

Dynamique et services des écosystèmes agroforestiers autour d'une aire protégée en République du Cameroun

Djiongo Boukeng E.J.¹, Khasa D.², Tientcheu Avana M.L.³

(1) **Etablissement** : Université Laval, Faculté de Foresterie, de géographie et de géomatique, Département des sciences du bois et de la forêt, Université Laval, Canada / email : jose-elvire.djiongo-boukeng.1@ulaval.ca

(2) **Directeur de thèse** : Professeur titulaire, Faculté de Foresterie, de géographie et de géomatique, Département des sciences du bois et de la forêt, Université Laval, Canada

(3) **Co-Directrice** : Professeur titulaire, Faculté d'agronomie et des sciences agricoles, Département de foresterie, Université de Dschang, Cameroun

DOI : <https://www.doi.org/10.5281/zenodo.5550301>

1. Objectif Général (OG)

Déterminer la diversité floristique ligneuse des systèmes agroforestiers (SAF) autour du Parc National de Bouba Ndjidda (PNBN) et leur potentiel à stocker du carbone dans un contexte de paiements pour des services environnementaux.

2. Objectifs spécifiques (OS)

OS1 : analyser la dynamique spatio-temporelle d'occupation du sol du PNBN ainsi que les facteurs déterminants des changements.

OS2 : déterminer les caractéristiques structurales ainsi que les usages des espèces ligneuses des systèmes agroforestiers.

OS3 : évaluer les stocks de carbone des systèmes agroforestiers autour du PNBN.

3. Hypothèse Principale

Cette recherche postule que les facteurs démographiques

déterminent l'évolution et la structure des SAF qui, en fournissant des services écosystémiques, permettent de réduire la dépendance des populations envers les aires protégées (AP).

4. Méthodologie

La méthodologie utilisée s'est articulée autour de trois grandes étapes : (1) la classification des images satellitaires, (2) la collecte et l'analyse des données floristiques et dendrométriques, (3) la collecte des échantillons de biomasse et de sols pour l'évaluation des stocks de carbone.

4.1. Zone d'étude

Cette étude a été menée au PNBN et sa zone périphérique située dans la zone soudano-sahélienne du Cameroun. Créée en 1947, sa superficie est d'environ 700 000 ha y compris les Zones d'Intérêts Cynégétiques 10, 11, 12, 17, 20, 21, 23 qui l'entourent (figure 1). La localité de Bouba

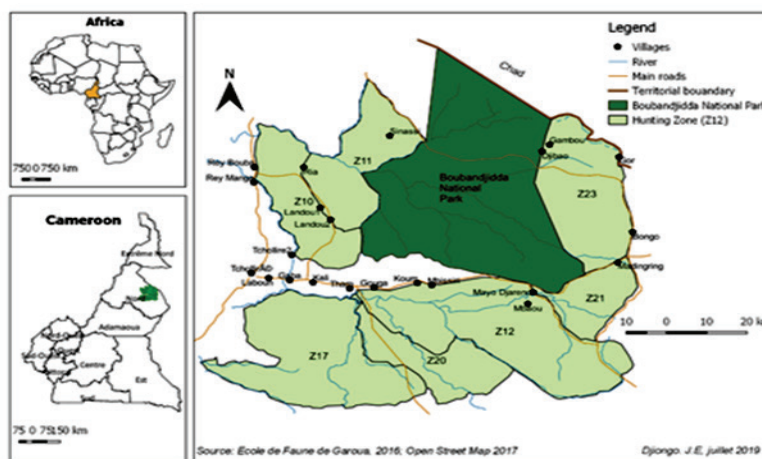


Figure 1: Localisation du parc national de Bouba Ndjidda et sa zone périphérique

Ndjidda reçoit entre 800 et 1250 mm de précipitations par an; les mois les plus pluvieux étant août et septembre; la moyenne annuelle des températures est de 28°C (Station météorologique de Garoua, 2017). Les sols sont en général ferrugineux tropicaux lessivés ou une combinaison de sols ferrugineux et hydromorphes (Brabant, 1972). Sur le plan phytogéographique, la végétation à l'intérieur du parc est composée d'espèces caractéristiques de la zone soudanienne qu'on retrouve dans les savanes arborées, les forêts galeries, les forêts claires sèches, sur les montagnes et affleurements rocheux. Autour du PNB, on retrouve les savanes arbustives, les champs de cultures et les jachères forestières (Ministère des Forêts et de la Faune, 2010). La population des trois communes (Tcholliré, Madingring et Rey Bouba) autour du parc est caractérisée par une grande diversité ethnique issue des groupes autochtones et des migrants estimée à 260 149 en 2016 (RGPH, 2010). La culture et l'élevage sont les principales activités pratiquées de manière extensive dans la zone.

