



HAL
open science

Évaluation et spatialisation du carbone stocké dans le massif forestier de Ngog-Mapubi (Cameroun)

Roger Ngoufo, Louis Zapfack, Emmanuel Tiomo Dongfack, Louis Serge Tsafack Ngoufo, Cédric Aurélien Matsaguim Guimdo, Cédric Aurélien, Cédric Chimi Djomo, Armel Lefeufack, Flore Neckdem, Collins Etienne Kana, et al.

► To cite this version:

Roger Ngoufo, Louis Zapfack, Emmanuel Tiomo Dongfack, Louis Serge Tsafack Ngoufo, Cédric Aurélien Matsaguim Guimdo, et al.. Évaluation et spatialisation du carbone stocké dans le massif forestier de Ngog-Mapubi (Cameroun). Conférence OSFACO: Des images satellites pour la gestion durable des territoires en Afrique, Mar 2019, Cotonou, Bénin. hal-02189496

HAL Id: hal-02189496

<https://hal.science/hal-02189496>

Submitted on 19 Jul 2019

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Évaluation et spatialisation du carbone stocké dans le massif forestier de Ngog-Mapubi (Cameroun)

NGOUFO Roger ^(1,*), ZAPFACK Louis ⁽²⁾, TIOMO DONGFACK Emmanuel ⁽¹⁾, TSAFACK NGOUFO Louis Serge ⁽¹⁾, MATSAGUIM GUIMDO Cédric Aurélien ⁽¹⁾, CHIMI DJOMO Cédric ⁽³⁾, LEKEUFACK Armel ⁽²⁾, NECKDEM MANFO Flore ⁽⁴⁾, KANA Etienne Collins ⁽⁵⁾, BOUBA NEZENE Blaise ⁽⁶⁾, NJAL NJOCK Simon ⁽⁴⁾

⁽¹⁾ Département de Géographie, Université de Yaoundé 1

⁽²⁾ Département de Biologie et Physiologie végétale, Université de Yaoundé 1

⁽³⁾ Institut de Recherche Agricole pour le Développement (IRAD) ; Département de Biologie et Physiologie végétale, Université de Yaoundé 1. Email: chimicedric10@yahoo.fr

⁽⁴⁾ Cameroon Environmental Watch, BP: 31323 Yaoundé. Email: nekdemfr@yahoo.fr

⁽⁵⁾ Institut National de Cartographie, Email: ckana71@yahoo.fr

⁽⁶⁾ Ministère de l'Emploi et de la Formation Professionnelle. Email: bouba.nezene@yahoo.fr

^(*) Auteur correspondant : NGOUFO Roger, ngoufocew08@yahoo.fr

Résumé

L'étude explore le potentiel du massif forestier de Ngog-Mapubi/Dibang en contexte de la préparation du Cameroun à la REDD+. Elle a pour objectif global d'étudier les variations spatiales du carbone stocké dans la végétation de ce massif forestier et d'esquisser quelques perspectives au regard des changements d'utilisation des terres. Elle se fonde sur l'hypothèse que l'interprétation des images Landsat disponibles et exploitables complétée par une collecte de données de biomasse sur le terrain permettront d'évaluer et de spatialiser les stocks de carbone. La méthodologie s'est appuyée ainsi d'abord sur la télédétection, à travers le traitement et l'interprétation des images Landsat de 2007 et de 2018. Après la stratification, la biomasse a été collectée dans des parcelles de 50 x 50 m délimitées dans différents types d'utilisation des terres du massif. Les échantillons récoltés, séchés à poids constant au laboratoire, ont permis de calculer les stocks de carbone des différents types d'utilisation des terres. Les résultats indiquent que les stocks de carbone totaux varient d'une strate à l'autre soit respectivement de 177,42 à 12,84 tC/ha pour les forêts matures et les cultures. Ces stocks varient aussi suivant les pools de carbone considérés quelle que soit la strate considérée. Les stocks de carbone totaux du massif et de sa zone périphérique sont estimés à 24 086 528,6 tC et à 2 136 016,55 tC pour le massif forestier lui-même. Les forêts matures sont celles qui stockent le plus avec 17 989 374 tC (massif et zone périphérique) et 1 798 795,47 tC pour le massif forestier; Les grandes infrastructures projetées que sont le barrage du Grand Eweng et l'autoroute Yaoundé-Douala conduiront à la perte de plus de 20 000 ha de forêt dont moins de 1500 ha dans la forêt communale proprement dite à l'horizon 2025.

Mots clés : Carbone, dynamique, massif forestier, REDD+, spatialisation

Abstract

The study explores the potential of the Ngog-Mapubi / Dibang forest in the context of Cameroon's readiness for REDD+. Its overall objective is to study the spatial variations of the carbon stored in the vegetation of this forest and to sketch some perspectives with regard to changes in land use. It is based on the assumption that the interpretation of available and exploitable Landsat images complemented by field biomass data collection will allow for the assessment and spatialization of carbon stocks. The methodology first relied on remote sensing through the process and interpretation of Landsat images from 2007 and 2018. After stratification, the biomass was collected in the 50 x 50 m plots delimited in the different types of land use of the massif. Carbon stocks were evaluated on experimental plots; Samples harvested, dried at constant weight in the laboratory, were used to calculate the carbon stocks of the different types of land use. The results indicate that the total carbon stocks vary from one stratum to another, respectively from 177.42 to 12.84 tC / ha for mature forests and crops. These stocks also vary according to the carbon pools considered, whatever the stratum considered. The total carbon stocks of the massif and its peripheral zone are estimated at 24,086,528.6 tC and 2,136,016.55 tC for the forest massif itself. The mature forests are the ones that store the most with 17 989 374 tC (massif and peripheral zone) and 1 798 795.47 tC for the forest massif. The large projected infrastructure, the Grand Eweng dam and the Yaoundé-Douala motorway, will lead to the loss of more than 20,000 ha of forest, of which less than 1,500 ha will be in the council forest proper by 2025.

Key words: Carbon, dynamics, forest massif, REDD +, spatialization

1. INTRODUCTION

Les forêts tropicales contiennent 40 à 50 % du carbone terrestre et jouent un rôle majeur dans le cycle global du carbone (Pan *et al.*, 2011). La perte du couvert forestier résultant de la déforestation et de la dégradation de ces forêts contribue à environ 10-15 % des émissions mondiales annuelles de gaz à effet de serre (Van der Werf *et al.*, 2009). Dans le cadre de la Convention-Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques signée en 1992, les parties ont adopté l'initiative internationale Réduction des Émissions dues à la Déforestation et la Dégradation des forêts (REDD+). Le mécanisme REDD+ vise à encourager les pays en développement à préserver les massifs forestiers moyennant des compensations financières issues des crédits de carbone (Angelsen *et al.*, 2013). Toutefois, sa mise en œuvre dépend d'un système de Mesure, Notification et Vérification (MNV en français ou MRV en anglais) concernant, entre autres, l'estimation de la biomasse et des stocks de carbone contenus dans les forêts (Gibbs *et al.*, 2007 ; Saatchi *et al.*, 2011 ; Baccini *et al.*, 2012 ; Clark *et al.*, 2012).

Dans les écosystèmes forestiers, le carbone est stocké dans la biomasse vivante (biomasse aérienne et biomasse souterraine), le bois mort, la matière organique du sol et la litière (GIEC, 2003). De plus, renfermant plus de 3/4 du carbone de la forêt, la biomasse vivante est estimée via trois échelles spatiales successives (Chave *et al.*, 2004 ; Clark *et al.*, 2012 ; Molto *et al.*, 2013 :

Au niveau de l'arbre, les données de diamètre et, éventuellement de hauteur, issues d'inventaires forestiers sont converties en biomasse par le biais d'une équation allométrique. Toutefois, la validité des équations pantropicales de Chave *et al.* (2005) en Afrique tropicale a été fortement discutée. La limite majeure était liée à l'absence de données provenant d'Afrique tropicale dans la calibration des équations. Chave *et al.* (2014) ont ainsi récemment effectué une révision des équations allométriques pantropicales.

Au niveau du peuplement, les biomasses individuelles sont sommées par unité de surface inventoriée (parcelle forestière) et une biomasse moyenne est calculée par type de peuplement.

Grâce aux estimations de biomasse des parcelles forestières, il est ensuite possible de spatialiser les estimations de biomasse à l'aide de données de télédétection (Goetz *et al.*, 2009 ; Bastin *et al.*, 2014). Cette spatialisation peut être opérée selon différentes approches et à différentes échelles pour produire *in fine* des cartes de biomasse. Il existe une forte variation spatiale de la biomasse au sein des forêts tropicales et notamment entre les trois bassins forestiers tropicaux avec des valeurs plus élevées en Afrique tropicale et en Asie, respectivement 418 ± 91 et 393 ± 109 Mg·ha⁻¹, que dans les forêts d'Amérique du Sud, 287 ± 105 Mg·ha⁻¹ (Slik *et al.*, 2013).

Cependant, des sources d'erreur sont notées à chacune de ces étapes (Chave *et al.*, 2004 ; Gibbs *et al.*, 2007). À titre d'exemple, le manque à la fois de données d'inventaire forestier à large échelle spatiale et de modèles allométriques appropriés pour convertir ces données d'inventaire en biomasse est souvent cité comme un handicap majeur dans la précision des estimations de biomasse et de stocks de carbone (Loubota *et al.* 2016).

