



Évaluation de la déforestation et de la dégradation des forêts dans les aires protégées et terroirs villageois du bassin cotonnier du Bénin

Ismaïla Toko Imorou, Ousséni Arouna, Soufouyane Zakari, Mama Djaouga, Omer Thomas, Gérard Kinmadon

► To cite this version:

Ismaïla Toko Imorou, Ousséni Arouna, Soufouyane Zakari, Mama Djaouga, Omer Thomas, et al.. 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. <hal-02189556>

HAL Id: hal-02189556

<https://hal.science/hal-02189556v1>

Submitted on 19 Jul 2019

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

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



HAL Authorization

Évaluation de la déforestation et de la dégradation des forêts dans les aires protégées et terroirs villageois du bassin cotonnier du Bénin

Ismaila TOKO IMOROU ⁽¹⁾, Ousséni AROUNA⁽¹⁾, Soufouyane ZAKARI ^(1,*); Mama
DJAOUGA ⁽¹⁾, Omer THOMAS ⁽¹⁾, Gérard KINMADON ⁽²⁾

⁽¹⁾ Laboratoire de Cartographie de l'Université d'Abomey-Calavi ; ismael_toko@yahoo.fr

⁽²⁾ Section Communale des Eaux, Forêts et Chasse de Gogounou

^(*) Auteur correspondant: Soufouyane ZAKARI, soufouyanez@yahoo.fr

Résumé

Dans le bassin cotonnier du Nord-Bénin, la déforestation et la dégradation des forêts constituent une préoccupation majeure. L'objectif global de la présente recherche est de contribuer à la mise à disposition des données d'activités dans le cadre de l'évaluation des émissions globales de gaz à effet de serre produites par la déforestation et la dégradation des forêts. L'approche méthodologique a consisté à la collecte, au traitement et à l'analyse des données spatiales, des données phytosociologiques et d'inventaire forestier, des données climatologiques et des données socioéconomiques. L'analyse diachronique des images SPOT de 2000 et de 2015 a révélé la régression des formations forestières au profit des mosaïques de champs et de jachères. Le taux de déforestation sur l'ensemble du bassin cotonnier est de 2,94 %. Ce taux est de 4,25 % dans les terroirs villageois et de 0,66 % dans les aires protégées. On note globalement une baisse de la diversité spécifique aussi bien dans les terroirs villageois que dans les aires protégées entre 2007 et 2017. L'analyse des paramètres climatiques a révélé que le bassin cotonnier béninois connaît depuis plus de six décennies des mutations climatiques importantes caractérisées par une baisse de la pluviométrie depuis 1972 et une hausse des températures annuelles maximales et minimales respectivement à partir de 1978 et 1985. Selon les acteurs enquêtés, les principaux déterminants directs de déforestation et de dégradation des forêts sont l'agriculture, les feux de végétation et le surpâturage. Les déterminants indirects de déforestation et de dégradation des forêts sont les changements climatiques et la faible application de la législation forestière.

Mots clés : images satellites SPOT, déforestation, dégradation des forêts, aires protégées, terroirs villageois, bassin cotonnier du Bénin

Abstract

In the Northern of Benin cotton basin, deforestation and forest degradation are a major concern. The overall objective of this research is to contribute to the availability of activity data as part of the assessment of global greenhouse gas emissions from deforestation and forest degradation. The methodological approach consisted of the collection, processing and analysis of spatial data, phytosociological and forest inventory data, climatological data and socio-economic data. The diachronic analysis of SPOT images from 2000 and 2015 revealed the regression of forest formations in favor of field mosaics and fallow lands. The rate of deforestation throughout the cotton basin is 2.94%. This rate is 4.25 % in village lands and 0.66 % in protected areas. Overall, there is a decrease in specific diversity both in village soils and in protected areas between 2007 and 2017. The analysis of climatic parameters (rainfall and temperature) revealed that Benin's cotton basin has known for more than six decades major climatic changes characterized by a decline in rainfall since 1972. According to the actors surveyed, the main direct determinants of deforestation and forest degradation are agriculture, wildfires and overgrazing. Indirect determinants of deforestation and forest degradation are climate change and weak enforcement of forest legislation.

Keywords: SPOT satellite images, deforestation, forest degradation, protected areas, village lands, Benin cotton basin

1. INTRODUCTION

Au Bénin, près de 25 % du territoire national est érigé en réserves classées par l'État (Sinsin et Kampmann, 2010). Le couvert forestier national est dans sa majeure partie dégradé et fragmenté. Par exemple, la FAO (2010) estime que, d'une part, de 1978 à 2010, le pays a perdu près de 85 % de ses forêts denses et plus de 30 % de son couvert végétal et, d'autre part, c'est environ 50.000 ha de forêts qui sont détruits chaque année avec pour conséquence l'augmentation des émissions de CO₂. La déforestation est définie comme une conversion anthropique à long terme ou permanente de terres forestières en terres non forestières (GIEC, 2003). La dégradation des forêts est l'ensemble des changements au sein de la forêt qui affectent négativement la structure ou la fonction du peuplement ou du site et qui, par conséquent, diminuent sa capacité de fournir des produits et/ou des services (FAO, 2001). Les causes principales de la déforestation et de la dégradation des forêts sont, entre autres, l'agriculture itinérante, l'élevage extensif, l'exploitation forestière, la carbonisation et les feux de végétation, la croissance démographique, les changements climatiques, les limites et insuffisances de l'administration forestière (Oloukoi et *al.*, 2006 ; Bogaert et *al.*, 2011 ; Mama et *al.*, 2013 ; Avakoudjo et *al.*, 2014 ; Amoussou et *al.*, 2016)

