



HAL
open science

Estimation des émissions dues à la déforestation dans le bassin moyen de la Sota (Nord-Benin)

Yaya Issifou Moumouni, Ismaïla Toko Imorou

► **To cite this version:**

Yaya Issifou Moumouni, Ismaïla Toko Imorou. Estimation des émissions dues à la déforestation dans le bassin moyen de la Sota (Nord-Benin). Les Cahiers de l'ACAREF, 2019, REGARDS PLURIDISCIPLINAIRES SUR LA RECHERCHE FRANCOPHONE ET FRANCOPHILE D'AFRIQUE, 1 (3), pp.395-408. hal-02929817

HAL Id: hal-02929817

<https://hal.science/hal-02929817>

Submitted on 3 Sep 2020

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

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



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0 International License

Estimation des émissions dues à la déforestation dans le bassin moyen de la Sota (Nord-Benin)

Yaya ISSIFOU MOUMOUNI et Ismaïla TOKO IMOROU

Laboratoire de Cartographie (LaCarto), Université d'Abomey-Calavi (UAC), Bénin

e-mail : kismy12@gmail.com / yaya_issifoumoumouni@yahoo.com

Résumé

L'estimation du niveau d'émission de CO₂ dues à la déforestation a été faite dans le bassin moyen de la Sota. Pour y parvenir, les données relevées in situ et les données de télédétection (SPOT5 et SPOT 7) ont été utilisées pour estimer les données d'activité et les facteurs d'émission du CO₂ issus de la déforestation. En accord avec les lignes directrices du GIEC sur les bonnes pratiques en matière d'inventaire des gaz à effet de serre, le calcul des émissions historiques issues de la déforestation est fait en multipliant les données d'activité (DA) par les facteurs d'émission (FE). Ainsi le taux annuel de déforestation nette est de 2,03 % (soit 2 669,89 ha/an), alors que la dégradation nette est évaluée à 0,19 %/an (soit 253,23 ha/an). La déforestation nette est évaluée à 465,46 ha/an (soit 1,01 %) dans les aires protégées, alors qu'elle s'élève à 2 204,74 ha/an (soit 2,59 %/an) dans les terroirs. Globalement, le bassin dispose d'un facteur d'émission total de 11 080,45 t.ég-CO₂/ha alors que les émissions historiques dues à la déforestation s'élèvent à environ 295,87 Mt.ég-CO₂/ha soit 29,58 Mt.ég-CO₂/ha/an. Dans les aires protégées, les émissions annuelles sont estimées à 1,14 Mt.ég-CO₂/ha, alors que les terroirs émettent jusqu'à 19,04 Mt.ég-CO₂/ha/an. Cette étude a rendu davantage compte de la variabilité spatiale des émissions de CO₂ entre les types d'affectation des terres donnant ainsi des arguments pour répondre pleinement aux objectifs du REDD+.

Mots clés— Cartographie, relevées in situ, émissions de CO₂, Données d'activité, Bassin moyen de la Sota.

Abstract

The level of CO₂ emissions generated by deforestation was estimated in the middle Sota catchment. To achieve this, in situ surveys and remote sensing data (SPOT5 and SPOT 7) were used to estimate activity data and CO₂ emission factors from deforestation. In accordance with the IPCC guidelines on good practice in greenhouse gas inventory, the calculation of historical emissions from deforestation is done by multiplying activity data (DA) by emission factors (FE). Thus the annual rate of net deforestation is 2.03% (or 2,669.89 ha/year), while the net degradation is estimated at 0.19%/year (or 253.23 ha/year). Net deforestation is estimated at 465.46 ha/year (or 1.01%) in protected areas, while it amounts to 2,204.74 ha/year (or 2.59%/year) in the terroirs. Overall, the basin has a total emission factor of 11,080.45 t CO₂/ha while historical emissions due to deforestation amount to about 295.87 Mt CO₂/ha or 29.58 Mt CO₂/ha/year. In protected areas, annual emissions are estimated at 1.14 Mt CO₂/ha, while soils emit up to 19.04 Mt CO₂/ha/year. This study provided a better understanding of the spatial variability of CO₂ emissions between land use types, thus providing arguments for fully meeting REDD+ objectives.

Keywords - Mapping, in situ surveys, CO₂ emissions, activity data, Sota Middle catchment.

Introduction

Les changements climatiques sont désormais une réalité mondiale incontestable. Au cours de ces dernières années, le réchauffement climatique mondial est sans équivoque et il est déjà observé entre autre la hausse continue de la concentration du CO₂ dans l'atmosphère et de la température moyenne du globe (Ago, 2016 : 12). Plusieurs modèles prévoient une poursuite de l'augmentation du taux de CO₂ atmosphérique et des phénomènes climatiques extrêmes au cours du 21^e siècle avec une teneur moyenne atteignant 560 ppm et un réchauffement global de 1,1 à 6 °C d'ici l'année 2100 et de lourdes conséquences pour l'humanité (GIEC, 2007 : 7). Ces perturbations climatiques sont attribuées aux émissions anthropiques de gaz à effet de serre en occurrence le CO₂ (GIEC, 2007 : 4).

