

Potentiel de séquestration de carbone dans les agroécosystèmes à base de quinquina (*Cinchona ledgeriana* Moens) installés sur les plateaux de Lubero /RDC

Carbon sequestration potential of cinchona (*Cinchona ledgeriana* Moens) based agroecosystems in the Lubero plateaux/DRC

Janvier Kambere Mayani^{1,2*} Serge Ngendakumana², et Maombi Mbusa Masinda³

¹Institut Supérieur d'Etudes Agronomiques, Vétérinaires et Forestières de Butembo (ISEAVF-Bbo) en RDC et Centre de Recherche en Science Naturelle et de l'Environnement (CRSNE), Université du Burundi, BP 2720 Bujumbura, Burundi.

²Université du Burundi en République du Burundi, Centre Universitaire d'Etudes et Recherche-Développement en Agroéconomie (CERDA), BP : 2940 Bujumbura

³Université Officielle de Ruwenzori-Ville de Butembo en RDC, Centre de Recherche de l'Université Officielle de Ruwenzori (CRUOR), B.P :560Butembo

Auteur correspondant : jkmayani10@gmail.com

ORCDI des auteurs

Janvier Kambere Mayani: <https://orcid.org/0009-0000-5916-7997>, jkmayani10@gmail.com; Serge Ngendakumana : <https://orcid.org/0000-0003-4491-291X>, mmbusamasinda@gmail.com, Maombi Mbusa Masinda : <https://orcid.org/0000-0003-0589-7577>, sergsngenda@gmail.com

Comment citer l'article : Mayani, J. K., Ngendakumana, S., & Masinda, M. M. (2026). Potentiel de séquestration de carbone dans les agroécosystèmes à base de quinquina (*Cinchona ledgeriana* Moens) installés sur les plateaux de Lu-bero /RDC. *Revue Ecosystèmes Et Paysages*, 6(1). <https://doi.org/10.59384/revuecopays.tg.v6i1.184>

Reçut : 30 septembre 2025

Accepté : 20 février 2026

Publié : 30 juin 2026



Copyright: Published under a Creative Commons Attribution (CC-BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Résumé

Les écosystèmes agroforestiers jouent un rôle majeur dans la séquestration du carbone (C), contribuant ainsi à la lutte contre le changement climatique. Cette étude évalue le potentiel de séquestration de C des agroforêts à base de quinquina dans le Territoire de Lubero. Des inventaires et mesures de diamètre à hauteur de poitrine (dhp) ont été réalisés dans 18 parcelles, soit trois placettes par plantation. Les équations allométriques appliquées aux dhp ont permis d'estimer les biomasses aériennes et racinaires. Les espèces associées stockent en moyenne $71,02 \pm 7,83$ tC/ha en biomasse aérienne et $15,01 \pm 3,1$ tC/ha en racinaire, contre $13,13 \pm 0,028$ tC/ha et $0,32 \pm 0,06$ tC/ha respectivement pour le quinquina. Sur le plan économique, la valeur moyenne du carbone séquestré par le quinquina atteint $223,21 \pm 0,48$ \$/ha (biomasse aérienne) et $5,44 \pm 1,02$ \$/ha (biomasse racinaire), tandis que les espèces associées présentent des valeurs plus élevées, soit $1207,3 \pm 133,11$ \$/ha et $255,2 \pm 51,99$ \$/ha. Ces résultats démontrent l'importance des Systèmes Agroforestiers à base de Quinquina (SAFQ) à Lubero. Les SAFQ assurent non seulement une séquestration significative du carbone, mais aussi offrent des avantages économiques substantiels aux communautés locales. Ainsi, apparaissent-ils comme un modèle durable conciliant productivité, conservation et atténuation des effets climatiques. Une étude complémentaire sur le carbone du sol est envisagée pour parachever l'évaluation du potentiel global de stockage de carbone de ces systèmes.

Mots-clés : Séquestration de carbone, agroécosystèmes, quinquina, valeur écologique, Lubero, RDC

Abstract

Agroforestry ecosystems play a major role in carbon (C) sequestration, thereby contributing to the fight against climate change. This study assesses the C sequestration potential of cinchona-based agroforests in the Lubero territory. Inventories and measurements of diameter at breast height (dbh) were carried out in 18 plots, i.e., three plots per plantation. Allometric equations applied to dbh were used to estimate above-ground and root biomass. The associated species store an average of 71.02 ± 7.83 tC/ha in above-ground biomass and 15.01 ± 3.1 tC/ha in root biomass, compared to 13.13 ± 0.028 tC/ha and 0.32 ± 0.06 tC/ha respectively for cinchona. In economic terms, the average value of carbon sequestered by cinchona reaches $\$223.21 \pm 0.48$ /ha (above-ground biomass) and $\$5.44 \pm 1.02$ /ha (root biomass), while the associated species have higher values, at $\$1,207.3 \pm 133.11$ /ha and $\$255.2 \pm 51.99$ /ha. These results demonstrate the importance of Quinquina-based Agroforestry Systems (SAFQ) in Lubero. Not only SAFQs ensure significant carbon sequestration, but they also offer substantial economic benefits to local communities. Thus, they appear to be a sustainable model that reconciles productivity, conservation, and climate change mitigation. A complementary study on soil carbon is being considered to complete the assessment of the overall carbon storage potential of these systems.

Keywords: Carbon sequestration, agroecosystems, quinine, ecological value, Lubero, DRC

1. Introduction

Les forêts, à travers la séquestration naturelle du Carbone dans les sols et dans la biomasse forestière, participent activement à la lutte contre le changement climatique. A l'inverse, leur destruction dans les grands bassins forestiers tropicaux (Amazonie, RDC, Indonésie) contribue à l'augmentation de la concentration atmosphérique des gaz à effet de serre (Gemenne et Rankovic, 2021). Sur ce point, l'agriculture est imputée responsable de plus de 70 à 90 % de déforestation et dont les résultats entraînent la perte de biodiversité et la génération de carbone dans l'atmosphère (Brady and de Wasseige, 2010). L'agroforesterie, intégrant des arbres dans les exploitations agricoles, diversifie et soutient la production tout en renforçant la résilience des paysages et des moyens de subsistance en milieu rural (Seghieri and Harmand 2022). La séquestration du carbone dans les agroécosystèmes est aujourd'hui considérée comme une des réponses clés aux défis du changement climatique. Elle consiste à capter et à stocker le dioxyde de carbone (CO₂) de l'atmosphère dans la biomasse végétale et les sols, ce qui aide à réguler le climat mondial. Parmi les différentes stratégies d'atténuation des émissions de gaz à effet de serre, la valorisation des cultures pérennes, comme le quinquina (*Cinchona*), suscite un intérêt croissant, surtout dans les hauts plateaux de Lubero, en République Démocratique du Congo. En zone tropicale, les cultures ombragées de caféier et le cacaoyer affichent un bilan de stock de CO₂ variant de 12 tCéq/ha à 243 tCéq/ha en fonction des composantes et des régions (Avana et al. 2022 ; Arizmendi 2013). Les stocks de carbone dans les agroforêts à base de quinquina restent mal documentés. En République Démocratique du Congo (RDC), des superficies importantes sont dédiées à l'association d'arbres au quinquina (Wybrech et al. 2009 ; Lamanda et Lamanda 2011). Dans le Kivu montagneux, le quinquina introduit par des coopératives des planteurs en 1930 (De Faily 2000), prospère sur des sols peu fertiles, souvent au détriment des forêts naturelles (Fogaing et al. 2021). Son écorce a une valeur économique notable dans la région de Lubero. Les agroforêts à base du quinquina ont également une valeur écologique importante influencée par les caractéristiques

des plantations (localisation et type de sol). Les champs de quinquina s'étendent de 1400 m à 3100 m d'altitude. Le virement de son paysage agricole vers les agroforêts apporte des services écologiques, notamment la séquestration de carbone et l'approvisionnement en produits forestiers. Les essences associées au quinquina, créent un système culture-forêt semblable à des forêts secondaires susceptibles de contribuer à la lutte contre les changements climatiques tout en répondant aux besoins économiques locaux. Ainsi la présente étude vise-t-elle généralement à évaluer la contribution de ces écosystèmes « cinchoniers » dans la lutte contre le changement climatique à travers la connaissance de la dynamique de ces agroforêts en zone tropicale. Il s'agit spécifiquement d'(i) estimer la biomasse aérienne et souterraine de quinquina d'âge des sept ans et les essences associées à ces SAF dans les plateaux de Lubero, (ii) en déduire la quantité de C séquestrée par composantes et (iii) en évaluer la valeur écologique et commerciale.