Au Nord du Bénin, les zones cynégétiques de l'Atacora et de la Djona, les forêts classées de l'Alibori Supérieur, des Trois Rivières, de la Sota, de Goungoun, de Kandi et de la Mékrou devaient constituer une barrière verte à l'avancée du désert et protéger les bassins versants des cours d'eau de la région. Malheureusement les aires protégées de cette région sont de plus en plus empiétées par la production cotonnière (Vissin, 2007 ; Mama et *al.*, 2013 ; Avakoudjo et *al.*, 2014). Dans cette région, en dehors de la production cotonnière, l'élevage bovin essentiellement extensif et transhumant, l'exploitation forestière abusive, les feux de végétation, les influences climatiques sahéliennes sont autant d'autres facteurs qui exercent des pressions sur les terres et la végétation (Hountondji et *al.*, 2013). Plusieurs recherches ont été réalisées dans la région sur divers aspects de l'occupation des terres et de la dynamique des écosystèmes. D'abord sur la thématique climat-occupation des terres-dynamique des écosystèmes, on peut citer les travaux de Vissin (2007), de Hountondji (2008), de Zakari et *al.* (2015) et ceux de Amoussou et *al.* (2016). Ensuite, la déforestation, la fragmentation du couvert végétal, la dynamique du paysage et l'état de la flore et de la végétation ont été abordés par d'autres auteurs (Bogaert et *al.*, 2011 ; Hountondji et *al.*, 2013 ; Mama et *al.*, 2013 ; Arouna et *al.*, 2016 ; Kouta et *al.*, 2018). Enfin, d'autres travaux ont porté sur l'occupation du sol dans et/ou autour des aires protégées de la région (Houessou et *al.*, 2013 ; Avakoudjo et *al.*, 2014 ; Sarè Wara Kassim, 2017 ; Zakari et *al.*, 2018 ; Sarè et *al.*, 2018). Il est alors opportun dans un tel contexte d'évaluer la déforestation et la dégradation des forêts dans les aires protégées et terroirs villageois du bassin cotonnier. La plupart des recherches conduites sur le sujet n'ont abordé qu'un aspect du sujet (la déforestation ou la dégradation des forêts) sur une portion réduite du bassin cotonnier. L'objectif global est de contribuer à la mise à disposition des données d'activités dans le cadre de l'évaluation des émissions globales de gaz à effet de serre au

Bénin. L'objectif de cette recherche est de : cartographier les changements spatio-temporels de l'occupation des terres dans les aires protégées et les terroirs villageois du bassin cotonnier du Bénin entre 2000 et 2015

2. MATERIELS ET METHODES

2.1. Zone d'étude

La zone d'étude est localisée dans la région soudanienne au Nord du Bénin (Figure 1). Il prend en compte les terroirs villageois et les aires protégées (forêts classées de la Sota, de Gougoun, de Kandi et zones cynégétiques de l'Atacora et de la Djona) situés dans les communes de Banikoara, Kandi, Malanville et Ségbana non seulement réputées pour la production du coton et de viviers (sorgho, maïs, mil, etc.) mais également pour l'élevage bovin au plan national. Ces quatre communes cumulent une population d'environ 7 % de la population totale du Bénin sur une superficie de plus de 13 % de la superficie du pays. La densité de population moyenne est de 44 habitants/km² dans la zone pour une moyenne nationale de 87 habitants/km².

