

MODELISATION DU STOCK DE CARBONE DANS LE PARC NATIONAL DU W AU BENIN

Nourou TOKO ISSIAKA^{1*}, Ousséni AROUNA^{1&2},
Yaya ISSIFOU MOUMOUNI¹, Brice A. TENTE³,
Omer THOMAS¹, Ismaïla TOKO IMOROU¹

1. LaCarto, UAC, Bénin

2. LaGEA), UNSTIM, Abomey, Bénin

3. LABEE, UAC, Bénin

deentok084@yahoo.fr / deentok084@gmail.com

Résumé

Dans le contexte actuel des changements climatiques, les aires protégées sont considérées comme des puits de carbone. La présente recherche a pour objectif de modéliser le stock et la séquestration actuelle et future du carbone dans le Parc National du W au Bénin. Le modèle de stockage et de séquestration du carbone InVEST, les cartes d'utilisation des terres et la biomasse aérienne ont permis d'estimer la quantité de carbone actuellement stockée et celle séquestrée. Des données supplémentaires sur la valeur sociale du carbone séquestré et son taux de variation annuel, ainsi qu'un taux d'actualisation sont utilisées pour estimer la valeur de ce service écosystémique de régulation.

L'analyse des résultats indique qu'en 2015, la quantité de carbone stockée varie entre 0 Mg/ha et 95 Mg/ha ; elle passera en 2050 entre 0 Mg/ha et 90 Mg/ha. Si le statu quo est maintenu jusqu'en 2050, des pertes de carbone sont évaluées à -95 Mg/ha, soit une fuite de -5 180 586,8 Mg de carbone, alors qu'avec la REDD, c'est -68 Mg/ha (-1 316 644 Mg). De même, dans les conditions du statu quo, le coût social du carbone lié à la séquestration du carbone est évalué à 3 406 \$/ha soit 1 947 531 700 \$. Par contre, dans le cadre d'une politique REDD, des bénéfices de 6 893 \$/ha soit 4 348 676 274 \$ sont estimés. Ces profits peuvent contribuer à la réduction de la pauvreté et au renforcement du tissu économique au niveau national.

Mots clés : *Utilisation des terres, modèle InVEST, séquestration du carbone, valeur économique du carbone, Parc W.*

Abstract

Modelling the carbon stock in the W National Park in Benin

In the current context of climate change, protected areas are seen as carbon sinks. The goal of the present research is to model the current and future carbon stock and sequestration in the W National Park in Benin. The InVEST carbon storage and sequestration model, land use maps and aboveground biomass have been used to estimate the amount of carbon currently stored and sequestered. Additional data on the social value of sequestered carbon and its annual rate of change, as well as a discount rate are used to estimate the value of this regulating ecosystem service.

The analysis of the results indicates that in 2015 the amount of carbon stored varies between 0 Mg/ha and 95 Mg/ha, it will increase in 2050 between 0 Mg/ha and 90 Mg/ha. If the status quo is maintained until 2050, carbon losses are estimated at -95 Mg/ha, or a leakage of -5,180,586.8 Mg

of carbon, whereas with REDD it is -68 Mg/ha (-1,316,644 Mg). Similarly, under the conditions of the status quo, the social cost of carbon related to carbon sequestration is estimated at US\$ 3,406/ha or US\$ 1,947,531,700. On the other hand, under a REDD policy, benefits of US\$ 6,893/ha or US\$ 4,348,676,274 are estimated. These profits can contribute to poverty reduction and the strengthening of the economic fabric at the national level.

Keywords: Land use, InVEST model, carbon sequestration, economic value of carbon, Park W.

Introduction

Les écosystèmes terrestres, qui stockent plus de carbone que l'atmosphère, sont essentiels pour influencer le changement climatique dû au dioxyde de carbone.

Les effets des futurs changements d'affectation des terres sur le stockage ou la séquestration du carbone peuvent être modélisés en appliquant des estimations du stockage du carbone trouvées dans la littérature pour différents types d'habitats dans un paysage. Cependant, cette approche suppose que tout l'habitat est équivalent dans sa qualité de stockage du carbone, peu importe où il se produit, malgré le fait qu'il existe des preuves substantielles que la fragmentation peut jouer un rôle dramatique dans la modification des taux de stockage et de séquestration du carbone dans les forêts tropicales (M. Dantas de Paula *et al.*, 2011 : 352 ; W. Laurance *et al.*, 2002 : 610). Les forêts, les prairies, les marécages de tourbe et d'autres écosystèmes terrestres stockent collectivement beaucoup plus de carbone que l'atmosphère (Lal, 2006 : 199). En stockant le carbone dans le bois, dans d'autres biomasses et le sol, les écosystèmes empêchent le flux du CO₂ vers l'atmosphère, où il contribuerait au changement climatique. Au-delà du simple stockage de carbone, de nombreux systèmes continuent également de l'accumuler dans les plantes et le sol au fil du temps, «séquestrant» ainsi du carbone supplémentaire chaque année. La perturbation de ces systèmes par des incendies, des maladies ou la conversion de la végétation (Conversion de l'utilisation des terres / de la couverture terrestre (LULC)) peut libérer de grandes quantités de CO₂. D'autres changements de gestion, comme la restauration des forêts ou des pratiques agricoles alternatives, peuvent conduire au stockage de grandes quantités de CO₂. Par conséquent, les façons dont nous gérons les écosystèmes terrestres participent à la régulation de notre climat.