2. Matériel et Méthode

2.1. Zone d'étude

Le territoire de Lubero se situe entre 00°06'3'' et 0°40'0'' S et entre 28°0'0'' et 29°40'0'' E, au cœur du massif montagneux du Nord-Kivu, à l'Est de la RDC. Son climat du type tropical se distingue par des saisons sèches et humides, avec des températures oscillantes entre 15 et 20 °C en fonction de l'altitude. On y observe des variations saisonnières des précipitations annuelles allant de 1110 à 1700 mm, principalement entre mars et mai (Ndavaro et al., 2022 ; Kapiri et al., 2023). Les reliques forestières de la région renseignent sur l'existence d'un écosystème riche en espèces telles que *Piptadenia africana*, *Polycias fulva* et *Ficalhoa laurifolia*, mais très menacé par l'activité humaine (Ndavaro et al., 2024). Les sols peu fertiles sur des pentes sont vulnérables à l'érosion. Les rivières Lubiru et Biena sont cruciales pour l'agriculture locale (Muhsesi, 2021). Cependant, l'impact de l'agriculture, de l'exploitation minière artisanale et de la déforestation sur l'environnement est préoccupant. Les effets du changement climatique perturbent les cycles de culture et la disponibilité des ressources. Malgré cela, des initiatives locales émergent pour préserver la biodiversité (MEDD, 2021)

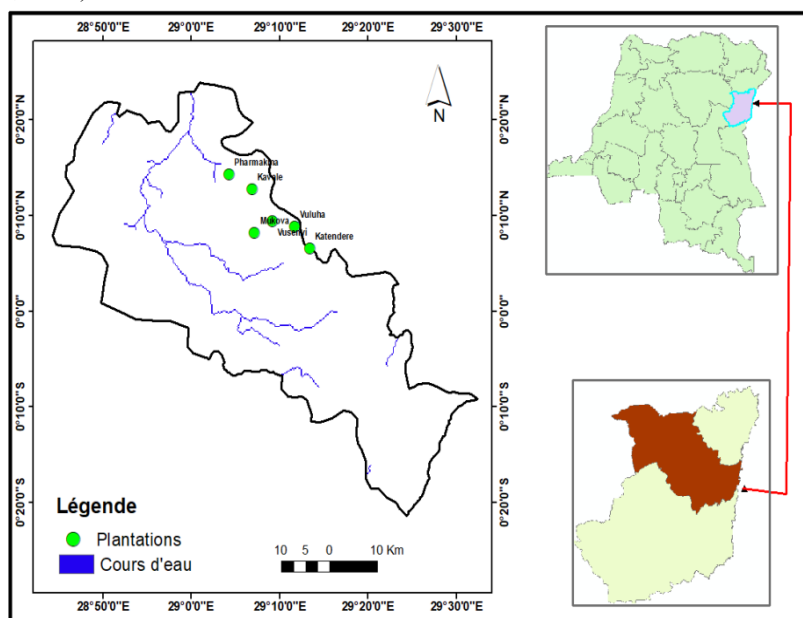


Figure 1. Carte de localisation des plantations visitées/ Map showing the location of the plantations visited

Administrativement, Lubero est organisé en plusieurs secteurs et chefferies, avec la Commune rurale de Lubero au centre (MiniPlanN-K, 2017). La région, bien que dotée d'un accès facilité par la RN2, souffre des routes en mauvais état et d'infrastructures

dégradées. L'agriculture, principale activité économique, fait face à des défis liés à des pratiques agricoles non durables. Des efforts de reforestation et l'intégration de cultures comme le bananier, le caféier dans des agroforêts améliorent la biodiversité et la sécurité alimentaire, bien que des besoins de soutien institutionnel persistent (ICCN, 2015 ; Muhesi et al., 2022 ; PDP-Nord-Kivu, 2023). Les plateaux qui ont fait l'objet de cette étude jouissent d'un climat équatorial de type Af et de sols ayant un potentiel agronomique indéniable. Dans le passé, cette région a été le berceau de la culture du quinquina, une plante ligneuse célèbre pour ses nombreux usages médicinaux et économiques. Après une période de désaffection relative due à l'insécurité et aux fluctuations des marchés, des initiatives récentes visent à relancer la filière du quinquina, qui pourrait devenir un levier significatif non seulement pour le développement rural, mais également pour l'atténuation du changement climatique.

La réalisation de cette étude a nécessité l'utilisation du matériel technique consigné ci-après : Clinomètre SUUNTO, Système de Positionnement Global (GPS), Compas forestier, Perche (règle) graduée, Rubans métriques (50 m), Balance de précision, Etuve, Smartphone.

2.2. Collecte des données

2.2.1. Choix des plantations à base de quinquina

Les plateaux « cinicoles » visités se situent entre les hautes terres tièdes (1400-2000 m) et les hautes terres fraîches (2000-3100 m) où la forêt de montagne est fragmentée, remplacée par des agroforêts et des mosaïques de culture-jachères (Bruneau and Katsuva, 1981 ; Vyakuno, 2006). La présente étude a impliqué la visite de six plantations de quinquina (Vusenyi, Katendere, Vuluha, Mukova, Kavale et Pharmakina), choisies en fonction de l'âge d'exploitabilité (7ans), du niveau d'encadrement technique des agriculteurs, de l'accessibilité par voie routière et de la situation sécuritaire relativement stable. Seuls les champs des sociétés PLAVUMA et PHARMAKINA ont été éligibles.

2.2.2. Echantillonnage et Collecte des données

Des placettes expérimentales carrées de 10 m x 10 m, chacune, ont été installées dans un hectare pris au milieu du champ (Pearson and Brown 2005; Ravindranath and M Ostwald, 2008). Ainsi, dans chaque « cinchoneraie », trois (03) placettes temporaires représentatives de la plantation « cinchonnières » en termes de gestion technique du peuplement, ont été positionnées en diagonale afin de disposer d'un échantillon typique d'individus à mesurer.

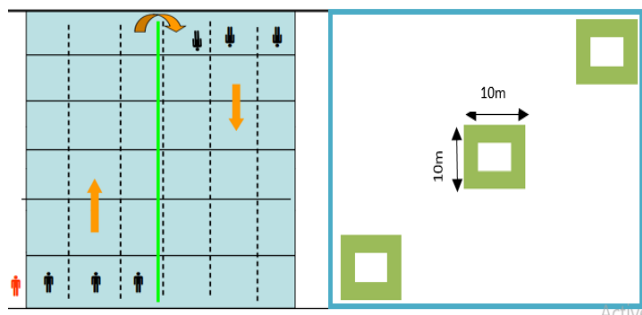


Figure 2. Organisation de la virée (à gauche) et Choix final du dispositif (à droite) / Organisation of the tour (left) and final choice of device (right)

Les extrémités de chaque hectare et placette ont été matérialisées par jalons et coordonnées GPS. Les placettes ont été disposées diagonalement dans un hectare et de manière équidistante selon la pente du terrain. Six plantations échantillonnées ont compris dix-huit placettes. En moyenne, 1536 tiges·ha⁻¹ de *Cinchona ledgeriana* et 56 tiges·ha⁻¹ arbres associés ont été mesurés. Les données ont, ensuite, été extrapolées à l'hectare à l'aide d'un facteur d'expansion préalablement calculé.