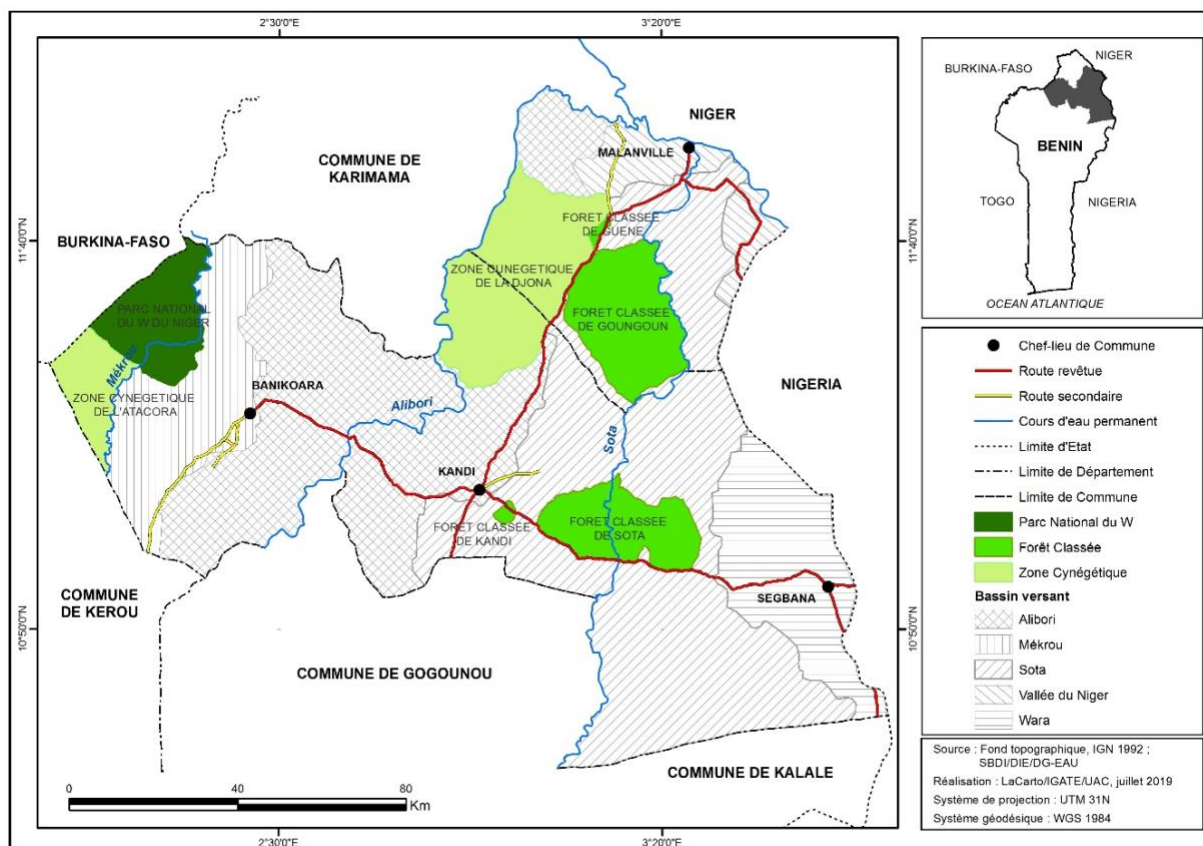


Figure 1 : Situation géographique de la zone d'étude

2.2. Données et Méthodes

Le fondement méthodologique est essentiellement basé sur l'analyse diachronique de l'occupation des terres et des paramètres floristiques et dendrométriques. Elle a été complétée par l'examen des facteurs potentiels de déforestation et de dégradation des forêts.

2.2.1. Méthode d'analyse diachronique de l'occupation des terres et d'évaluation de la déforestation

Disponibilité des données satellitaires

Les données satellitaires utilisées sont les images SPOT pivots de 2000 et 2015. Ces différentes images fournies par le programme OSFACO avaient déjà subi des corrections géométriques (géo référencement, corrections des distorsions). Il s'agit des scènes de 2000 (13 scènes SPOT 4), de 2014 (3 scènes de SPOT 7 et 6 scènes de SPOT 6), de 2015 (2 scènes de SPOT 7 et 1 scène de SPOT 6), et de 2016 (1 scène de SPOT 6).

Méthode de traitement des images

La cartographie des changements spatio-temporels de l'occupation des terres a débuté par le traitement numérique des images satellitaires à l'aide du logiciel QGIS2.18.2 notamment le module Train Radom Forest Image Classifier contenu dans la boîte à outils Orfeo. L'algorithme « RandomForest » a été déjà utilisé dans des études antérieures sur la classification des images satellitaires (Rodriguez-Galiano *et al.*, 2012 ; Shao *et al.*, 2016).

Ce traitement numérique comprend : l'importation des images spots dans le logiciel QGIS, le découpage de la zone d'intérêt, le calcul de la pyramide de l'image, la composition colorée, le choix des aires d'entraînement et la classification supervisée par maximum de vraisemblance.

- Importation des images SPOT dans QGIS

Les différentes scènes des images SPOT ont été importées dans le logiciel QGIS.

- Découpage de la zone d'intérêt

Le découpage de la zone d'intérêt a consisté à délimiter les quatre communes (Banikoara, Kandi, Ségbana et Malanville) sur les différentes scènes.

- Composition colorée

La composition colorée permet de produire des images en couleurs en tenant compte de la signature spectrale des objets. Elle sert avant tout à distinguer les différents objets présents sur les images afin de faciliter leur interprétation. Dans ce traitement, les Bande 4 : Moyen infrarouge (MIR) (1,58–1,75 μm), Bande 3 : Proche infrarouge (0,78–0,89 μm), Bande 2 : Rouge (0,61–0,68 μm) de l'image SPOT de 2000 et les Bande 4 : Proche infrarouge (0,760 – 0,890 μm), Bande 3 : rouge (0,625 – 0,695 μm), Bande

2 : verte (0,530 – 0,590 μm) de l'image SPOT 2015 ont été respectivement utilisées pour discriminer les différentes unités d'occupation des terres.

- Création des ROIs (Region Of interest)

Les unités d'occupation des terres ont été identifiées et codées sur les différentes scènes. Il s'agit de forêt galerie, forêt dense sèche, forêt claire et savane boisée, savanes arborée et arbustive, savane saxicole, plantation, mosaïque de champs et jachères, sol nu, formation marécageuse, plan d'eau et agglomération. Pour chaque unité d'occupation des terres, les ROI (aires d'entraînement) ont été délimitées loin des zones de transition afin d'éviter d'inclure des pixels mixtes qui pourraient être classés dans deux classes distinctes.

- Création du modèle de classification (Entraînement du classifieur *Random Forest*)

En vue de la classification sous *Random Forest*, il a été créé un modèle nécessaire à son lancement en se servant des ROIs créés au préalable. Le module *Train Radom Forest Image Classifier* de la boîte à outils de Orfeo a permis la création du modèle. Une fois le modèle validé à travers la valeur « *Global performance, Kappa index* », pour chaque image (Toko Mouhamadou, 2014 ; Oloukoi *et al.*, 2006), la classification est faite à partir du module Image classifieur contenu dans la boîte à outils Orfeo.

- Classification supervisée par maximum de vraisemblance

La classification supervisée a été ensuite réalisée. Les parcelles d'entraînement ont été utilisées pour établir une caractéristique numérique clé pouvant décrire au mieux les attributs spectraux pour chaque type de classes. Dans ce cas, l'algorithme paramétrique choisi est le maximum de vraisemblance (Toko Issiaka, 2014 ; Toko Mouhamadou, 2014).