4.2. Classification des images

À partir des images Landsat 4-5 (TM) du 24 novembre 1990, Landsat 7 (ETM+) du 17 novembre 1999 et Landsat 8 (OLI/TIRS) du 23 novembre 2016, les cartes d'occupation du sol ont été réalisées suivant la méthode de classification supervisée par maximum de vraisemblance MLC (Maximum Likelihood Classifier). Les logiciels GRASS 7.2.2 (équipe de développement GRASS, 2017) et QGIS 3.0 (équipe de développement du système d'information géographique quantique, 2018) ont été utilisés pour le traitement des images numériques et l'intégration des résultats avec d'autres sources de données géographiques, respectivement. Sur la base des informations issues de l'interprétation analogique, de notre connaissance du PNB et de sa périphérie, et des enquêtes de terrain, les douze classes initialement retenues ont été affinées puis reclassées en huit classes principales (bâti, sols nus ou peu végétalisés, champs, savane herbeuse, savane arborée, forêt claire, forêt saxicole, forêt galerie).

4.3. Collecte des paramètres floristiques, structuraux et ethnobotaniques

Les données ont été collectées dans les villages autour du PNB d'août à octobre 2016. Des entretiens semi-structurés avec les agriculteurs et des visites de terrain ont permis d'identifier les pratiques agroforestières dans la zone. Sur les 28 villages adjacents au parc, 13 ont été échantillonnés (taux d'échantillonnage de 46%). Sur la base des statistiques des actifs agricoles obtenues auprès des délégations d'arrondissement du Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural, environ 30 % des agriculteurs

de chaque village ont été échantillonnés pour l'étude (George et Christopher, 2019). Les données recueillies ont été vérifiées lors de discussions de groupe avec une moyenne de 15 agriculteurs dans chaque village. Les principales informations recherchées ont porté sur les types de cultures pratiquées, les espèces d'arbres conservées ou plantées dans son exploitation, les principales composantes du système, le nombre de strates, les principales espèces dominantes dans chaque strate, les cultures associées, les aménagements spatiaux et temporels réalisés et les espèces animales introduites dans les champs. Des visites de terrain ont ensuite été effectuées avec l'agriculteur pour identifier les espèces ligneuses observées et corroborer les informations de l'entretien. Trente-sept parcelles d'échantillonnage (50 m x 50 m), totalisant 8,5 ha ont été mises en place suivant les directives décrites par Froumsia et al. (2012) et Wala et al. (2005). Dans chaque parcelle d'échantillonnage, nous avons identifié et mesuré le diamètre des arbres dont le diamètre à hauteur de poitrine (DBH) était supérieur à 5 cm. Les usages des espèces ligneuses ont été évalués à travers des enquêtes ethnobotaniques (Clinquart, 2010) au cours d'entretiens semi-structurés et des groupes de discussion.

4.4. Collectes des données pour l'évaluation des stocks de carbone

Les données ont été collectées dans quatre types de SAF identifiés par Djiongo et al. (2020) autour du PNB, à savoir les jardins de cases (JC), les haies vives (HV), les plantations éparses (PE) et les jachères (JA). L'évaluation des stocks de carbone a porté sur toutes les composantes du système : le sol, la biomasse aérienne ligneuse, la biomasse racinaire, les racines, la litière et les juvéniles et herbacées. L'échantillonnage a été réalisé dans les mêmes parcelles que celles utilisées pour la collecte des données floristiques et structurales. Soit des parcelles carrées de 50 m x 50 m (Takimoto et al., 2008). Aux quatre extrémités de chacune de ces parcelles, des sous-parcelles de 1 m x 1 m, 0,5 m x 0,5 m et 0,2 m x 0,2 m ont été installées respectivement pour la collecte des données des juvéniles et herbacées (espèces ligneuses de diamètre < 5 cm et herbacées non ligneux), de la litière et des racines (diamètre ≥ 2 mm). L'inventaire de toutes les espèces ligneuses de diamètre ≥ 5 cm a été effectué dans ces parcelles. La biomasse des espèces ligneuses inventoriées a été estimée par la méthode non destructive en utilisant des équations allométriques pour convertir les variables collectées sur chaque arbre en biomasse (Picard et al., 2012). En revanche, la méthode destructive a été utilisée pour l'estimation de la biomasse des juvéniles et herbacées, de la litière et des racines. Pour la détermination des stocks de carbone du sol, nous avons utilisé des échantillons composites à partir d'échantillons de sol prélevés à l'aide d'une tarière dans