Alors que dans les pays de l'hémisphère nord (pays industrialisés) les émissions nettes de gaz carbonique (CO₂) proviennent principalement de l'utilisation massive d'énergies fossiles, dans les pays en développement (pays tropicaux) c'est des changements d'utilisations des terres (la déforestation, la transformation des pâturages en terres labourées, l'urbanisation, mais aussi le reboisement, etc.) qui en sont les principales sources (Le Bars *et al.*, 2010 : 16). Par ailleurs, en Afrique de l'ouest, l'une des sous-régions qui contribue très peu aux émissions mondiales de gaz à effet de serre, la plus grande parties des émissions de CO₂ provient également du secteur des changements d'affectation des terres et des activités forestières (UEMOA, 2010 : 3).

Au Bénin, la déforestation qui était estimée à 150 000 ha/an entre 1960 et 1980 est passée de 70 000 ha/an entre 1990 et 2000 à 50 000 ha/an à partir de 2000 (FAO, 2015 : 14). Malgré ces efforts louables de réduction de la déforestation et par ricochet des émissions liées à la déforestation et à la dégradation des forêts, le niveau de prise en compte du REDD+ au Bénin est encore faible parce que n'ayant pas mis en œuvre sa stratégie nationale de REDD+ (CEDEAO, 2015 : 45). Dans la sous-région, le Bénin est logé dans la catégorie des pays à fort potentiel pour une préparation à la REDD+ : ce sont les pays qui n'ont pas élaborés leurs Contributions Prévues Déterminées au niveau National (CPDN) mais qui ont, parfois de manière séparée développé des politiques, stratégies et approches qu'on peut facilement valoriser (CEDEAO, 2015 : 76).

Malgré la prise de conscience des enjeux liés à la problématique des changements climatiques, ce n'est qu'en septembre 2015 que le Bénin a soumis sa CPDN en prélude à la COP21. Ensuite, conformément au paragraphe 22 de la décision 1/COP.21 de l'accord de Paris, le 31 octobre 2016, le Bénin soumet sa Contribution Déterminée au niveau National (CDN) par l'actualisation de sa CPDN. Alors même que le bilan des émissions en 2012 fait état de 14,9 Mtéq-CO₂ avec une régression de sa capacité de séquestration du carbone de 20,6 % entre 1995 et 2005 contre 32,0 % en 2012 (DGEC, 2016 : 5-6).

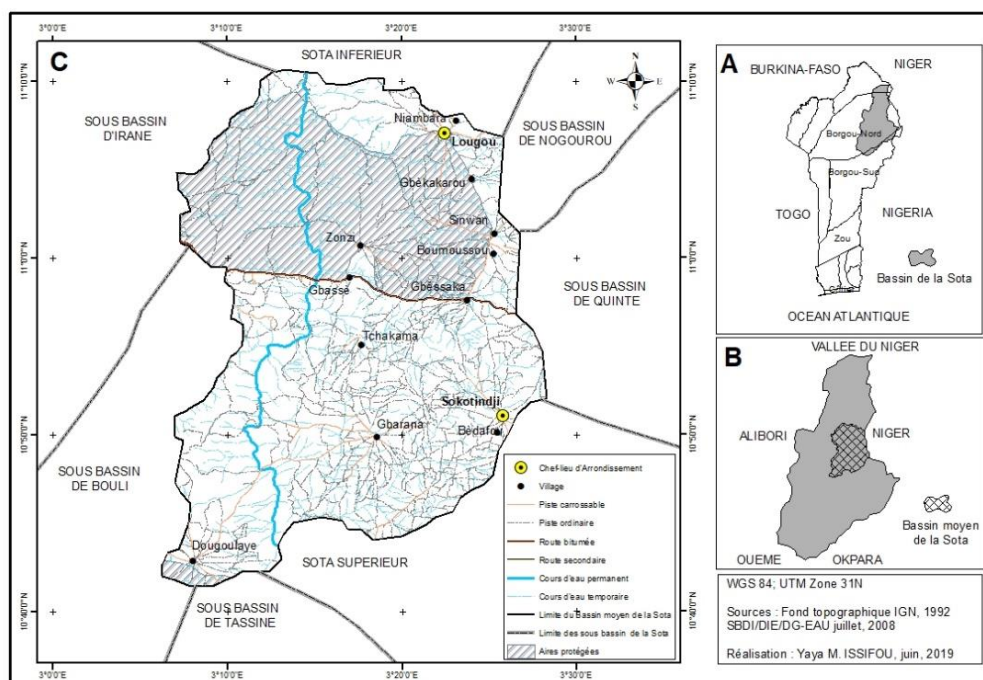
Dans le bassin moyen de la Sota, l'agriculture et l'élevage, principales activités économiques de la population active, engendrent un déboisement dont les conséquences sur le milieu sont perceptibles, que ce soit sur les écosystèmes, leurs fonctionnements ou les processus associés.

Cette étude est une contribution qui vise à estimer le niveau d'émissions de référence des forêts pour la réduction des émissions dues à la déforestation dans le bassin moyen de la Sota à partir des données de terrain et des données de télédétection en occurrence l'occupation des terres afin de proposer au Bénin des arguments pour répondre pleinement aux objectifs du REDD+.

