à la prédiction*. Rome, Italie, 219 pages.
- Ramaron, H. R. (2009). *Potentialités de stockage du carbone dans le système plante-sol des plantations d’Eucalyptus des hautes terres Malgaches* (Doctoral dissertation, Centre international d’Études supérieures en sciences agronomiques, Montpellier, France).
- Robyns, W. (1948). *Flore du Congo Belge et du Ruanda-Urundi, les territoires biogéographiques du parc national Albert du Congo Belge*. Bruxelles, Belgique.
- The Wood Database. (n.d.). Retrieved from <http://www.wood-database.com>
- Tshinyama, R., Avila Coya, R., & Safari, S. (2023). *La sécurité urbaine à Bunia*. Coginta, 132 pages.
- Vroh, B. T. A., Tiebre, M. S., & N’Guessan, K. E. (2014). *Diversité végétale urbaine et estimation du stock de carbone: Cas de la commune du Plateau Abidjan, Côte d’Ivoire* (Unpublished research, Université Félix Houphouët-Boigny, Unité de Formation et de Recherche des Sciences Biologiques, Laboratoire de Botanique, Côte d’Ivoire), 12 pages.