Compte tenu de l'étendue des forêts tropicales ainsi que de la difficulté d'accès, les méthodes de télédétection sont depuis longtemps considérées comme des outils essentiels pour produire des cartes de biomasse à plus ou moins grande échelle (Gibbs *et al.*, 2007 ; Clark *et al.*, 2012). D'après Loubota *et al.* (2016), les principaux outils de télédétection utilisés pour la cartographie de la biomasse en Afrique tropicale actuellement sont : les capteurs optiques dont le Landsat qui est le plus utilisé, le RADAR (*Radio Detection And Ranging*) et le LiDAR (*Light Detection and Ranging*). Une haute résolution spatiale des capteurs optiques augmente la précision des estimations de la biomasse. Le problème majeur est la forte présence de nuages sous les tropiques qui limite le nombre déjà faible d'images de haute résolution disponibles (Gibbs *et al.*, 2007 ; Goetz *et al.*, 2009).

Le Cameroun comme un certain nombre de pays d'Afrique Centrale et de l'Ouest est engagé dans le processus REDD+ qui vise la réduction des émissions de gaz à effet de serre (GES) issues de la déforestation et de la dégradation des forêts. Pour alimenter sa stratégie, il s'est également ouvert à la phase d'investissement et de réalisation des projets pilotes afin que ceux-ci dégagent progressivement des leçons à prendre en compte. Suite à la réalisation des différents projets de développement envisagés au niveau de chaque administration sectorielle, un aperçu global du potentiel de stockage de carbone s'avère nécessaire dans différentes zones pour mener les arbitrages au niveau national.

Le massif forestier de Ngog-Mapubi/Dibang, appartenant au domaine guinéen d'après les grandes divisions chorologiques d'Afrique telles que décrites par Lebrun (1960), constitue l'une de ces zones qui bénéficie d'un stockage de carbone relativement élevé grâce notamment à un couvert forestier faiblement perturbé par les activités humaines et du fait de l'orographie. Mais son stock de carbone sera nécessairement réduit suite à la réalisation du projet autoroutier reliant les deux capitales politique et économique du Cameroun que sont Yaoundé et Douala et des projets de barrage à réaliser sur le fleuve Sanaga. Sur un plan socioéconomique, cette zone est marquée par une importante dynamique de changement d'utilisation des sols due aux activités agricoles en plus de celles liées à l'exploitation forestière légale ou illégale et à l'utilisation du bois énergie. Par ailleurs, ce massif fait déjà l'objet d'un projet de création d'une forêt intercommunale à vocation d'écotourisme et de services environnementaux (Tsafack Ngoufo, 2015).

C'est donc son potentiel de stockage actuel qui risque de s'en trouver significativement réduit. D'où l'idée d'évaluer et de réaliser une cartographie actuelle du carbone stocké (service écosystémique) par la végétation qui compose ce site. Il s'agit d'estimer et de cartographier les niveaux de carbone stocké par les différents types de couverts végétaux pour dégager les liens ou les implications par rapport aux projets à caractère socioéconomique sus-évoqués.

2. DONNEES ET METHODE

2.1. Zone d'étude

Le massif forestier de Ngog-Mapubi/Dibang (figure 1) situé à cheval entre les arrondissements de Dibang et de Ngog-Mapubi dans le Département du Nyong et Kelle (coordonnées géographiques : 10°47' et 10°49' E et 3°54 et 3°58' N) est un écosystème su montagnard de forêt guinéenne dense humide, de basse attitude, fréquemment noyée dans le brouillard en saison de pluie, par temps perturbé. Selon la classification de Letouzey (1985), la végétation naturelle de la zone appartient au domaine de la forêt mixte atlantique et semi-décidue floristiquement caractérisée par la prédominance des éléments de l'ancienne famille des Sterculiacées, des Ulmacées et de nombreux *Fabaceae* grégaires. Le site regorge des curiosités et des espèces rares et protégées : des chutes dissimulées sous forêt dévalant des escarpements, des rochers (« rochers de lumière et rochers des morts »), et des grottes de grands reptiles, des espèces phares de primates -Gorille, chimpanzé. Par ailleurs, il constitue un petit haut bassin versant car plusieurs cours d'eau y prennent leurs sources. Les perturbations anthropiques restent cependant limitées. L'altitude (>700 m) constitue encore pour l'heure un obstacle naturel pour l'extension des activités agricoles et le développement de l'exploitation forestière industrielle. (Figure 1). Le massif fait l'objet d'un projet de valorisation en forêt intercommunale sur une superficie de 14107 ha subdivisée en 3 blocs (le bloc de Ngodi-934ha, le bloc principal-10326ha et le bloc de Libellingoï-3058ha) au sein d'un grand périmètre de recherche élargi de 187 454 ha ici appelé massif et zone périphérique.

2.2. Données et matériels

2.2.1. Données satellitaires

Les images satellitaires utilisées proviennent du capteur Landsat 7 de la mission ETM+. Ce sont les scènes du 27/12/2007 et du 03/01/2018 respectivement téléchargées dans les sites de *Global Land Cover Facility* (GLCF- <http://www.landcover.org/>) et de *Glovis* (<https://glovis.usgs.gov>). Pour l'obtention de résultats fiables, elles ont été téléchargées à la même période (saison sèche).

Tableau 1 Caractéristiques des bandes de chaque année

Nom de la scène	Mission	Path/Row	Date de l'image	Résolution spatiale	Nombres de bandes	Source d'acquisition
L71ASN1107005130500	Landsat 7 ETM+	186/57	27/12/2007	30m	8	Global Land Cover Facility (GLCF)
LE07_L1TP_186057_20180103_20180129_01_T1	Landsat 7 ETM+	186/57	03/01/2018	30m	8	Glovis

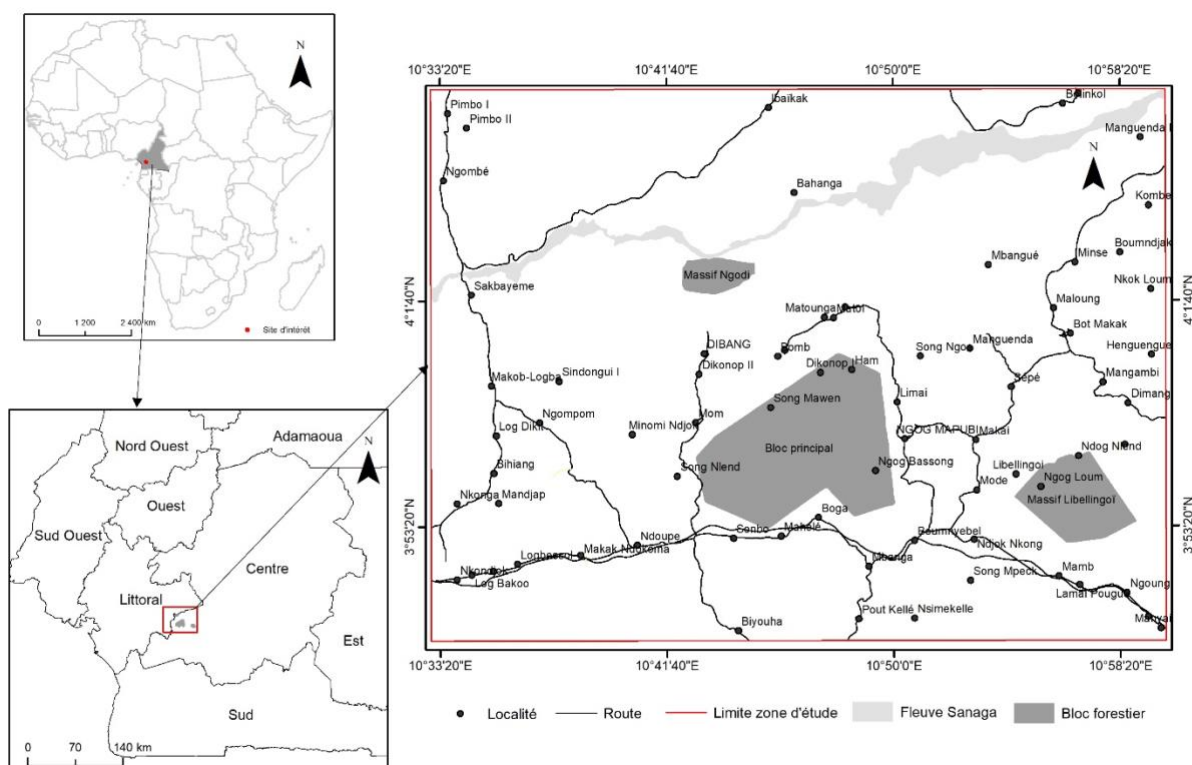


Figure 1. Localisation des blocs constitutifs de la forêt communale

Les données de base proviennent d'abord de l'analyse et du traitement des images Landsat de la zone, ensuite des relevés et des observations effectués sur le terrain.

2.2.2. Données et matériels de terrain

Des points de contrôles ont été pris sur le terrain afin de valider la classification faite au bureau via la télédétection. Concernant la collecte des données d'inventaire carbone, des rubans à diamètre ont permis de mesurer les diamètres à hauteur de poitrine (DHP) des arbres. Un récepteur GPS a servi pour la localisation et le levé des points des parcelles. Un appareil photo a été utilisé pour capturer le paysage et certains détails de terrain. Des machettes ont facilité la délimitation des parcelles d'échantillonnage. Un plantoir était nécessaire pour collecter les échantillons de racines du sous-bois ; des quadrats de 1 m x 1 m pour la collecte des données de sous-bois, de 0,5 m x 0,5 m pour collecter la litière et 0,2 m x 0,2 m pour collecter les racinelles ; des sacs en plastique étaient nécessaires pour collecter la litière, les herbacées du sous-bois et le sol. Une boussole a servi à orienter les layons. Des tamis étaient indispensables pour différencier les racines du sol et une balance sensible pour les pesées. Des planches d'herbier permettaient de conserver les échantillons des végétaux non identifiés sur le terrain, plus tard reconnus à l'Herbier National.