Au Bénin, les différentes formes d'occupation des terres à des fins agricole, pastorale et d'urbanisation se font aux dépens des habitats naturels qui sont de véritables réservoirs de la diversité biologique et du carbone (Y. Issifou Moumouni, 2016 :11). Le Parc National du W, de par sa situation géographique, est un bouclier contre l'avancée du désert vers le Bénin. Il joue également un rôle très important dans la séquestration du carbone et le quotidien des populations riveraines à travers les biens et services

écosystémiques qu'elles en tirent depuis des décennies. Les formations végétales de la lisière du Parc sont soumises à la déforestation due au pâturage et à la culture extensive du coton, principale source d'émission de CO₂ en milieu tropical. Par effet de bordure, ces pressions anthropiques peuvent progresser vers l'intérieur du Parc National du W. Les recherches et études réalisées dans le Parc National du W ont concerné la dynamique de l'occupation du sol dans le Parc National du W et sa périphérie (J. Avakoudjo *et al.*, 2015 : 2609 ; L. G. Houéssou *et al.*, 2013 : 89). Étant donné que les gestionnaires des terres doivent choisir parmi les sites à protéger, à récolter ou à développer, les cartes de stockage et de séquestration du carbone sont idéales pour appuyer les décisions influençant ces services écosystémiques.

La présente recherche vise à modéliser la répartition spatio-temporelle du stock et de la séquestration actuelle et future du carbone dans le Parc National du W au Bénin à partir des données de l'occupation des terres et de la biomasse aérienne ligneuse d'une part. D'autre part, cette recherche permettra d'estimer la valeur économique de la séquestration en fonction de la quantité de carbone séquestrée dans le temps. C'est donc une contribution qui permet de proposer au Bénin des arguments pour répondre pleinement aux objectifs du mécanisme REDD+.

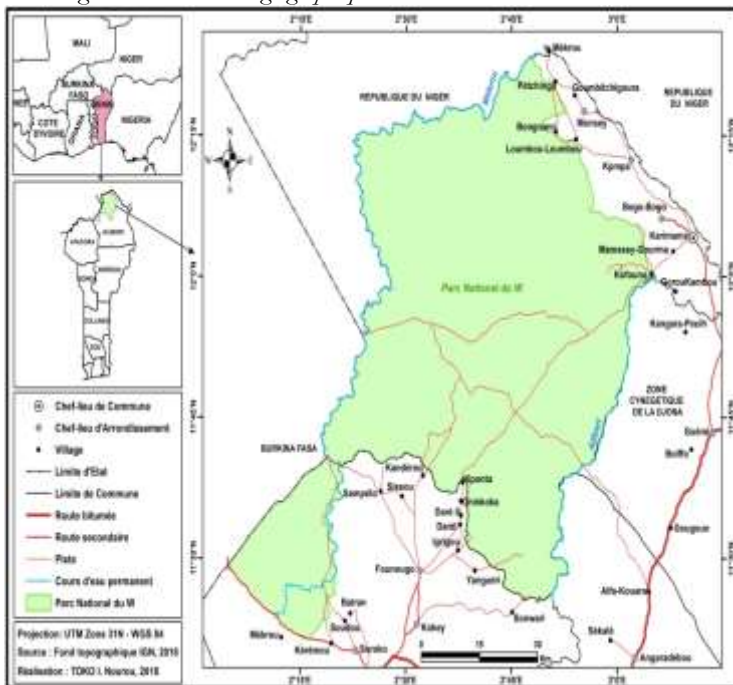
1. Approche méthodologie

1.1 Présentation du cadre d'étude

Le Parc National du W est situé à l'extrême nord-ouest du Bénin dans le département de l'Alibori et est localisé entre 11°20' et 12°23' latitude nord et, 2°04' et 3°05' longitude Est. Il s'étend actuellement sur une superficie de 563 280 ha. Il est limité au nord par la Commune de Karimama, au sud par la Commune de Banikoara, à l'est par la rivière Alibori, les Communes de Kandi et Malanville puis à l'ouest par la rivière de Mékrou servant de frontière entre le Burkina Faso et la République du Niger (figure 1). Le secteur d'étude est situé dans les districts phytogéographiques Mékrou-Pendjari et Borgou-Nord et globalement dans la région soudanienne (White, 1983 : 38; Adomou 2005 : 73). Le climat est de type soudanien avec une température moyenne de 28°C. Les précipitations moyennes annuelles sont de l'ordre de 833 mm (ASENA, 2015). Il règne dans ce secteur un régime pluviométrique unimodal avec une saison pluvieuse de mai à octobre et une saison sèche de novembre à avril. Les sols rencontrés sont essentiellement des sols ferrugineux tropicaux. La végétation est composée de galeries forestières, de forêts claires et savanes boisées, des savanes arborées, arbustives et des mosaïques de champs et de jachères. Les principales activités économiques menées dans les Communes limitrophes sont l'agriculture, l'élevage et la pêche.

La figure 1 présente la localisation géographique du Parc National du W au Bénin.

Figure 1. Localisation géographique du Parc National du W au Bénin



Source : Fond topographique IGN, 2018

1.2 Matériel et méthodes

1.2.1 Données utilisées

Cette section décrit les données spécifiques utilisées par le modèle. Toutes les entrées SIG sont dans le même système de coordonnées projetées et en unités de mètres linéaires (WGS84 ; UTM Zone 31N).