2.2.3. Densité des agrosystèmes à base de quinquina dans les plateaux

La densité des plants de plusieurs agroforêts à base de quinquina (Tableau 1) est comprise entre 1671 et 2133 pieds/ha pour des espacements moyens carrés et de 5733 plants lors de la plantation en quinconce. On observe, également, un espacement moyen des arbres associés variable entre 11 et 14 (soit de 56 à 100 pieds/ha).

Tableau 1. Densité des composants de peuplements à base de quinquina

Sites	Plantation de quinquina			Plantation d' arbres associés		
	Dp	Em	D/ ha	DP	Em	D/ ha
Vusenyi	Carré	1,2 x 1,2	2767	Mixte	11	100
Katendere	Carré	1,2 x 1,2	1671	Mixte	13	67
Vuluha	Carré	1,2 x 1,2	2133	Mixte	14	56
Mukova	Carré	1,0 x 1,0	2978	Naturel	14	56
Kavale	Carré	1,2 x 1,2	1900	Naturel	14	56
Pharmakina	Quinconce	0,8 x 0,8	5733	Naturel	13	67

Légende : **Dp**= Dispositif de plantation, **Em**= Espacement moyen, **D/ ha**= Densité/ ha

2.2.4. Mesures des arbres sur pied

Dans le cadre de cette recherche et compte tenu de la sécurité précaire dans la zone d'étude et du temps imparti pour ce travail, le prélèvement des données a été restreint et réduit à un minimum possible afin de ressortir des résultats représentatifs du milieu. Les mesures du dhp (ou à 1,30 m du sol) des arbres de quinquina (de dbh > 2,5 et < 20cm) et d'essences associées ont été effectuées à l'aide du compas forestier (Pearson & Brown, 2005). La hauteur totale pour chaque quinquina a été mesurée à l'aide d'une règle graduée. Alors que celle des arbres associés a été prélevée à l'aide du Suunto ; avec H : hauteur de l'arbre, Ls : lecture supérieure, Li : lecture inférieure et D : la distance entre l'arbre et l'opérateur.

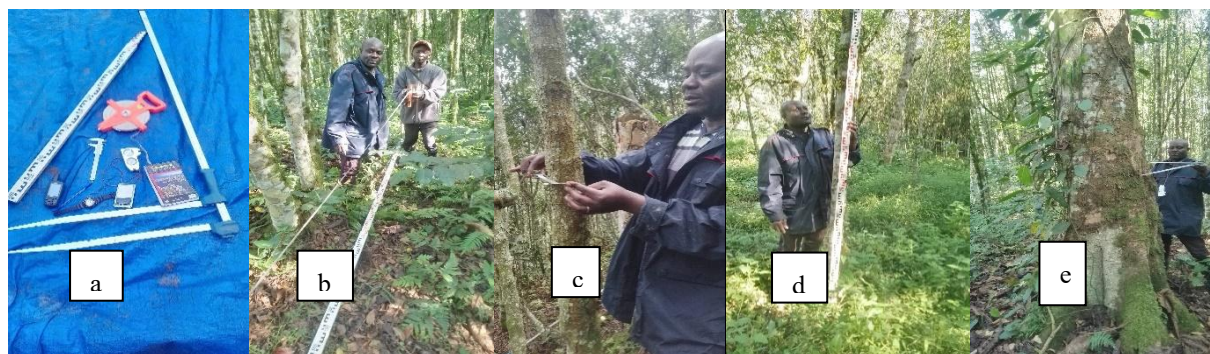


Figure3. Matériel utilisé (a), Délimitation des placettes (b), Mesure de dhp du quinquina (c), mesure de la hauteur (d), mesure du dhp du Polycias fulva (e)/ Equipment used (a), Delimitation of plots (b), Measurement of dhp of cinchona (c), Measurement of height (d), Measurement of dhp of Polycias fulva (e).

La densité de plantation, la surface de la section à 1,30 m du bois debout et celle du peuplement et le volume du peuplement ont été recherchés pour toutes les espèces. Le volume du peuplement a été trouvé par la formule proposée par (Massenet, 2010) Avec : G = surface terrière du peuplement, D_i = diamètre du ligneux i , d = densité du peuplement à l’hectare et n = effectif de la population dans la placette

2.2.5. Volumes des aliquotes

Les mesures du volume par réservoir différent selon les aliquotes. Pour le Volume (V) du morceau de bois de la tige sous-écorce, l’équation de référence est celle de (Deleuze et al., 2014) et le volume du peuplement est calculé par celle de (Longuetaud et al., 2014); Avec V : volume du peuplement (en m^3), G : surface terrière du peuplement (m^2), H : hauteur moyenne du peuplement (m) et f : coefficient de forme de l’arbre.



Figure 4. Empilage des échantillons frais (f), Pesage de l’échantillon, Etuve(g) et Pesage des échantillons séchés au labo (k)/Stacking of fresh samples (f), Weighing of samples Oven (g) and Weighing of dried samples in the lab (k).

2.2.6. Relations allométriques et biomasses

Les équations allométriques ci-dessous (Tableau 2) ont été, successivement, utilisées pour l’estimation de la biomasse hypogée et épigée de la colonie étudiée.

Tableau 2. Equations allométriques pour le calcul de la biomasse aérienne et racinaire

Pluviométrie	Equations allométriques (kg/arbre)	Précision	Auteurs
1500-3500 mm/an	$AGB = \text{Exp} (-1,803 - 0,976 E + 0,976 \ln \rho + 2,673 \ln D - 0,0299 \ln D^2)$	$R^2 = 90 \%$	Chave <i>et al.</i> (2014)
Standard	$DBS = \text{exp} (-1,0587 + 0,8836 \ln AGB)$	$R^2 = 95 \%$	Pearson & Brown (2005)

Avec AGB = biomasse aérienne estimée (kg) comprend le tronc et le houppier et DBS = biomasse souterraine (en Kg) comprend la partie racinaire dans le sol ; ρ = la densité spécifique du bois, E = indice de continentalité hydrique et Diamètre à 1,30m (en cm).

Le choix de l’équation de Chave (2014) pour cette étude se justifie par le fait qu’aucune allométrie locale propre aux forêts de montagne n’est disponible jusqu’à présent. L'utilisation de cette allométrie de Chave, 2014 dans l’estimation de la biomasse nécessite l'abattage de quelques pieds afin de peser les aliquotes et déterminer l'infradensité de leur bois. Cette méthode destructive, difficile à appliquer en grande échelle, reste la plus précise pour l'estimation de la biomasse (Loubota, 2018 ; Muhesi et al., 2022 ; Ouedraogo et al., 2019 ; Vroh et al., 2015; Walker et al., 2004). Dans cette étude, la biomasse épigée et hypogée de quinquina associé aux essences agroforestières a été déterminée en abattant 18 pieds dont trois pieds par plantation. Différentes parties (racines, tronc, écorces, branches et feuilles) ont été séparées et pesées, d'abord sur le terrain, puis au laboratoire à l'aide de balances précises. Les aliquotes ont ensuite été séchées à une température contrôlée de 102 °C (pendant 72 h) pour obtenir le

poids anhydre, permettant de déterminer le taux d'humidité entre 12 et 22% (Longuetaud et al., 2014). Avec M_h = masse humide(g) ; M_o = la masse anhydre(g), H = taux d'humidité (%).

2.2.7. Infradensité du bois et Indice de continentalité

L'infradensité correspond au rapport entre la masse de bois sec et le volume de bois vert. La masse sèche contenue dans le volume humide a servi d'élément de calcul du C. Ainsi la densité anatomique du bois dit infradensité est-elle trouvée par la formule utilisée par (Bas, 2019 ; Bauer et al., 2019); Avec ρ (%) = infradensité ; M (kg)= masse et V (m^3) = volume (Bas, 2019 ; Bauer et al., 2019). L'infradensité par arbre puis l'infradensité moyenne du bois de quinquina planté dans la région ont été calculées ; Avec ρ_a = densité d'un pied d'arbre, ρ_r = densité des racines, ρ_t =densité de la tige ; ρ_e , densité de l'écorce, ρ_b = densité de branches ; ρ_f = densité des feuilles ; ρ_m , densité moyenne des pieds des plantations inspectées, ρ_{a1} =densité du 1^{er} champ, ρ_{a2} = densité du 2^{ème} champ, ρ_{a3} = densité du 3^{ème} champ ; ρ_{an} = densité d'inième arbre et N_t = nombre de champs. Les densités anatomiques des essences associées au quinquina ont été extraites du « Wood Densities of Tropical Tree Species » élaboré par (Reyes et al., 1992).