3. METHODE

3.1. Collecte des données satellitaires

Les deux images (des années 2007 et 2018) exploitées proviennent du capteur Landsat. Le site d'étude se trouve non seulement dans le Sud forestier du Cameroun mais, également, est influencé par le climat camerounais maritime. Ces deux paramètres rendent généralement difficile l'obtention d'images satellitaires de qualité en raison de l'importante couverture nuageuse qui masque la zone pratiquement toute l'année. Le choix des images Landsat est dû à la forte présence des nuages sur les autres images de haute résolution des capteurs SPOT et Sentinel fournies par IGN FI lesquels entravaient leur traitement. L'interprétation s'est faite sur la grande zone d'étude qui couvre près de 187 454 ha et contient les 14 107 ha du massif qui constitue la cible essentielle. Les points de contrôle de terrain ont permis de valider la classification. Une descente de terrain a été faite conjointement avec celle du carbone afin de collecter les points de contrôle pour valider la classification de l'image satellite de 2018 sur des sites échantillons.

3.2. Choix des sites-échantillons

Les sites-échantillons ou alors les parcelles de carbone ont été préalablement définies avant la descente de terrain sur la base des strates végétales identifiées lors de la cartographie des formations végétales faites dans la zone d'étude. Il s'agit des parcelles présentées sur la Figure 2. La fonction « GO TO » du GPS a permis de les rejoindre et de les reconnaître une fois sur le terrain et c'est à l'intérieur de ces parcelles que les données ont été collectées au cours de l'année 2018.

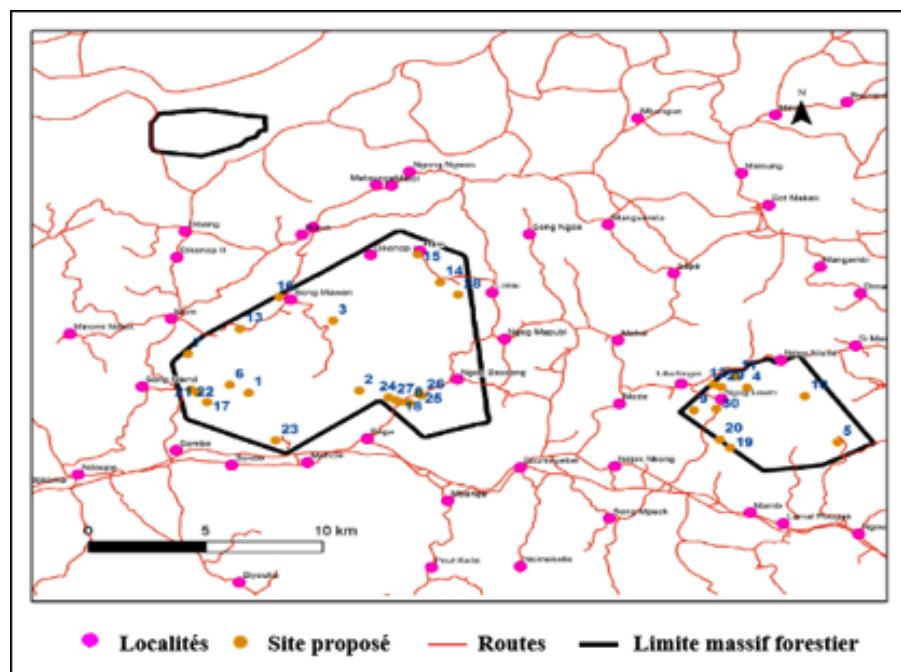


Figure 2 : Sites proposés pour évaluation Carbone (30 sites)

La superficie totale sur laquelle a porté l'échantillonnage est de 13 638 ha (Figure 2). Dans l'ensemble, vingt-quatre (24) parcelles ont été échantillonnées : dix (10) parcelles de forêts matures ; quatre (04) parcelles de forêts jeunes ; trois (03) parcelles de forêts dégradées ; trois (03) parcelles de jeunes jachères ; deux (02) parcelles de vieilles jachères ; deux (02) parcelles de cultures. L'échantillon de 6 ha couverts correspond à un taux de sondage de 0,043 %. Si on y ajoute les cinq parcelles de contrôle simples (sans collecte de données carbone), on atteint 0,05%. Les forêts hydrophiles dont la zone de prédilection se trouve plus au nord dans la vallée de la Sanaga ne sont que très faiblement représentées, seules six (06) strates ont fait l'objet de travaux d'inventaire: forêts matures (FM), forêts dégradées (FD), forêts jeunes (FJ), vieilles jachères (VJ), jeunes jachères (JJ) et cultures (C).

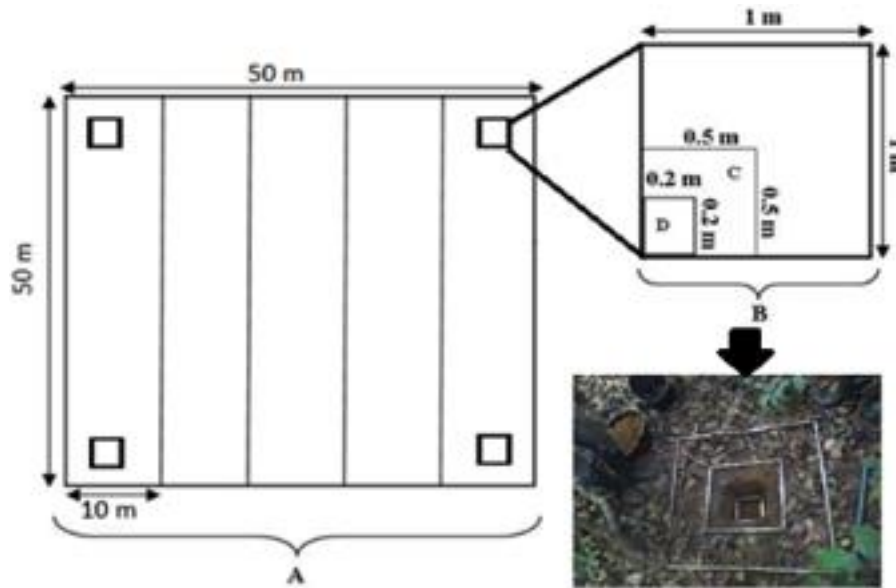
3.3. Collecte des données carbone

Pour évaluer la quantité de carbone stocké dans un écosystème, on fait une évaluation de la biomasse présente dans les parcelles d'échantillonnage puisque les plantes accumulent le dioxyde de carbone (CO₂) atmosphérique dans leurs constituants cellulaires (Tufekcioglu *et al.*, 2003 ; Sharrow et Ismail, 2004). La méthodologie d'estimation du carbone s'est basée sur les recommandations faites par le GIEC en 2003 dans le « Good Practice Guidance for Land Use, Land-use Change and Forestry » (LULUCF). Elle consiste à évaluer la biomasse présente dans plusieurs composantes (aérienne et souterraine). Il est possible d'estimer la biomasse à l'aide de deux approches : les méthodes directes ou dites destructives, et les méthodes indirectes (Segura et Kanninen, 2001). Les premières méthodes impliquent généralement la récolte sur le terrain d'échantillons et parfois même de végétaux complets. Les secondes méthodes consistent, entre autres, à appliquer des modèles de régression, des tables de volume ou des formules géométriques sur des mesures faites sur le terrain. Dans la présente étude, les données de carbone ont été collectées par la méthode non-destructive pour les arbres sur pied (dbh ≥ 10 cm) et par la méthode destructive pour les trois autres pools.

Les échantillons collectés dans des parcelles carrées sont donc constitués de :

- données d'inventaire pour l'évaluation de la biomasse des arbres de dbh ≥ 10 cm collectées dans 24 parcelles de 50 m x 50 m ;
- quatre-vingt-seize (96) échantillons des herbacées collectés dans 96 sous-parcelles de 1 m x 1 m, soit 4 par parcelle (aux 4 arrêts de chaque parcelle) ;
- quatre-vingt-seize (96) échantillons de litière collectés dans les 96 sous-parcelles de 0,5 m x 0,5 m ;
- quarante-huit (48) échantillons de radicelles collectés dans 48 sous-parcelles de 0,2 m x 0,2 m x 0,3 m ; soit 2 par parcelle (aux 2 arrêts de chaque parcelle) ;

La Figure 3 montre le dispositif d'échantillonnage des données d'inventaire et de biomasse utilisé sur le terrain ; La Planche 1 illustre le travail effectué sur le terrain soit de l'inventaire dans les parcelles à l'identification de l'espèce d'arbre.



A : parcelle de 50m x 50m de collecte des données d'inventaires des arbres de $dbh \geq 10$; B : sous-parcelle de 1 m x 1 m pour la collecte des données des herbacées ; C : sous-parcelle de 0,5 m x 0,5 m pour la collecte des données de biomasse de litière ; D : sous-parcelle de 0,2 m x 0,2 m x 0,3m de profondeur pour la collecte des données de radicelle.

Figure 2. Dispositif d'échantillonnage pour la collecte des données d'inventaire et de biomasse forestière



Photo 1 : Mesure du diamètre à 1,30 m du sol.