Le modèle InVEST de stockage et de séquestration du carbone utilise des cartes de l'utilisation des terres ainsi que des stocks de carbone pour estimer la quantité de carbone actuellement stockée dans un paysage ou la quantité de carbone séquestrée au fil du temps. Des données supplémentaires sur la valeur marchande ou sociale du carbone séquestré et son taux de variation annuel, ainsi qu'un taux d'actualisation sont utilisées pour estimer, la valeur de ce service écosystémique pour la société. Les limites du modèle comprennent un cycle du carbone trop simplifié, une variation linéaire supposée de la séquestration du carbone au fil du temps et des taux d'actualisation potentiellement variables ce qui peut les rendre inexacts. Les conditions

biophysiques importantes pour la séquestration du carbone, telles que les taux de photosynthèse et la présence d'organismes actifs du sol, ne sont pas non plus incluses dans le modèle.

Le stockage du carbone sur une parcelle de terrain dépend en grande partie de la taille des quatre réservoirs de carbone que sont : la biomasse aérienne, la biomasse souterraine, le sol et la matière organique morte. Le modèle de stockage et de séquestration du carbone InVEST regroupe la quantité de carbone stockée dans ces réservoirs selon les cartes d'utilisation des terres et les classifications fournies par l'utilisateur. Dans la présente recherche, seule la biomasse aérienne ligneuse est prise en compte. La biomasse aérienne comprend toutes les matières végétales vivantes au-dessus du sol (par exemple, l'écorce, les troncs, les branches, les feuilles).

À l'aide de cartes des types d'utilisation, de couverture des terres et de la quantité de carbone stockée dans la biomasse aérienne ligneuse, le modèle a estimé la quantité nette de carbone stockée dans chaque unité au fil du temps et la valeur marchande du carbone séquestré dans le stock restant.

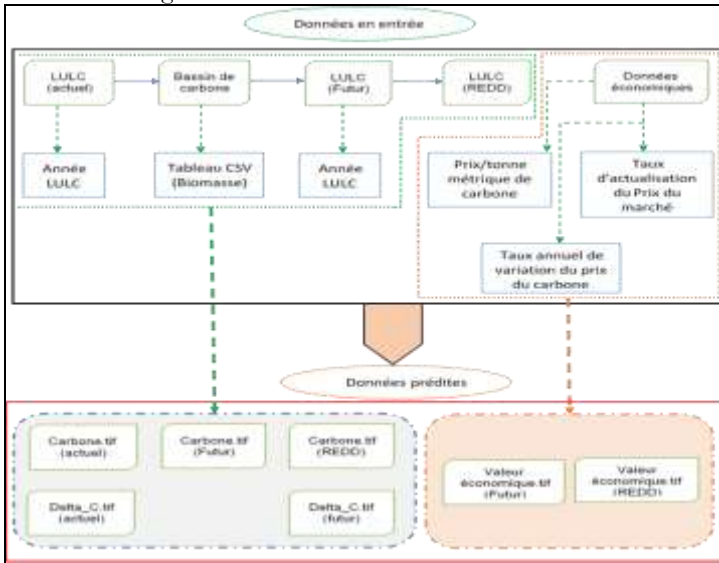
1.2.2 Méthode de traitement

La démarche méthodologique nécessite trois jeux de données en entrée pour projeter le stock et le potentiel de séquestration du carbone. Le premier jeu de donnée provient des données sur l'occupation actuelle et future des terres (LULC), le deuxième est le pool de carbone et le troisième prend en compte les données économiques sur le coût social du carbone.

Les scénarii du statu quo et de la politique de réduction des émissions dues à la déforestation et la dégradation forestière et renforcement des stocks de carbone sont utilisés pour produire les cartes d'occupation des terres futures.

La figure 2 présente la démarche d'implémentation du modèle pour la projection de stock et de séquestration du carbone de la biomasse aérienne ligneuse dans le PNW.

Figure 2. Processus de modélisation avec InVEST



Source: Conçu par TOKO ISSLAKA et al., 2020

Cette figure 2 décrit les données spécifiques utilisées par le modèle ainsi que les données qui résultent de la modélisation.

- les données d'occupation actuelle et future des terres font appelent aux cartes d'occupation actuelle (2015) et future (2050 et REDD) pour chaque pixel, où chaque entier unique représente une classe différente d'utilisation des terres/occupation des terres. Les années représentées par les cartes LULC actuelle et future, son utilisées pour le calcul de la séquestration et des valeurs économiques.
- Le pool de carbone est un réservoir de carbone représenté par un tableau en format CSV (comma-separated value) des classes LULC, contenant des données sur le carbone stocké dans le pool fondamental (biomasse aérienne dans le cadre de cette recherche) pour chaque classe LULC (forêt galerie, savane boisée, savane arborée et savane arbustive). Les informations sur certains groupes de carbone non disponibles, sont omises en laissant toutes les valeurs du groupe égales à 0. C'est le cas des sols érodés et dénudé, les champs et jachères, les agglomérations, les plans d'eau et les surfaces rocheuses.
- les données économiques sont constituées du prix par tonne métrique du carbone (Prix donné en monnaie par tonne métrique de carbone élémentaire), la réduction du marché dans le prix du carbone (Une

valeur entière en pourcentage qui reflète la préférence de la société pour les avantages immédiats par rapport aux avantages futurs) et le taux annuel de variation du prix du carbone (Une valeur entière en pourcentage qui ajuste la valeur du carbone séquestré en fonction de l'impact des émissions sur les dommages attendus liés au changement climatique, qui évolue dans le temps.).