L'indice de continentalité hydrique adapté aux contextes de montagne est celui de Gams modifié par Michalet (1991), car celui-ci permet de s'affranchir des effets de l'altitude pour manifester la continentalité hydrique (Lebourgeois et al., 2005).

Avec Alt = Altitude du lieu d'étude et P = précipitation. L'utilisation de SIG couplée aux outils géostatistiques (QGS) a permis d'extraire des données Worldclim des précipitations par plantation.

2.2.7. Teneurs en C et valeur écologique et commerciale

Pour estimer la quantité de carbone (C) dans la biomasse ligneuse totale, celle-ci est multipliée par 0,5, conformément aux recommandations du GIEC. La conversion entre le carbone et le dioxyde de carbone (CO_2) se base sur leurs poids atomiques, où 1 tonne de carbone équivaut à 3,67 tonnes de CO_2 (Chevallier, 2015 ; GIEC, 2006 ; Ndjomba et al., 2022). Selon la REDD+RDC, la valeur écologique permettant d'obtenir des Certificats d'Émissions Réduites (CER) en tonnes équivalentes de CO_2 , avec des coûts d'opportunité, est estimée à 7,5 \$/tCéq (Kapp, 2013) et les coûts invisibles (balance des services) à 17 \$/tCéq (Grais et Nourtier, 2016). Ainsi, 1 EUA est équivalent à 1 UQA, 1 UREC, et 1 RMU, représentant 1 tCéq à 17 \$.

2.2.8. Facteur d'expansion

L'extrapolation à l'hectare des valeurs des données obtenues des placettes a été réalisée grâce à un facteur d'expansion qui indique la surface représentée par les placettes. Cette standardisation est nécessaire pour pouvoir interpréter aisément les résultats et aussi faire des comparaisons avec d'autres études (Pearson & Brown, 2005) ; Avec FE= facteur d'expansion et SP = surface de la placette dans un hectare de plantation.

2.3. Analyse des données

Tableau 3. Présentation des formules

N°	Indicateur	Formules	Sources
1	Mesure de la hauteur des arbres	$H = \frac{(L_s - L_i) \times D}{100}$	Hébert <i>et al.</i> 2020
2	Calculs de la Surface Terrière du peuplement	$G = \sum_{i=1}^n \left(\frac{\pi D_i^2}{4} \times \frac{d}{n} \right)$	Massenet, 2010
3	Calcul du Volume du peuplement	$V = G \times H \times f$	Massenet, 2010
4	Volume du morceau de bois	$V(m^3) = \frac{\pi \times D^2}{4} \times H$	Deleuze <i>et al.</i> , 2014 et Longuetaud et al., 2014

5	Taux d'humidité du bois	$H(\%) = \frac{M_h \times M_o}{M_o} \times 100$	Longuetaud et al. 2014
6	Infradensité du bois	$\rho = \frac{M_{boissec}}{V_{bois frais}}$	Bas 2019; Bauer et al. 2019; Heim 2023
7	L'infradensité moyenne du bois de quinquina	$p_a = \frac{p_r + p_t + p_e + p_f}{N}$	Mayani J. 2025
8	L'infradensité moyenne du bois de quinquina	$p_m = \sum \frac{p_{a_1} + p_{a_2} + p_{a_3} + p_{a_4} + \dots + p_{a_n}}{Nt}$	Mayani J. 2025
9	Indice (de Gams) de continentalité hydrique adapté aux contextes de montagne modifié par Michalet (1991)	$E = \frac{p}{1} \times \left(\frac{900 - Alt}{100} \times \frac{p}{10} \right)$	Lebourgeois et al. 2005
10	Facteur d'extrapolation à l'hectare	$FE = \frac{10000 (m^2)}{SP(m^2)}$	Pearson and Brown 2005

2.12. Analyses statistiques des données

Les données collectées ont été encodées et prétraitées dans un tableur Excel. Le fichier de base de données formalisée a été importé dans le logiciel R pour les analyses statistiques. Pour comparer les paramètres dendrométriques des arbres de quinquina en fonction des zones altitudinales (hautes terres fraîches et hautes terres tièdes) et des plantations, une analyse de la variance à deux facteurs (ANOVA) a été utilisée. La différence considérée comme significative (*p-value* ou $p < 0,05$) détectée ramenait à la comparaison deux à deux des moyennes qui a été effectuée à l'aide du test SNK (Student-Newman-Keuls) du package « agricolae » (de Mendiburu and de Mendiburu, 2019). Ce package a permis d'affecter à des moyennes, des lettres indiquant les différences.

3. Résultats

3.1. Relation entre biomasse et stock de carbone des composantes des AFQ

Des paramètres de grosseurs (diamètres) de chaque composante, il est ressorti des moyennes de biomasses aériennes (AGB) et racinaires (DBS) à partir desquelles ont été déduits les C aériens et racinaires et leurs équivalents C.

3.2. Diamètre et hauteur des tiges de quinquina en fonction des plantations

De 1400-2000m, le dhp du quinquina est en moyenne de $5,58 \pm 1,38$ cm tandis qu'entre 2000-3100 m, le dhp envoisine $5,41 \pm 1,96$ cm. Entre les agrosystèmes, la Pharmakina a présenté un dhp supérieur ($5,95 \pm 2,19$ cm) par rapport aux autres plantations (Tableau 4). Comme pour le dhp, la Pharmakina a présenté des tiges dont la hauteur moyenne est significativement supérieure ($8,55 \pm 2,04$ m) à celle des autres plantations. Les S.T et les volumes observés au tableau 4 sont proportionnels aux diamètres et hauteurs des plants.

Tableau 4. Intervalle moyen du dhp et de la hauteur de quinquina en fonction de sites

Sites	Altitude	dhp (cm)	Hauteur (m)	S.T (cm ² /ha)	Volume (m ³ /ha)
Katendere	1825	$5,85 \pm 1,50^a$	$5,28 \pm 1,89^c$	$895,4 \pm 93,46$	$157,57 \pm 5,89$
Kavale	1934	$5,65 \pm 2,74^a$	$6,14 \pm 1,64^b$	$835,22 \pm 196,43$	$170,92 \pm 10,74$
Mukova	1775	$4,27 \pm 1,12^c$	$4,76 \pm 0,90^d$	$477,04 \pm 32,82$	$75,72 \pm 0,98$
Pharmakin	1644	$5,95 \pm 2,19^a$	$8,55 \pm 2,04^a$	$926,27 \pm 125,48$	$263,97 \pm 8,49$
Vuluha	1744	$5,00 \pm 1,19^b$	$4,64 \pm 1,45^d$	$654,10 \pm 55,00$	$101,16 \pm 2,66$
Vusenyi	2230	$5,58 \pm 1,38^a$	$6,08 \pm 1,33^b$	$814,65 \pm 46,28$	$165,1 \pm 2,05$

L'analyse de la variance montre que le dhp du quinquina n'est pas influencé par la zone altitudinale ($p > 0,05$). Par contre, il est significativement différent entre les plantations ($F = 1,93$; $p < 0,001$; ddl = 4). Contrairement au dhp, la hauteur des tiges de quinquina varie significativement en fonction des zones altitudinales et des plantations ($F = 13,18$; $p < 0,001$; ddl = 4). Les arbres croissent plus en hauteur dans les hautes terres tièdes ($6,51 \pm 2,43$ m) que dans les hautes terres fraîches ($6,08 \pm 1,33$ m).