une sous parcelle de 20 cm x 20 cm et à des profondeurs variables soit 0-20 cm, 20-60 cm et 60-100 cm (Das et Chaturvedi, 2008). Ainsi, 15 échantillons ont été collectés par parcelle soit 5 échantillons pour une même profondeur. Au total, 464 échantillons de sol ont été collectés et acheminés au laboratoire de la SP-IRAD de Yaoundé où nous avons déterminé leur teneur en carbone en suivant le procédé de « dosage du carbone organique par oxydation sulfochromique » (Walkey and Black, 1934). Pour la densité apparente, le sol non remanié a été prélevé à l'intérieur d'un cylindre de densité (Heuscher et al., 2005).

4.5. Analyse des données

Pour rendre compte de la diversité ligneuse des SAF, nous avons dressé une liste floristique générale des espèces ligneuses inventoriées et réalisé une analyse qualitative pour regrouper ces espèces, en genres et familles botaniques. Le système de classification Angiosperm Phylogeny Group (APG) III (Bremer et al., 2009) a été utilisé. L'analyse de la composition structurelle a été réalisée en comparant les classes de diamètre des arbres en termes de distribution. Les données recueillies ont également été utilisées pour calculer la surface terrière, la densité relative, la fréquence relative et la dominance relative. Pour rendre compte de la structure horizontale, les arbres inventoriés ont été regroupés selon leur diamètre en classes d'amplitude de 10 cm, une dernière classe regroupant les arbres de plus de 60 cm de diamètre. Sur la base d'une combinaison de données floristiques et structurelles, nous avons également calculé l'indice de valeur d'importance (IVI) (Cottam et Curtis, 1956) et la valeur de l'indice de famille (FIV) des espèces d'arbres. Les espèces identifiées ont été classées dans les catégories de la liste rouge de l'Union internationale pour la conservation de la nature (UICN). Les paramètres ethnobotaniques suivants proposés par Houehanou et al. (2016) pour analyser les données ethnobotaniques ont été calculés : 1) Valeur d'usage (UV) de Phillips et Gentry (1993) modifiée par Rossato et al. (1999), utilisée pour évaluer l'importance d'une plante dans une communauté ; 2) Indice d'importance culturelle (IIC) (Tardío et Pardo-de-Santayana, 2008), utilisé pour évaluer l'importance d'une espèce dans une catégorie d'utilisation. Les stocks de carbone totaux estimés de tous les pools (espèces ligneuses + litière + juvéniles et herbacées + racines + radicelles + sol) pour chaque SAF ont été convertis en tonne CO₂ équivalent en utilisant le ratio 44/12 (soit 3,67) qui correspond au rapport CO₂/C. Cette valeur a été ensuite utilisée pour évaluer la valeur monétaire de ces systèmes en utilisant la valeur du service écologique estimée à 10 \$ US/t eq.CO₂ (Hamrick et al., 2015; Ramstein et al., 2019).