- Delta_C.tif (actuel) et Delta_C.tif : Ce sont des fichiers (raster) en sortie montrant la différence de carbone stocké entre le paysage futur/REDD et le paysage actuel. Les valeurs sont en Mg par pixel. Certaines valeurs peuvent être négatives et d'autres positives. Les valeurs positives indiquent le carbone séquestré, les valeurs négatives indiquent le carbone perdu.

Ainsi, l'évaluation ne peut être effectuée dans le modèle carbone que si l'on dispose d'un scénario futur. L'évaluation est appliquée à la séquestration, pas au stockage, car les prix du marché ne concernent que la séquestration du carbone. Les taux d'actualisation sont des multiplicateurs qui réduisent généralement la valeur de la séquestration du carbone au fil du temps.

Pour l'estimation de la valeur totale de séquestration du carbone, il est recommandé des estimations de valeur basées sur les coûts des dommages associés à la libération d'une tonne supplémentaire de carbone c'est-à-dire le coût social du carbone (CSC). N. Stern (2007 : 157), RSJ. Tol (2009 : 32), et W. Nordhaus (2007a : 201) présentent des estimations du CSC. Par exemple, l'estimation du CSC que nous avons utilisées à partir des travaux de RSJ Tol (2009 : 45) est de 130 dollars (en dollars américains de 2010) (S Polasky *et al.*, 2010 : 232). Une valeur par défaut de 7 % est l'un des taux d'actualisation du marché recommandés par le gouvernement américain pour l'évaluation des coûts-avantages des projets environnementaux. Si le taux est fixé à 0 %, les valeurs monétaires ne sont pas actualisées.

2. Résultats

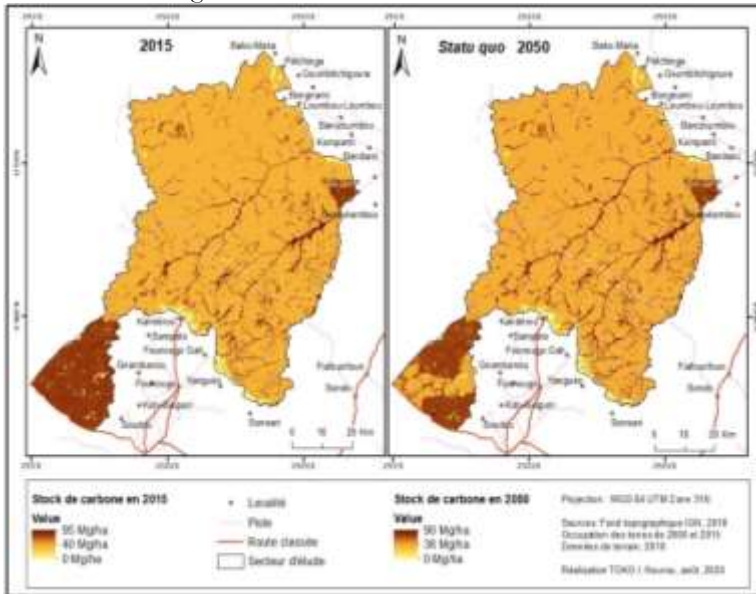
Les principaux résultats obtenus à l'issue de la modélisation se résument à la projection du stock et de la séquestration du carbone à l'horizon 2050 selon le scénario du statu quo et dans un cadre de politique REDD, à la cartographie des gains et pertes de carbone selon les scénarii du statu quo et REDD et l'estimation de la valeur économique du carbone séquestré entre 2015 et 2050 / REDD.

2.1 Stock et séquestration du carbone dans le Parc National du W

Le stock et la séquestration du carbone ont été estimés en 2015. Le stock et la séquestration du carbone ont été ensuite modélisés à l'horizon 2050 selon le scénario du *statu quo* et dans un cadre de politique REDD dans le Parc

National du W. La figure 3 présente la carte du carbone dans le Parc National du W en 2015 et en 2050.

Figure 3. Stock de carbone en 2015 et en 2050



Sources : Données de terrain, 2018 ; Occupation des terres 2000 et 2015

De l'analyse de la figure 3, on note que le stock de carbone connaît une variation dans le temps et dans l'espace à l'intérieur du Parc National du W. Si en 2015, la quantité de carbone stockée varie entre 0 Mg/ha et 95 Mg/ha, elle sera comprise en 2050 entre 0 Mg/ha et 90 Mg/ha. Considérant les trois classes de valeurs du carbone (faible ; moyenne et forte), on constate également que la valeur moyenne connaîtra une baisse passant de 40 Mg/ha à 38 Mg/ha entre 2015 et 2050.

On note qu'en 2015 comme en 2050, les plus fortes concentrations de carbone seront observées au niveau des forêts galeries, les savanes arborées ainsi que les savanes boisées.

Cette légère variation de la quantité de carbone que présente la spatialisaton cache en réalité des disparités remarquables à l'intérieur des formations végétales (tableau 1).