I- Milieu d'étude

Le Bassin Moyen de la Sota (BMS) est situé au nord-est du Bénin entre 11°10'34" et 11°10'43" de latitude nord et entre 3°6'24" et 3°28'30" de longitude est. Il couvre une superficie de 148 931 ha, avec près de 48 236 ha occupées par les forêts classées de la Sota et des Trois Rivières (soit 32 %). Il est un sous bassin du Bassin versant de la Sota et est limité au nord par le bassin inférieur de la Sota, au nord-est par le bassin de Nogourou, au nord-ouest par le bassin d'Irané, à l'est par le bassin de Quinté, à l'ouest par le bassin de Bouli, au sud par le bassin supérieur de la Sota et au sud-est par le bassin de Tassiné (figure 1). Le choix du BMS comme cadre géographique de la présente recherche s'explique d'une part par le fait qu'il abrite les communes productrices du coton (Kandi, Ségbana, Gogounou) d'autre part par la présence des aires protégées de la Sota et des Trois Rivières qui subissent depuis ces dernières années la déforestation, la dégradation des terres révélant de ce fait la vulnérabilité des écosystèmes (Zakari, 2015 : 48). Cette zone abrite également le plus important cheptel de ruminants conduit selon le mode d'élevage extensif des éleveurs transhumants. On observe une tendance à la hausse de la température entre 1965 et 2010 dans le bassin versant de la Sota (Zakari, 2015 : 65). Le BMS appartient au district phytogéographique du Borgou-nord (Adomou, 2005 : 73).

Figure 1. Localisation géographique du bassin moyen de la Sota



II- Méthodologie

2.1 Données utilisées

Deux différents jeux de données ont été utilisés pour estimer le niveau d'émissions de référence des forêts dues à la déforestation.

→ les données relevées *in situ* (inventaire forestier), qui ont permis d'estimer les facteurs d'émission (stock de carbone en équivalent CO₂),

→ et les données d'activité en occurrence l'occupation des terres de 2005 (historique) et de 2015.

Les données *in situ* proviennent de la campagne de collecte sur le terrain effectuée en 2018 dans la période de novembre à décembre.

Les données d'activité proviennent des images Spot 5 et 7 de 2005 et 2015. La résolution spatiale est de 6 m pour SPOT7 (format JP2 ; scène : 0954-194 et 0946-225) et de 10 m pour SPOT5 (format GéoTiff ; scène : 064-328 ; 065-328 ; 065-329). Les images SPOT (5 et 7) sont acquises par le Laboratoire de Cartographie dans le cadre du programme d'Observation Spatiale des Forêts d'Afrique Centrale et de l'Ouest (OSFACO). Il faut ajouter l'utilisation des données GPS (points de contrôle terrain) et le Fond topographique de l'IGN, 1992 (format shp).

2.2 Matériel de collecte des données

La collecte des données a nécessité :

- un GPS pour rallier les placettes à partir de leurs coordonnées géographiques avec une précision de 3 m et pour collecter les points de contrôle terrain ;
- un décimètre pour la mesure de la circonférence des essences ($C \geq 30$ cm) ;
- un clisimètre pour la mesure de la hauteur des arbres ;
- des fiches de relevés pour noter les données *in situ*.

2.3 Méthode de traitement et d'analyse des données

2.3.1 Données d'activité (DA)

De nombreuses données cartographiques sur l'occupation du sol existent au Bénin depuis 1975. Malheureusement, ces dernières sont souvent parcellaires. Les principales données d'activité considérées dans cette étude sont les superficies nettes de déforestation et de dégradation forestière.

L'année 2005 a été choisie comme année de référence car elle constitue un point de convergence de la grande majorité de produits cartographiques relatifs aux étendues forestières et l'occupation des terres au Bénin. C'est l'année dans laquelle l'Inventaire Forestier National (IFN) a été fait dans le cadre du Projet bois de feu phase II. L'année 2015 a quant à elle été choisie parce qu'elle constitue l'année de référence choisie par le Bénin pour sa Contribution Prévue Déterminée au niveau National (CPDN) au titre de la Convention-Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques (CCNUCC).

❖ Méthode de production des Données d'Activité (DA)

L'approche générale de production des DA peut être décomposée en trois grandes étapes successives :

→ *L'interprétation visuelle assistée par ordinateur (IVAO)*

L'interprétation visuelle des images repose sur l'observation des teintes, des formes, des tailles, de la texture, de la répartition dans l'espace des formes observées, mais aussi du contexte. Elle s'est basée sur une analyse visuelle des images de référence permettant l'extraction d'informations dont la résultante est une cartographie. L'interprétation visuelle a consisté à digitaliser chaque entité homogène tirée de la nomenclature définie.

- La nomenclature retenue est conforme aux lignes directrices du (GIEC, 2019 : 7).

Les grandes catégories de terres utilisées pour la préparation des inventaires des gaz à effet de serre sont : les terres forestières, les terres cultivées, les prairies, les terres humides, les établissements et les autres terres.

- La numérisation

Elle est basée sur des règles de digitalisations précises. L'échelle de visualisation doit rester constante; respect des critères de surfaces et de largeurs minimales cartographiables et le respect du principe de généralisation cartographique et d'uniformité visuelle. L'échelle de digitalisation est de 1 :10 000. La surface minimale cartographiable a été fixée à 0,5 ha et la largeur minimale de collecte a été fixée à 5 m.

