

POTENTIEL DE SEQUESTRATION DE CARBONE EN FORÊT CLASSÉE DE BÉKI (EST DE LA CÔTE D'IVOIRE)

Korotoum Brahima Koné

*Département de Géographie (LABORADDYS) Université Alassane Ouattara,
Bouaké, Côte d'Ivoire
konekorotoum61@yahoo.fr*

Bechi Grah Felix

*Professeur de Géographie, Département de Géographie (LABORADDYS)
Université Alassane Ouattara, Bouaké, Côte d'Ivoire*

Résumé

*Les réserves forestières de la forêt classée de Béki constituent un important puit de carbone donc un outil pour la lutte contre le changement climatique. Cette étude avait pour objectifs d'analyser la dynamique spatio-temporelle (2007 à 2022) du stock de carbone de la forêt de Béki et d'évaluer la valeur écologique 2022. Des relevés de surface ont été effectués dans 50 placettes (100 m*20 m) suivant un protocole d'inventaire forestier. Les paramètres dendrométriques récoltés ont permis l'estimation des stocks de carbone à partir d'équations allométriques. Les images Landsat de 2007, 2015 et 2022 à travers le NDVI ont été utilisées en combinaison aux données d'inventaire forestier pour la spatialisation des stocks de carbone. Les résultats révèlent que la forêt dense (140,57 t C/ha en 2007 à 139,9 t C/ha en 2022), la forêt dégradée (77,77 t C/ha en 2007 à 84,32 t C/ha en 2022) et les reboisements (140,57 t C/ha en 2007 à 139,9 t C/ha en 2022) constituent les principaux puits de carbone de la forêt classée de Béki. Ils détiennent en 2022, les plus importantes valeurs écologiques (1 376,18 à 711,004 \$/ha). Aussi, des zones forestières (forêts et reboisements) aux espaces cultivés (agroforesterie et zones agricoles), le stock de carbone régresse, il en est de même pour la valeur écologique. La distribution spatiale du carbone montre les plus importants stocks de carbone au Nord et à l'Est tandis que les taux de carbone les plus faibles sont à l'Ouest, au Centre et au Sud la forêt classée.*

Mots clés : Forêt classée de Béki, carbone, valeur écologique.

Abstract

*The forest reserves of the Béki classified forest represent an important carbon sink and therefore a tool for combating climate change. The objectives of this study were to analyze the spatio-temporal dynamics (2007 to 2022) of the carbon stock of the Béki forest and to assess its ecological value in 2022. Surface surveys were carried out in 50 plots (100 m*20 m) following a forest inventory protocol. The dendrometric parameters collected were used to estimate carbon stocks using allometric equations. Landsat images from 2007, 2015 and 2022 through NDVI were used in combination with forest inventory data to spatialize carbon stocks. The results show that dense forest (140.57 t C/ha in 2007 to 139.9 t C/ha in 2022), degraded forest (77.77 t C/ha in 2007 to 84.32 t C/ha in 2022) and reforestation (140.57 t C/ha*

in 2007 to 139.9 t C/ha in 2022) are the main carbon sinks in the Béki classified forest. In 2022, they will have the highest ecological values (\$1,376.18 to \$711.004/ha). Also, from forested areas (forest and reforestation) to cultivated areas (agroforestry and agricultural areas), the carbon stock is declining, as is the ecological value. The spatial distribution of carbon shows the highest carbon stocks in the north and east, while the lowest carbon levels are found in the west, center and south of the classified forest.

Key words: *Béki classified forest, carbon, ecological value.*

Introduction

Les forêts tropicales constituent 80 % des forêts tropicales de la planète, abritent les deux tiers de la biodiversité terrestre et assurent la subsistance à plus d'un milliard de personnes (N'Zala, 2010 : 2). Selon l'Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture (FAO), « les forêts tropicales produisent une variété de services écosystémiques nécessaire à la vie sur terre » (FAO et al, 2003 :5). Les forêts sont des réservoirs naturels de carbone grâce à leur capacité à absorber et à stocker le dioxyde de carbone, un gaz à effet de serre contribuant au changement climatique. En dépit de leur importance, les réserves forestières tropicales sont modifiées ou complètement détruites pour répondre aux besoins socio-économiques des êtres humains (N'Guessan, 2018 :2). La déforestation, la dégradation et le changement d'affectation des terres dans les forêts tropicales, contribueraient à environ 20 % des émissions annuelles globales des gaz à effet de serre (IPCC, 2007 : 155). Face à cette situation alarmante, « la conservation des forêts constitue une priorité absolue et un enjeu majeur pour l'humanité » (N'Dja, 2017 : 11301). Cela se traduit par la signature de plusieurs accords, des conférences et conventions comme la Convention Cadre des Nations Unies pour les Changements Climatiques (CCNUCC) (Pascal et al., 2015 : 5).

La forêt ivoirienne étant considérée comme l'une des plus importantes réserves de biodiversité mondiale (N'Dja, 2017 : 11301), le pays s'est très tôt engagé dans la protection de son patrimoine forestier. Il est parvenu à mettre en place un important réseau de forêts classées et aires protégées (parcs et réserves). De plus, différentes stratégies et mécanismes ont été mis en place afin de protéger ces espaces qui subissent la pression des activités humaines illégales notamment les forêts classées. Toutefois, le constat montre que la Côte d'Ivoire a subi une diminution de 53 % de son patrimoine forestier classé entre 2000 (1 585 642 ha) et 2015 (844 950 ha) » (MINEF, 2017 : 8). Afin de relever le défi de la conservation et