Tableau 1: Variation du stock de carbone entre 2015 et 2050 par formation végétale

Unités	Quantité de carbone 2015			
	Nombre de pixel	Valeur/Pixel	Stock de Carbone (Mg)	C (Mg/ha)
FGFR	1 337			
	428	0,95	1 270 556	95
SB	3 860			
	432	0,63	2 432 072	63
SA	4 866			
	252	0,68	3 309 051	68
Sab	45 780			
	380	0,4	18 312 152	40
Quantité de carbone 2050				
FGFR	1 476			
	382	0,90	1 335 492	90
SB	4 255			
	192	0,60	2 552 579	60
SA	3 509			
	879	0,65	2 272 587	65
Sab	52 353			
	304	0,38	19 939 908	38

FGFR : forêt galerie et formation ripicole ; SB : savane boisée ; SA : savane arborée ; Sab : savane arbustive ; C : carbone ; Mg : Mégagramme ; ha : hectare

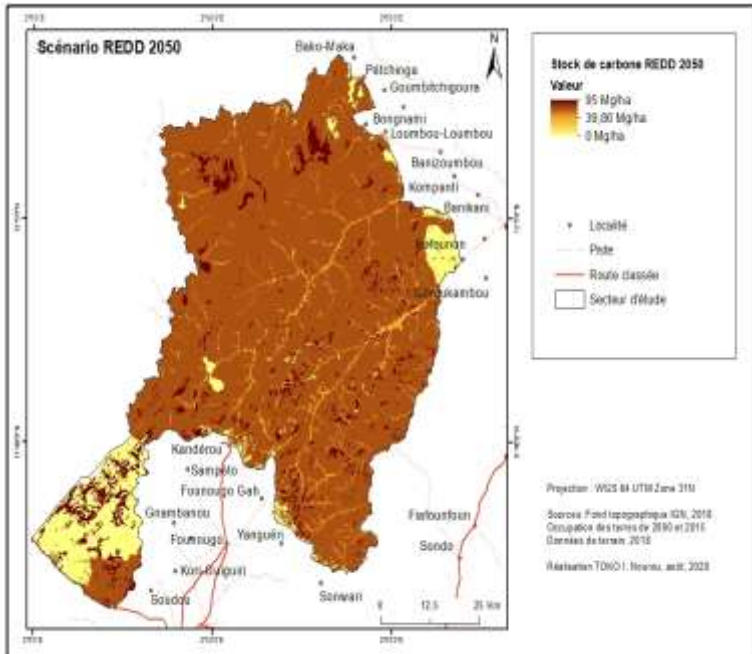
Sources : LULC, 2015 et 2050, données de terrain, 2018

De l'analyse du tableau 1, il ressort que dans le Parc National du W Bénin entre 2015 et 2050, toutes les formations végétales naturelles connaîtront une perte de leur stock. Ainsi, les forêts galeries et formations ripicoles passeront de 95 Mg/ha de carbone à 90 Mg/ha, alors que les savanes arborées chuteront de 68 Mg/ha à 65 Mg/ha de carbone. De 63 Mg/ha en 2015 les savanes boisées passeront à 60 Mg/ha en 2050. Enfin, les savanes arbustives qui concentraient 40 Mg/ha en 2015 descendront à 38 Mg/ha en 2050.

La perte de carbone entre les deux dates pourrait se justifier par le type de gestion adopté pour cette catégorie d'aire protégée.

Une analyse de scénario futur selon un cadre politique de réduction des émissions provenant de la dégradation et de la déforestation des forêts a été réalisée. Le résultat est présenté sur la figure 4.

Figure 4. Stock de carbone en 2050 selon le scénario REDD



Sources : Données de terrain, 2018 ; Occupation des terres 2000 et 2015

L'analyse de la figure 4 montre que dans un cadre de politique REDD, on assistera à un renforcement du stock de carbone en 2050. Le stock variera sur le plan spatial de 0 Mg/ha à 95 Mg/ha dans le PNW. Ces valeurs rappellent la situation du stock de carbone en 2015. La carte montre que le stock sera renforcé significativement dans l'ensemble du Parc avec des concentrations remarquables du carbone au niveau des savanes arbustives et des savanes boisées, à l'exception des régions de Kofounou à l'est du Parc et celle de Soudou au sud-sud-ouest du Parc qui concentreront de faible quantité de carbone due aux effets de bordures.

La carte du scénario de politique REDD reflète le futur LULC dans le cadre d'une politique REDD pour prévenir la déforestation et améliorer la séquestration du carbone.

Le tableau 2 présente la variation du stock de carbone par formation végétale selon le scénario REDD.

Tableau 2 : Variation du stock de carbone par formation végétale selon le scénario REDD

Unités	Quantité de carbone 2050 selon le scénario REDD			
	Nombre de pixel	Valeur/Pixel	Stock de carbone (Mg)	C (Mg/ha)
FGFR	4 023 810	0,95	3 822 619	95,00
SB	2 889 004	0,63	1 818 940	62,96
SA	50 391 254	0,68	34 167 246	67,80
Sab	3 126	0,39	1 246	39,86

FGFR : forêt galerie et formation ripicole ; SB : savane boisée ; SA : savane arborée ; Sab : savane arbustive ; C : carbone ; Mg : Mégagramme ; ha : hectare

Sources : LULC, 2015 et 2050, données de terrain, 2018

L'analyse du tableau 2 montre que la politique REDD influencera positivement le stock de carbone au niveau de toutes les formations végétales comparativement au scénario du *statu quo* qui a prévu une perte de carbone. Elles retrouveront leur état de 2015 par un renforcement de leur stock de carbone. La prévention de la déforestation et de la dégradation forestière est un moyen pour améliorer la séquestration du carbone.

Les plus fortes concentrations en carbone seront observées au niveau des forêts galeries avec 95 Mg/ha contre 90 Mg/ha pour le *statu quo*. Par contre, les savanes arbustives présenteront les faibles quantités de carbone avec 39,86 Mg/ha contre 38 Mg/ha dans le *statu quo*.