- La validation de l'interprétation.

Elle a pris en compte la validation de la précision thématique à travers l'évaluation des erreurs de commission et des erreurs d'omission. Le calcul de ces valeurs est décrit par les équations suivantes :

- Précision d'utilisateur = $\frac{x_{ii}}{x_{+i}} \times 100$ (1)

- Précision de producteur = $\frac{x_{ii}}{x_{i+}} \times 100$ (2)

La précision globale est obtenue par l'équation suivante :

$$a = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{Nc} x_{ii} \quad (3)$$

x_{+i} = Total de points d'observation dans la colonne i

x_{ii} = Nombre de points d'observation dans la colonne i et ligne i correspondant à la diagonale de la matrice

x_{i+} = Total de points d'observation dans la ligne i.

- La génération de la matrice de conversion et des cartes de déforestation

→ *L'analyse statistique des données d'activité*

- Taux de déforestation

Le taux global de déforestation (TgDef) est calculé par l'équation (4) suivante. Le taux annuel de déforestation a été obtenu en divisant le taux de déforestation par le nombre d'années d'étude.

$$Tg(Def) = (Def \times 100)/S1 \quad (4)$$

Def(b ; n) est la déforestation brute (b) ou nette (n) et S1 représente la superficie des terres forestières naturelles de l'année t1.

- Taux de dégradation

Le taux global de dégradation (TgDg) est calculé par la formule suivante :

$$Tg(Dg) = (Dg \times 100)/S1 \quad (5)$$

Dg(b ;n) est la dégradation brute (b) ou nette (n) et S1 représente la superficie des terres forestières naturelles de l'année t1.

→ ***Incertitude totale sur les données d'activité***

Les données d'activité (en ha) résultent du produit de l'estimation de la déforestation (en ha) et des proportions des transitions entre 2005 et 2015. L'erreur associée à chaque DA est estimée en suivant la règle classique de propagation des erreurs dans le cas du produit de quantités incertaines :

$$S(DA) = DA * \sqrt{\left(\left(\frac{S(\hat{A})}{\hat{A}}\right)^2 + \left(\frac{S(prop)}{prop}\right)^2\right)} \quad (6)$$

Avec (DA) : l'erreur standard sur la DA d'intérêt, S(\hat{A}) : l'erreur standard sur l'estimation de déforestation, \hat{A} l'estimation de déforestation, (prop) : l'erreur standard sur la proportion de la transition d'intérêt et prop la proportion de la transition d'intérêt. Un intervalle de confiance à 90 % peut être calculé en multipliant (DA) par la cote 1,645.

2.3.2 Estimation de la biomasse aérienne ligneuse

→ ***Relevés in situ***

Les données fournies par les cartes d'occupation des terres mettent en évidence une stratification a priori qui constitue des sous-unités homogènes appelées strates. La méthode d'échantillonnage correspondante est l'échantillonnage aléatoire stratifié. Son intérêt réside dans la réduction du nombre d'unités d'observation pour une précision donnée et par conséquent la réduction du coût et du temps de l'inventaire. Le critère de stratification est dans ce cas qualitatif car reposant sur les formations végétales selon la classification internationale de Yangambi 1956.

La placette circulaire est choisie. Elle a tout avantage de sa forme géométrique ainsi réduisant le périmètre pour une superficie maximale et donc réduisant les cas de mesures des arbres de bordures. L'unité d'observation sera donc une placette circulaire de 18 m de rayon (Kaire *et al.*, 2013 : 25). Les données et les analyses au niveau de la placette sont extrapolées à la surface d'un hectare pour estimer la biomasse. Tous les arbres dont le diamètre à hauteur de poitrine (dhp) est supérieur ou égal à 10 cm sont pris en compte dans chacune des placettes.

Au total 173 placettes circulaires de 18 m de rayon ont été installées pour les relevés *in situ*. 103 relevés ont été réalisés au niveau des terres forestières et 70 relevés pour les terres cultivées et autres terres.

→ *Biomasse aérienne ligneuse*

Le bassin moyen de la Sota étant situé dans le domaine soudanien où règne un climat tropical avec une pluviométrie moyenne inférieure à 1 500 mm/an l'équation allométrique de Mbow *et al.* (2014 : 346) a été utilisé pour l'estimation de la biomasse aérienne ligneuse. Ce modèle a pour formule :

$$B_a = 1,929 \times D + 0,116 \times D^2 + 0,013 \times D^3 \quad (7)$$

Avec B_a : Biomasse aérienne en kg, D : Diamètre mesuré à hauteur de poitrine (cm).

2.3.3 Estimation des facteurs d'émission de CO_2

Pour calculer des pertes de biomasse aérienne dues à la déforestation, les facteurs d'émission en équivalent CO_2 sont calculés à partir de l'équation suivante :

$$FE = B_a \times FCFC_{(Ba)} \times FCC_{(eqCO_2)} \quad (8)$$

FE : facteurs d'émission t.ég CO_2 /ha ; B_a : Biomasse aérienne en t.MS; $FCFC_{(Ba)}$: Facteur de conversion de la fraction carbonée de la biomasse égal à 0,487 proposé par Gendehou *et al.* (2012 : 85)

$FCC_{(eqCO_2)}$: Facteur de conversion de Carbone en équivalent CO_2 égal à 44/12.