Photo 2 : Identification de la dénomination scientifique de l'espèce



Photo 3 : Pointeur relevant les informations communiquées

Identification des espèces à l'aide des guides flore (exemple : Vivien et Faure (2011) où la correspondance des noms scientifiques est donnée en langue « Bassa »



Photo 4 : Echantillons d'herbier des espèces non identifiées sur le terrain collectées, pressées puis séchées plus tard à l'étuve

Planche photo 1 : De l'inventaire dans les parcelles à l'identification de l'espèce d'arbre

La Planche photo 2 montre les étapes de collecte des données de biomasse des herbacées, litière et radicelles dans les différentes parcelles.



Planche photo 2 : Collecte des données de biomasse des herbacées, litière et radicelles

3.4. Traitements et analyses des données

3.4.1. Traitements des images satellitaires

Le traitement des images satellitaires s'est fait à l'aide du logiciel Envi 5.1. Il a englobé un ensemble d'opérations allant du prétraitement au post-traitement des images. Les opérations de prétraitement ont consisté à enlever les rayures présentes sur les images et à les rehausser. Concernant le traitement, la composition colorée 5-4-3 a été retenue afin de réaliser la classification selon l'algorithme du maximum de vraisemblance. Une validation de l'image de 2018 a été faite en confrontant les points vérité terrain aux classes identifiées au bureau. Cette confrontation a permis de générer automatiquement la matrice de confusion portant les informations relatives à la précision globale et au coefficient Kappa. Le résultat de la classification validée a été utilisée pour la cartographie du carbone.

3.4.2. Les données d'inventaires carbone

La stratification en classe de diamètre d'amplitude 10 cm des arbres inventoriés pour chaque strate a été faite. La somme de la surface terrière de chaque arbre identifié dans chaque strate a été calculée suivant la formule :

$$SA = \frac{\pi \times D^2}{4}$$

où D est le diamètre (m) de l'arbre, $\pi = 3,14$ (Kabelong *et al.*, 2018) ;

Pour l'évaluation de la biomasse des herbacées, de la litière et des radicelles, les échantillons ont été pesés avec leur contenant (sac poubelle pour la biomasse totale et enveloppe pour les aliquotes), le poids du contenant vide est soustrait du poids obtenu après séchage (y compris le poids de l'enveloppe). Ladite évaluation a été faite en utilisant la formule suivante (Kabelong *et al.*, 2018) :

$$\text{masse sèche totale} = \frac{\text{masse fraîche totale} \times \text{masse sèche aliquote}}{\text{masse fraîche aliquote}}$$

Pour l'évaluation de la biomasse totale des ligneux (épigée et grosses racines), l'équation allométrique de Chave *et al.* (2014) suivante a été utilisée pour la biomasse épigée :

$$Y_e = e^{(-1,803 - 0,976 \times E + 0,976 \ln(\rho) + 2,673 \times \ln(D) - 0,0299 \times (\ln(D))^2)}$$

avec Y = biomasse épigée (kg) ; E= indice environnemental ; ρ = densité du bois de l'espèce considéré ; D= diamètre de l'arbre (cm).

Pour les grosses racines, l'équation de Mokany *et al.* (2006) a été utilisée : $Y_h = 0,235 \times Y_e$ avec Y_h = biomasse hypogée (kg) et Y_e = biomasse aérienne (kg).

La biomasse totale des ligneux = biomasse épigée + biomasse des grosses racines.

L'équation de Cummings *et al.* (2002) a été utilisée pour la biomasse des palmiers :

$$Y(\text{kg}) = 4,5 + 7,7 * \text{hauteur.}$$

Les stocks de carbone quel que soit le pool sont calculés par la formule :

$$\text{Stock de carbone (kg)} = \text{biomasse (kg)} \times 0,47 \text{ (Zapfack } et al., 2013).$$

Leur conversion en tonne (t) a été faite en utilisant la table de conversion ; les paramètres calculés ont été extrapolés à l'hectare par la formule FE= 10 000 / surface échantillonnée. Les stocks de carbone de chaque pool et pour chaque strate sont ainsi présentés en t C/ha.

La Planche photo 3 synthétise les travaux de laboratoire après collecte de données sur le terrain.



Photo 9 : Pesage, prélèvement des aliquotes et montage d'une base de données



Photo 10 : Ensemble des aliquotes prélevés



Photo 11 : Etuve de séchage des échantillons

Pesées faites à des intervalles de temps réguliers (72h, 48h, 48h, 48h, etc...) jusqu'à l'obtention du poids constant



Planche photo 3 : Travaux de laboratoire au sein du laboratoire de Botanique/Ecologie du Département de Biologie et Physiologie Végétales de l'Université de Yaoundé I

3.5. Spatialisation du carbone

La spatialisation des données des stocks de carbone dans le massif forestier de Ngog-Mapubi/Dibang a été effectuée à partir de la méthode de Ponce-Hernandez (2004 ; 2007). Elle utilise les coordonnées géographiques de chaque parcelle et son stock de carbone comme données d'entrée pour ensuite extrapoler sur l'étendue de la carte d'occupation des sols en suivant le principe selon lequel à une parcelle correspond une classe de pixel et à toutes les classes de pixel identiques correspondent des stocks de carbone évalués à l'échelle de plusieurs parcelles. A la suite de la campagne de collecte de données sur le terrain, les valeurs de tonne de carbone à l'hectare ont été obtenues. Le carbone a été évalué sur les strates suivantes : forêts matures, forêts jeunes, forêts dégradées, vieilles jachères, jeunes jachères et cultures. La superposition de la carte du carbone et de celle des indices de biodiversité issus d'inventaires biologiques réalisées antérieurement permettra d'émettre des suggestions pour le futur plan d'aménagement de la forêt intercommunale.

4. RESULTATS

Ils ont trait à l'interprétation des images satellitaires, aux données de biomasse collectées sur le terrain, à la synthèse spatiale et aux implications pour les projets en cours sur le site.

4.1. Cartographie diachronique de l'occupation du sol dans la zone d'étude

Le traitement de l'image Landsat de 2018 a permis d'identifier 12 classes brutes (y compris les nuages) d'occupations du sol dont 6 d'intérêt ont été retenues pour soutenir la phase d'évaluation des stocks de carbone (Figure 4). La précision globale de la classification a été estimée à 94,4% et le coefficient kappa est de 0,93 (Tableau 2). En 2007, le massif et sa périphérie montre un état de la végétation déjà fortement anthropisé influencé par la présence des jachères, des forêts jeunes et des sols nus. La Figure 4 présente les cartes d'occupation des terres en 2007 et en 2018.

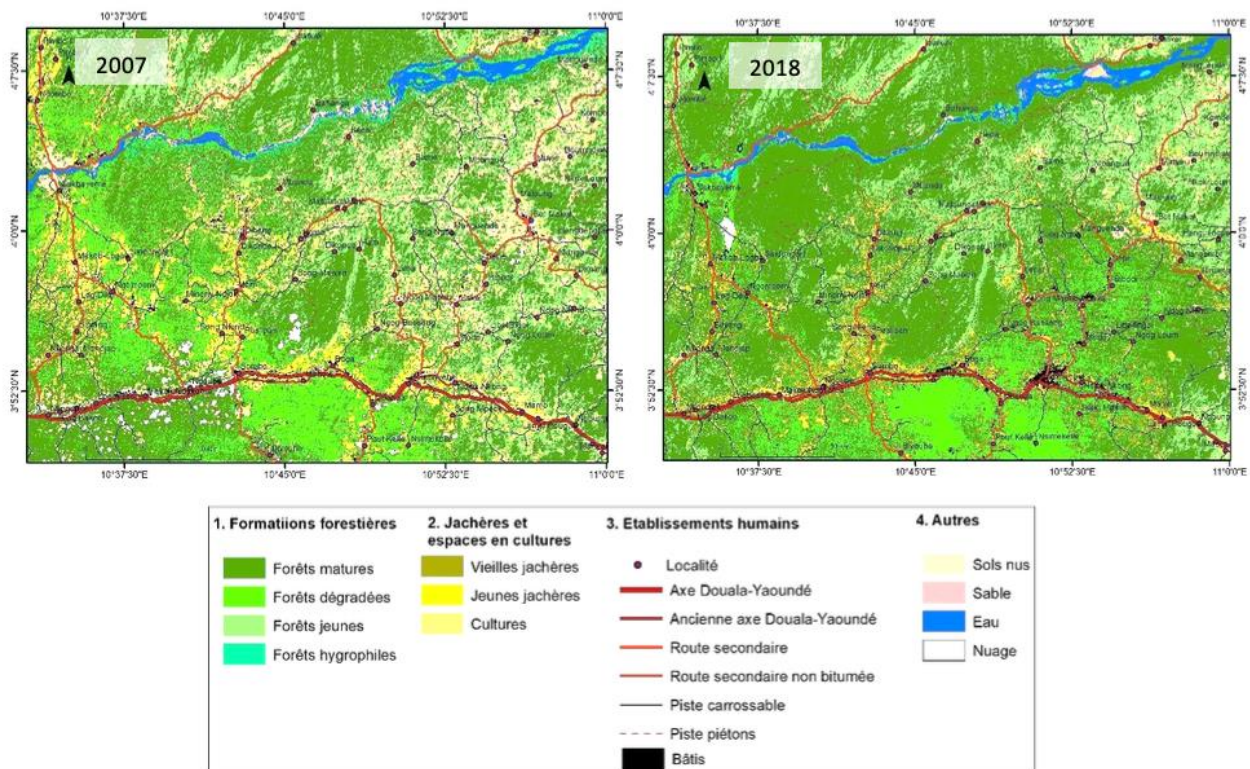


Figure 4. Occupation du sol dans la zone entre 2007 et 2018

Les forêts matures enregistrent une forte dynamique. Le Tableau 3 suivant permet d'apprécier de façon chiffrée l'évolution des superficies entre les deux années.