2.2 Gains et pertes de carbone selon les scénarii du *statu quo* et REDD

Le tableau 3 présente les gains et pertes de carbone selon les scénarii du *statu quo* et REDD.

Tableau 3: Gains et pertes de carbone selon les scénarii du *statu quo* et REDD

Etat	Gains et Pertes selon le <i>statu quo</i> 2050			
	Nombre de pixel	Valeur de pixel	Stock de carbone	Carbone (Mg/ha)
Perte	1 385 942	-0,95	-5 180 586,8	-95
Gain	61 704 185	0,95	52 698 036,15	95
Etat	Gains et Pertes selon REDD 2050			
	Nombre de pixel	Valeur de pixel	Stock de carbone	Carbone (Mg/ha)
Perte	7 618 510	-0,68	-1 316 644,9	-68
Gain	55 471 617	0,95	58 618 975,75	95

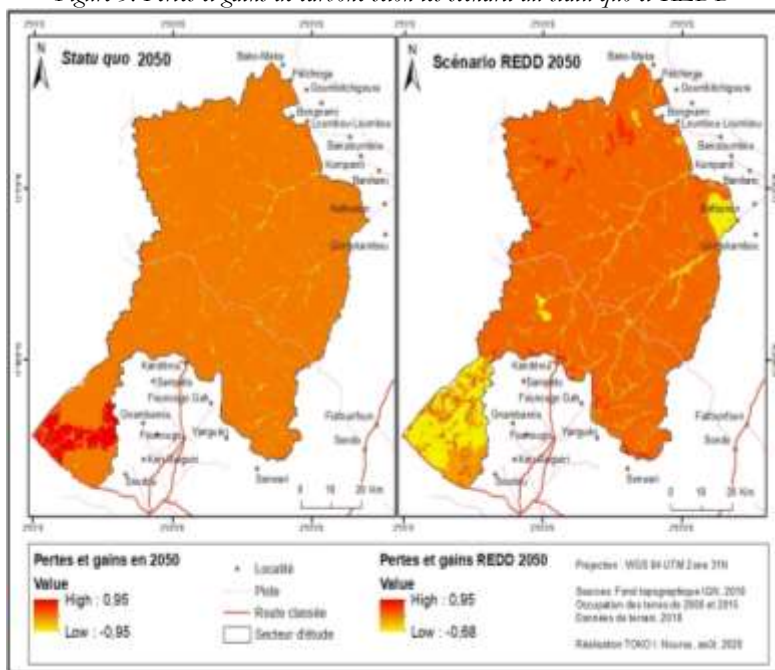
Sources : LULC, 2015 et 2050, données de terrain, 2018

La lecture du tableau 3 indique selon le *statu quo* 2050 des pertes de carbone évaluées à -95 Mg/ha, soit une fuite de -5 180 586,8 Mg de carbone, alors que les gains s'évalueraient à 95 Mg/ha, soit une séquestration de 52 698 036,15 Mg de carbone à l'horizon 2050.

Par contre, dans un cadre de politique REDD en 2050, -68 Mg/ha (-1 316 644 Mg) de pertes de carbone seront observées pour des gains avoisinant 95 Mg/ha de carbone (58 618 975,75 Mg).

La figure 5 présente la carte de spatialisation des pertes et gains de carbone selon les scénarii du *statu quo* et REDD.

Figure 5. Pertes et gains de carbone selon les scénarii du *statu quo* et REDD



Sources : Données de terrain, 2018 ; Occupation des terres 2000 et 2015

La carte indique qu'en 2050, si le *statu quo* est maintenu, les galeries forestières seront plus vulnérables aux pertes de carbone, alors que les savanes arborées séquestreront les plus fortes valeurs de carbone.

Les savanes boisées seront les plus grands réservoirs de carbone en 2050 dans un cadre de politique REDD.

2.3 Valeur économique du carbone séquestré entre 2015 et 2050 / REDD

Le coût social du carbone a été estimé à partir des données prédites à l'horizon 2050 et dans un cadre de politique REDD.

Le tableau 4 présente la valeur économique du carbone séquestré entre (*statu quo*) et 2015-2050 (REDD) en monnaie par pixel.

Tableau 4: Valeur économique du carbone séquestré entre 2015-2050 (*statu quo*) et 2015-2050 (REDD)

Coût social du carbone (CSC) selon le <i>statu quo</i> en 2050				
Valeur	Nombre de pixel	Valeur/pixel	Valeur totale (\$)	CSC (\$/ha)
Gain	57 182 797	34,06	1 947 531 700	3 406
Coût social du carbone (CSC) selon le scénario REDD en 2050				
Gain	63 090 127	68,93	4 348 676 274	6 893

\$: Dollar américain ; ha : hectare

Sources : LULC, 2015 et 2050, données de terrain, 2018

L'examen du tableau 4 montre que si le *statu quo* est maintenu jusqu'en 2050 dans le Parc National du W le coût social du carbone lié à la séquestration du carbone s'évaluera à 3 406 \$/ha soit, 1 947 531 700 \$.

Dans le cadre d'une politique REDD, les profits qui découleraient de la déforestation évitée en 2050 sont estimés à 6 893 \$/ha soit, 4 348 676 274 \$. Ces profits peuvent contribuer largement à la réduction de la pauvreté et le renforcement du tissu économique des populations riveraines du Parc en particulier et du Bénin en général.