Dans la classification supervisée, l'analyste d'image supervise le processus de catégorisation des pixels en spécifiant à l'algorithme informatique des descripteurs numériques de divers types d'occupation des terres présents dans la scène. Ainsi, des échantillons représentatifs des sites connus dans l'occupation des terres (parcelles d'entraînement) ont été utilisés.

- Vectorisation

Les images classifiées ont été transformées en un fichier de forme afin de pouvoir déterminer les superficies de chaque unité d'occupation des terres et d'établir la matrice de transition. La matrice de transition est sous forme de matrice carrée et constituée de X lignes et de Y colonnes. Le nombre de lignes de la matrice indique le nombre d'unités d'occupation des terres au temps t 0 ; le nombre Y de colonnes de la matrice est le nombre des unités converties au temps t 1 et la diagonale contient les superficies des unités restées inchangées. Les transformations se font des lignes vers les colonnes.

– Mission de contrôle terrain et évaluation de la cartographie de l'occupation des terres

Le contrôle-terrain a consisté à vérifier les classes de pixels issues de la classification. Les classes de pixels à vérifier sur le terrain ont été déterminées à partir de la méthode d'échantillonnage proportionné à 1 degré. Au total, 483 points répartis sur les différentes unités d'occupation des terres ont été vérifiés sur le terrain. Les unités qui ne sont pas bien identifiées sur les images ont été corrigées à partir de ces points. La Figure 2 présente la carte de répartition des points contrôlés.

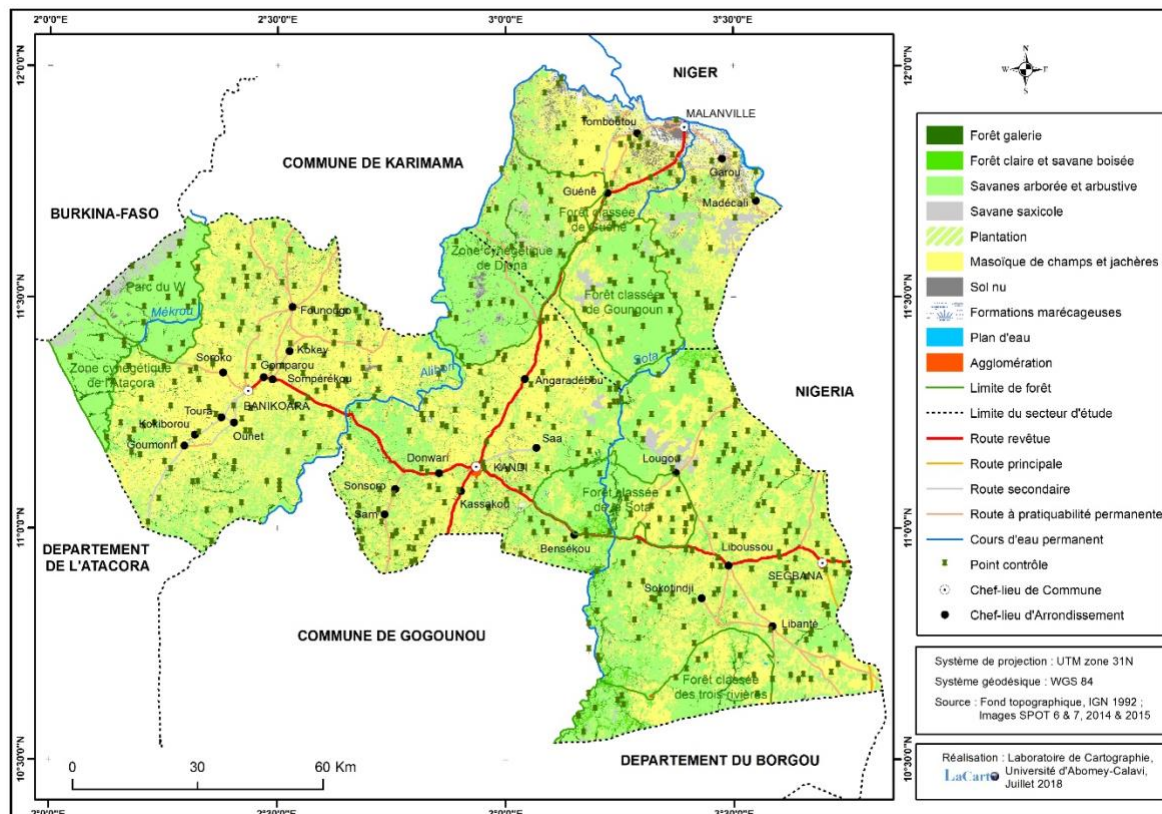


Figure 2 : Répartition des points contrôlés dans la zone d'étude

2.2.2. Méthode d'évaluation de la déforestation

Le niveau de déforestation a été évalué à partir du taux de déforestation annuel "r" calculé par la formule proposée par Puyravaud (2003).

$$r = \frac{1}{t_2 - t_1} \times \ln \frac{A_2}{A_1}$$

t2-t1 représente l'intervalle de temps dans lequel l'on veut évaluer les changements de l'occupation des terres. A1 et A2 représentent la somme de la proportion des formations végétales naturelles (forêt galerie, forêt dense sèche, forêt claire et savane boisée, savanes arborées et arbustives, savane saxicole) de chaque année.

2.2.3. Méthode de caractérisation de la dégradation des forêts : inventaires phytosociologique et forestier

Les inventaires phytosociologique et forestier ont été réalisés afin d'apprécier l'état de dégradation des forêts. Ce sont les placettes de l'Inventaire Forestier National (IFN) de 2007 qui ont été inventoriées en 2017 suivant les mêmes bases méthodologiques. Les inventaires de la végétation ont été effectués en 2017 parce que c'est l'année de démarrage du projet.