2.3.4 Erreur sur la conversion de la biomasse aérienne ligneuse en stock de carbone

L'erreur standard associée à la fraction carbonée dans la biomasse sèche (FC) est de 0,206 (Réjou-Méchain *et al.*, 2017 :1166). L'intervalle de confiance à 90% autour de FC est donc de $\pm 0,03$. Le stock de carbone étant le produit de la biomasse (B_a) par FC, l'erreur sur le stock de carbone est estimée en suivant la règle classique de propagation des erreurs dans le cas d'un produit de quantités incertaines :

$$Ec = B_a \times \sqrt{\left(\left(\frac{EBa}{B_a}\right)^2 + \left(\frac{EFC}{FC}\right)^2\right)} \quad (9)$$

Avec EC : l'erreur sur le stock de carbone (tC/ha), EBa : l'erreur sur la biomasse aérienne B_a (en tMS/ha) et E : l'erreur sur la fraction carbone dans la biomasse sèche (en tMS/ha).

2.3.5 Méthodes d'évaluation des émissions historiques (EH) dues à la déforestation

En accord avec les lignes directrices du GIEC sur les bonnes pratiques en matière d'inventaire des gaz à effet de serre, le calcul des émissions historiques issues de la déforestation se fait en multipliant les données d'activité (DA) par les facteurs d'émission (FE).

Dans ce travail, les DA correspondent aux superficies perdues par chaque terre lors des transitions dues à la dégradation et la déforestation. Quant aux FE, ils correspondent à la quantité de carbone libérée dans l'atmosphère lors des transitions entre 2005 et 2015.

$$EH = DA \times FE \quad (10)$$

EH : Emissions Historiques en t.ég CO_2 ; DA : données d'activité en ha ; FE : facteurs d'émission en t.ég CO_2 /ha.

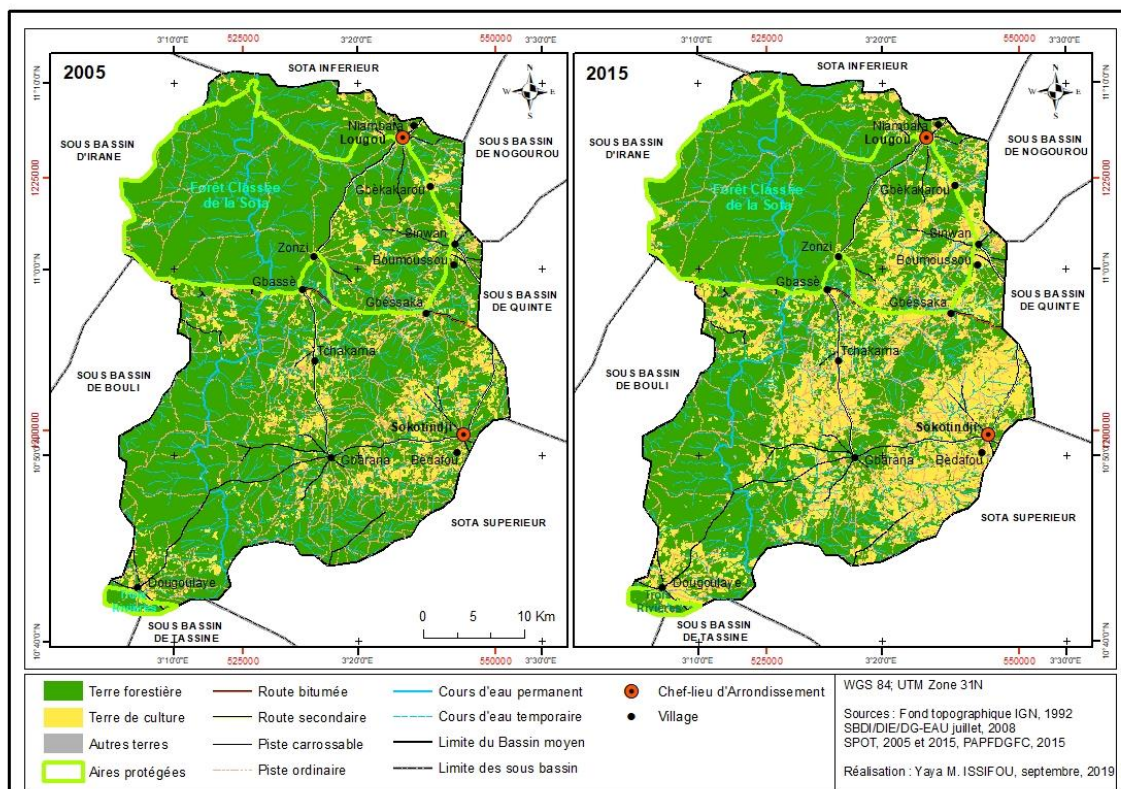
III- Résultats et discussion

3.1 Cartographie des changements d'affectation des terres

La figure 2 présente les cartes de « forêt » et « non forêt » de 2005 et 2015.