Les superficies des forêts matures sont passées de 78316,6 ha en 2007 à 101400 ha soit une augmentation de +29,474%. Les taux d'augmentation des surfaces des forêts dégradées et des cultures sont de 24,28 % et 30,65 respectivement. Par ailleurs, on note aussi la forte augmentation des vieilles jachères qui enregistrent un taux d'évolution de +203,81%. Ceci traduit une augmentation nette des superficies des cultures qui au fil du temps sont laissées en jachère.

Tableau 2 : Matrice de confusion de la classification supervisée par le maximum de vraisemblance de 2018.

Classes	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	99,62	0	38,46	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	85,23	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	61,54	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0,38	7,95	0	79,37	18,75	0	0	0	0	0
6	0	0	6,82	0	17,46	77,5	10,77	0	0	0	0
7	0	0	0	0	1,59	3,75	89,23	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	90,23	9,09	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	9,38	90,91	0	33,33
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	66,67

Précision globale = 94,44%, coefficient kappa = 0,93

Légende tableau 2 :

1 : Forêts matures, 2 : Forêts dégradées, 3 : Forêts jeunes, 4 : Forêts hydrophiles, 5 : Vieilles jachères, 6 : Jeunes jachères, 7 : Cultures, 8 : Sols nus, 9 : Sable, 10 : Eau, 11 : Bâtis.

Tableau 3 : Superficies des classes d'occupation du sol dans la zone entre 2007 et 2018

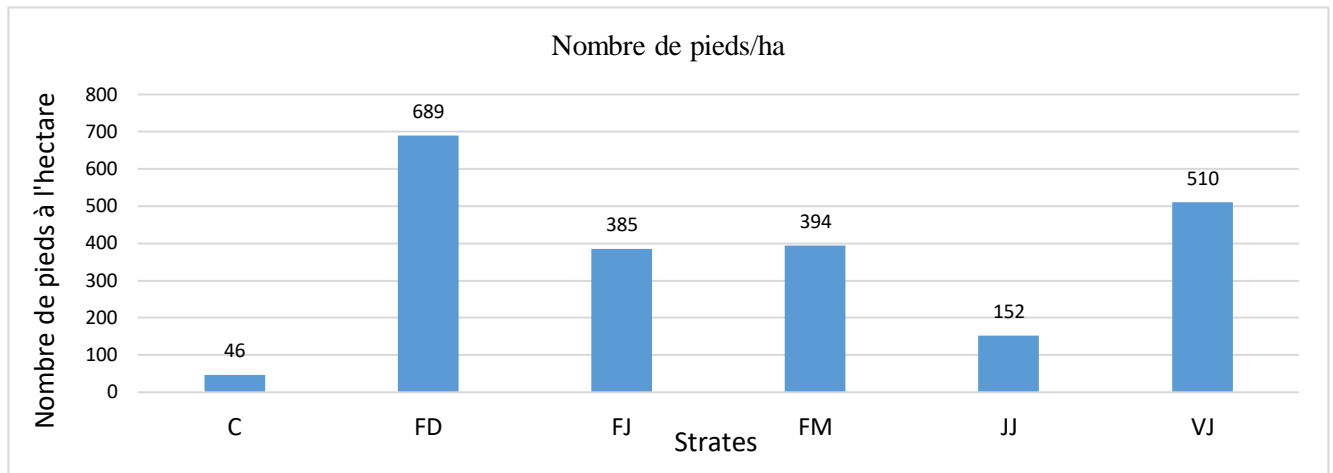
Classes	1	2	3	4	5	6
Forêts matures	78316,6	101400	7704,16	9570,88	29,47	24,23
Forêts dégradées	20159	18051,2	926,024	701,176	-10,45	-24,28
Forêts jeunes	32527,2	35689,9	2625,5	1885,55	9,72	-28,18
Forêts hydrophiles	2365,47	1033,83	0	8,91	-56,29	
Vieilles jachères	3906,54	11868,8	157,137	748,776	203,81	376,51
Jeunes jachères	13900,7	1208,7	739,068	98,464	-91,30	-86,67
Cultures	8843,22	5870,34	291,285	201,986	-33,61	-30,65
Sols nus	17678,2	7274,61	553,262	134,612	-58,84	-75,66
Sable	739,89	273,87	0	0	-62,98	
Eau	2966,49	3183,57	0,18	0	7,31	
Bâtis	1941,12	2382,57	58,9151	0	22,74	
Nuage	5131,89	238,86	326,662	0	-95,34	
Total	188476,32	188476,32	13382,24	13382,24		

Légende tableau 3 :

1 : Superficie massif et périphérie en 2007 (ha), 2 : Superficie massif et périphérie en 2018 (ha), 3 : Superficie massif 2007 (ha), 4 : Superficie massif 2018 (ha), 5 : Taux d'évolution massif et périphérie (2007-2018), 6 : Taux d'évolution massif (2007-2018)

4.2. Données de biomasse collectées sur le terrain

Les résultats obtenus et présentés sur la figure 5 montrent une densité des arbres élevée dans les forêts dégradées et les vieilles jachères soit en moyenne 689 et 510 pieds/ha respectivement ; elle est plus faible dans les cultures soit 46 pieds/ha et les jeunes jachères (152 pieds/ha). La Figure 5 donne une idée de la répartition de la densité moyenne des individus de peuplement en fonction des différentes strates identifiées.



C=cultures, FD =forêts dégradées, FJ= forêts jeunes, FM=forêts matures, JJ= jeunes jachères, VJ=Vieilles jachères

Figure 5. Quantité d'arbres à l'hectare en fonction des strates échantillonnées

On observe une distribution des classes de diamètre en "J" renversé dans les strates telles : forêt mature, forêt jeune et forêt dégradée tandis qu'elle se présente en dents de scie dans les cultures et les vieilles jachères (Figure 6).

Les résultats montrent que la surface terrière est plus élevée dans les forêts matures (48,49 m²/ha) (Figure 7). De façon générale, la surface terrière augmente avec les phases de la succession écologique (Figure 7) : C < JJ < VJ < FJ < FD < FM.

Les stocks de carbone totaux varient d'une strate à l'autre, soit entre 177,42 et 12,84 tC/ha, pour les forêts matures et les cultures respectivement. Ces stocks varient aussi suivant les pools de carbone considérés quelle que soit la strate considérée (Tableau 4).

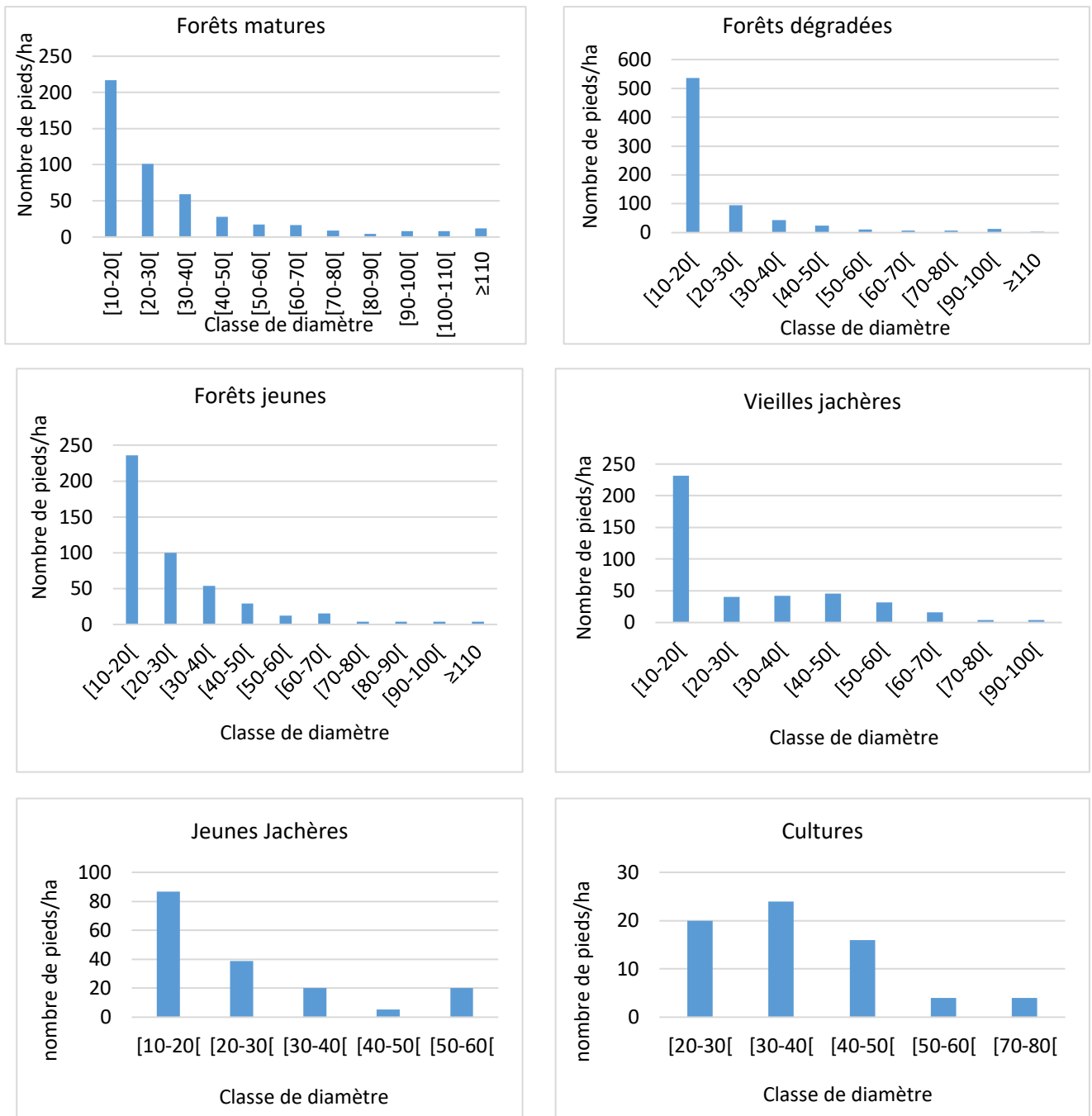
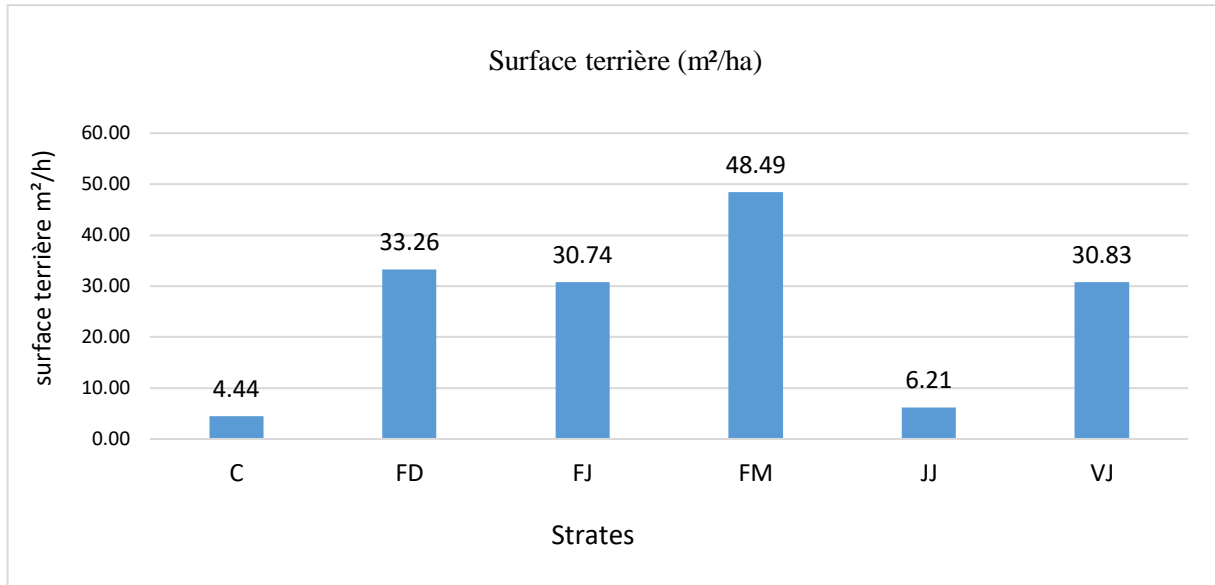