L'aire de relevé retenue a été une placette circulaire de rayon 18 m pour la strate arborescente. Il s'agit des placettes permanentes de l'IFN (2007). Au total, 143 placettes ont été inventoriées.

Les inventaires forestiers ont été faits à l'aide des fiches d'inventaire. L'inventaire forestier a consisté à dénombrer tous les ligneux. Le diamètre des ligneux de dbh ≥ 10 cm a été mesurée à l'aide du ruban π . La hauteur des espèces ligneuses a été mesurée à l'aide de la perche télescopique ou du clinomètre.

Les paramètres dendrométriques (densité, diamètre moyen, surface terrière) et les indices de diversité (richesse spécifique, diversité spécifique, équitabilité de Pielou, indice de Simpson) ont été calculés dans les aires protégées et dans les terroirs villageois. Le test t de Student a été réalisé après : transformation en racine carrée, normalité et homogénéité de variance des séries de données.

2.2.4. Méthode d'analyse des déterminants de la déforestation et de la dégradation des forêts

Plusieurs moteurs de la déforestation et de la dégradation ont été analysés. Il s'agit des paramètres climatiques et des paramètres socio-économiques.

Analyse des paramètres climatiques

L'analyse des paramètres climatiques a consisté à étudier l'évolution de la pluviométrie et des températures dans le bassin cotonnier à partir des données de la station météorologique de Kandi. Ces données sont constituées des hauteurs pluviométriques annuelles et des températures annuelles maximales et minimales. Elles couvrent la période de 1951 à 2015. Le choix de cette période se justifie par le fait que les effets des fluctuations climatiques sur la végétation forestière ne sont perceptibles que sur une longue période.

L'analyse de la pluviométrie et des températures a été faite par la méthode des indices de Lamb (1982) et la recherche de rupture de stationnarité dans les séries chronologiques de ces deux paramètres.

Le calcul des indices pluviométriques et thermométriques a permis de dégager les grandes tendances dans les séries chronologiques climatiques. A l'échelle interannuelle, ils permettent de mettre en évidence les phases déficitaires et les phases excédentaires. Ils sont calculés à partir de la formule suivante :

$$x'_i = \frac{x_i - \bar{x}}{\sigma(x)}$$

x'_i = variable centrée réduite pour l'année i (indice pluviométrique ou thermométrique selon la variable étudiée); \bar{x} = moyenne de la série chronologique sur la période 1951-2015 $\sigma(x)$ = écart-type de la série chronologique sur la période 1951-2015.

L'indice pluviométrique est bien adapté au suivi des variations de la dynamique de la végétation en relation avec l'évolution de la pluviométrie (Diallo et *al.*, 2011).

La recherche de rupture de stationnarité a été faite à l'aide du test statistique de Pettitt (1979). L'application du test a été effectuée à l'aide du logiciel KhronoStat 1.01 développé par l'Institut de Recherche pour le Développement (IRD).

Analyse des paramètres socio-économiques

Les enquêtes socio-économiques ont été réalisées auprès des acteurs principaux dont les activités touchent d'une manière ou d'une autre, l'occupation des terres et l'exploitation des ressources forestières. Il s'agit essentiellement des agriculteurs, des éleveurs, des exploitants forestiers et des charbonniers. Les données statistiques sur l'effectif de ces différents acteurs n'étant pas disponibles, la taille de l'échantillon à enquêter au niveau de chaque catégorie d'acteurs a été déterminée à partir de la formule de Dagnelie (1998). Au total, 235 acteurs ont été interrogés. Sa formule est la suivante :

$$n = \frac{p(1-p)U_{1-\frac{\alpha}{2}}^2}{d^2}$$

P étant la proportion de chaque catégorie d'acteurs, obtenue à partir d'une enquête exploratoire, d = 10 % (marge d'erreur variant de 0 à 20 %).

Pour analyser les déterminants de la déforestation et de la dégradation des forêts selon différents acteurs, une analyse factorielle des correspondances (AFC) a été effectuée avec le logiciel R.

3. RESULTATS

3.1. Cartographie de la dynamique du couvert forestier de 2000 à 2015

Les Figures 3 et 4 présentent les états de l'occupation des terres dans le bassin cotonnier du Bénin (communes de Banikoara, de Kandi, de Malanville et de Ségbana) en 2000 et en 2015. La précision moyenne de ces cartes est de 92 %.