de la gestion durable des forêts classées, les pouvoirs publics ivoiriens ont affirmé la nécessité de l'apport (financier, matériel et technique) d'opérateurs privés dans le processus de gestion durable du patrimoine forestier à travers la décision n°00471/MINEF du 10 septembre 2003 (SITRANBOIS et *al.*, 2016 : 42). Suite à cette décision, les industries de bois ont démontré un vif intérêt à apporter leur contribution à la gestion des forêts classées. En 2003, la première convention de partenariat concernant la forêt classée de Besso est scellée entre Ministère des Eaux et Forêts (MINEFOR) et l'Industrie de Promotion du Bois (INPROBOIS) (Chevalier, 2018 : 43). L'engagement de INPROBOIS a contribué à améliorer la qualité de conservation de la forêt classée de Besso. Depuis, de nombreux autres accords de partenariat ont été conclus, dont celui relatif à la forêt classée de Béki, objet d'étude du présent article. Dégradée à plus de 50 % de sa superficie (16 215) au début des années 2000, la forêt classée de Béki est en convention de partenariat avec la Société Ivoirienne de Transformation du Bois (SITRANBOIS) depuis le début des années 2007 (SITRANBOIS et *al.*, 2016 : 50). Dès lors, la question principale est de savoir quel est l'influence de la gestion conjointe SODEFOR-SITRANBOIS sur la couverture forestière de la forêt classée de Béki ? L'objectif de cette étude est d'évaluer la gestion mise en œuvre par SODEFOR-SITRANBOIS à travers l'analyse de la dynamique spatio-temporelle du carbone stocké dans la forêt classée de Béki de 2007 à 2022 et de la valeur écologique de ce carbone sur le marché du carbone. Face aux enjeux climatiques, cette forêt classée pourrait constituer un enjeu pour les projets du mécanisme de Réduction des émissions dues à la déforestation et à la dégradation des forêts au renforcement des stocks de Carbone (REDD+).

1. Milieu d'étude

Géographiquement, la forêt classée de Béki (FCB) se localise entre les méridiens 3°38'15" et 3°38'30" de longitude Ouest et les parallèles 6°30'45" et 6°39'45" de latitude Nord (figure 1). Elle se situe à l'Est de la Côte d'Ivoire dans la région de l'Indénié-Djuablin.

Figure 1 : Localisation de la forêt classée de Béki



La FCB est à cheval entre les sous-préfectures d’Aniassué et d’Abengourou dans le département d’Abengourou. Elle est à moins de 10 km de la ville d’Abengourou et son dernier texte de classement est l’arrêté n° 42/MINEFOR/DDAR du 23 janvier 1976 (SITRANBOIS et *al.*, 2016 : 39). Elle couvre une superficie de 16 215 ha, repose sur un sol ferrallitique fortement désaturé (Arnaud, 1971 : 53) et présente un relief de bas-plateau dont l’altitude varie entre 114 m et 264 m. La FCB est arrosée par un réseau hydrographique dense dominé par des cours d’eau secondaires. La rivière Béki est le principal cours d’eau et il constitue la limite Nord-Ouest de la forêt classée. Aussi, la FCB est influencée par un climat subéquatorial attién marqué par la succession de quatre saisons (deux saisons de pluie et deux saisons sèches). La pluviométrie moyenne annuelle est de 1 369 mm et la température moyenne annuelle de 27 °C. Bien que logée dans le secteur mésophile du territoire guinéen caractérisée par la présence de forêts denses et humides semi-décidues (Eldin, 1971 :101), la FCB renferme également d’autres types de formations végétales abritant une faune variée. Quant à la flore, elle est riche de 143 espèces ligneuses. Soucieux de sauvegarder la forêt classée de Béki, celle-ci fait l’objet d’un partenariat de Gestion entre la

SODEFOR et la SITRANBOIS. Ce partenariat a débuté en 2007 et s'est consolidé en 2014 par la signature d'une convention de partenariat définitif sous le numéro 05102-14/DG/DT le 22 juillet 2014 pour une durée de 25 ans (SITRANBOIS et *al.*, 2016 : 42).

2. Matériels et méthodes

2.1. Matériel

Le matériel utilisé dans cette étude comprend le Global Positioning System (GPS), les logiciels DNRGPS Rstudio, ArcGIS et XLSTAT. Spécifiquement, pour l'inventaire forestier de la forêt classée de Béki, le matériel était constitué de machettes, un décamètre de 50 m (mesure des contours des placettes), un ruban dendrométrique (mesure de la circonférence des espèces ligneuses), des ficelles en nylon de couleur jaune (utilisées pour délimiter des placeaux) et une perche graduée (5 m de hauteur) pour estimer la hauteur des arbres, des fiches de collecte de données (pour les prises de notes), un stylo, des bottes et un appareil photographique.

2.2. Méthode pour la cartographie de la variabilité spatio-temporelle du carbone

2.2.1. Méthode de collecte des données

En vue de cartographie le carbone stocké dans les unités paysagères de la forêt classée de Béki (FCB) en 2022, un inventaire forestier a été réalisée à l'aide de la méthode d'inventaire ponctuel via des relevés de surface. En zone tropicale, la méthode des relevés de surface est fréquemment utilisée pour les inventaires forestiers (Kouakou, 2018 : 53). Celui de la forêt classée de Béki a été réalisé suivant l'échantillonnage statistique terrestre sur la base d'une grille de 2 km*2 km basée sur la projection « UTM » Zone 30 N de l'ellipsoïde de référence WGS 1984. Les centroïdes de chaque rectangle de la maille sont reliées par des layons virtuels (8 layons). Les unités d'échantillonnage de type placette de dimension 100 m*20 m (2 000 m²) ont été disposées dans chaque rectangle de la maille et suivant le tracé des layons virtuels. Au total, ce sont 50 placettes non-permanentes et distantes de 1,5 km ont été identifiées. Elles couvrent toutes les 5 unités de végétation (10 placettes

en forêt dense, 14 placettes en forêt dégradée, 11 placettes dans les reboisements, 7 placettes en zones agroforestières et 8 placettes en zones agricoles) qui composent l'espace de la FCB. Un inventaire systématique de tous les ligneux dont le diamètre à hauteur de poitrine (DBH) est supérieur ou égal à 2,5 cm ont été pris en compte. Les données recueillies sur chaque ligneux sont : le nom vernaculaire et nom latin, le diamètre, la circonférence et la hauteur totale. En ce qui concerne la cartographie du carbone de la forêt classée de Béki en 2015 et 2007, les images satellitaires de type Landsat (Landsat ETM+ et OLI) de la scène 196-56 ont été couplées aux données de terrain afin de déterminer au préalable la biomasse végétale puis le carbone. Ces images Landsat de 30 m de résolution spatiale dans le visible et le proche infrarouge, ont été obtenues sur le site [http : //earthexplorer.usgs.gov/](http://earthexplorer.usgs.gov/) de l'United States Geological Survey (USGS).

