

## Evaluation du carbone des systèmes agroforestiers des pentes orientales des monts Bamboutos

Fogaing J.R.<sup>1</sup> et Tsalefac M.<sup>2</sup>

- (1) **Établissement** : Université de Dschang, Faculté des Lettres et des Sciences Humaines ; Département de Géographie Aménagement et Environnement, Cameroun / e-mail : jr\_fogaing@yahoo.fr  
(2) **Superviseur Académique** : Professeur Titulaire des Universités, Faculté des Lettres et des Sciences Humaines ; Département de Géographie Aménagement et Environnement, Cameroun

DOI : 10.5281/zenodo.3737793

### 1. Objectif Principal

Contribuer à l'évaluation des stocks de carbone et du maintien des bénéfices non-carbones des Systèmes Agroforestiers (SAFs) en milieu montagnard tropical humide.

### 2. Objectifs Spécifiques (OS)

**OS1** : Dresser un état des lieux des SAFs du versant oriental des monts Bamboutos ;

**OS2** : Evaluer les stocks de carbone ainsi que les bénéfices non-carbones des SAFs identifiés ;

**OS3** : Proposer une meilleure démarche pour l'élaboration des projets REDD en Afrique Centrale.

### 3. Hypothèses

Les SAFs séquestrent le carbone, rétablissent la diversité biologique et maintiennent les bénéfices non-carbones.

### 4. Méthodologie

La méthodologie utilisée dans le cadre de cette étude se réfère à celle préconisée par les lignes directrices du GIEC en matière d'évaluation du carbone dans le cadre du processus REDD. Elle a consisté en la détermination des données d'activités en termes d'étude de la dynamique spatiotemporelle du couvert végétal du versant oriental des monts Bamboutos sur les périodes 1980-2001 et 2001-2017. Il s'en est suivi la détermination des facteurs d'émissions en termes d'évaluation du carbone dans les formes d'occupation des terres issues des données d'activités. Par la suite, les aspects sociaux de la REDD ont été évalués en termes de bénéfices non-carbones qui découlent des pratiques paysagères sur les pentes Est des monts Bamboutos. Afin d'y parvenir, la méthodologie adoptée passe par cinq

(5) étapes dont (i) l'exploitation des documents d'archives et échantillonnage, (ii) l'analyse des images satellitaires, (iii) les entretiens, les enquêtes de terrain et l'évaluation des bénéfices non-carbones, (iv) des relevés botaniques, dendrométriques et l'évaluation du carbone des différents systèmes agraires identifiés.

### - Exploitation des documents d'archives et échantillonnage

Les bibliothèques virtuelles et physiques ont permis de documenter les périodes fortes relatives à l'occupation des terres sur les Hautes Terres de l'Ouest du Cameroun et spécifiquement sur le versant oriental des monts Bamboutos. Elles ont permis de ressortir les formes d'occupation de terres existantes, de comprendre leurs utilités agro-écologiques en ce qui concerne leur potentiel de séquestration de carbone et de bénéfices non-carbones.

La méthode d'échantillonnage orienté (échantillonnage à choix raisonné) a été adoptée. Il a permis de calibrer le modèle agro-écologique existant et d'évaluer la structure spatiale sur la base d'une analyse diachronique des cartes satellitaires de la zone d'étude entre les années 1980-2001 et 2001-2017. 3 focus groups ont été organisés avec les chefs traditionnels, en présence de personnes ressources (Chefs de postes agricoles, Chefs de postes forestiers) dans les 3 localités (Fongo-Tongo, Nkong-Ni et Batcham) constitutives de la zone d'étude. Le but était d'avoir des informations sur les producteurs de caféiers, ainsi que sur les itinéraires techniques utilisés dans la caféiculture. Une enquête a été par la suite menée auprès de 117 paysans cultivateurs de café ou non (soit 39 par niveau d'altitude) au moyen d'un questionnaire semi-structuré permettant

de recenser les activités du calendrier annuel de production et de ressortir les différents types de SAFCs (intensifié, maintenu, abandonné).