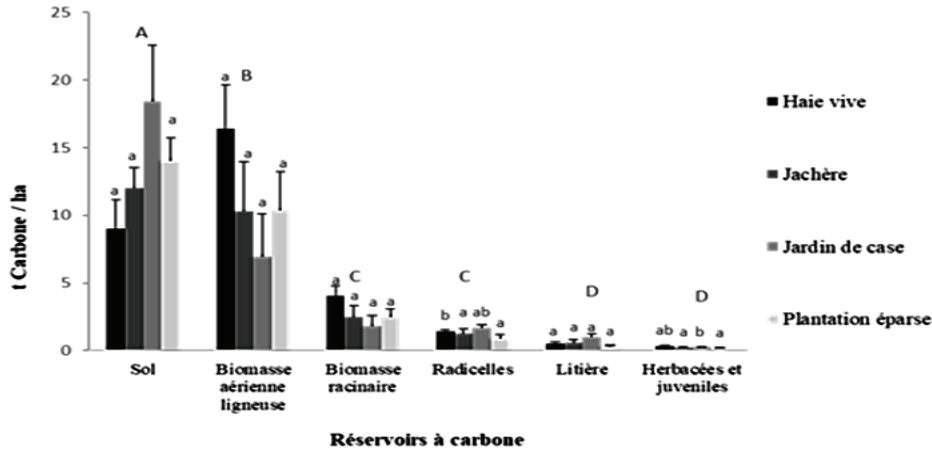
5. Résultats

R1 : Évolution du couvert végétal et des autres unités d'occupation du sol entre 1990 et 2016

Entre 1990 et 1999, les infrastructures, les champs de culture, les savanes herbeuses, les savanes arborées et la forêt saxicole sont les unités d'occupation du sol qui ont connu une évolution progressive. Après la forêt saxicole, les champs de culture ont connu la plus forte augmentation de superficie, passant de 15 322 ha en 1990 à 24 455 ha en 1999 pour un taux d'accroissement global de 59,6%. En revanche, la forêt claire et la forêt galerie ont connu une regression avec des taux annuels de +4,9% et +11,6%, respectivement. Le couvert végétal a connu une perte d'environ 6 000 ha, soit un taux de regression annuel de +0,1%. Entre 1999 et 2016, les changements progressifs les plus importants ont concerné les sols nus et les champs de culture, avec des taux de croissance annuels moyens de 14,6% et 3,4%. En 17 ans, la forêt claire est le type de végétation qui a perdu la plus grande superficie (31 300 ha) avec un taux global de 43,2%. En général, la couverture végétale totale a diminué de 82 000 ha pour un taux d'expansion annuel de +0,8% au profit des champs.

R2 : Caractéristiques floristiques, structurales et usages des espèces ligneuses des systèmes agroforestiers

Les jardins de cases, les haies vives, les plantations éparées, et les jachères sont les SAF identifiés autour du PNB. Ces SAF sont pluri strates et à arrangement spatial interstitiel (arbres dispersés dans les parcelles de cultures), à l'exception des haies vives qui sont mono strates et à arrangement spatial mixte (arbres alignés à la périphérie de l'espace alloué aux cultures agricoles, et quelques-uns dispersés dans le champ). L'inventaire a identifié 420 arbres appartenant à 50 espèces, 42 genres et 23 familles. La richesse en espèces était plus élevée dans les jachères (32 espèces) et les plantations éparées (31 espèces) par rapport aux haies vives (8 espèces) et aux jardins de case (9 espèces). L'indice de Shannon a montré une différence significative entre les haies vives (0,16) et les jachères (1,15) (test de Wilcoxon, $p < 0,05$), mais pas avec les autres SAF (Kruskal-Wallis, $2 = 8,7$, $df = 3$, $p = 0,03$). La famille la plus abondante dans les quatre types de SAF était celle des Fabaceae, suivie par la Burseraceae dans les jardins de cases et les Combretaceae dans les plantations éparées. En termes d'IVI, *Acacia Polyacantha* (218,8) était dominant dans les haies vives, suivi de *Commiphora kerstingii* (85,7) dans les jardins de cases. En ce qui concerne le statut de conservation de l'UICN, environ 90% des espèces trouvées dans les SAF n'ont pas encore été évaluées pour leur statut



Les valeurs partageant une même lettre minuscule (entre les systèmes au sein de chaque pool) et ceux partageant une même lettre majuscule (entre les pools au sein de chaque système) ne sont pas significativement différentes ($p < 0,05$) ; moyenne \pm erreur standard, test LSD, $n = 37$

Figure 2: Stocks de carbone moyen des systèmes agroforestiers de la périphérie du Parc National de Bouba Ndjidda.