2.3. Analyse des données collectées

2.3.1. Estimation du stock de carbone en 2022 à partir de mesure directe sur le terrain

La biomasse désigne la quantité ou masse totale de matière vivante des espèces présentes dans un milieu donné (Tayo, 2014 :27). La biomasse totale (B_T) est la somme de la biomasse aérienne (B_a) et de la biomasse souterraine (B_r) de l'ensemble des individus inventoriés (Djaouga et *al.*, 2021 : 4). L'équation allométrique pantropicale à trois prédicteurs (diamètre, hauteur totale et densité du bois) a été utilisé pour l'estimation de la biomasse aérienne des ligneux (Chave et *al.*, 2014 : 3180). La formule mathématique est la suivante : $B_a = 0,0673 \times (D^2 \text{ HWD}) 0,976$. D est le Diamètre du tronc à hauteur de poitrine en cm, H correspond à la Hauteur de l'arbre (en m) WD à la Densité spécifique du bois (g/cm^3). Quant à la biomasse souterraine (B_r), elle représente 24 % (0,24) de la biomasse aérienne, d'où la formule : $B_r = B_a * 0,24$ (GIEC, 2006 : 48). Tous les calculs ont été exécutés dans le logiciel Rstudio 3.5.1. Avec le logiciel XLSTAT, les données ont été regroupées afin de déterminer la biomasse pour chacune des placettes inventoriées, puis elles ont été regroupées en fonction du type d'unité de végétation afin de déterminer la biomasse moyenne pour chacune des 5 des unités de végétation.

La quantité de carbone séquestrée dans la biomasse est estimée à 50 % selon les recommandations du Groupe Intergouvernemental d'Experts sur l'Évolution du Climat (GIEC, 2003 : 302). Par conséquent, le stock de carbone est lié à la biomasse par la relation mathématique suivante : $C = CF * B_T$ où C est le stock de carbone, B_T représente la biomasse totale et CF est le facteur de conversion (0,5). Le carbone est libéré sous forme de molécule de dioxyde de Carbone (CO_2). L'équivalent CO_2 de la quantité de carbone a été calculé en multipliant le stock de carbone par le facteur de conversion 3,67. Il correspond au rapport moléculaire du dioxyde de carbone (44 g) et du carbone (12 g). La formule mathématique est : $CO_2 = C * (M_{CO_2} / M_C)$. Dans cette formule, CO_2 est la quantité de de dioxyde de Carbone, C est le carbone, M_{CO_2} est la masse molaire du CO_2 et M_C est la masse molaire du carbone.

2.3.2. Estimation du stock de carbone en 2007 et 2015 à partir d'images satellitaires Landsat

La démarche consiste à construire un modèle en croisant des données de télédétection et des observations de terrain, le but étant ensuite d'utiliser ce modèle pour prédire les quantités de carbone stocké à partir des seules données de télédétection. Un grand nombre d'études ont révélé la capacité de la végétation à réfléchir la lumière dans les domaines du visible et du proche infrarouge (Aitouda, 2012 : 3). Par conséquent, les indices de végétation dont le NDVI (Indice de Différence Normalisé de Végétation) rend compte de la présence ou non du couvert végétal, mais surtout de leur état de santé. Les valeurs du NDVI ont été extraites des images satellitaires Landsat de 2002, 2015 et 2007. La biomasse calculée en 2002 a servi de base pour la construction du modèle de prédiction de la biomasse en 2007 et 2017. Le NDVI a été utilisé comme variable explicative prédictive. Aussi, sur un total de 50 placettes inventoriées en 2002, 76 % (38 placettes) ont été utilisés pour la construction, la calibration du modèle et 24 % (12 placettes) ont permis de valider le modèle puissance. Au terme des opérations effectuées dans le logiciel XLSTAT, le modèle de prédiction est : $Y = 596,02 * X^{6,4876}$ avec Y correspondant à la biomasse et X aux valeurs du NDVI. Les résultats sont statistiquement satisfaisants, car le pouvoir explicatif du modèle de prédiction de la biomasse forestière en fonction du NDVI est de 70 % ($R^2=0,70$; $p=5*10^{-3}$). Le modèle a donc été appliqué aux valeurs du NDVI de 2007 et 2015 afin d'estimer la quantité de biomasse, le stock

de carbone et l'équivalent CO₂. Les données ont fait l'objet d'analyse statistique à savoir l'analyse de la variance (ANOVA).

2.3.3. Cartographie de la variabilité spatio-temporelle du carbone de 2007 à 2022

Les images satellitaires ont été traitées de sorte à en extraire les données sur les 5 types d'occupation du sol en présence dans la forêt classée de Béki. Cette opération s'est étendue à l'ensemble du jeu de données des images satellitaires (2007, 2015 et 2022). Les résultats de ces traitements ont été joints aux données de carbone de 2007, 2015 et 2022. La dernière étape du travail a consisté à dériver de toutes ces données une cartographie des stocks de carbone de la forêt classée de Béki en 2007, 2015 et 2022. Toutes les analyses ont été effectuées à partir des outils de "Data Management Tools" et "Spatial Analyst" du logiciel ArcGIS 10.5. La mise en page cartographique a été réalisée avec le même logiciel.