3.3. Biomasse et stock de C des quinquinas en fonction des sites

Le Tableau 5 présente du C séquestré par pool du quinquina en fonction des sites. La Parmakina a du bois de quinquina qui séquestre plus avec $4,4 \pm 0,01$ tC·ha⁻¹ épigé (soit $16,15 \pm 0,04$ tCéq·ha⁻¹) et $0,14 \pm 0,02$ tC·ha⁻¹ hypogé (soit $0,5 \pm 0,073$ tCéq·ha⁻¹), suivi celui de celui de Katendere et celui de Kavale ayant les piègeurs de $4,1 \pm 0,06$ tC·ha⁻¹ épigé (soit $15,05 \pm 0,02$ tCéq·ha⁻¹) et $1,5 \pm 0,012$ tC·ha⁻¹ hypogé (soit $0,05 \pm 0,04$ tCéq·ha⁻¹), puis enfin celui de Vusenyi avec $3,7 \pm 0,01$ tC·ha⁻¹ épigé (soit $13,96 \pm 0,04$ tCéq/ha) et $1,1 \pm 0,05$ tC·ha⁻¹ (soit $0,33 \pm 0,02$ tCéq·ha⁻¹) hypogé. Les quinquinas des autres sites séquestrent moins que $3,5$ tC·ha⁻¹, soit moins de $12,8$ tCéq·ha⁻¹.

Tableau 5. Biomasse et stock de C des quinquinas en fonction des sites

Sites	AGB(t.ha ⁻¹)	DBS (t.ha ⁻¹)	Ca (t. ha ⁻¹)		Cr (t.ha ⁻¹)	
			Ca (t.ha ⁻¹)	Cr (t.ha ⁻¹)	Caéq(t.ha ⁻¹)	Créq(t ha ⁻¹)
Vusenyi	7,6±0,2	0,27± 0,01	3,8 ± 0,01	1,1±0,05	13,96±0,04	0,33±0,02
Katendere	8,2±1,2	0,25±0,04	4,1±0,06	1,5±0,012	15,05±0,02	0,05±0,04
Vuluha	5,1±0,2	0,15±0,07	2,55±0,01	0,08±0,004	9,36 ± 0,04	0,29±0,13
Mukova	5,0±0,6	0,16±0,03	2,5±0,03	0,08±0,015	9,18 ± 0,01	0,29±0,06
Kavale	8,2±0,1	0,26±0,02	4,1±0,005	0,13±0,01	15,05±0,02	0,47±0,037
Pharmakina	8,7±0,2	0,27±0,01	4,4±0,01	0,14±0,02	16,15±0,04	0,5±0,073

Legende : AGB = biomasse aérienne, DBS = Biomasse souterraine, Ca= carbone aérien, Cr= carbone racinaire, Caéq= équivalent carbone aérien, Créq= équivalent carbone racinaire, t/ha= tonne par hectare.

3.4. Diamètre et hauteur des tiges d'arbres associés au quinquina

Les essences agroforestières recensées présentent des diamètres et des hauteurs aboutissant à de bonnes surfaces terrières occupées et à des volumes non négligeables dans les SAFQ (Tableau 6). Elles mettent en évidence les proportions de volume considérables relatives à leurs dhp et hauteurs, proportionnellement au nombre de tiges.

En effet, la plantation de Mukova se présente, en première position, avec un diamètre moyen de $82,2 \pm 10,4$ cm pour des hauteurs moyennes de $22,8 \pm 5,4$ m, suivie de la Pharmakina ($77,2 \pm 18,1$ cm et $18,01 \pm 5,7$ m) et de Vuluha ($75 \pm 12,75$ cm et $22,8 \pm 5,4$ m). Katendere, Vusenyi et Kavale sont en dessous de 70 cm de diamètre et 18 m de hauteur. La surface terrière (S.T) et le volume étant fonction de ces deux paramètres, les arbres de Mukova occupent $128392,3 \pm 10051,1$ cm². ha⁻¹ de S.T et $120,3 \pm 29,99$ m². ha⁻¹ volume, suivi de Pharmakina ($163241,7 \pm 257,2$ cm².ha⁻¹ et $162,2 \pm 49,99$ m³ ha⁻¹) et de Vuluha ($150574,1 \pm 4219,6$ cm² ha⁻¹ et $172,4 \pm 6,66$ m². ha⁻¹). Katendere, Vusenyi et Kavale sont en dessous de 15000 cm². ha⁻¹.

Tableau 6. Intervalle moyen du dhp et de la hauteur d'arbres associés au quinquina

Sites	DHP (cm)	Hauteur (m)	S.T (cm ² ha ⁻¹)	Volume (m ³ ha ⁻¹)
Vusenyi	30,6 ± 21,5	12,4 ± 4,02	35136,1 ± 12092,1	25,6 ± 9,33
Katendere	59 ± 14,4	21,8 ± 1,9	95620,8 ± 5426,1	114,1 ± 26,66
Vuluha	75 ± 12,75	22,8 ± 5,4	150574,1 ± 4219,6	172,4 ± 6,66
Mukova	82,2 ± 10,4	21,2 ± 6,7	178972,8 ± 2829,7	206,9 ± 19,99
Kavale	67,8 ± 19,6	17,8 ± 3,1	128392,3 ± 10051,1	120,3 ± 29,99
Pharmakina	77,2 ± 18,1	18,01 ± 5,7	163241,7 ± 257,2	162,2 ± 49,99

3.5. Biomasse et stock de C des essences associées (EA) en fonction des sites

Le tableau 7 présente la quantité de C séquestré par pool des essences associées au quinquina en fonction des sites. La plantation de Mukova vient en première position dans le piégeage du C avec $32,17 \pm 3,8$ tC·ha⁻¹ épigé (soit $118,3 \pm 13,76$ tCéq·ha⁻¹) et $4,6 \pm 2,6$ tC·ha⁻¹ hypogé (soit $16,88 \pm 9,36$ tCéq·ha⁻¹), suivie de celle de la Pharmakina avec $26,29 \pm 3,1$ tC·ha⁻¹ épigé (soit $96,5 \pm 11,19$ tCéq·ha⁻¹) et $3,81 \pm 1,2$ tC·ha⁻¹ hypogé (soit $14,01 \pm 4,4$ tCéq·ha⁻¹) hypogé. La plantation de Vuluha piège $21,56 \pm 2,1$ tC·ha⁻¹ épigé (soit $79,14 \pm 7,71$ tCéq·ha⁻¹) et $3,2 \pm 0,55$ tC·ha⁻¹ hypogé (soit $11,74 \pm 2,02$ tCéq/ha), en fin, celle de Kavale stocke $20,93 \pm 2,6$ tC·ha⁻¹ épigé (soit $76,84 \pm 9,54$ tCéq·ha⁻¹) et $3,1 \pm 0,65$ tC·ha⁻¹ hypogé (soit $11,4 \pm 2,67$ tCéq·ha⁻¹). Les autres espèces séquestrent moins que 20 tC·ha⁻¹, soit moins de 11 tCéq·ha⁻¹.