On note de l'observation de cette figure 2 une réduction des terres forestières au profit des terres non forestières (terres cultivées et autres terres) jusqu'à l'intérieur des aires protégées. Déjà en 2013, Zakari (2015 : 98) a constaté la régression de toutes les formations végétales naturelles dans le bassin versant de la Sota et que cette régression est plus marquée par la dégradation des forêts claires, des galeries forestières et des forêts denses sèches.

Figure 2. Cartes de « forêt » et « non forêt » de 2005 et 2015



3.2 Données d'activité

Les données d'activité correspondent aux superficies (en ha/an) transitant d'une classe d'occupation des terres à une autre durant une période d'intérêt. Les transitions d'intérêt dans cet article sont celles relatives à la déforestation, soient les transitions des terres forestières vers les terres non forestières, durant la période 2005-2015. Le tableau 2 présente les données d'activité produites entre 2005 et 2015.

Tableau 2. Données d'activité entre 2005 et 2015

Secteur	Données d'activité	Total (ha)	$\pm 90\%$ IC	Annuelle (ha)	Taux global (%)	Taux annuel (%)
Aires protégées	Déforestation nette	4654,55	18,03	465,46	10,14	1,01
	Dégradation nette	1214,18	21,24	121,42	2,65	0,26
	Reconstitution	419,84	5,90	41,98	0,91	0,09
	Amélioration	453,47	11,08	45,35	0,99	0,10
Terroirs	Déforestation nette	22047,39	40,12	2204,74	25,86	2,59
	Dégradation nette	1319,34	22,25	131,93	1,55	0,15
	Reconstitution	1469,76	10,88	146,98	1,72	0,17
	Amélioration	515,07	11,80	51,51	0,60	0,06
Bassin moyen Sota	Déforestation nette	26698,86	43,96	2669,89	20,34	2,03
	Dégradation nette	2532,33	30,76	253,23	1,93	0,19
	Reconstitution	1900,22	12,35	190,02	1,45	0,14
	Amélioration	969,03	16,19	96,90	0,74	0,07

Sources : Interprétation SPOT5 et 7

ha : hectare

Il ressort de l'examen du tableau 2 que dans l'ensemble du bassin, le taux annuel de déforestation nette est de 2,03 % (soit 2 669,89 ha/an), alors que la dégradation nette est évaluée à 0,19 %/an (soit 253,23 ha/an). Pendant ce temps, la reconstitution naturelle se faisait à un rythme de 190 ha/an (soit 0,14 %/an) et les améliorations sont évaluées quant à elles à 96,90 ha/an (soit 0,07 %/an). Ces tendances cachent des disparités au niveau des deux secteurs du bassin. En effet, la déforestation nette est évaluée à 465,46 ha/an (soit 1,01 %) dans les aires protégées, alors qu'elle s'élève à 2 204,74 ha/an (soit 2,59 %/an) dans les terroirs. Dans son rapport sur l'évaluation de la déforestation et de la dégradation des forêts dans les aires protégées et terroirs villageois du bassin cotonnier du Bénin (Toko Imorou *et al.*, 2018 : 16), estime le taux de déforestation sur l'ensemble du secteur à 2,94 %. Ce taux est de 4,25 % dans les terroirs villageois et de 0,66 % dans les aires protégées. Dans la forêt classée de Ouénou-Bénou au Nord Bénin, le taux de déforestation annuel s'élève à 0,9 (1314,4ha) tandis que celui de la dégradation est de 0,1 soit 26,5 ha de la superficie totale de la forêt classée (Biaou *et al.*, 2019 : 14).

Parlant de la reconstitution naturelle, on note qu'elle est plus importante dans les terroirs (0,17 %/an ; soit 146,98 ha/an) que dans les aires protégées (0,09 %/an ; soit 41,98 ha/an). Par contre, les améliorations se sont plus opérées dans les aires protégées avec environ 0,10 %/an (soit 45,35 ha/an) que dans les terroirs où elles font 0,06 %/an (soit 51,51 ha/an).

Le constat de la disparition du couvert forestier est un fait. En effet, les études récentes menées coordonnées par la FAO font état d'un recul du couvert forestier terrestre qui est passé de 31,6 % en 1990 à 30,6 % en 2015 (FAO, 2018, *in* Biaou *et al.*, 2019 : 3).

3.3 Facteurs d'émission de CO₂

Le tableau 3 présente les facteurs d'émission de CO₂ par secteur.

Tableau 3. Facteurs d'émission de CO₂ par secteur

Secteur	Facteurs d'émission CO ₂			± 90 % IC
	Ba (t/ha)	C (t/ha)	FE (t.éq-CO ₂ /ha)	
Aires protégées	1369,99	667,19	2 446,35	0,83
Terroir	4835,22	2354,75	8 634,10	1,10
Bassin moyen Sota	6205,22	3021,94	11 080,45	1,05

Sources : Interprétation SPOT5 et 7, relevés de terrain 2018

t.éq-CO : tonne équivalent CO₂ ; ha : hectare

Globalement, le bassin dispose d'un facteur d'émission total de 11 080,45 t.éq-CO₂/ha. Il diminue progressivement de l'intérieur des aires protégées (2 446,35 t.éq-CO₂/ha) vers les terroirs (8 634,10 t.éq-CO₂/ha). Toko Imorou *et al.*, (2018 : 24) obtient 2 566,35 t.éq-CO₂/ha dans les aires protégées, 21391,72 t.éq-CO₂/ha dans les terroirs et 23 304,17 t.éq-CO₂/ha dans le bassin cotonnier-est du Bénin. Par contre, en RDC le système national de surveillance des forêts (Kosa *et al.*, 2018 :112), a obtenu environ 1 222,97 CO₂/ha en évaluant le niveau d'émission de référence des forêts dans le pays.