3. Discussion

Le flux de carbone a été évalué grâce au modèle InVEST dans cette étude. Le modèle InVEST simplifie le cycle du carbone qui lui permet de fonctionner avec l'utilisation de peu d'information.

La modélisation du stock et de la séquestration du carbone dans le Parc National du W Bénin, montre une variation spatio-temporelle du carbone en 2015 et 2050. Cette variation est marquée par le passage du stock de 95 Mg/ha à 90 Mg/ha de carbone à l'intérieur du Parc. La perte de carbone entre les deux dates pourrait se justifier par le type de gestion adopté pour cette catégorie d'aire protégée. Cette perte de carbone a été déjà signalée au niveau national. En prenant en compte le secteur de la Foresterie, Affectation des Terres (FAT), le bilan des émissions et absorptions totales des gaz à effet de

serre (GES) montre que : le Bénin est globalement un puits net de GES (absorptions supérieures aux émissions) entre 1990 et 1996 avec une capacité d'absorption en régression passant de 1 093,61 Gg à 279,12 Gg ; à partir de 1997, le Bénin est devenu une source nette de GES (émissions supérieures aux absorptions) et les émissions nettes totales estimées à 7 792,37 Gg en 2015 sont 11 fois supérieures à celles de l'année 1997 estimées à 681,93 Gg. Cette situation de passage du statut de puits de carbone au statut de source d'émission de GES s'explique par les effets combinés de la déforestation (surtout conversion des forêts en terres cultivées), de la dégradation des forêts et autres affectations des terres (due à la collecte de bois rond commercial et de bois énergie) et à l'augmentation des émissions de GES surtout dans les secteurs énergie et agriculture (DGEC, 2019 : 39). La diminution du stock de carbone de 2015 à 2050 dans le scénario du *statu quo* peut s'expliquer par le phénomène des effets de bordure qui pourrait faire progresser le front agricole de la périphérie vers l'intérieur du Parc W.

Dans le cadre d'une politique REDD pour prévenir la déforestation et améliorer la séquestration du carbone, les résultats de la modélisation indiquent un renforcement du stock de carbone en 2050. Le stock variera sur le plan spatial de 0 Mg/ha à 95 Mg/ha dans le PNW. La prévention de la déforestation et de la dégradation forestière est un moyen pour améliorer la séquestration du carbone. De même, on observera une baisse remarquable des fuites de carbone estimées à -68 Mg/ha contre -95 Mg/ha de carbone selon le *statu quo* 2050. L'atténuation des changements climatiques sera à la fois coûteuse et difficile, mais les coûts et la complexité associés à ce défi ne sont rien en comparaison des risques et des frais qui ne manqueront pas d'accompagner l'absence de mesures décisives (Y. Issifou Moumouni, 2020 : 180).

La REDD est un mécanisme de paiement sur rendement. Ce programme devrait permettre de développer une « économie verte » en rendant les investissements qui ont des effets positifs sur le climat plus séduisants (Q. Molto, 2012 : 14). Il doit aussi permettre aux états qui protègent leurs forêts d'accéder au marché du carbone. L'évitement de la destruction ou de la dégradation de la forêt génère un "crédit carbone" et la vente de ce crédit sur le marché du carbone permet de compenser la perte économique due à la protection de la forêt. Par ailleurs, la valeur économique du carbone estimée dans cette recherche indique que le Parc National du W peut générer au Bénin un "crédit carbone" d'environ 3 406 \$/ha soit 1 947 531 700 \$ en 2050 selon le scénario du *statu quo*. Mieux dans le cadre d'une politique REDD ces bénéfices peuvent avoisiner 6 893 \$/ha soit 4 348 676 274 \$ en 2050. Ces profits peuvent contribuer à la réduction de la pauvreté et le renforcement du tissu économique des populations riveraines du Parc en particulier et du Bénin en

général. Des estimations récentes suggèrent que le coût social du carbone (CSC), ou les dommages marginaux associés au rejet d'un Mg supplémentaire de Carbone dans l'atmosphère, varie de 32 \$ par tonne métrique de Carbone (W. Nordhaus 2007a : 205) à 326 \$ par tonne métrique de Carbone (N. Stern 2007 : 157) en dollars américains de 2010. La valeur de ces dommages peut également être considérée comme l'avantage monétaire d'une libération évitée. RSJ., Tol (2009 : 45) fournit une étude complète des estimations faisant état de valeurs médianes de 66 \$ et 130 \$ par tonne métrique en dollars américains de 2010 (les valeurs diffèrent en raison d'hypothèses différentes concernant l'actualisation du temps). Les prix du marché peuvent être utilisés pour fixer le prix du carbone séquestré. Nous ne recommandons pas l'utilisation des prix du marché car ils ne s'appliquent généralement qu'à la séquestration de carbone «supplémentaire»; séquestration au-delà de certains taux de séquestration de base. En outre, les valeurs de crédit carbone des marchés du carbone sont largement fonction de diverses règles et réglementations qui ne reflètent pas nécessairement l'avantage pour la société d'une tonne de carbone séquestrée. Par conséquent, une utilisation correcte des prix du marché nécessiterait d'estimer un taux de référence pour le paysage d'intérêt, de cartographier la séquestration supplémentaire, puis de déterminer la séquestration supplémentaire éligible aux crédits conformément aux règles et réglementations du marché.

Conclusion

La modélisation du stock et de la séquestration du carbone dans le Parc National du W Bénin a permis de mettre en évidence l'état de conservation du Parc et sa contribution actuelle et future à l'atténuation des gaz à effet de serre. Les cartes obtenues sont des outils de prise de décisions pour les gestionnaires du Parc et les autorités nationales.