3. Résultats

3.1. Variabilité spatio-temporelle du stock de carbone dans les unités de végétation de 2007 à 2022

L'analyse du stock moyen de carbone dans les unités de végétation (forêt dense, forêt dégradée, reboisement, agroforesterie, zone agricole) de la forêt classée de Béki (FCB) met en évidence une dynamique à deux échelles : l'échelle temporelle et l'échelle spatiale (figures 2, 3 et 4).

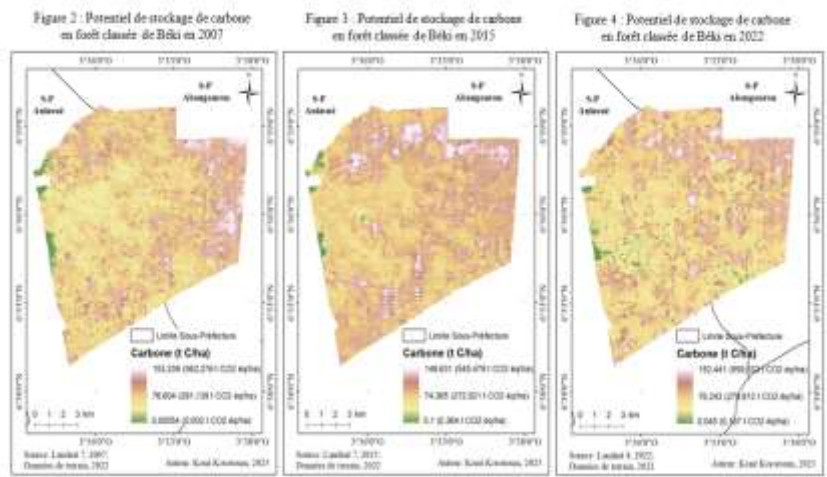
L'examen de la cartographie du carbone (figures 2, 3 et 4), indique qu'en 2007, la majorité du stock moyen de carbone de la forêt dense (140,57 t C/ha) se localise à l'Est, dans une moindre mesure au Centre-Est, au Sud et au Nord-Ouest de la forêt classée de Béki. Cependant, en 2015, la situation est complètement différente. Le stock de carbone de la forêt dense a connu une perte annuelle moyenne de 0,37 % entre 2007 et 2015, soit une perte de 4,19 tonnes de carbone par hectare. Le taux moyen de stockage de carbone régresse de 140,57 t C/ha à 136,38 t C/ha. Ce nouveau potentiel de séquestration de carbone est principalement concentré au Nord, moyennement au Sud, au Centre-Est et à l'Est de la forêt classée. Néanmoins, entre 2015-2022, la forêt dense récupère peu à peu et se maintient en qualité de principal réservoir de carbone de la forêt classée de Béki avec une capacité de stockage moyen de 139,9 tonnes de carbone à l'hectare en 2022. Elle a connu une augmentation moyenne

annuelle de 0,36 % de sa capacité, soit un gain global de 3,53 t C/ha. Malgré des fluctuations, le stock de carbone de la forêt dense moyen reste considérablement supérieur à celui des deux autres réservoirs de carbone les plus importants de la forêt classée de Béki, à savoir la forêt dégradée et le reboisement. De 2007 à 2015, puis de 2015 à 2022, le potentiel de séquestration carbone de la forêt dégradée, des reboisements et de l'agroforesterie a augmenté progressivement. En ce qui concerne les cultures agricoles, même si elles séquestrent du carbone, leur capacité est en baisse. En effet, la quantité moyenne de carbone stockée dans la biomasse forestière dégradée est passée de 77,77 t C/ha en 2007 à 81,54 t C/ha en 2015 avant d'atteindre 84,32 t C/ha en 2022. Le potentiel de captage carbone en forêt dégradée a crû de 0,59 % par an entre 2007 et 2015, contre 0,48 % entre 2015 et 2022. Ces différentes augmentations représentent des gains de 3,77 t C/ha entre 2007-2015 et de 2,78 t C/ha entre 2015 et 2022. La capacité carbone de la forêt dégradée a été observée dans toute la forêt classée de Béki au cours des différentes années (2007, 2015, 2022).

En 2007, les reboisements du Nord et quelques plantations forestières isolées du Centre-Est, du Sud et de l'Ouest ont accumulé en moyenne 67,19 t C/ha. Bien que la localisation des zones de reboisement de 2015 soit restée identique à celles de 2007, la quantité de carbone était à 69,22 t C/ha. Entre 2007 et 2015, le carbone moyen emmagasiné dans la biomasse des reboisements a connu une hausse annuelle de 0,37 % en moyenne par hectare contre 0,62 % entre 2015-2022. En conséquence, le potentiel carbone en zone reboisé a augmenté de 2,03 t C/ha en 8 ans (2007-2015) tandis qu'il est passé à 3,06 t C/ha entre 2015 et 2022. Par conséquent, en 2022, en plus des vastes zones de reboisement au Nord de la forêt classée de Béki, les parcelles de reboisement se sont densifiées à l'Ouest, au Sud, à l'Est-Sud et, dans une moindre mesure, au Centre avec des stocks de 72,28 t C/ha.

En ce qui concerne les parcelles agroforestières, en 2007 et 2015, elles se localisent principalement au Centre de la forêt classée de Béki. Leur potentiel carbone a augmenté de 0,73 % par an et par hectare, une hausse globale de 3,29 tonnes de carbone par hectare entre 2007-2015. Cette capacité continue de croître, de sorte à atteindre une hausse moyenne de 0,87 % par hectare par an correspondant à 3,66 t C/ha de 2015 à 2022. Aussi, en plus de la zone Centre, en 2022, les zones d'agroforesterie s'étendent au Sud de la forêt classée de Béki.