Un premier niveau d'échantillonnage ayant pour base l'activité caféicole a permis d'orienter l'étude sur le versant oriental des monts Bamboutos. En effet, dans cette zone agro-écologique, cette façade des monts Bamboutos a été le second bassin de production du café après la plaine du Noun.

A partir d'un second niveau d'échantillonnage, corrélé à l'orientation géographique et aux niveaux d'altitude, les arrondissements de Fongo-Tongo et de Nkong-Ni dans le Département de la Menoua, ainsi que l'arrondissement de Batcham dans le Département des Bamboutos ont été retenus comme zones expérimentales. Inspirés des études de Mbarga et al., (2013) sur la structure et la composition floristique des agroforêts à base de caféiers arabica (*Coffea arabica L.*) dans les hauts plateaux de l'Ouest du Cameroun, la zone d'étude a été stratifiée en trois Niveaux d'altitude (Na). Il s'agit de (i) la basse altitude qui va de 1 400 m à 1 600 m ou niveau Na1 situé au pied du mont; (ii) la moyenne altitude comprise entre 1 600 m et 1 800 m ou niveau Na2 situé sur le flanc du mont et (iii) la haute altitude au delà de 1 800 m ou niveau Na3 situé vers le sommet de la montagne. Il a été par ailleurs démontré par Gomadje et al. (2017) que l'altitude influence significativement sur la variation de la densité moyenne des végétaux associés dans les SAFs et d'autre part que le potentiel de séquestration de carbone par les arbres est fortement influencé par l'altitude.

L'exploitation des cartes issues des traitements d'images a permis d'identifier quatre unités paysagères. Il s'agit de la classe forêt/agroforêt, la classe forêt claire, la classe non forêt et la classe culture. 24 points de repérages ont été identifiés sur le terrain suivant la topo-séquence pour la discrimination des unités paysagères observées, soit 6 points par classe de végétation. Une troisième étape d'échantillonnage a été réalisée pour la collecte des données dendrométriques.

Les critères retenus ont été non seulement les trois topos séquences, mais aussi les trois formations végétales issues de la caféiculture (les formations caféicoles abandonnées ou SAFCs convertis, les formations caféicoles intensifiées ou SAFCs intensifiés et les formations caféicoles stabilisées ou SAFCs maintenus). 36 Parcelles Permanentes d'Observation (PPO) ont été mises en place à raison de 4 PPO par

formation végétale, soit 12 PPO par topo séquence. Ce choix est basé sur l'importance de la superficie des SAFs, celle-ci devant avoir au moins 0,5 hectare, afin de faciliter l'installation des transects.

Les placettes ont été mises en place suivant la méthode de Winrock International (2005). Elles ont consistées à ouvrir deux (2) layons principaux orientés Nord-Sud et Est-Ouest qui forment un repère orthonormé dont l'axe X-Y est central à la placette et sous-placettes et l'axe Y-Z la limite Est-Ouest. Huit (8) layons secondaires dont quatre (4) sont perpendiculaires à l'axe des abscisses et quatre (4) autres perpendiculaires à l'axe des ordonnées et équidistants de 10 m permettent de constituer la placette et les différentes sous-placettes. Il en résulte un total de 36 parcelles de 40m x 40 m, 36 sous-placettes de 20m x 20m et 180 quadrats de 1m x 1m dont au total 60 quadrats par niveau d'altitude et 20 par type de SAFCs.

#### - Analyse des images satellitaires

Une analyse plurichronique des formes d'occupation des terres entre les périodes de 1980 à 2001 et 2001 à 2017 est réalisée afin de ressortir les changements opérés sur les différentes formes d'occupation des terres du fait de l'activité anthropique. Les images LANDSAT de saison sèche et de saison pluvieuse pour chacune des trois dates ont servi de base pour l'analyse et le traitement à partir des logiciels Envi 5.3, ARCGIS 10.3 et Excel 2013. Le choix de l'imagerie LANDSAT s'explique par sa disponibilité sur toute la période d'étude. En effet, les satellites LANDSAT ont été mis en orbite à partir de 1972 et perfectionnés au fil du temps contrairement aux autres capteurs tels SPOT, Sentinel, Alos, etc, qui sont postérieurs à 1980, année de référence choisie pour la présente étude.