Figure 6. Distribution du nombre de pieds à l'hectare en fonction des classes de diamètre des strates du massif forestier de Ngog –Mapubi/Dibang



FJ=jeunes forêts, FM=forêts matures, JJ=jeunes jachères, VJ=Vieilles jachères

Figure 7. Surface terrière à l'hectare en fonction des strates échantillonnées.

Tableau 4 : Stock de carbone des strates du massif forestier et pools de carbone échantillonnés

Strates	Stock de carbone total ligneux (t C/ha)	Stock carbone herbacées (t C/ha)	Stock carbone litière (t C/ha)	Stock de carbone radicelles (tC/ha)	Total (t C/ha)
C	8,28	0,29	2,38	1,89	12,84
FD	89,86	0,99	4,33	4,87	100,04
FJ	85,38	0,68	4,49	7,20	97,75
FM	164,20	1,15	4,07	7,99	177,42
JJ	14,09	2,35	3,73	2,60	22,78
VJ	49,48	1,07	4,50	4,66	59,72

C : cultures, FD : forêts dégradées, FJ : jeunes forêts, FM : forêts matures, JJ : jeunes jachères, VJ : Vieilles jachères

Les stocks de carbone totaux sont estimés à 24 086 528,6 tC pour le massif et sa zone périphérique et à 2 136 016,55 tC pour le massif forestier. Les forêts matures sont celles qui stockent le plus avec 17 989 374 tC pour le massif et sa zone périphérique et 1 798 795,47 tC pour le massif forestier (Tableau 5).

Tableau 5: Stocks de carbone totaux dans le massif forestier de Ngog-Mapubi/Dibang et ses environs en 2018

Strates	Superficie massif (ha)	Stock de carbone total ligneux (t C)	Stock carbone herbacées (t C)	Stock carbone litière (t C)	Stock de carbone racinelles (tC)	Total massif (t C)	Total massif et périphérie (t C)
C	206,03	1705,92	59,74	490,35	389,39	2645,42	75375,16
FD	701,17	63007,13	694,15	3036,06	3414,69	70152,05	1806022,56
FJ	2214,98	189114,99	1506,18	9945,26	15947,85	216514,29	3488687,73
FM	10139,2	1664856,60	11660,08	41266,54	81012,20	1798795,47	17989374
JJ	100,87	1421,25	237,04	376,24	262,26	2296,80	27522,09
VJ	773,88	38291,58	828,05	2886,57	3606,28	45612,48	699547,07
Totaux	14136,13	1958397,53	14985,26	58001,03	104632,70	2136016,55	24086528,6

C : cultures, FD : forêts dégradées, FJ : jeunes forêts, FM : forêts matures, JJ : jeunes jachères, VJ : Vieilles jachères

4.3. Cartographie des stocks de carbone, synthèse spatiale et implications pour les projets en cours sur le site

La Figure 8 correspond à la cartographie des stocks de carbone dans la zone d'étude. Les valeurs de carbone à l'hectare ont été extrapolées au niveau des strates de végétation. Il ressort de cette figure que les stocks de carbone augmentent suivant la dynamique des successions écologiques.

En référence aux grands projets envisagés, le réservoir du barrage d'Eweng qui inondera une superficie de plus de 20 000 ha dans le bassin versant de la Sanaga engloutira tout le bloc Ngodi (Figure 9) soit près de 1 000 ha qui seront retranchés au massif. Les études d'impact du projet envisagent des zones de conservation en compensation des espaces de la vallée de la Sanaga qui seront ennoyés.