Les zones les plus denses en parcelles agricoles tendent en 2007, en 2015 et 2022 sont l'Ouest, le Centre et le Sud de la forêt classée de Béki avec un stock de carbone de 54,23 t C/ha en 2007 à 49,72 t C/ha en 2022. De 2007 à 2015, il y a eu une baisse annuelle moyenne de -0,42 % par hectare, une perte moyenne totale de -1,79 tonnes de Carbone à l'hectare. Quant à la période, 2015-2022, le stock de carbone en zones agricoles a été réduit de -0,76 % par hectare donc -2,72 t C/ha en 7 ans. En conclusion, de 2007 à 2022, la forêt dense, la forêt dégradée et le reboisement sont et demeurent les trois puits de carbone les plus importants de la forêt classée de Béki.



3.2. Valeur écologique du carbone stocké dans les unités de végétation

Les forêts ont une double fonction, elles constituent à la fois une cause et une solution aux changements climatiques (Bruneau, 2017 : 4). En effet, grâce à la photosynthèse, les forêts ont la capacité de stocker le carbone au cours de leur croissance et elles en libèrent lorsqu'elles sont dégradées ou totalement détruites. Le carbone séquestré est alors libéré sous sa forme gazeuse à savoir le dioxyde de carbone (CO₂). Face à l'amenuisement progressif des réservoirs de carbone et son corollaire de conséquences, différents mécanismes dont celui du REDD+ ont été

développés en vue de réduire et/ou de contrôler les sources anthropiques d'émissions de Gaz à effet de serre. Ce mécanisme parmi tant d'autres accorde une valeur écologique au carbone. Celle-ci correspond à la somme qui résulterait, de la vente du carbone séquestré par les arbres sur les marchés de carbone (Goy et *al.*, 2022 : 6). La tonne équivalente de CO₂ est la monnaie d'échange sur le marché du Carbone (Adingra et *al.*, 2016 : 368).

Dans le cadre de la REDD+, le prix moyen de le tonne équivalent de CO₂ (t éq CO₂) est de 2,68 \$ / t éq CO₂ soit 1 590 franc CFA/ t éq CO₂ (Care, 2021 : 10-78). La forêt dense étant le plus important réservoir de carbone de la forêt classée de Béki, elle possède de ce fait la plus grande valeur écologique. Celle-ci est estimée à 1 376,18 \$/ha soit 816 465 franc FCA/ha. Les quelques espaces et îlots de forêt dense qu'abritent encore la forêt classée permettent d'éviter l'émission de 513,5 t éq CO₂/ha. Pour la forêt dégradée et les reboisements, cette capacité vaut pour chacun 309,5 t éq CO₂/ha et 265,3 t éq CO₂/ha pour des valeurs écologiques respectives de 829,46 \$/ha (492 105 franc FCA/ha) et 711,004 \$/ha (421 827 franc FCA/ha). Concernant l'agroforesterie, bien qu'elle présente un potentiel de séquestration de carbone bas comparativement aux forêts et reboisement, elle a tout de même une valeur écologique assez attrayante. Effectivement, en zones agroforestières, chaque hectare représente 606, 484 \$/ha (359 817 franc FCA/ha). La plus faible valeur écologique enregistrée en forêt classée de Béki s'observe en zones agricoles avec 489,1 \$/ha (290 175 franc FCA/ha). Plus la capacité de stockage de carbone d'un milieu est élevée et plus sa valeur écologique est importante.

4. Discussion

4.1. Variation spatio-temporelle de la capacité de stockage de carbone dans les unités de végétation

La présente recherche a permis de révéler le potentiel carbone de la forêt classée de Béki (FCB).

Le potentiel moyen de séquestration carbone de cette forêt classée varie à la fois à l'échelle spatiale et à l'échelle temporelle. De toutes les unités de végétation de la FCB, c'est la forêt dense qui concentre les plus importants taux de carbone. Avec une variation spatiale plus ou moins statique, les taux de carbone en 2007 et 2015 (140,57 t C/ha et 136,38 t

C/ha) se localisaient globalement à l'Est, au Centre-Est, au Sud et au Nord-Ouest de la FCB dans les milieux de forêt dense. Mais entre 2007-2015, la forêt dense a perdu 4,19 tonnes de carbone par hectare. Cette situation était due aux difficultés (matériels, techniques, humains et financiers) de la SODEFOR à assurer pleinement la protection de FCB. Toutefois, avec l'amplification des actions de surveillance et d'aménagement dans le cadre du partenariat définitif entre SODEFOR-SITRANBOIS, la capacité de carbone de la forêt dense a été rehaussée à 139,9 t C/ha. Toutefois, bien que la forêt dense soit le principal réservoir de carbone de la FCB, sa capacité de stockage de carbone reste inférieure à celles d'autres forêts classées. En effet, située à moins de trois km de la ville d'Agboville, la forêt classée de Bamo indique un potentiel de 1335,25 t C /ha dans ses milieux de forêts (Adingra *et al.*, 2016 : 370). Mais comparativement à la forêt classée d'Anguédedou qui séquestre 11,2 t C /ha dans les zones de forêt dense (Koffi *et al.*, 2020 :1762), celle de la FCB est plus de 10 fois supérieure. Néanmoins, les zones de forêt dense de la FCB ne sont pas des forêts primaires et elles ont subi la pression des activités humaines illégale notamment l'agriculture. Les riverains ont donc continué à exercer clandestinement leurs activités (agriculture, etc.) en FCB dégradant ainsi le couvert forestier dense. La biomasse des forêts denses est inévitablement affectée par cette situation, d'où la régression du stock de carbone (Mba *et al.*, 2021 : 228). Ainsi, son potentiel carbone ne peut atteindre celle de la forêt primaire qui est 275 t C /ha (Nolte *et al.*, 2001 : 58).

Depuis l'entame du partenariat de gestion entre la SODEFOR et la SITRANBOIS, la FCB bénéficie d'une meilleure surveillance et d'une gestion plus adéquate. Par conséquent, de 2007 à 2022, le potentiel de séquestration carbone de la forêt dégradée, des reboisements et de l'agroforesterie a augmenté.