La gestion des paysages pour le stockage et la séquestration du carbone nécessite des informations sur la quantité et l'endroit où le carbone est stocké, la quantité de carbone séquestrée ou perdue au fil du temps, et comment les changements dans l'utilisation des terres affectent la quantité de carbone stockée et séquestrée. Étant donné que les gestionnaires des terres doivent choisir parmi les sites à protéger, à récolter ou à développer, les cartes de stockage et de séquestration du carbone sont idéales pour appuyer les décisions influençant ces services écosystémiques. Ces cartes peuvent étayer une série de décisions des gouvernements, des ONG et des entreprises. Par exemple, les gouvernements peuvent les utiliser pour identifier les opportunités de gagner des crédits pour les émissions (carbone) réduites de la déforestation et de la dégradation (REDD). Savoir quelles parties d'un paysage

stockent le plus de carbone aiderait les gouvernements à cibler efficacement les incitations pour les propriétaires fonciers en échange de la conservation des forêts. De plus, une ONG de conservation peut souhaiter investir dans des zones où des niveaux élevés de biodiversité et de séquestration du carbone se chevauchent.

Références bibliographiques

Adomou Aristide Cossi, (2005), *Vegetation patterns and environmental gradients in Benin: Implications for biogeography and conservation*, PhD thesis, Wageningen University.

Avakoudjo Julien, Adi Mama, Toko Imorou Ismaila, Kindomihou Valentin, Sinsin Brice, (2015), « Dynamique de l'occupation du sol dans le Parc National du W et sa périphérie au nord-ouest du Bénin ». *International Journal of Biological and Chemical Sciences* 8(6):2608, DOI: 10.4314/ijbcs.v8i6.22

Dantas de Paula Mateus, Alves Costa Cecília Patrícia, Tabarelli Marcelo, (2011), « Stockage de carbone dans un paysage fragmenté de la forêt atlantique: le rôle joué par les habitats touchés par les lisières et les arbres émergents ». *Tropical Conservation Science* 4, 349–358.

DGEC (Direction Générale de l'Environnement et du Climat), (2019), *Rapport national d'inventaire de gaz à effet de serre du Bénin*.

Houéssou Laurent Gbenato, Téka Oscar, Toko Imorou Ismaila, Lykke Anne Mette, Sinsin Brice., (2013), « Land use and land cover change at “W” Biosphere Reserve and its surroundings areas in Benin Republic (West Africa). *Env. Nat. Res. Resear.*, 3(2): 87-101.

Issifou Moumouni Yaya, (2016), *Dynamique du couvert forestier et évaluation des stocks de carbone dans la Forêt Classée de Wari-Marou au Bénin*. Mémoire de DEA en Géosciences de l'Environnement et Gestion de l'Espace, EDP/FLASH/UAC, Bénin.

Issifou Moumouni Yaya, (2020), *Evaluation de la Déforestation et de la Dégradation du couvert végétal et estimation des Gaz à Effet de Serre correspondants dans le Bassin moyen de la Sota au Nord-Bénin*, Thèse de Doctorat de l'Ecole Doctorale Pluridisciplinaire, Université d'Abomey-Calavi (EDP/ECD/UAC).

Lal Rattan (2006), « Enhancing crop yields in the developing countries through restoration of the soil organic carbon pool in agricultural lands ». *Land Degradation & Development*, 17(2), 197-209.

- Molto Quentin**, (2012), *Estimation de biomasse en forêt tropicale humide : Propagation des incertitudes dans la modélisation de la distribution spatiale de la biomasse en Guyane française*. Université des Antilles et de la Guyane. Thèse de Doctorat en physiologie et biologie des organismes, populations, interactions de la Faculté des sciences exactes de l'Université des Antilles et de la Guyane, France.
- Nelson Richard, Kocic Philip, Crimp Seven, Martin Pierre, Meinke Hans, Howden Stuart Mark & Nidumolu Uday Bhaskar.** (2010), « The vulnerability of Australian rural communities to climate variability and change: Part II-Integrating impacts with adaptive capacity». *Environmental Science & Policy*, 13(1), 18-27.
- Nordhaus William**, (2007a), « Critical Assumptions in the Stern Review on Climate Change». *Science* 317 (5835): 201-202.
- Polasky Stephen, Nelson Eric, Pennington David et Johnson Kris.** (2010), «The Impact of Land Use Change on Ecosystem Services, Biodiversity and Returns to Landowners: A Case Study from Minnesota ». *Environmental and Resource Economics* 48:219-242
- Stern Nicholas**, (2007), *The economics of climate change: The Stern review*. Cambridge University Press <https://doi.org/10.1017/CBO9780511817434>.
- Tol, Richard**, (2009), « The Economic Effects of Climate Change». *Journal of Economic Perspectives* 23:29-51.
- White Frank**, (1983), *The vegetation of Africa. A descriptive memoir to accompany the UNESCO/AETF/UNSO vegetation map of Africa*, Paris, France.
- William Laurance, Lovejoy Thomas, Vasconcelos Helder, Bruna Emilio, Didham, Raphael., Stouffer Philip., Gascon Claude., Bierregaard Richard., Laurance Susan., Sampaio Erica.**, (2002), « Décomposition de l'écosystème des fragments de forêt amazonienne : une enquête de 22 ans ». *Conservation Biology* 16, 605–618.