3.4 Émissions historiques (EH) dues à la déforestation

Le tableau 4 présente les émissions historiques dues à la déforestation entre 2005 et 2015.

Tableau 4. Émissions historiques dues à la déforestation

Secteur	Données d'Activités	Superficie (ha)	(Mt.éq-CO ₂ /ha)
Aires protégées	Déforestation totale	4655	11,39
	Déforestation annuelle	465,46	1,14
Terroirs	Déforestation totale	22 047,39	190,36
	Déforestation annuelle	2 204,74	19,04
Bassin moyen de la Sota	Déforestation totale	26 698,86	295,84
	Déforestation annuelle	2 669,89	29,58

Sources : Interprétation SPOT5 et 7 ; relevés de terrain, 2018

Mt.éq-CO : Mégatonne équivalent CO₂ ; ha : hectare

Il ressort de l'analyse du tableau 4 que les émissions historiques dues à la déforestation s'élèvent à environ 295,87 Mt.éq-CO₂/ha soit 29,58 Mt.éq-CO₂/ha/an dans le bassin moyen de la Sota. Dans les aires protégées, les émissions annuelles sont estimées à 1,14 Mt.éq-CO₂/ha/an, alors que les terroirs émettent jusqu'à 19,04 Mt.éq-CO₂/ha/an. Dans la province de Kwongo en RDC les émissions totales sont évaluées à 3,06 Mt.éq-CO₂/ha/an (Kosa *et al.*, 2018 :113). Au Bénin par contre, Toko Imorou *et al.* (2018 : 25) a obtenu des émissions de 7,22 Mt.éq-CO₂/ha/an dans le bassin cotonnier ; 0,80 Mt.éq-CO₂/ha/an dans les aires protégées et 6,63 Mt.éq-CO₂/ha/an dans les terroirs. De l'inventaire des GES, il ressort que les émissions de GES du Bénin sont de l'ordre de 7035,71 Gg.éq.-CO₂ pour un potentiel de séquestration de carbone estimé à 5 594,62 Gg.éq.-CO₂ en 2000 soit une émission nette de 1 441,09 Gg.éq.-CO₂ (Satoguina, 2011 :108).

En thème de projection, dans le secteur de l'UTCATF, la mise en œuvre des mesures pourrait contribuer à accroître la capacité de séquestration cumulée du Bénin à hauteur de 32 Mt éq-CO₂ par rapport au scénario de maintien du statu quo dans ce secteur sur la période 2021-2030 dont 76,6 % de contribution conditionnelle et 23,4 % de contribution inconditionnelle, à travers la limitation de la déforestation (23,9 Mtéq-CO₂) et la création des plantations forestières (8,1 Mtéq-CO₂) (DGEC, 2016 : 6).

Conclusion

L'estimation des émissions dues à la déforestation dans le bassin moyen de la Sota a permis de mettre en exergue l'ampleur des phénomènes de déforestation et de dégradation des forêts dans un milieu sous fortes pressions agricoles et pastorales. L'impact direct de la déforestation est le taux historique d'émission de CO₂ enregistré dans l'intervalle de 10 ans. Si le *statu quo* est maintenu, la tendance de la déforestation va s'aggraver et les émissions de CO₂ connaîtront une hausse alors que le Bénin prévoit de réduire globalement les émissions cumulées de gaz à effet de serre (hors secteur foresterie) par rapport au scénario de maintien du statu quo d'environ 49,49 Mtéq-CO₂, soit une réduction de 16,17% sur la période 2021 à 2030. Au terme de cette étude, il apparaît clairement donc que des actions d'atténuation des émissions de GES doivent être entreprises de façon directe dans les zones aussi vulnérables au changement climatique comme le bassin cotonnier du Bénin.

Références bibliographiques

- Adomou, A.C., (2005). «Vegetation patterns and environmental gradients in Benin: Implications for biogeography and conservation ». «PhD thesis », Wageningen University.
- Ago, E. E. (2016). «Dynamique des flux de carbone entre l'atmosphère et des écosystèmes ouest-africains: cas des forêts et savanes sous climat soudanien au Bénin », « thèse » de Doctorat, Université de Liège, Gembloux, Belgique.
- Brown S., (1997). *Estimating biomass and biomass change of tropical forests: a primer*. Rome, Italie, Fao, Fao Forestry Paper.
- CEDEAO, (2015). *Evaluation des ressources forestières dans l'espace CEDEAO : Stratégies REED + dans la gestion des ressources forestières*. Rapport provisoire.
- Direction Générale de l'Environnement et du Climat (DGEC), (2016). « Première Contribution Déterminée au niveau National (CDN) au titre de l'accord de Paris ». Projet de préparation des contributions prévues déterminées au niveau national du Bénin (Projet N° GFL/ 5070- 2724- 4F42- 2201), version finale. <https://www4.unfccc.int> consulté le 08/10/2019.
- FAO, (2015). «Evaluation des ressources forestières mondiales 2015 : rapport national du Bénin », Rome. <http://www.fao.org/3/a-au190f.pdf> consulté le 08/10/2019.
- GIEC (2006). *Lignes directrices 2006 du GIEC pour les inventaires nationaux de gaz à effet de serre, préparé par le Programme pour les inventaires nationaux de gaz à effet de serre*, Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T. et Tanabe K. (eds). Publié : IGES, Japon.
- GIEC, (2007). *Bilan 2007 des changements climatiques*. Contribution des Groupes de travail I, II et III au quatrième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat [Équipe de rédaction principale, Pachauri, R.K. et Reisinger, A. (publié sous la direction de~)]. GIEC, Genève, Suisse.