Tableau 7. Biomasse et stock de C des essences associées (EA) en fonction des sites

Sites	AGB (t/ha)	DBS (t/ha)	C(t/ha)		Céq (t/ha)	
			Ca(t/ha)	Cr(t/ha)	Caéq(t/ha)	Créq(t/ha)
Vusenyi	8,3±1,4	1,4±0,6	4,14±0,3	0,71±0,3	15,1 ± 1,3	2,53±1,10
Katendere	21,86±1,9	3,5±0,8	10,9±0,9	1,7±0,4	40,13 ± 3,48	6,48±1,47
Vuluha	43,13±4,2	6,4±1,1	21,56±2,1	3,2±0,55	79,14±7,71	11,74±2,02
Mukova	64,2±7,5	9,2±5,1	32,17±3,8	4,6±2,6	118,3±13,76	16,88±9,36
Kavale	41,87±5,2	6,2±1,3	20,93±2,6	3,1±0,65	76,84±9,54	11,4±2,67
Pharmakina	52,57±6,1	7,6±2,4	26,29±3,1	3,81±1,2	96,5±11,19	14,01±4,4

3.6. Valeur du carbone marchand dans les composantes

La mercuriale des coûts d'opportunité donnée par REDD+/ RDC est 7,5 \$/tCéq (Kapp, 2013). Cependant, en commerce invisible ou en balance des services, ces coûts se négocient à 1tCéq = 17 \$ (Grais et Nourtier, 2016). En moyenne, le piégeage aérien et racinaire de 6 sites à vendre sur le marché C au prix de 17 \$/tCéq générerait $1207,3 \pm 133,11$ \$/ha de l'épigé et $255,11 \pm 51,99$ \$/ha de l'hypogé pour des espèces (tableau 8) et de $223,21 \pm 0,48$ \$/ha et $5,44 \pm 1,02$ \$/ha pour la moyenne obtenue du quinquina.

Tableau 8. Valeur écologique de C par composantes des AFQ

Paramètres	Espèces associées		Quinquina	
	Céq a(t/ha)	Céq r(t/ha)	Céq a (t/ha)	Céq r (t/ha)
Quantités C	71,02 ± 7,83	15,01 ± 3,1	13,13 ± 0,028	0,32 ± 0,06
VE (\$)	1207,3 ± 133,11	255,2 ± 51,99	223,21 ± 0,48	5,44 ± 1,02

4. DISCUSSIONS

4.1. Relation de biomasse entre AFQ et capacité de stockage du carbone

Globalement, les composantes des AFQ (quinquina et espèces associées) mesurées au dbh > 2,5 cm génèrent des biomasses aériennes et souterraines moyennes (AGB et DBS) par hectares susceptibles d'un stockage de C important. Ainsi les arbres associés au quinquina de 6 sites ont-ils piégé, en moyenne prêt de $71,5 \pm 7,83 \text{ tCéq} \cdot \text{ha}^{-1}$ de C aérien et $15,01 \pm 3,1 \text{ tCéq} \cdot \text{ha}^{-1}$ de C racinaire, alors que les pieds de quinquina ont le potentiel de séquestrer $13,13 \pm 0,028 \text{ tCéq} \cdot \text{ha}^{-1}$ de C aérien et $0,32 \pm 0,06 \text{ tCéq} \cdot \text{ha}^{-1}$ de C racinaire. Cette large somme de contribution des AFQ à la séquestration du C approche, avec un petit écart, les résultats des apports d'études au Cameroun (Félicité et al., 2018) et au Costa-Ric (Arizmendi, 2013) sur la diversité ligneuse et le stock de C dans les SAF à base de cacaoyers et caféiers, qui, à leur degré près, montrent que, dans l'assemble, la teneur moyenne en C des SAF peut être comprise entre 107 et 243 $\text{tC} \cdot \text{ha}^{-1}$ pour les cacaoyers au Cameroun, de 151 à 195 $\text{tC} \cdot \text{ha}^{-1}$ pour les caféiers au Costa-Rica. La petite différence dépend surtout des arbres associés qui pourraient contribuer à plus de 95%. Mais nos résultats dépassent le potentiel de C séquestré par les essences agroforestières endogènes ($19,46 \text{ tC} \cdot \text{ha}^{-1}$) et introduites ($6,32 \text{ tC} \cdot \text{ha}^{-1}$) évalué dans les agroforêts à base de Caféiers au Cameroun par Ngomeni et al., (2021), de 34 à 49 $\text{tC} \cdot \text{ha}^{-1}$ à Malang et de 26,9 $\text{tC} \cdot \text{ha}^{-1}$ pour les jachères (JA) à 31,9 $\text{tC} \cdot \text{ha}^{-1}$ pour les haies vives dans la zone soudano-sahélienne du Cameroun ((Ngomeni et al., 2021a); Boukeng et al., 2023). Presque tous les agroforêts à base du caféier et de cacaoyer situé au Bénin, au Cameroun, Sénégal, au Kenya stockent, en moyenne, les arbres agroforestiers y compris et au-dessus du sol seulement, de C variant entre 28,65 et 52,19 $\text{tC} \cdot \text{ha}^{-1}$ (Fogaing et al., 2021). Les variations du potentiel de séquestration de C enregistrées dans les différentes plantations de différentes régions seraient dues, selon les auteurs ci-haut, à la variation des composantes des SAF et leurs structures, plus précisément, le type de spéculation (quinquina, cacaoyer, caféier), des espèces associées et leur densité, les zones d'implantation et les fonctions de ce dernier. (Kooke et al., 2019) précisent, également, que la quantité de C séquestré est fonction des espèces d'arbres, des régions géographiques, des densités de plantation et de la gestion du système.

4.2. Quinquina marchand et carbone commercial

Les valeurs écologiques et commerciales des agroécosystèmes ne sont pas à négliger. Evalué en termes de paiements pour services écosystémiques, l'équivalent C aérien et racinaire piégé par les AFQ vaut $223,21 \pm 0,48 \text{ \$/ha}$ (partie aérienne) et $5,44 \pm 1,02 \text{ \$/ha}$ (partie racinaire) pour le quinquina et $1207,3 \pm 133,11 \text{ \$/ha}$ aérien et $255,2 \pm 51,99 \text{ \$/ha}$ racinaire pour les essences associées. Ce prix de C est légèrement supérieur à celui des SAF camerounais estimés entre 986 et 1170 $\text{\$/ha}$ (Boukeng (Boukeng et al., 2023). Et leur somme est de loin inférieure à la valeur écologique des agroforêts du versant oriental des Monts Bamboutos dans les HT de l'Ouest du Cameroun qui permettraient d'obtenir environ 13176,68 $\text{€}/\text{ha}$ (J. Fogaing et al., 2021). Cependant, nos résultats concourent au constat global de De Beenhouwer et al., (2016) selon lequel les agroforêts afromontagnardes sont en mesure de fournir d'importants bénéfices réciproques en termes de conservation des espèces de plantes ligneuses et de stockage du C. Du point de vue agroéconomie, Briner et al. (2011) certifient que les agroforêts génèrent des recettes issues des récoltes

annuelles agricoles et de la vente du bois et, éventuellement, de la commercialisation de prestations environnementales. Il convient, donc, de penser à des paiements de soutien provenant de la certification ou de mécanismes politiques tels que REDD+ afin de réduire le coût du rendement. Ce sens pourrait aider à maintenir la viabilité des services des systèmes agroforestiers (Penot and Feintrenie, 2014), par conséquent, éviter l'intensification de la gestion et les pertes de carbone et de biodiversité qui en découlent. Les AFQ qui ne sont pas du reste nécessitent d'être valorisées pour le marché carbone tout en maintenant la production de la quinine afin que les agriculteurs soient capables de retrouver un gain de subvention en raison de l'apport des plantations de quinquina dans la lutte contre les changements climatiques.

Conclusion

Les agrosystèmes jouent un rôle écologique et économique important. Ils contribuent significativement à la survie des populations et à la lutte contre les CC. Cette étude visait à évaluer la contribution des agroforêts à base de quinquina dans la lutte contre le changement climatique dans les plateaux de Lubero/RDC. L'analyse par comparaison des moyennes des paramètres dendrométriques sur base de modèles statistiques a été réalisée. Les équations mathématiques montrent que les SAF stockent généralement du carbone à travers leurs biomasses. Du point de vue de la biomasse et du C stocké par les AFQ, elles sont grandes et leurs valeurs écologiques et commerciales ne sont pas à négliger. Le prix du CO₂eq associé à celui des écorces sèches peut booster l'agroéconomie de la région de Lubero. Cependant, l'étude révèle des limites liées au manque d'outils de quantification adaptés au milieu local, soulignant la nécessité de futures recherches sur les allométries spécifiques aux forêts de montagne et au quinquina. Des études comparatives entre plantations d'autres régions et des investigations sur les interactions écologiques pourraient enrichir la généralisation et la compréhension des résultats obtenus.