de conservation. *Vitellaria paradoxa*, que l'on trouve dans les jardins de cases et dans les plantations éparées, et *Khaya senegalensis*, que l'on trouve uniquement dans les plantations éparées, sont classés comme des espèces vulnérables, tandis que *Detarium microcarpum* et *Isobertinia doka* font partie de la catégorie des préoccupations mineures. La densité des arbres dans les SAF variait de 180 tiges/ha à 29 tiges/ha dans les haies vives et les plantations éparées, respectivement. Il n'y avait pas de différences significatives entre la densité des arbres dans les jachères, les jardins de cases et les plantations éparées, contrairement aux haies vives et aux autres SAF (test de Tukey, $p < 0,05$). *Vitellaria paradoxa* a montré l'UV la plus élevée et a été suivi par *Acacia polyacantha*, soulignant ainsi l'importance de ces espèces pour les communautés par rapport aux autres espèces. L'IIC le plus élevé a été enregistré pour *Anacardium occidentale* pour son approvisionnement alimentaire. La relation entre les SAF, les catégories et les types d'utilisation a révélé que dans les jachères, les ligneux étaient récoltés principalement pour le bois de chauffage (78,5%) et la nourriture (52,7%), tandis que dans les plantations éparées et les jardins de cases, la recherche d'ombre par le bétail et les humains était prioritaire, avec respectivement 92,2% et 78,3% des citations. Les préférences à conserver les espèces ligneuses varient d'un agriculteur à l'autre en fonction de l'utilisation.

R3. Stocks de carbone des systèmes agroforestiers de la zone périphérique du Parc National Bouba Ndjidda

Globalement au sein des SAF, les stocks de carbone suivent le gradient décroissant : sol > biomasse aérienne

ligneuse > biomasse racinaire > radicelles > litière > juvéniles et herbacées, sauf dans les HV où les stocks de carbone dans la biomasse aérienne ligneuse étaient plus élevés (figure 2).

En additionnant les valeurs moyennes des stocks de carbone de chaque pool et pour chacun des systèmes, les SAF de notre étude contiennent des stocks de carbone totaux de $31,9 \pm 7,3$ t C/ha ; $30,6 \pm 6,3$ t C/ha ; $28,3 \pm 3,7$ t C/ha ; et $26,9 \pm 4,9$ t C/ha respectivement pour les HV, les JC, les PE, et les JA. Cependant, dans l'ensemble il n'y avait pas de différence entre les stocks de carbone totaux des SAF étudiés. Les stocks de carbone du sol représentaient 31 à 59% du carbone total dans les SAF. En termes de paiement pour service environnementaux, les stocks de carbone totaux des SAF correspondent en termes de dioxyde de carbone (CO_2) évité dans l'atmosphère à 117,0 t/ha pour les HV, 112,3 t/ha pour les JC, 104 t/ha pour les PE et 98,7 t/ha pour les JA. La valeur financière des stocks de carbone des SAF va décroissante des HV (1170 \$ US/ha), JC (1 123 \$ US/ha), PE (1 040 \$ US/ha), et enfin les JA (987 \$ US/ha). Les espèces *Ficus glumosa* et *Acacia polyacantha* sont celles qui contribuaient le plus au stock de carbone soit respectivement 52% (7,1 t C/ha) et 1,6 t C/ha (12%).

6. Discussion

L'analyse spatio-temporelle de l'occupation des sols dans la PNB et sa périphérie a montré une régression des formations végétales naturelles de 13,4% (forêt claire, forêt galerie, forêt saxicole, savane arborée et savane herbeuse) en 26 ans au détriment de la couverture anthropique, à savoir les champs de culture, les sols nus et les infrastructures, dont la surface a été multipliée