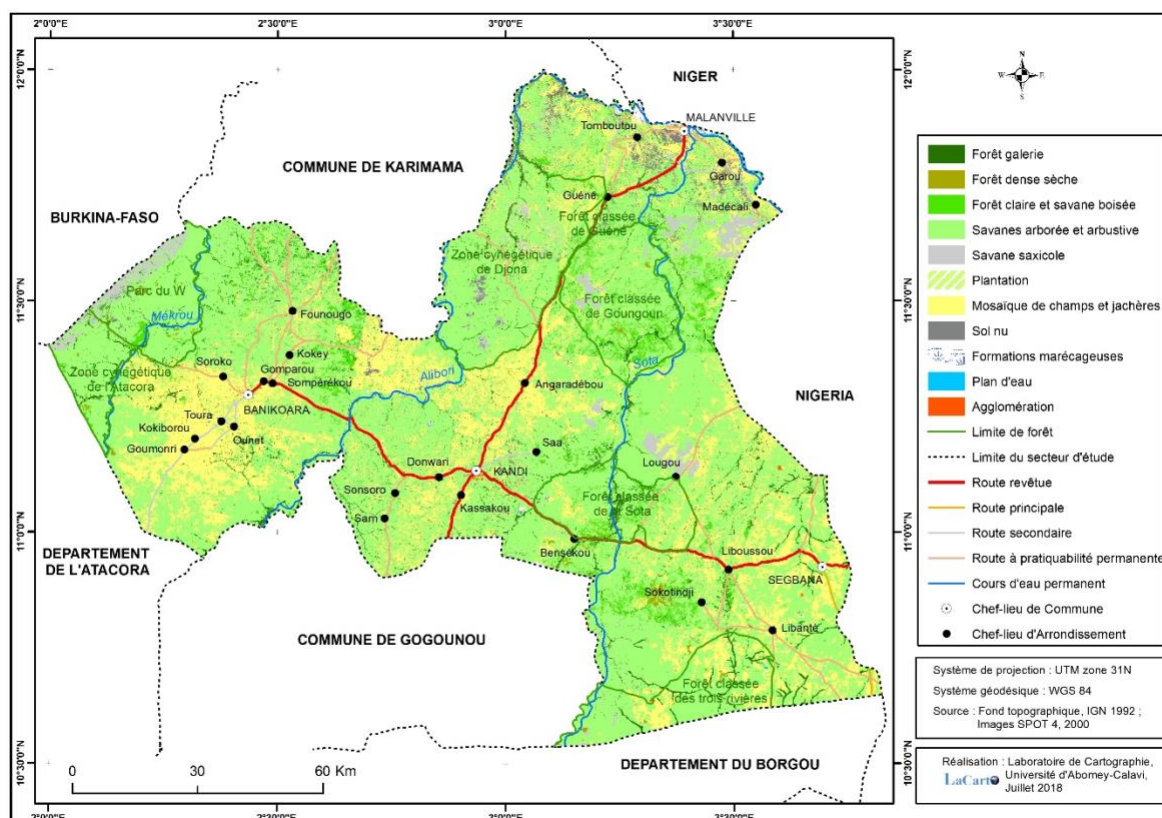


Figure 3 : État de l'occupation des terres de la zone d'étude en 2000

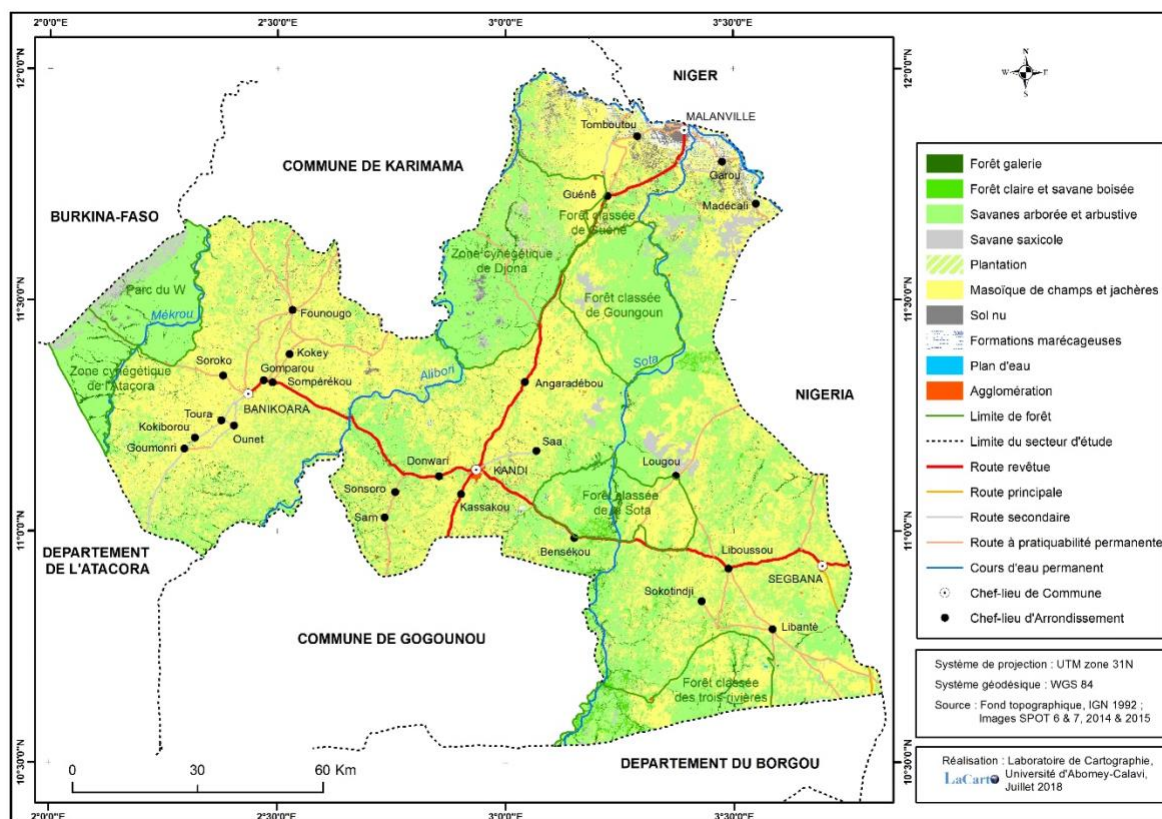


Figure 4 : État de l'occupation des terres de la zone d'étude en 2015

L'examen des cartes d'occupation des terres de 2000 et de 2015 révèle la diminution des forêts denses sèches, des forêts galeries, des forêts claires et savanes boisées et même des savanes arborées et arbustives au profit des mosaïques de champs et jachères aussi bien dans les terroirs villageois que dans les aires protégées. Les formations naturelles résiduelles s'observent seulement dans les aires protégées.