Contribution des auteurs

Rôle du contributeur	Noms des auteurs
Conceptualisation	Janvier Kambere Mayani
Collecte des données	Janvier Kambere Mayani
Gestion des données	Janvier Kambere Mayani
Analyse formelle	Janvier Kambere Mayani
Méthodologie	Janvier Kambere Mayani, Serge Ngendakumana, Maombi Mbusa Masinda
Supervision Validation	Serge Ngendakumana, Maombi Mbusa Masinda
Écriture – Préparation	Janvier Kambere Mayani
Écriture – Révision	Serge Ngendakumana, Maombi Mbusa Masinda

Remerciements

Gratitude aux sociétés PLAVUMA et PHARMAKINA d'avoir accepté de mener ces recherches dans leurs plantations sous les orientations de leurs agronomes. Chers agronomes, merci pour votre encadrement de bout en bout et Professeur Jacques NGE-KURUTSE pour les contributions de relecture du texte.

Références

- Arizmendi, I. (2013). Quelle stratégie de gestion pour l'augmentation de la rentabilité des systèmes agroforestiers : modélisation technico-économique des agroforêts cacaoyers et caféiers améliorées au Cameroun. CIHEAM-IAMM, Inst. Agro. Méditerranéenne de Montpellier. n°1, 120p.
- Bas, L. 2019. EcoTree CO₂ Quantification Methodology. NATUREL HAS VALUE, 17 p.
- Bauer R., Billard A., Longuetaud F., Mothe F., Colin F., Bauer R., Billard A., Longuetaud F., Mothe F., Bouvet A. (2019). Étude et modélisation des volumes des écorces. Epinal 7 p.

- Boukeng E.J.D., Avana M.L.T., Zapfack L., Desrochers A., Dzo I.G.M., Banoho L.P.R.K., Khasa D. (2023). Carbon stocks of agroforestry systems in the Sudano-Sahelian zone of Cameroon, Central Africa Description of the subject. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* 27, 19–30. <https://doi.org/10.25518/1780-4507.20143>
- Brady M., de Wasseige C. (2010). Monitoring Forest Carbon Stocks and Fluxes in the Congo Basin. *COMIFAC Int. Conf.* pp1–168.
- Briner S., Hartmann M., Decisions E., Zürich E.T.H. (2011). L' agroforesterie : une solution économique pour une production animale neutre en CO₂, 12–19.
- Bruneau J., Katsuva K. (1981). Quelques aspects de la naissance et de l'impact du phénomène urbain dans le pays nande au Nord-kivu(Zaire). *Geo. Eco. Trop.* 5(2), 139–162.
- Chave (2014). Méthodologie régionale d'établissement des équations allométriques pour les forêts du bassin du Congo, Etat de lieux des Equations allométriques dans le bassin du Congo 18 Diapositive.
- Chevallier T. (2015). L'agroforesterie permet-elle de concilier production agricole et atténuation du changement climatique? In *DOSSIER Les Systèmes agroforestiers; Diversité des pratiques et environnementaux Forêt-entreprise - N° 225*.,
- De Beenhouwer M., Geeraert L., Mertens J., Van Geel M., Aerts R., Vanderhaegen K., Honnay O. (2016). Biodiversity and carbon storage co-benefits of coffee agroforestry across a gradient of increasing management intensity in the SW Ethiopian highlands. *Agric. Ecosyst. Environ.* 222, 193–199. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.02.017>
- de Mendiburu F., de Mendiburu M.F. (2019). Package 'agricolae.' R Packag. version 1.
- Deleuze C., Morneau F., Renaud J.P., Vivien Y., Rivoire M., Santenoise P., Longuetaud F., Mothe F., Hervé J.C., Vallet P., Deleuze C., Morneau F., Renaud J.P., Vivien Y., Rivoire M. (2014). Estimer le volume total d'un arbre , Estimer le volume total d'un arbre, quelles que soient l'essence, la taille, la sylviculture, la station. *Rendez-vous Tech. l'ONF* 44, 22-32.
- Etoundi (2023). Diversité floristique et stockage de carbone dans les agrosystèmes élaeicoles villageois des environs de Yaoundé au Cameroun, *Biologie des Organismes Végétaux, Master ès Sciences ,UNIV. DE YAOUNDE I.*,
- Félicité T.L., William D., Vianny N., Carrele N., (2018). Diversité Ligneuse et Stock de Carbone des Systèmes Agroforestiers à base de Cacaoyers à l' Est Cameroun : Cas de la Forêt d'Enseignement et de Recherche de l'Université de Dschang 12274–12286.
- Fogaing J, Ndonmou E., Fogang M., Tiencheu M., Tsalefac M. (2021). Potentiel de stockage de carbone des agro forêts du versant oriental des monts Bamboutos dans les Hautes Terres de l'Ouest du Cameroun. *Rev. Sci. Tech. Forêt Environ. du Bassin du Congo* 16, 36–49. <https://doi.org/10.5281/zenodo.4699504>
- Grais A et Nourtier M. (2016). Leçons apprises de la REDD+ dans le bassin du Congo – Approche méthodologique de la comptabilité Carbone, ONF International α Winrock international, www.winrock.org, www.onfinternational.com
- Gemenne et Rankovic (2021). Atlas de l' Anthropocène. 2e édition actualisée et augmentée, Atelier de cartographie et de science Po, Mimesis, ISSN 1850 1900 1950 2000 2050 2100
- GIEC (2006). Pour les inventaires nationaux de gaz à effet de serre. *Agric. For. autres Affect. des terres* 4, 1–55.
- Hébert J., Bourland N., Rondeux J., Hébert J., Bourland N., Rondeux J., De E., Ébert J.H., Ourland N.B., Ondeux J.R. (2020). Estimation de l'accroissement et de la production forestière à l'aide de placettes permanentes concentrique. <https://doi.org/10.1051/forest>
- ICCN (2015). Plan simple de gestion de *Prunus africana* (Rosaceae) dans la zone de Mangurejipa, Province du Nord-Kivu,RDC,
- Kapiri M.M., Mahamba J.A., Mulondi G.K. (2023). Assessment of Land Use and Land Cover Changes (LULC) in the North Taliha River Watershed (Lubero Territory , Eastern DR Congo). <https://doi.org/10.4236/gep.2023.111013>
- Kapp G. (2013). Les Coûts Totaux de la REDD+ Théorie et Résultats Préliminaires,Atelier: “Formation et sensibilisation sur l'outil d'analyse des coûts totaux de la REDD+ en RDC” 22–26.