Le choix de ces données spatiales s'appuie sur la méthodologie VCS VM0015 du GIEC qui exige une prise en compte des images sur de longue date (au moins 10 ans d'écart) et une résolution comprise entre 30 m et 100 m. Une mosaïque des différentes feuilles a été ainsi faite et a permis d'extraire la zone d'étude. Six (6) feuilles d'images, soit deux (2) par date sont nécessaires pour couvrir le versant oriental des monts Bamboutos. Les changements observés (données d'activités) sont mis en évidence par croisement des différentes séries temporelles tout en prenant en compte la topo séquence.

La caractérisation de la structure des systèmes a permis de faire une typologie des SAFs en fonction de critères appropriés définis dont la

localisation géographique, le type de SAF, le degré d'intensification, l'évolution (complexification ou dégradation). L'objectif de ces enquêtes était de discriminer les informations obtenues de l'analyse des images. Ainsi, dix huit (18) sites correspondant à dix-neuf (19) localités/villages ont été échantillonnés à raison de six (6) sites par classe d'occupation du sol (forêts/agroforêts, forêt claire et cultures) répartis en deux (2) par gradient d'altitude sur la base des changements majeurs observés durant la période 2001-2017.

#### **- Entretiens, enquêtes de terrain et bénéfices non carbonés**

Une étude socio économique a été réalisée sur la base d'un questionnaire administré à 117 caféiculteurs (soit 39 par niveau d'altitude) et des focus groups organisés dans dix-neuf (19) localités/villages de la zone d'études. C'est ainsi qu'une évaluation des stratégies d'intervention des acteurs face à l'évolution de la caféiculture et leur potentiel pour la REDD est fait. Il en va de même des déterminants des mutations engendrées ainsi que les bénéfices non carbonés en termes de productivité des différentes catégories de systèmes agroforestiers issues de l'adaptation des caféiculteurs de la zone à la déprise caféier.

Les régressions logistiques sont utilisées pour mieux caractériser les variables qui induisent ou non les différentes stratégies, ainsi que leurs forces et faiblesses. Il s'en est suivi une analyse des contraintes et opportunités des stratégies d'intervention suivant la méthode utilisée est adaptée de Sanchez, (2002). La caractérisation des nouvelles formes d'utilisation des terres issues des anciens SAFs Caféiers (SAFCs) met ainsi en exergue d'anciens SAFCs convertis-en d'autres formes d'utilisation, ainsi que les bénéfices non carbonés qui y sont liés. Les principales informations collectées portent sur (i) la structure des nouvelles formes d'utilisation agricole des SAFCs, (ii) les contraintes et les motivations des acteurs pour la conversion des caféiers et (iii) la caractérisation structurale de ses SAFCs suivant les paramètres de Nair (1985).

#### **- Relevés botaniques et évaluation du carbone dans les SAFCs**

Ils se sont appuyés sur les techniques de placettes imbriquées. La méthode utilisée pour l'évaluation de la biodiversité est adaptée de Hairiah et al. (2010), Mbarga et al. (2013) et Ajonina et al. (2014). Un inventaire systématique est effectué dans le PPO et permet le positionnement des arbres sur la carte parcellaire. Les paramètres relevés sont (i) le Dhp

mesuré sur écorce pour tout individu supérieur ou égal à 10 cm, afin d'estimer la surface terrière des arbres et de déterminer à terme leurs volumes et leurs biomasses. Le cas échéant, le Diamètre de référence (Dr) était relevé ; (ii) la hauteur (H) en mètre (m) pour déterminer le volume des arbres sur pieds, ainsi que la surface terrière (G) de tous les arbres dans la parcelle, au moyen de relations allométriques ; (iii) l'indice foliaire ( $m^2/m^2$ ) estimé pour connaître la structure du couvert végétal. La position géographique de chaque arbre de la parcelle était aussi relevée. Ces différentes données dendrométriques sont couplées à la méthode destructive pour l'évaluation de la biomasse caféière d'autant plus qu'une équation allométrique du caféier a été élaborée dans le cadre de l'étude. Cependant, le stock de carbone de l'ensemble du système est estimé suivant la méthode non destructive préconisée par le GIEC (2006).