La quantité moyenne de carbone stockée dans la biomasse forestière dégradée est passée de 77,77 t C/ha en 2007 à 81,54 t C/ha en 2015 avant d'atteindre 84,32 t C/ha en 2022, donc une hausse de 3,77 t C/ha entre 2007-2015 et de 2,78 t C/ha entre 2015 et 2022. La capacité carbone de la forêt dégradée a été observée dans toute la forêt classée de Béki au cours des différentes années (2007, 2015, 2022). Le carbone emmagasiné dans les reboisements a augmenté de 2,03 t C/ha en 8 ans entre 2007-2015 à 3,06 t C/ha de 2015 à 2022 passant ainsi de 67,19 t C/ha en 2007 à 72,28 t C/ha en 2022.

La productivité accrue des essences à croissance rapide a contribué à l'augmentation des stocks de carbone dans la biomasse des reboisements (Koffi et al, 2020, p. 1764). En 2007, les reboisements s'observaient au Nord et il y avait quelques plantations forestières isolées du Centre-Est, du Sud et de l'Ouest. Bien cette localisation des reboisements soit restée intacte en 2015, le carbone stocké est passée à 69,22 t C/ha. Les reboisements de la FCB ont bénéficié d'un suivi, d'une protection améliorée et d'un décuplement de leur superficie grâce aux efforts des gestionnaires (SODEFOR-SITRANBOIS). Par conséquent, en 2022, en plus des autres localisations, les parcelles de reboisement se sont densifiées à l'Ouest, au Sud, à l'Est-Sud et, dans une moindre mesure, au Centre.

De nombreux travaux ont démontré que les parcelles agroforestières contribuent à réduire le changement climatique, car elles séquestrent du carbone (Tayo, 2014 : 91 ; Peltier et al., 2007). Le potentiel de séquestration de carbone des espaces agroforestiers de la FCB s'estimait à 57,99 t C/ha en 2015 contre 54,7 t C/ha en 2007, un gain annuel de 3,29 tonnes de carbone par hectare entre 2007-2015.

Cette capacité continue de croître, de sorte à atteindre 61,65 t C/ha, soit 226,28 t CO₂ éq/ha en 2022. Entre 2015-2022, la hausse moyenne du potentiel carbone de l'agroforesterie était de 3,66 t C/ha. En ce qui concerne sa répartition géographique, le potentiel carbone agroforestier s'observe principalement au Centre de la forêt classée de Béki entre 2007 et 2015, tandis qu'en 2022, il est également présent au Centre et au Sud de la forêt. La capacité carbone de l'agroforesterie de la FCB est supérieure à celle estimée dans les systèmes agroforestiers (32,62 t C/ha) composés de Karité et de Néré en zone soudanienne au Bénin (Saïdou et al., 2012 : 5). Cette différence et l'amélioration de la séquestration carbone des agrosystèmes de la FCB est certainement liée à l'introduction d'essences forestières à croissance rapide dans les parcelles agricoles. Aussi, il faut noter une importante adhésion des chefs d'exploitation agricole à la pratique de l'agroforesterie. Cette situation impacte considérablement les zones agricoles. Effectivement, celles-ci voient leur superficie réduite et avec le vieillissent des vergers, le stockage du carbone diminue (54,23 t C/ha en 2007 à 49,72 t C/ha en 2022). L'emprise spatiale des zones agricoles à l'Ouest, au Centre et au Sud de la FCB diminue considérablement au fil des périodes.

La biomasse forestière varie suivant les unités de végétation de la forêt classée de Béki (FCB). Ce faisant, peu importe l'année considérée (2007, 2015, 2022), la plus grande quantité de carbone est enregistrée dans la forêt dense, tandis que les valeurs les plus faibles s'observent dans les zones agricoles. Le stockage de carbone évolue donc suivant un gradient décroissant des formations naturelles plus stables vers celles perturbées et totalement transformées. Des observations similaires ont été faites par plusieurs auteurs (Ouedraogo et *al.*, 2019 : 3280 ; Le Clec'H, 2012, p.15 ; Sabi-Orou-Bogo et *al.*, 2017 : 35 ; Moumouni et *al.*, 2017 : 15). La biomasse forestière et le stock de carbone dépendent de plusieurs facteurs qui sont entre autres la qualité (richesse spécifique), la quantité et la contribution des individus de gros diamètre (Joosten et *al.*, 2004 : 90 ; Amougou et *al.*, 2016 : 30).

4.2. Valeur écologique du carbone stocké dans les unités de végétation

Les valeurs écologiques des différentes unités de végétation de la forêt classée de Béki (FCB) sont relativement importantes. Dans ce contexte de lutte contre le changement climatique, de nombreux travaux sont menés afin d'enrichir les connaissances et d'accéder aux capitaux financiers du marché carbone. Il s'agit entre autres des travaux de Peltier et *al.*, (2007) dans les parcs à karité du Nord-Cameroun, de Traoré et *al.*, (2004) au Mali, de Adingra et *al.*, (2016) en forêt classée de Bama en Côte d'Ivoire, de N'Guessan (2018) dans la forêt classée d'Agbo 1 (Côte d'Ivoire) ainsi que de Koffi et *al.*, (2020), dans la forêt classée d'Anguédédou (Côte d'Ivoire).

Ces études permettent de guider les gestionnaires afin d'établir des stratégies pour améliorer davantage le potentiel de séquestration de carbone des forêts et celles des forêts classées en particulier.