Le Tableau 1 présente la matrice de transition qui permet de comprendre les différentes conversions qu'ont subies les différentes formations végétales et autres unités d'occupation des terres.

Tableau 1 : Matrice de transition entre 2000 et 2015

UOT en 2000	UOT en 2015											Sup en Km ² (2000)
	FG	FDS	FCSB	SASA	SS	PL	MCJ	SN	FM	PE	AGG	
FG	162,71	0	0	0	0	7,25	263,97	0	0	0	0	433,93
FDS	0	0	5,02	41,70	0	0,20	8,07	0	0	0	0	54,99
FCSB	0	0	36,38	276,18	0	6,58	221,68	0	0	0	0,741	541,56
SASA	0	0	91,61	5946,27	0	88,72	3732,53	0	0	0	22,421	9881,56
SS	0	0	0	0	306,62	0	0	0	0	0	0	306,62
PL	0	0	0	0	0	9,89	1,22	0	0	0	0,07	11,17
MCJ	0	0	0,0	341,14	0	92,33	3375,25	5,86	0	0	12,56	3827,14
SN	0	0	0	0	0	0	0,74	400,35	0	0	0,07	401,16
FM	0	0	0	0	0	1,62	8,12	0	21,89	0	0,05	31,68
PE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	17,00	0	17,00
AGG	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	32,10	32,11
Sup en Km ² (2015)	162,71	0	133,02	6605,29	306,62	206,59	7611,57	406,20	21,89	17,00	68,02	15538,91

Légende :

UOT : Unité d'Occupation des Terres ; FG : Forêt Galerie ; FDS : Forêt Dense Sèche ; FCSB : Forêt Claire et Savane Boisée ; SAA : Savanes Arborée et Arbustive ; SS : Savane Saxicole ; FM : Marécage ; PL : Plantation ; MCJ : Mosaïques de Champs et Jachères ; SN : Sol Nu ; PE : Plan d'Eau ; AG : Agglomération.

L'examen de la matrice de transition (Tableau 1) révèle que toutes les unités d'occupation des terres observées en 2000 sont également présentes en 2015. De façon générale, on remarque que les formations naturelles ont régressé en subissant deux modes de conversion : la savanisation et l'anthropisation. En effet, les forêts galeries qui occupaient 433,93 km² en 2000 sont passées à 162,71 km² en 2015. Environ 7,25 km² de ces formations ont été converties en plantations et 263,97 km² en champs et jachères. De 2000 à 2015, les forêts denses sèches se sont converties en forêts claires et savanes boisées (5,02 km²), en savanes arborées et arbustives (41,70 km²), en plantations (0,20 km²) et en mosaïques de champs et jachères (8,07 km²).

Les forêts claires et savanes boisées ont connu 36,38 km² de stabilité en 2015 sur 541,56 km² en 2000 ; une partie s'est convertie en savanes arborées et arbustives (276,18 km²), 6,58 km² en plantations, 221,68 km² en mosaïques de champs et jachères et 0,74 km² en agglomérations. S'agissant des savanes arborées

et arbustives, 91,61 km² ont été transformées en forêts claires et savanes boisées, 88,72 km² en plantations, 3732,53 km² en mosaïques de champs et jachères et 22,42 km² en agglomérations.

Les mosaïques de champs et jachères ont connu aussi des conversions. Ainsi, 341,14 km² sont converties en savanes arborées et arbustives, 92,33 km² en plantations, 5,86 km² en sols nus, 12,56 km², en agglomérations et 3375,25 km² sont restés stables. Les savanes saxicoles, les plans d'eau et les agglomérations n'ont pas subi de conversion.

L'examen de la figure 5 montre que les savanes arborées et arbustives sont les plus abondantes en 2000 et les mosaïques champs et jachères les plus abondants en 2015.

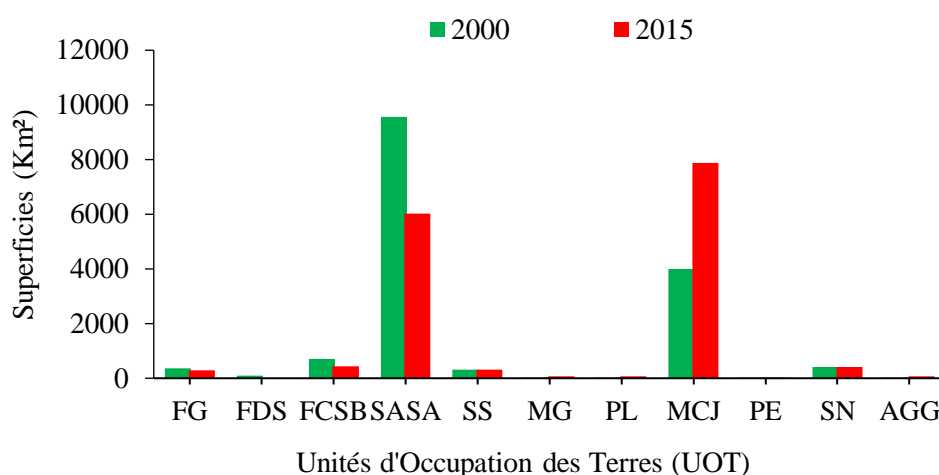


Figure 5 : Unités d'occupation des terres

3.2. Analyse de la déforestation

L'analyse diachronique des images SPOT de 2000 et de 2015 a révélé la régression des formations naturelles au profit des mosaïques de champs et de jachères. Entre ces deux périodes, le taux de déforestation sur l'ensemble du secteur est de 2,94 %. Les terroirs villageois sont plus touchés par la déforestation que les aires protégées. Ce taux est de 4,25 % dans les terroirs villageois et de 0,66 % dans les aires protégées. La déforestation a touché 37 % de la superficie de la zone d'étude avec 48,71 % des terroirs villageois et 10,22 % des aires protégées. Il s'agit notamment de la conversion des forêts galeries, des forêts denses sèches, des forêts claires et savanes boisées et des savanes arborées et arbustives en mosaïques de champs et jachères.