Pour le traitement et l'analyse des données dendrométriques, SPSS version 21.0 (DUNCAN) au seuil de signification  $\alpha = 0,05$  est utilisé pour comparer les moyennes. Le logiciel EXCEL 2013 a permis d'estimer la densité, la surface terrière, les biomasses des espèces associées dans les SAFs échantillonnés et de faire une statistique descriptive au moyen des tableaux et graphiques. Ces données sont par la suite transférées sous le logiciel SPSS, afin de déterminer si les variables étudiées sont statistiquement significatives ou non. Ces variables consistent en la population végétale (strate verticale, densité, surface terrière), les stocks de carbone entre les pools de séquestration, les facteurs de production et leurs productivités. L'analyse de variances est faite à partir de Kuskal-Walis Test, suivant les différents types de SAFCs (convertis, intensifiés, maintenus) et les Niveaux d'altitude (Na1, Na2 et Na3), le Test de Fischer a été utilisé pour montrer l'influence de l'altitude sur la répartition des groupes végétaux et celui Student-Newman-keuls (SNK) pour la comparaison des moyennes des différentes variables.

La comparaison entre les différents paramètres est faite verticalement entre niveaux d'altitude et en fonction des catégories de systèmes. Cette comparaison permet de montrer l'influence de l'altitude sur la variable étudiée. La comparaison faite horizontalement entre les différentes catégories de systèmes à la même altitude permet de montrer l'évolution de la diversité et du stock de carbone des ligneux, en fonction des différentes catégories de systèmes. L'évaluation de la richesse spécifique (abondance relative, fréquence relative, dominance relative), l'analyse structurale des peuplements

et l'estimation des stocks de carbone des ligneux est fonction des catégories de systèmes et leurs moyennes permettent d'obtenir une valeur relative suivant l'altitude. Par ailleurs, des tests de corrélation ont été également effectués et permettent d'observer l'influence d'un facteur sur le capital, la production, la main d'œuvre et la superficie des SAFCs afin de mieux adresser les bénéfices non carbonés générés par les SAFs.

## 5. Résultats

**R.1.1.** : Sur les 16 années couvertes (2001 à 2017), il est noté une afforestation de 1,8%, soit une superficie de 810,8 ha. Ceci équivaut à un taux de reboisement annuel de 0,09 % (48,6 ha /an) sur le versant oriental des monts Bamboutos. Les agroforêts qui en découlent sont susceptibles de contribuer à l'élaboration d'un NER dans le cadre d'un potentiel projet REDD, en ce sens qu'elles obéissent aux recommandations du GIEC en matière de bonnes pratiques pour le secteur UTCATF.

**R.1.2.** : Cette afforestation est marquée par l'introduction de LUM (divers fruitiers et biofertilisants), par l'introduction des essences ligneuses dans les parcelles caféières et par la mise en place de plantations d'eucalyptus sur les flancs et sommet des monts Bamboutos, faisant des planteurs de cette zone agro écologique, de «véritables planteurs d'arbres».

**R.1.3** : Il se distingue sur le versant oriental des monts Bamboutos, trois (3) catégories de nouvelles formes d'utilisation de terres dont :

- Les systèmes agroforestiers à base de caféiers de type intensifié (systèmes intensifiés) qui sont des systèmes caféiers anciens ou nouvellement mis en place (en production) ou encore des systèmes qui bénéficient d'un suivi tant en apport en engrais ou en soin phytosanitaire qu'en renouvellement des vieux vergers de café ;
- Les systèmes agroforestiers à base de caféiers de type maintenu (systèmes maintenus) qui sont des systèmes tendant à être convertis par le fait qu'ils ne bénéficient plus pleinement des entretiens de la part du producteur et dont les vieilles tiges ne sont plus remplacées ;
- Les systèmes agroforestiers à base de caféiers de type converti (systèmes convertis) qui sont des systèmes dans lesquels le café est progressivement ou totalement arraché et substitué par d'autres cultures, à l'exemple des cultures maraîchères et vivrières.