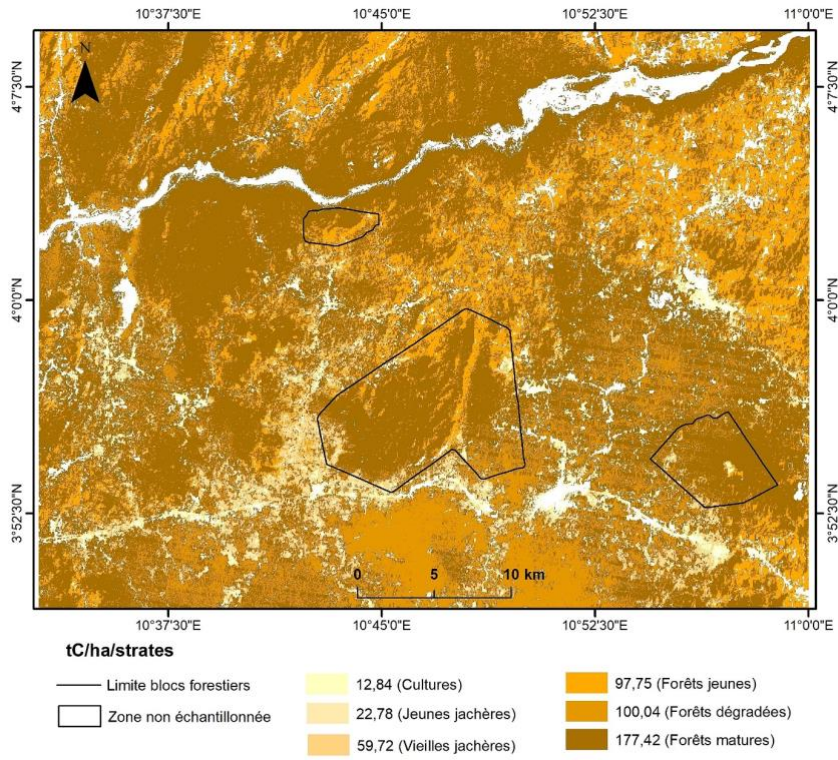


Figure 3. Répartition des stocks de carbone à l'hectare par strates

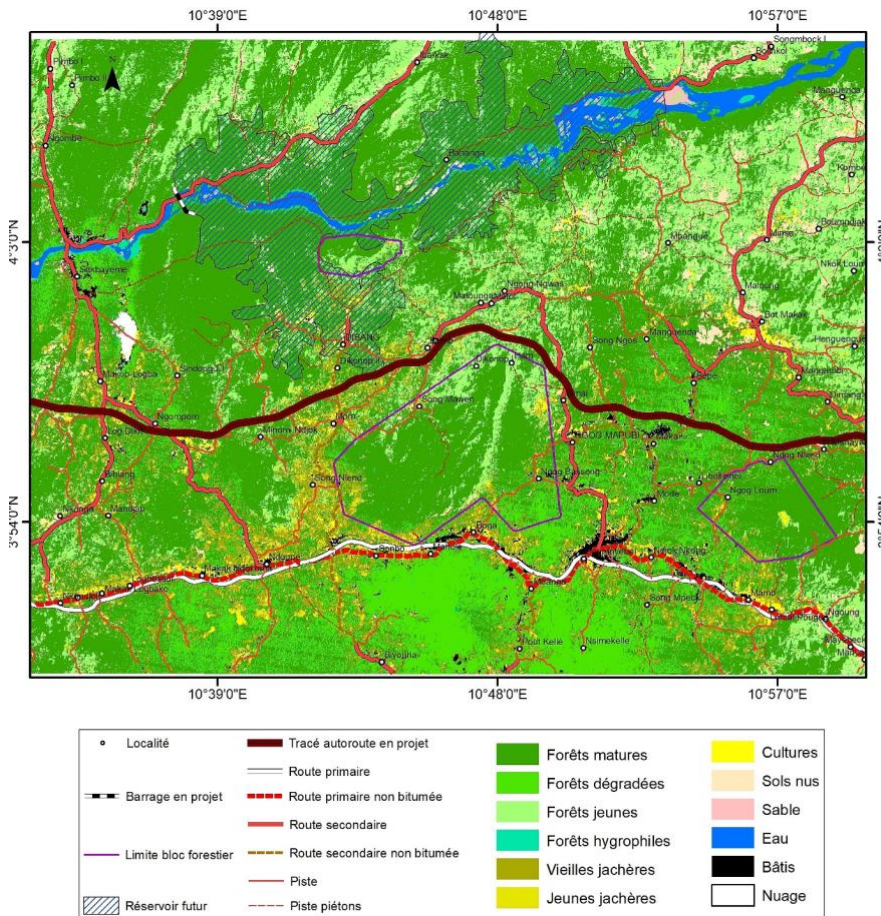


Figure 4. Localisation des infrastructures majeures projetées

Pour l'autoroute, en appliquant une zone tampon de 41 m (largeur maximale de la future autoroute Douala-Yaoundé (Ministère des Travaux Publics -MINTP), l'ouvrage côtoie voire grignote les marges septentrionales du bloc principal du massif. Pour la préparation du futur plan d'aménagement, la superposition des indices de biodiversité dans le plus grand bloc de forêts matures laisse apparaître une importante ligne de crête qui pourrait faire partie des séries de protection (Figure 10). Néanmoins, tous les projets ici évoqués prévoient des compensations environnementales des espaces qui seront dégradés voire détruits dans le cadre des études d'impacts environnementaux qui serviront de cadre d'arbitrage.

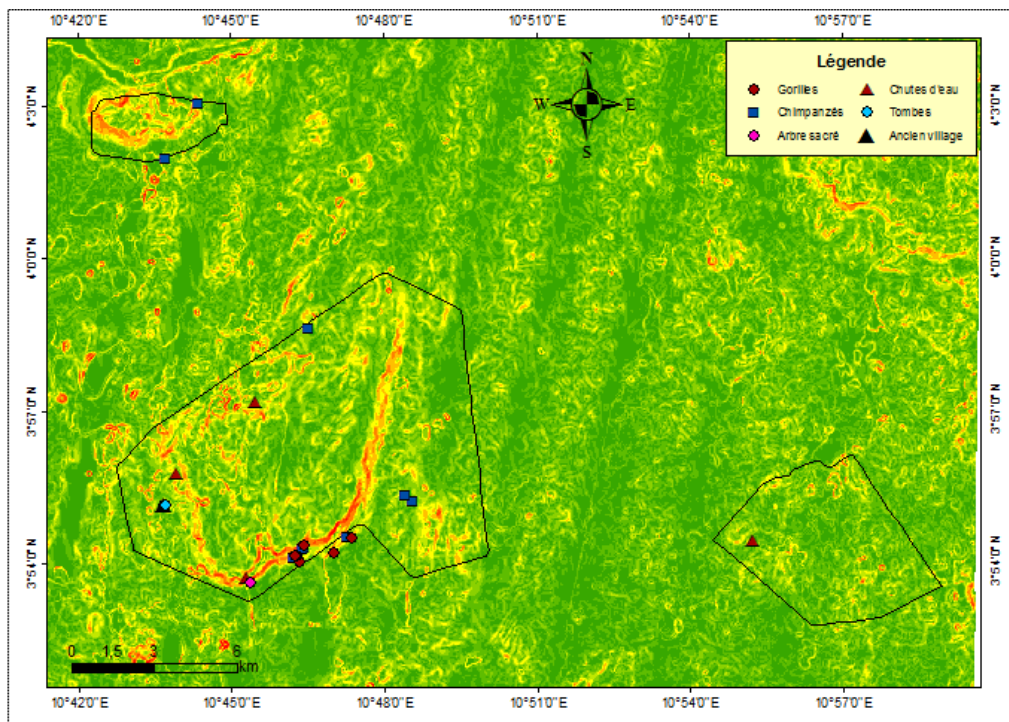


Figure 10 : Topographie et indices de biodiversité pour une série de protection

5. DISCUSSION ET CONCLUSION

Le mécanisme REDD+ prévoit des compensations financières pour les pays qui réduisent la déforestation et la dégradation des forêts et qui évitent les émissions de GES associées. C'est dans ce sens que cette étude explore le potentiel du massif forestier de Ngog-Mapubi/Dibang en contexte de la préparation du Cameroun à ce mécanisme REDD+. Ainsi, les résultats obtenus montrent une évolution de +29% des forêts matures entre 2007 et 2018. Malgré le regain de celles-ci, la pression anthropique reste toujours présente et menaçante et cela se traduit par l'augmentation des vieilles jachères. L'activité agricole serait ainsi la principale cause de la dynamique végétale dans la zone. Cette dynamique se perçoit majoritairement tout autour des voies de communication. Dans les blocs forestiers, on observe pratiquement les tendances d'évolution similaires à toute l'étendue de la zone.

Par ailleurs, le massif stocke des quantités de carbone importantes allant de 12,84 tC/ha pour les cultures à 177,42 tC / ha pour les forêts matures. Ils montrent ainsi une variation des stocks de carbone en fonction des strates observées. Malgré l'abondance des arbres dans les vieilles jachères (510 N/ha) et dans les forêts dégradées (689 N/ha), leur stock de carbone était faible (59,72 et 100,04 tC/ha respectivement pour ces 2 strates) par rapport à celui des forêts matures (394 N/ha ; 177,42 tC/ha). Ces différences pourraient s'expliquer par le fait que ces strates (vieilles jachères et forêts dégradées) sont majoritairement caractérisées par des arbres de faible diamètre qui théoriquement stockent moins de carbone comparé à ceux à grand diamètre des forêts matures. Ici, les arbres de petit diamètre compris entre 10,0-19,9 représentent 55% contre 78% pour les forêts dégradées. Cependant, se limitant uniquement au stock de carbone des forêts matures, ce résultat est proche des valeurs trouvées respectivement par Zapfack (2005) en « forêt primaire » (186,92 tC/ha) à Mbalmayo et, par Moffo (2011) en « forêt primaire » (188,83 tC/ha) dans le parc national de Lobeke.

Les stocks de carbone de la jeune jachère (22,78 tC/ha) et de la vieille jachère (59,72 tC/ha) dans cette étude sont faibles comparés à ceux trouvés par Woomer *et al.*, en 1996 (87 tC/ha et 157 t/ha respectivement), Kotto-Same *et al.*, en 1997 (entre 44,10 et 140,40 tC/ha respectivement), par Njomgang *et al.*, en 2011 (101 et 180 t/ha respectivement) et par Silatsa *et al.*, en 2015 (60,48 et 170,46 tC/ha).

Le stock de carbone moyen dans la forêt dégradée obtenu dans cette étude est de 100,04 t/ha. Ce résultat s'éloigne de celui obtenu par Woomer *et al.*, en 1996 (227 tC/ha) et Silatsa *et al.*, en 2015 (211,60 tC/ha), mais se rapproche de l'intervalle établi par Kotto-Same *et al.*, en 1997 soit entre 178,4 et 325,5 t/ha. Ces différences se justifieraient par la différence de profondeur de sol explorée par chacune des études ;

Le stock de carbone obtenu dans les cultures (12,84 tC/ha) est également éloigné de l'intervalle (35,90 et 94,20 tC/ha) établi par Kotto-Same *et al.*, en 1997. Ceci se justifierait par la quasi absence des arbres dans la majorité des champs.

Sur la carte de distribution du carbone dans la zone d'étude, les zones de bâtis (villages) ou à forte pression humaine sont identifiables par leur faible stock de carbone. Par contre, une augmentation progressive de ces stocks des villages vers le massif et dans les zones à fortes pentes illustre la diminution des pressions anthropiques sur le couvert forestier. Le même constat est fait par ASB (2012) sur la distribution du carbone organique du sol dans le paysage de la commune d'Ayos (Cameroun). Ceci se justifie par le fait que les champs de cultures, les palmeraies et les jeunes jachères possédant les stocks de carbone du sol les plus faibles, sont rapprochées des villages au contraire des forêts perturbées, des forêts secondaires et des vieilles jachères (Silatsa *et al.*, 2015).

En perspective, l'idéal sera d'obtenir des images Spot et d'autres capteurs si possible dans une longue série pouvant permettre d'envisager une analyse prospective de la dynamique spatiotemporelle du carbone stocké dans le massif forestier de Ngog-Mapubi/Dibang, à l'horizon 2025 et 2035. De fait, la forte couverture nuageuse des images collectées (Landsat, Sentinel et Spot) sur la zone n'a pas permis

d'analyser la dynamique végétale dans une profondeur temporelle assez longue. Les techniques d'extrapolation dans l'évaluation des stocks de carbone traduisent en même temps les difficultés d'avoir des valeurs précises à des points géoréférencés pour procéder à des interpolations ayant un sens, à moins de disposer d'autres données sur les paramètres écologiques qui commandent le carbone. Un des défis est donc, à l'avenir de constituer une base de données sur ces paramètres écologiques.