Conclusion

La forêt classée de Béki possède un patrimoine forestier qui se reconstitue progressivement depuis. Ces différentes formations végétales (forêt dense moyen, forêt dégradée, reboisement, agroforesterie, culture) ont un potentiel de séquestration du carbone qui évolue au fil des années. Toutefois, pour toutes les années confondues, la forêt dense moyen, la forêt dégradée et les reboisements représentent les trois principaux puits

de carbone de la forêt classée de Béki. En 2022, ces milieux ont respectivement un potentiel de 139,91 t C/ha (513,48 t CO₂ éq/ha) ; 84,32 t C/ha (309,47 t CO₂ éq/ha) et 72,28 t C/ha (265,27 t CO₂ éq/ha). Ces différentes potentialités ont une importante valeur économique sur le marché carbone. Pour les gestionnaires de la FCB, accéder à la finance carbone serait une manne financière supplémentaire pour accroître leurs actions de conservation, de restauration et d'extension de la couverture forestière.

Références bibliographiques

Adingra Odette Marie, Anobla et N'Dja Kassi Justin (2016), « Dynamique de la végétation de Bamo et stocks de carbone dans la mosaïque de végétation », In *European Scientific Journal*, Vol 12, n° 18, pp. 359-374.

Aitouda Hanane (2012), « *Estimation des variables biophysiques des cultures et étude de l'effet du changement d'échelle sur leur variabilité spatiale* », Mémoire en Ressources Renouvelables, Université du Québec à Chicoutimi, 128 p.

Amougou Joseph Armathé, Bembong Ebokona Lucas Dominique, Batha Romain Armand Soleil, Mala Armand William et Ngono Hortense (2016), « Estimation du stock de carbone dans deux unités de terre en zone de savane du Cameroun », In *Revue de Géographie, d'Aménagement Régional et du Développement des Suds, Regardsuds*, Vol 2, n°2, pp. 28-45.

Arnaud (1971), *Atlas de la Côte d'Ivoire*, Abidjan, Côte d'Ivoire, 150 p.

Bruneau Stéphanie (2017), « *Analyse descriptive de l'évolution du mécanisme de réduction des émissions liées à la déforestation et à la dégradation des forêts (REDD+): les portées et les limites* », Mémoire en Maîtrise en environnement, Centre universitaire de formation en environnement et développement durable, Université de Sherbrooke, 131 p.

CARE Impact (2021), « Etude comparée des standards de compensation existants. Evaluation des critères pertinents de sélection des standards et projets pour la mise en œuvre de l'article 147 de la loi Climat et Résilience », France, Direction Générale de l'Energie et du Climat, Ministère de la Transition Energétique de France, 86 p.

Chave, Rejou-Mechain, M., Burquez, A., Chidumayo, E., Colgan, M.S., Delitti, W.B.C., Duque, 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., Pelissier, R., Ploton, P., Ryan, C.M., Saldarriaga, J.G. et Vieilledent (2014), « Improved allometric models to estimate the aboveground biomass of tropical trees », In *Global Change Biology*, Vol 20, n°20, pp. 3177-3190.

Chevalier Jean François (2018), « Etude de Capitalisation des Acquis de l'Expérience en Plantations de Bois d'Œuvre en Côte d'Ivoire », Rapport d'étude de l'Association Technique Internationale des Bois Tropicaux (ATIBT), Abidjan, Côte d'Ivoire, 60 p.

Djaouga Mama, Karimou Soufiyanou et Arouna Ousséni, Zakari Soufouyane, Orou Matilo Augustin, Toko Imorou Ismaïla, Yabi Ibouaïma, Djego Julien, Thomas Omer, Houssou Christophe (2021), « Cartographie de la biomasse forestière et évaluation du carbone séquestré dans la forêt classée de l'Ouémé supérieur au Centre- Bénin », In *International Journal of Biological Chemical Sciences*, Vol 15, n° 6, pp. 2388-2401.

Eldin Michel (1971), « Le milieu naturel de la cote d'ivoire », In *Mémoires Office de la Recherche Scientifique et Technique d'Outre-Mer (ORSTOM)*, Vol 5, n°50, pp. 101-105

Goy Saradoum, Temgoua Lucie Félicité, Osee Mbaidje Mbaïakambeye, Silatsa Brice Frabcis Tedou et Allaissem Behimnan (2022), « Estimation du potentiel de séquestration de carbone des aires protégées : cas de la Forêt Classée de Djoli-Kera, Tchad », In *VertigO la revue électronique en sciences de l'environnement*, n° 5, 18p.

Groupe Intergouvernemental Evaluation du Climat (GIEC) (2003), *Good Practice Guidance for Land Use, Land-use Change and Forestry (LULUCF)*, Institute for Global Environment Strategies (IGES) for ICP. Kamiyamaguchi, Hayama, Kanaga. Japan. 590 p.

Groupe Intergouvernemental Evaluation du Climat (GIEC) (2006), « Guide pour l'inventaire national des gaz à effet de serre ; agriculture, foresterie et autre usage des terres », In *Institute for Global Environmental Strategies*, Vol 4, n°4, pp. 46-52.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2007), « Impacts, Adaptation and Vulnerability Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the IPCC », 987 p.

Joosten Rainer, Schumacher Jens, Wirth Christian et Schulte Andreas (2004), « Evaluating tree carbon predictions for beech (*Fagus*

sylvatica L.) in western Germany », In *Forest Ecology And Management*, Vol 189, n°1-3, pp. 87- 96.

Koffi Kan Emile, Ettien Dadja Zénobe et Anogbro Pascale (2020), « Forêt classée d'Anguédédou, un potentiel de Stock de carbone en déclin à Abidjan (Côte D'Ivoire) », In *Journal Africain de Communication Scientifique et Technologique*, Vol 1, n°1, pp. 1751-1767.

Kouakou Kouassi Apollinaire (2018), « *Disponibilité et vulnérabilité des espèces sources de produits forestiers non ligneux d'origine végétale de la forêt classée du Haut-Sassandra et sa périphérie après la décennie de crise au Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire* », Thèse de Doctorat en Écologie, Biodiversité et Evolution, Spécialité en Ecologie Végétale, UFR Environnement, Université Jean Lorougnon Guédé de Daloa, Côte d'Ivoire, 188 p.