**R.2.1** : Sur le versant oriental des monts Bamboutos, l'équation allométrique spécifique à *Café sp* et dont les déterminants permettent une meilleure prédiction de la biomasse ligneuse est  $\text{LnABG} = 1,429\text{LnDr} + 0,245$ . Cette régression tient uniquement compte du déterminant diamètre de référence comme paramètre explicatif. Par ailleurs, plus l'altitude augmente, moins les SAFCs sont denses, aussi bien en termes de densité à l'hectare de caféiers. Il en ressort que l'élaboration du modèle spécifique pour le caféier offre plusieurs atouts qui sont entre autres, la prise en compte des conditions du milieu dans la séquestration du carbone.

**R.2.2.** : La contribution des SAFCs à l'atténuation des changements climatiques étant assujettie à leurs potentiels avérés de séquestration de carbone. Ces derniers séquestrent en effet une moyenne de 448,79 tC/ha. Le caractère de puits de carbone attribuable au versant oriental des monts Bamboutos est la résultante de son paysage actuel de forêt secondaire issue de la dynamique de sa savane humide originelle sous l'influence de l'historique de la caféiculture quia fait et défait les pratiques agraires de cette écozone.

**R.2.3** : Les SAFCs du versant oriental des monts Bamboutos sont constitués de 4 groupes dont les Rubiaceae, les Musaceae, les ligneux forestiers et les fruitiers. Les Rubiaceae et les Musaceae y sont plus denses avec des moyennes de 246 et 236 individus/ha. Par contre, les surfaces terrières les plus importantes sont occupées par les arbres forestiers et les fruitiers, soit respectivement 505,33 et 431 m<sup>2</sup>/ha. Ceci justifie la différence significative des moyennes de stocks de carbone entre les arbres forestiers et les autres pools de séquestration de carbone, entre les fruitiers et les pools Musaceae et *coffea sp*.

**R.2.4** : Kuskal-Walis Test indique que la moyenne de stock de carbone des SAFs convertis (1 120,21±1 891,45 tC/ha) est significativement supérieure à ceux des SAFs intensifiés (173,97±262,75 tC/ha) et maintenus (52,20±10,03 tC/ha). Cette différence a été tout aussi significative entre la moyenne de stock de carbone du niveau d'altitude 2 (1 277,18 ± 1 768,46 tC/ha) et les deux autres niveaux d'altitude dont Na3 (34,87±8,21 tC/ha) et Na1 (34,34±25,08 tC/ha). Ces stocks croissent lorsqu'on va des Musaceae vers les arbres forestiers, des SAFs maintenus vers les SAFs convertis et des basses altitudes vers les altitudes moyennes, mais décroissent à partir des altitudes moyennes vers les altitudes supérieures.

**R.3.1.** : Les facteurs de production des SAFs caféiers sont variables suivant les catégories de systèmes

et le gradient d'altitude. En général, sur le versant oriental des monts Bamboutos, la production est en moyenne de  $121\ 818,18 \pm 109\ 127,80$  FCFA pour une moyenne de  $46,87 \pm 31,30$  h/j, sur une superficie d'environ  $1,16 \pm 0,76$  ha, avec un investissement d'environ  $102\ 306,82 \pm 87\ 326,75$  FCFA.

**R.3.2** : L'évaluation de la productivité des SAFCs, en fonction des facteurs de production a montré que pour obtenir une production en valeur de  $115\ 378,93 \pm 98\ 972,54$  FCFA, il faut en moyenne un hectare. De plus, un h/j produit en moyenne  $3\ 049,33 \pm 2\ 840,68$  FCFA. Toutefois, une unité de capital produit en moyenne  $1,38 \pm 0,88$  FCFA. Sur le versant oriental des monts Bamboutos, l'altitude 1 est la plus productive en termes de main d'œuvre utilisée, de capital investi et de superficie exploitée. En fonction des types de systèmes, la productivité de la terre et du capital des systèmes convertis est significative par rapport aux systèmes maintenus et intensifiés.