- Kimpolo L., Fédriche Ndzai S., Koubouana F. (2021). Richesse floristique et stockage de Carbone de la zone agricole de la forêt de Kissila dans le mayombe congolais. Eur. Sci. J. ESJ 17, 1–19. <https://doi.org/10.19044/esj.2021.v17n40p1>
- Kombate Dourma M., Folega F., Woegan Y., Wala K., Akpagana K., (2019). Structure et potentiel de séquestration de carbone des formations boisées du Plateau Akposso en zone sub-humide au Togo. Afrique Sci. 15, 70–79.
- Kooke G.X., Ali R.K.F.M., Djossou J.M., Toko Imorou I., (2019). Estimation of the organic carbon's stock in the plantations of *Acacia auriculiformis* A. Cunn. ex Benth. of the classified forests of Pahou and Ouedo in the South of Benin. Int. J. Biol. Chem. Sci. 13, 277–293. <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v13i1.23>
- Lebourgeois F., Piedallu C., Lebourgeois F., Piedallu C. (2005). Appréhender le niveau de sécheresse dans le cadre des études stationnelles et de la gestion forestière à partir d'indices bioclimatiques, Revue forestière française, 57 (4), pp.331-356. DOI :10.4267/2042/5055.
- Longuetaud, F., Mothe, F., Santenoise, P., Rivoire, M.M., Fournier, M., Dupouey, J., Saint-andré, L., Deleuze, C., 2014. Étude exploratoire de la masse volumique. Influence du “ taux de remplissage ” en eau du bois frais. Rendez-vous Tech. l'ONF 44, 65–72.
- Loubota G.J. (2018). Biomasse et stocks de carbone en Afrique centrale: importance de l'allométrie des arbres. Agro-Bio-Tech, Thèse, Université de Liège, Gembloux, 121p.
- Massenet J.-Y. (2010). Caractérisation et mesure des peuplements réguliers, Cours, 5^{ème} Chapitre, Lycée forestier – Château de Mesnières, MESNIERES-EN-BRAY, 76270., Chapitre V; Des Mesures, 25 p.
- MEDD (2021). Contribution déterminée à l'échelle Nationale révisée. Ministère de l'Environnement et Développement Durable, Vice-Présidence RDC, 86p.
- MiniPlan N-K (2017). Localisation des Objectifs de développement durable dans le Nord-Kivu Rapport provincial., Rapport, MiniPlan, Nord-Kivu, RDC, 151p.
- Muhesi E. (2021). Analyse de l'efficacité des agrosystèmes associant *Cinchona ledgeriana*, *Maesopsis eminii*, *Prunus africana* et autres essences forestières sur le rendement en écorce de Quinquina et le stock de Carbone. Mémoire, DEA, UCG, Nord-Kivu RDC, 57p.
- Muhesi E., Kapiri M., Syvagendera P., Mupendawatu K., Mughambwa K., Kitima, K. (2022). Impact des activités maraîchères sur la vie socio-économique des populations en commune rurale de Luotu (Nord-Kivu, RD Congo). Int. J. Biol. Chem. Sci. 15, 2022.
- Ndavaru N., Pitchu J.-P., Minengu J.-D., Sahani W., Biao H., Natta A. (2022). Ecologie et ethnobotanique de la flore forestière du système montagneux du Rift Albertin congolais (Synthèse bibliographique). RAFA 5, pp.38-46.
- Ndavaru N., Sahani W., Kuyéma A., Hegbe A., Dramani R., Dicko, A. (2024). Diversité et état de conservation de la flore ligneuse des îlots forestiers du massif montagneux de Lubero (R . D . Congo). <https://doi.org/10.4000/11pdc>
- Ndjomba C.D., Koubouana F., Mboukou Kimbatsa I.M.C., Mabaka J.M., Mbela F.D. (2022). Diversité Floristique, Structure et Estimation du Stock de Carbone par les Peuplements Ligneux de la Forêt Naturelle de la Mondah. Eur. Sci. Journal, ESJ 18, 75. <https://doi.org/10.19044/esj.2022.v18n33p75>
- Ngomeni A.F., Bidzanga E.L.N., Avana M.L., Tchamba M.N., Chimi, C.D. (2021). Carbon sequestration potential of robusta coffee agroforests (*Coffea canephora* var. *robusta*) in production basins of Cameroon. Int. J. Biol. Chem. Sci. 15, 2652–2664. <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v15i6.31>
- Ouatara Louppe (1998). Eucalyptus ; Essence singulière, 8^{ème} Réunion Tripartite, Bobo- Dioulasso, Abidja, PP1-15.
- Ouedraogo W.O., Gomgnimbou A.P.K., Santi S., Ilboudo D., Toguyeni A. (2019). Quantification de la Biomasse et stockage du carbone du massif forestier de l'Ecole Nationale des Eaux et Forêts de Dindéresso province du Houet au Burkina Faso. Int. J. Biol. Chem. Sci. 13, 3276–3288. <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v13i7.24>

- PDP-Nord-Kivu (2023). Plan de developpement provincial (2019-2023), Province du Nord-Kivu,RDC.
- Pearson T., Brown S., (2005). Guide de Mesure et de Suivi du Carbone dans les Forêts et Prairies Herbeuses. Winrock Int. 39p.
- Penot É., Feintrenie L., (2014). Agroforestry in the humid tropics: A variety of practices to meet specific goals and local constraints. Bois Forets des Trop. 68, 5–6. <https://doi.org/10.19182/bft2014.321.a31212>
- Ravindranath N.H., M Ostwald (2008). Carbon Inventory methods; Handbook for Greenhouse Gaz inventory, Mitigation and Roundwood production projects. Springer.co, Library of Congress Control Number:2007936020.
- Reversat B. (1984). Etude de facteurs d'évolution du sol sous Eucalyptus camaldulensis et sous quelques autres essences au Sénégal,PARFOB/CNRF (ISRA).
- Reyes G., Brown S., Chapman J., Lugo A.E. (1992) Wood Densities of Tropical Tree Species, Gen. Tech. Rep. SO-89 New Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station. 16 p.
- Seghieri J. et Harmand J. (2022). Agroforesterie et services écosystémiques en zone tropicale. <https://doi.org/10.35690/978-2-7592-3059-4>
- Vroh B.T.A., Cissé A., Adou Yao Constant Y., Kouamé D., Koffi Kouao J., Kpangui Kouassi B., Koffi Béné J.C. (2015). Relations entre la diversité et la biomasse aérienne des espèces arborescentes dans les agroforêts traditionnelles à base de cacaoyers: Cas de la localité de Lakota (Côte d'Ivoire). African Crop Sci. J. 23, 311. <https://doi.org/10.4314/acsj.v23i4.2>
- Vyakuno E. (2006). Pression anthropique et aménagement rationnel des hautes terres de Lubero en RDC: Rapports entre société et milieu physique dans une montagne équatoriale, Doctoral dissertation, Toulouse 2.
- Walker B., Holling C.S., Carpenter S.R., Kinzig A.(2004). Resilience, adaptability and transformability in social-ecological systems. Ecol. Soc. 9. <https://doi.org/10.5751/ES-00650-09020>

ANNEXE : Tableau d'espèces associées au quinquina

Altitude	Plantation	Essences agroforestières	Famille
2230	Vusenyi	<i>Albizia lebbbeck</i> (L.) BENTH.	Fabaceae
		<i>Eucalyptus saligna</i> W. WILL ex MAINDEN	Myrtaceae
		<i>Prunus Africana</i> (HOOK.f.) KALKMAN	Rosaceae
		<i>Musanga cecrepioides</i> (Syn. <i>M. smithii</i>) R. BR.	Cecropiaceae
1825	Katendere	<i>Ocotea michelsonii</i> ROBYNS et WILCZEK	Lauraceae
		<i>Eucalyptus saligna</i> W. WILL ex MAINDEN	Myrtaceae
		<i>Grevillea robusta</i> A. Cunn.ex R.Br.	Proteaceae
		<i>Acacia mearnsii</i> DE WILD	Mimosaceae
1744	Vuluha	<i>Eucalyptus saligna</i> W. WILL ex MAINDEN	Myrtaceae
		<i>Musanga cecrepioides</i> (Syn. <i>M. smithii</i>) R. BR.	Cecropiaceae
		<i>Piptadenia Africana</i> HOOK.f.	Fabaceae
1775	Mukova	<i>Albizia gummifera</i> (GMEL) C.A.SM.	Fabaceae
		<i>Musanga cecrepioides</i> (Syn. <i>M. smithii</i>) R. BR.	Cecropiaceae
		<i>Ocotea michelsonii</i> ROBYNS et WILCZEK	Lauraceae
1934	Kavale	<i>Piptadeniastrum africanum</i> (HOOK.f.) BRENAN	Fabaceae
		<i>Ocotea michelsonii</i> ROBYNS et WILCZEK	Lauraceae
		<i>Albizia gummifera</i> (GMEL) C.A.SM.	Fabaceae
		<i>Beilschimedia michelsonii</i> ROBYNS et WILCZEK	Lauraceae
1644	Phamakina	<i>Polycias fulva</i> (HIERN) HARMS	Araliaceae
		<i>Spathodea campanulata</i> BEAUV	Bignoniaceae
		<i>Prunus africana</i> (HOOK.f.) KALKMAN	Rosaceae
		<i>Myrianthus holstii</i> ANGL.	Cecropiaceae