Le Clec'H Solen, Oszwald Johan, Jégou Nicolas, Dufour Simon, Cornillon Pierre-André, Miranda Izildinha, Gonzaga Luiz, Grimaldi Michel, Gond Valery et Xavier Arnauld de Sartre (2013), « Cartographier le carbone stocké dans la végétation : perspectives pour la spatialisation d'un service écosystémique », In *Bois et Forêts des Tropiques*, Vol 6, n° 67, pp. 35-47.

Mba Me Benjamin Messame, Gwenaëlle Pennober, Revillion Christophe, Rouet Philippe, Gilbert David (2021), « Estimations, à partir de séries d'images Landsat, des évolutions de stocks de carbone de différentes formations en milieu équatorial côtier ; cas de Libreville au Gabon », In *Revue Française de Photogrammétrie et Télédétection*, Vol 223, numéro Spécial Afrique, pp. 217-231.

MINISTERE DES EAUX ET FORETS (MINEF) (2017), « La forêt, une priorité du gouvernement », In *Magazine d'informations du Ministère des Eaux et Forêts*, Vol 1, n°1, 40 p.

Moumouni Yaya Issifou, Toko Imorou Ismaïla, Arouna Ousséni, Toko Issaka Nourou, Zakari Soufouyane et Djaouga Mama (2017), « Estimation de la variabilité de la biomasse aérienne ligneuse en forêt tropicale sèche : cas de la forêt classée de Wari-marou au Centre-Bénin. », In *Revue de géographie du laboratoire Leïdi : Dynamique des territoires et développement*, Vol 2, n° 17, 24 p.

N'Dja Justin Kassi, Tuo Yetchawa et Zo-Bi Irie Casimir (2017), « Diversité floristique et infiltration humaine de la forêt classée de la Béso (Côte d'Ivoire) », In *Journal of Applied Biosciences*, Vol 114, pp. 11299-11308.

N'Guessan Anny Eestelle (2018), *Dynamique de la végétation et facteurs de reconstitution de la biomasse dans les forêts secondaires : cas de la forêt classée d'Agbo 1 (Sud-Est de la Côte d'Ivoire)*, Thèse de Doctorat en Ecologie Végétale, Université Félix Houphouët-Boigny, Abidjan, 221 p.

N'Zala Donatien. (2010), *Rôle et place des trois bassins forestiers dans l'économie verte pour les pays en développement*, Brazzaville-République du Congo, Directeur Général de l'économie forestière-Ministère du développement durable, de l'économie forestière et de l'environnement, 17 p.

Nolte Christian., Kotto-Same, Moukam, Thenkabail Prasad, Weise Stephan et Zapfack Louis (2001), « Land use characterization and estimation of carbon stock in the alternative to slash and burn Benchmark area in Cameroon », In *Resource and crops management research monograph*, Vol 28, IITA, Ibadan. 83 p.

Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture (FAO), Banque Africaine de Développement (BAD), Commission Européenne (CE) (2003), *Etude prospective du secteur forestier en Afrique Rapport sous-régional Afrique de l'Est*, Rome Italy, 76 p.

Ouedraogo Wendsom Osée, Gomgnimbou Alain, Santi Saïdou, Ilboudo Daniel et Toguyeni Aboubacar (2019), « Quantification de la Biomasse et stockage du carbone du massif forestier de l'Ecole Nationale des Eaux et Forêts de Dindéresso province du Houet au Burkina Faso », In *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, Vol 13, n°1, pp. 3276-3288.

Pascal Canfin, Peter Staime (2015), *Climat : 30 Questions Pour Comprendre la Conférence de Paris*, Paris, Éditions Petits Matins, 10 p.

Peltier R.égis, Njiti Forkong Clément., Ntoupka Mama, Manlay Raphaël, Henry Mathieu et Morillon Vincent (2007), « Evaluation du stock de carbone et de la productivité en bois d'un parc à karités du Nord-Cameroun », In *Revue Bois et Forêts des Tropiques*, Vol 294, n°4, pp. 3950, 2007.

Sabi-Orou-Bogo Abib Guimmongui, Arouna Ousséni, Toko Imorou Ismaïla, Oloukoi Joseph et Thomas Omer (2017), « Cartographie de la variabilité spatio-temporelle de la biomasse végétale dans la commune de Banikoara au Bénin », In *Revue de Géographie Tropicale et d'Environnement*, n°2, 13 p.

Saïdou, Dossa, Gnganglè, Balogoun, Aho (2012), « Evaluation du stock de carbone dans les systèmes agro-forestiers à karité (*Vitellaria*

paradoxa C.F. Gaertn.) et à néré (*Parkia biglobosa* Jacq. G. Don) en zone Soudanienne du Bénin », In *Bulletin de la Recherche Agronomique du Bénin BRAB*, Numéro spécial Agriculture et Forêt, pp. 1-9.

SOCIETE IVOIRIENNE DE TRANSFORMATION DE BOIS (SITRANBOIS), SOCIETE DE DEVELOPPEMENT DES FORETS (SODEFOR). (2016), *Plan d'Aménagement de la forêt classée de Béki 2016-2025*, Abengourou, Côte d'Ivoire, 86 p.

Tayo Goma Yabuki Kevin (2014), *Dynamique de la biodiversité ligneuse et des stocks de carbone dans les systèmes agroforestiers à base de cacaoyer au centre Cameroun : cas de Ngomedzap (Cameroun)*. Mémoire de Master, Faculté Agronomique et des Sciences agricole Université de Dschang (Cameroun), 91 p.

Traoré Kalifa, Ganry Francis, Oliver Robert et Gigou Jacques (2004), « Litter production and soil fertility in a *Vitellaria paradoxa* parkland in a catena in southern Mali », In *Arid Land Ressources Management*, Vol 18, n°4, pp. 359-368, 2004.