## 6. Discussion

A l'issue de cette étude qui vise à apporter une contribution à la conquête d'un développement durable à travers le processus REDD sur les Hautes Terres de l'Ouest Cameroun, nous pensons qu'il aurait été judicieux, d'étendre la collecte des données sur l'ensemble des versants des monts Bamboutos, voire la globalité de la zone agro-écologique des Hauts Plateaux de l'Ouest-Cameroun. En effet, ceci permettrait d'avoir une base de données plus robuste qui assurerait non seulement la viabilité de l'équation allométrique proposée, mais de la tester à une échelle plus grande. Par ailleurs, dans le souci de proposer un Niveau de Référence des Emissions (NRE) pour l'ensemble de la zone agro-écologique, une répartition des données de stocks de carbone s'avère nécessaire suivant la classe forêt/agroforêt, la classe forêt claire, la classe culture (bien que négligeable si l'on exclut la composante ligneuse agricole) et la classe déforestation qui comprend les affleurements rocheux, sols nus et habitats (bien que leurs stocks de carbone soient nuls, mais peuvent faire objet de plantations forestières et valoriseraient ainsi certaines terres marginales). Cette réorganisation des données de stocks de carbone permettrait de proposer des facteurs d'émission sur les mêmes périodes que celles des données d'activités (périodes 1980 à 2001 et 2001 à 2017) et d'avoir un NRE représentatif de la zone agro-écologique. Cette approche donnera alors lieu de tirer partie de la ré-végétalisation ou

l'afforestation de ces paysages agraires caféiers, de profiter de ces pratiques agroforestières qui se veulent innovantes, où les paysans, anciens caféiculteurs, se sont constitués en véritables planteurs d'arbres dans leurs espaces agraires, soit pour des raisons cadastrales, soit pour des raisons de diversification de revenus afin de s'adapter à la déprise caféière. Cette approche paysanne se veut donc être une opportunité dans le scénario d'atténuation des changements climatiques qui est devenu un plébiscite tout au long des différentes CoP et réaffirmée le 12 décembre 2017 à Paris au Sommet International sur l'Urgence Climatique. Par ailleurs les SAFCs des pentes orientales des monts Bamboutos se sont avérés être de véritables puits de carbone et se distinguent dans le cadre de la mise en œuvre du processus REDD par leurs aptitudes à générer un nombre de bénéfices non-carbones aussi bien sur le plan environnemental, économique que social. La prise en compte de ces nouvelles formes d'utilisation des terres dans les scénarios de préservation de la biodiversité, d'atténuation des effets des changements climatiques et d'améliorations des conditions socioéconomiques semblent être affirmés. Ces résultats s'alignent aussi aux objectifs 1 et 2 du Plan stratégique 2017-2030 des Nations Unies sur les forêts qui stipulent de « mettre fin à la réduction du couvert forestier dans le monde en pratiquant une gestion forestière durable, notamment grâce à la protection des forêts, à leur régénération, au boisement et au reboisement, et à des efforts accrus en vue de prévenir la dégradation des forêts et de contribuer aux efforts mondiaux de lutte contre les changements climatiques » et de « renforcer les avantages économiques, sociaux et écologiques dérivés des forêts, y compris en améliorant les moyens de subsistance des populations tributaires des forêts ». Aussi, la REDD en Afrique Centrale devrait non pas privilégier les forêts denses de production qui sont pour la plupart à un stade de climax mais a contrario les nouvelles formes d'occupation des terres et spécifiquement les formations agroforestières où les paysans ont intentionnellement ou non plantés des arbres dans leurs espaces agraires.

## 7. Recommandations

- Les SAFs du versant oriental des monts Bamboutos sont des formations végétales types à prendre en compte dans les projets REDD, en raison des

bénéfices carbonés et des bénéfices non-carbonés qu'elles procurent.

- Réhabiliter les vergers caféiers vieillissants, car l'analyse descriptive montre que 95,6% des SAFCs ont dépassé la durée de vie économique et les opérations de replantation et de recépage sont très peu pratiquées, avec pour conséquence une baisse de rendement.

**Mots clés :** *Système Agroforestier, stock de carbone, REDD, versant oriental des monts Bamboutos.*

**Thèse de Doctorat de l'Université de Dschang dans la spécialité «Climatologie et Etudes Environnementales» soutenue le 16 décembre 2019 à la Faculté des Lettres et des Sciences Humaines, Département de Géographie, avec « Mention Très Honorable » en République du Cameroun.**