- GIEC, (2019). *Consistent representation of lands: Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*, Chapitre3, volume 4 (AFOLU).
- Guendehou G. H. S., Lehtonen A., Moudachirou M., Mäkipää R., Sinsin B., (2012). « Stem biomass and volume models of selected tropical tree species in West Africa ». *Southern Forests*, 74 (2) : 77 – 88.
- Hapsari A., 2010. « Assessing and mapping ecosystem services in Offinso District, Ghana ». « Mémoire » de master, Itc, Enschede, Pays-Bas.
- Honorat Satoguina, (2011). « Scénarios d'atténuation des changements climatiques au Bénin ». *Revue d'Economie Théorique et Appliquée* Vol. 1 – N° 2 – 105-118.
- Ismaila Toko Imorou, Ousséni Arouna, Soufouyane Zakari, Mama Djaouga, Omer Thomas, (2018). « Évaluation de la déforestation et de la dégradation des forêts dans les aires protégées et terroirs villageois du bassin cotonnier du Bénin ». *Conférence OSFACO : Des images satellites pour la gestion durable des territoires en Afrique*, Mar 2019, Cotonou, Bénin.
- Kaire, M., Ouegraogo, J.S., Sarr, B. and Belem, M. (2013). *Guide de mesure et de suivi de carbone dans les systèmes sol-végétation des formations forestières et agroforestières de l'Afrique de l'Ouest*. AMCC.
- Lal, R. (1996). « Deforestation and land-use effects on soil degradation and rehabilitation in western Nigeria. II. Soil chemical properties ». *Land Degradation & Development*, 7(2), 87-98.
- Le Bars Yves, Elsa Faugère, Philippe Menanteau, Bernard Multon, Arthur Riedacker et Sébastien Velut (2010). (dir.) « L'énergie dans le développement de la Nouvelle-Calédonie ». Nouvelle édition [en ligne]. Marseille : IRD Éditions, 2010 (généré le 07 octobre 2019). Disponible sur Internet : <<http://books.openedition.org/irdeditions/993>>.
- Maxime Réjou-Méchain, Ariane Tanguy, Camille Pioniot, Jérôme Chave, and Bruno Hérault, (2017). APPLICATION BIOMASS: «anR package for estimating above-ground biomass and its uncertainty in tropical forestsMethods» in *Ecology and Evolution* 2017, 8, 1163–1167
- Mbow C., Verstraete M. M., Sambou B., Diaw A. T., Neufeldt H., 2014. «Allometric models for aboveground biomass in dry savanna trees of the Sudan and Sudan-Guinean ecosystems of Southern Senegal ». *J For Res*, 19 : 340 – 347.
- Séverin Biaou, Felix Houeto, Gérard Gouwakinnou, Samadori Sorotori Honoré Biaou, Beranger Awessou, (2019). «Dynamique spatio-temporelle de l'occupation du sol de la forêt classée de Ouénou-Bénou au Nord Bénin ». *Conférence OSFACO : Des images satellites pour la gestion durable des territoires en Afrique*, Mar 2019, Cotonou, Bénin. {hal-02189367}.
- Thenkabail, P. S., Smith, R. B., & De Pauw, E. (2002). «Evaluation of narrowband and broadband vegetation indices for determining optimal hyperspectral wavebands for agricultural crop characterization». *Photogrammetric engineering and remote sensing*, 68(6), 607-622.
- UEMOA, (2010). *Rapport de la commission de l'UEMOA sur l'Agenda et les principaux objets du Forum des Nations Unies sur les forêts*, 18 : 41, UEMOA/SCE/COURRIER 003/008.
- Védastin Kosa, Malick Muamba (2018). « Construction du niveau d'émission de référence des forêts de la république démocratique du Congo ». *Conférence OSFACO : Des images satellites pour la gestion durable des territoires en Afrique*, Mar 2019, Cotonou, Bénin.
- Wauters J. B., Coudert S., Grallien E., Jonard M., Ponette M., 2007. Carbon stock in rubber tree plantations in Western Ghana and Mato Grosso (Brazil). *Forest Ecology and Management*, 255: 2347-2361.
- Zakari Soufouyane (2015). « Vulnérabilité des parcours naturels aux changements climatiques dans le bassin de la Sota a l'exutoire de Couberi (Bénin) », « Thèse » de Doctorat de l'Université d'Abomey-Calavi, Université d'Abomey-Calavi (UAC).