Liste des références

- Angelsen, A., Brockhaus, M., Sunderlin, W.D. & Verchot, L.V., 2013. Analyse de la REDD+: les enjeux et les choix. Bogor, Indonésie: CIFOR.
- ASB, 2012. Reduced emission from all land uses: REALU 2 technical report phase II, year 2. IITA-Cameroon. 82p
- Baccini, A., Goetz, S.J., Walker, W.S., Laporte, N.T., Sun, M., Sulla-Menashe, D., Hackler, J., Beck, P. S. A., Dubayah, R., Friedl, M. A., Samanta, S., Houghton, R. A., , 2012. Estimated carbon dioxide emissions from tropical deforestation improved by carbon-density maps. *Nat. Clim. Change*, 2(3), p182-185.
- Bastin, J.-F., Barbier, N., Couteron, P., Adams, B., Shapiro, A., Bogabert, J., De Cannière, C., 2014. Aboveground biomass mapping of African forest mosaics using canopy texture analysis: towards a regional approach. *Ecol. Appl.*, **24**(8), 1984-2001.
- Chave, J., Condit, R., Aguilar, S., Hernandez, A., Lao, S., Perez, R., ., 2004. Error propagation and scaling for tropical forest biomass estimates. *Philos. Trans. R. Soc. London, Ser. B*, 359(1443), p409-420.
- Chave, J., Réjou-Méchain, M., Burquez, A., Chidumayo, E., Colgan, M. S., Delitti, W. B. C., Dudque, A., Eid, T., Fearnside, P. M., Goodman, R. C., Henry, M., Martinez-Yrizar, A., Mugasha, W. A., Muller-Landau, H. C., Mencuccini, M., Nelson, B. W., Ngomanda, A., Nogueira, E. M., Ortiz-Malavassi, E., Péliissier, R., Ploton, P., Ryan, C. M., Saldarriaga, J. G. et Vieilledent, G., 2014. Improved allometric models to estimate the aboveground biomass of tropical trees. *Global Change Biology*, 20: p3177–3190.
- Clark, D.B., Kellner, J.R., 2012. Tropical forest biomass estimation and the fallacy of misplaced concreteness. *J. Veg. Sci.*, 23, p1191-1196.
- Cummings, D., Boone, K. J., Perry, D., & Hughes, R., 2002. Aboveground Biomass and Structure of Rainforests in the Southwestern Brazilian Amazon. *Forest Ecology and Management*, 163, p293-307.

- Gibbs, H.K., Brown, S., Niles, J. O., Fole, J.A., y., 2007. Monitoring and estimating tropical forest carbon stocks: making REDD a reality. *Environ. Res. Lett.*, 2(4), 045023.
- GIEC, 2003. Good practice guidance for land use, land-use change and forestry. GIEC.
- Goetz, S.J., Baccini, A., Laporte, N.T., Johns, T., Walker, W., Kellndorfer, J., Houghton, R.A., Sun, M., 2009. Mapping and monitoring carbon stocks with satellite observations: a comparison of methods. *Carbon Balance Manage.* 4, 2.
- Kabelong, B.L.P.R., Zapfack, L., Weladji, B.R., Chimi, D.C., Nyako, M.C., Bocko, E.Y., Essono, M.D., Nasang, M.J., Madountsap, T.N., Abessolo, M.I.C., Sakouma, M.K.R., Souahibou, M.F., Palla, S.J.F., Peguy, T. K., Jiagho, R., Kenmou, L.T., Kana, J.C.U.A., Armel Anyam Yi A.A., Tabue, M.R.B., 2018. Floristic diversity and carbon stocks in the periphery of Deng Deng National Park, Eastern Cameroon. *Journal of Forestry Research*. <https://doi.org/10.1007/s11676-018-0839-7>.
- Kotto-Same, J., Woomer, P.L., Moukam, A., Zapfack, L., 1997. Carbon dynamics in slash and burn agriculture and land use alternatives in the humid forest zone of Cameroon. *Agriculture, Ecosystems and environment* 65: p245-246.
- Lebrun, J., 1960. Sur une méthode de délimitation des horizons et étages de végétation des montagnes du Congo oriental. *Bull. Jard. Bot. Etat Bruxelles*, 1: 75- 94.
- Loubota Panzou, G.J., Doucet, J.L., Loumeto, J.J., Biwole, A., Bauwens, S., Fayolle, A., 2016. «Biomasse et stocks de carbone des forêts tropicales africaines (synthèse bibliographique)», BASE [En ligne], Volume 20 (2016), numéro 4, 508-522 URL : <http://popups.ulg.ac.be/1780-4507/index.php?id=13232>
- Moffo, F., 2011. Evaluation des stocks de carbone dans la zone périphérique du parc national de Lobeke (Est-Cameroun) et perspectives de gestion durable, Mémoire d'Ingénieur des Eaux, Forêts et Chasses, FASA/Uds. 84p
- Mokany, K., Raison, R.J. & Prokushkin, A., 2006. Critical analysis of root: shoot ratios in terrestrial biomes. *Global Change Biology*. 12: p84-96.
- Molto, Q., Rossi, V., Blanc, L., 2013. Error propagation in biomass estimation in tropical forests. *Methods Ecol. Evol.*, 4(2), p175-183.
- Njomgang, R., Yemefack, M., Nounamo, L., Moukam, A., Kotto-Same, J., 2011. Dynamics of shifting agricultural systems and organic carbon sequestration in southern Cameroon. *Tropicultura*, 2011, 29, 3, p176-182.
- Pan, Y., Birdsey, R.A., Fang, J., Houghton, R., Kauppi, P.E., Kurz, W.A., Phillips, O.L., Shvidenko, A., Lewis, S.L., Canadell, J.G., Ciais, P., Jackson, R.B., Pacala, S.W., McGuire, A.D., Piao, S.,

- Rautiainen, A., Sitch, S., Hayes, D., 2011. A large and persistent carbon sink in the world's forests. *Science*, 333, p988-993.
- Ponce-H., 2004. Assessing carbon stocks and modelling win-win scenarios of carbon sequestration through land-use changes. FAO, United Nations, Rome, 2004, 148p.
- Ponce-H., 2007. A Modelling Framework for addressing the Synergies between Global Conventions through Land Use Changes: Carbon Sequestration, Biodiversity Conservation, Prevention of Land Degradation and Food Security in Agricultural and Forested Lands in Developing Countries. FEEM Working Paper No. 30.2007. Available at SSRN: <http://ssrn.com/abstract=976600> or <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.976600>
- Sharrow, S.H. and Ismail, S., 2004. Carbon and Nitrogen Storage in Agroforests, Tree Plantations, and Pastures in Western Oregon, USA. *Agroforestry Systems*, 60, p123-130. <https://doi.org/10.1023/B:AGFO.0000013267.87896.41>
- Segura, M., Kanninen, M., 2001. Allometric models for estimating volume and total aboveground biomass of seven dominant tree species in a tropical humid forest in Costa Rica.
- Saatchi, S.S., Harris, N.L., Brown, S., Lefsky, M., Mitchard, E.T., Salas, W., Zutta, B.R., Buermann, W., Lewis, S.L., Hagen, S., Petrova, S., White, L., Silman, M., Morel, A., 2011. Benchmark map of forest carbon stocks in tropical regions across three continents. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.*, 108(24), p9899-9904.
- Silatsa Tedou, F.B., Yemefack, M., Dameni, H., (2015). Variabilité des stocks de carbone en zone forestière du Cameroun: Approche évaluative dans le paysage agricole itinérant de la commune d'Ayos. Editions Universitaires Européennes, 110p.
- Tsafack Ngoufo, L.S., (2015). Essai d'identification et d'évaluation du potentiel de services environnementaux dans le massif forestier de Ngog Mapubi-Dibang, Université de Yaoundé 1, département de géographie, mémoire, 192p.
- Tufekcioglu, A., J.W. Raich, T.M. Isenhardt and R.C. Schultz, 2003. Biomass, carbon and nitrogen dynamics of multi-species riparian buffers within an agricultural watershed in Iowa, USA. *Agrofor. Syst.* 57, p187-198.
- Woomer, P.L.A., Palm, J., Alegre, C., Castilla, D.G., Gordeiro, K., Hairiah, J., Kotto-Same, A., Moukam, A., Ricse, V., Rrodrigues, M., Van Noordwijk, 1999. Slash and burn effects on carbon stocks in the humid tropics. *Advances in soil science*.
- Zapfack, L., 2005. Impact de l'agriculture itinérante sur brûlis sur la biodiversité végétale et la séquestration du carbone. 225p

- Zapfack, L., Noiha, N. V., Dziedjou, K. P. J., Zemagho, L., et Fomete, N. T., 2013. Deforestation and carbon stocks in the surroundings of Lobéké National Parc (Cameroon) in Congo Basin. *Environment and Natural Resources Research*, 3(2): p78-86.
- Van der Werf, G.R., Morton, D.C., DeFries, R.S., Olivier, J.G.J., Kasibhatla, P.S., Jackson, R.B., Collatz, G. J., Randerson, J.T., 2009. CO2 emissions from forest loss. *Nat. Geosci.*, 2(11), p737-738.