par quatre. La recherche de nouvelles terres arables pour nourrir une population en perpétuelle croissance pourrait justifier l'augmentation au fil des ans des espaces anthropiques. Les effets combinés des facteurs démographiques, socio-économiques (agriculture, pâturages, récolte du bois énergie, feux de brousse, braconnage, etc.) et climatiques pourraient expliquer les changements observés. La dominance des Fabaceae peut s'expliquer par le fait que la famille possède des espèces taxonomiquement très diverses et aux usages multiples. Cela reflète l'importance de cette grande famille pour le bien-être des populations, mais cela pourrait aussi s'expliquer par la classification utilisée dans cette étude. Avec la classification APG III utilisée dans la présente étude, la famille Fabaceae comprend des taxons précédemment regroupés dans les familles Mimosaceae, Caesalpiniaceae et Fabaceae dans le système de classification traditionnel. Les différences observées entre les jachères, les jardins de cases et les plantations éparses en termes de paramètres de diversité pourraient s'expliquer par le niveau d'intervention humaine ainsi que par les pratiques agricoles utilisées dans chaque type de système. Ainsi, la diversité ligneuse plus élevée dans les jachères pourrait être liée à l'intervention humaine réduite qui aurait pu favoriser une meilleure régénération naturelle de certaines espèces, ajoutée à la préservation d'arbres sélectionnés pendant la dernière période de culture. La densité des arbres était plus élevée dans les haies vives et plus faible dans les plantations éparses. Cette densité élevée reflète le niveau de concurrence entre les arbres des haies vives pour l'accès à la lumière en raison de la situation géographique (zone soudano-sahélienne), mais aussi de l'activité humaine. Dans ce système, les agriculteurs intensifient délibérément la densité des tiges des arbres pour empêcher les animaux de pénétrer dans leurs exploitations. Ainsi, le choix des espèces d'arbres à inclure dans ce type de système dépend de leur statut compétitif. Les résultats de notre étude démontrent qu'au niveau épigé, les stocks de carbone des HV sont supérieurs à ceux des autres systèmes. Ceci pourrait s'expliquer en plus du fait que nous avons tenu compte des arbres dispersés sur l'espace alloué aux cultures, par la forte densité des tiges d'arbres au niveau de la haie. De plus les arbres dans les PE, les JC et les JA sont régulièrement émondés pour des besoins de fourrage ou de bois énergie, alors qu'au niveau de la haie vive, les tiges d'arbres doivent être maintenues serrées pour éviter les incursions du bétail. Au niveau hypogé, les stocks de carbone des JC étaient supérieurs à ceux des trois autres SAF. Les JC sont en effet des systèmes agroforestiers complexes, caractérisés par une diversité d'espèces, de structure et de mode de gestion. Les apports de fumure

organique et de compost dans ces systèmes comme le font fréquemment les paysans dans notre zone d'étude contribueraient à accroître la productivité primaire nette d'une part (Vandermeer, 1989) et la minéralisation d'autres parts et donc une plus grande restitution de matière organique notamment dans les 50 premiers cm du sol (Saha, 2008). Certains SAF constituent des réservoirs à carbone dont l'équivalent CO₂ peut être commercialisé dans un contexte de changements climatiques. Même si l'objectif premier de l'agriculteur n'est pas la vente du carbone, les bénéfices écologiques générés par les SAF à travers la commercialisation de l'équivalent CO₂ constituent un incitatif financier pour l'introduction ou l'intensification des arbres dans les pratiques agraires ou les SAF existants.

7. Recommandations

Développer des filières de transformation et commercialisation des produits forestiers non ligneux, notamment celui du karité (*Vitellaria paradoxa*) et de l'Anacarde (*Anacardium occidentale*). Cela passe par un encadrement accru et de proximité des agriculteurs, qui pourraient en plus des bénéfices productifs des SAF, améliorer leurs revenus dans le cadre des projets de Réduction des Emissions provenant du Déboisement et de la Dégradation des Forêts et ceux des paiements pour services environnementaux.

8. Conclusion

L'adoption et la pratique des SAF innovants et résilients, basés sur l'intensification des pratiques actuelles pourraient apporter une contribution essentielle à la gestion durable de cette AP. Pour être productifs, et rentables, les SAF devraient être écologiquement et économiquement intensifiés à travers la domestication des espèces socialement valorisées par les populations afin d'accroître leur diversité et leur densité en champ et ainsi augmenter leur production pour le bien-être des populations et la conservation du PNB. L'étude suggère que de tels systèmes soient promus et intensifiés pour accroître leur capacité à fournir lesdits services pour les systèmes socio-écologiques autour des aires protégées soudano-sahéliennes connues pour leur forte vulnérabilité à la pression anthropique.

Mots clés : *Dynamique spatio-temporelle ; Parc National de Bouba Ndjidda; Systèmes agroforestiers; Stocks de carbone; Changement climatique; Cameroun.*

Thèse de doctorat, soutenue par visioconférence le 18 novembre 2020, à l'Université Laval, Canada.