3.3. Diversité spécifique, caractéristiques dendrométriques des formations végétales et dégradation des forêts

Les paramètres de diversité spécifique et les paramètres dendrométriques ont été déterminés dans les aires protégées et dans les terroirs villageois à partir des données d'inventaires forestier et phytosociologique de 2007 et de 2017.

3.3.1. Analyse diachronique de la diversité spécifique des formations végétales

Le Tableau 2 présente les paramètres de diversité spécifique en 2007 et en 2017 dans les aires protégées et dans les terroirs villageois du bassin cotonnier.

Tableau 2 : Paramètres de diversité spécifique par domaine en 2007 et 2017

Domaines	R		H		E		Simpson (D)	
	<i>IFN</i>	<i>OSFACO</i>	<i>IFN</i>	<i>OSFACO</i>	<i>IFN</i>	<i>OSFACO</i>	<i>IFN</i>	<i>OSFACO</i>
Aires protégées	6,64	4,91	2,06	1,62	0,78	0,7	0,23	0,33
Terroirs villageois	<i>6,01</i>	<i>4,08</i>	<i>1,84</i>	<i>1,32</i>	0,69	0,61	0,2	0,29

Domaines	R		H		E		Simpson (D)		Hill	
	<i>IFN</i>	<i>OSFACO</i>	<i>IFN</i>	<i>OSFACO</i>	<i>IFN</i>	<i>OSFACO</i>	<i>IFN</i>	<i>OSFACO</i>	<i>IFN</i>	<i>OSFACO</i>
Aires protégées	6,64	4,91	2,06	1,62	0,78	0,70	0,23	0,33	0,86	0,58
Terroirs villageois	<i>6,01</i>	<i>4,08</i>	<i>1,84</i>	<i>1,32</i>	0,69	0,61	0,20	0,29	0,57	0,52

R = richesse spécifique ; H = indice de Shannon ; E = équitabilité de Pielou ; Simpson (D) = indice de Simpson

NB : une différence significative au seuil de 5 % est notée au niveau des valeurs en italique et en gras

L'examen du Tableau 2 révèle que la richesse spécifique obtenue en 2007 (IFN) est plus élevée que celle obtenue en 2017 (OSFACO) dans les aires protégées. Cette tendance régressive de la richesse est également observée dans les terroirs villageois entre 2007 et 2017. L'indice de diversité de Shannon obtenu est relativement moyen (2,06 bits) en 2007 et faible (1,62 bits) en 2017 au niveau des aires protégées. Cet indice a également évolué de façon décroissante au niveau des terroirs villageois entre 2007 et 2017. On observe aussi les mêmes tendances au niveau de l'équitabilité de Pielou et de l'indice de Hill aussi bien dans les aires protégées et les terroirs villageois. Par contre, l'indice de Simpson obtenu en 2017 est supérieur à celui obtenu en 2007 dans les aires protégées et les terroirs villageois.

Le test statistique de Kruskal-Wallis indique qu'il n'y a pas de différence significative entre les valeurs des paramètres de diversité spécifique au seuil de 5 % dans les aires protégées entre 2007 et 2017. Par contre, dans les terroirs villageois, on note de différence significative au niveau de la richesse spécifique

et de l'indice de diversité de Shannon au seuil de 5 %. La diversité spécifique a alors connu une baisse sensible entre 2007 et 2017 dans les terroirs villageois. C'est un indicateur tangible de la forte dégradation des forêts dans les terroirs villageois.

3.3.2. Analyse diachronique des caractéristiques dendrométriques des formations végétales

Le Tableau 3 présente les paramètres dendrométriques en 2007 et en 2017 dans les aires protégées et les terroirs villageois du bassin cotonnier.

Tableau 3 : Paramètres dendrométriques dans les aires protégées et les terroirs villageois du bassin cotonnier en 2007 et en 2017

Domaines	G (m ² /ha)		Dg (cm)		N (n/ha)	
	<i>IFN</i>	<i>OSFACO</i>	<i>IFN</i>	<i>OSFACO</i>	<i>IFN</i>	<i>OSFACO</i>
Aires protégées	3,94	4,16	<i>39,43</i>	<i>23,60</i>	169,18	124,62
Terroirs villageois	4,55	4,24	<i>42,71</i>	<i>24,69</i>	<i>150,66</i>	<i>114,65</i>

G (m²/ha) : surface terrière ; N : Densité (arbres/hectare); Dg (cm) : Diamètre moyen (centimètre)

NB : une différence significative au seuil de 5 % est notée au niveau des valeurs en italique et en gras

L'examen du Tableau 3 révèle que la surface terrière, le diamètre moyen et la densité ont varié par domaine entre 2007 et 2017. La surface terrière obtenue en 2007 est inférieure à celle de 2017 dans les aires protégées. Par contre, dans les terroirs villageois on a noté une diminution de la surface terrière en 2017. Le diamètre moyen et la densité des arbres à l'hectare ont sensiblement diminué en 2017 dans les aires protégées et dans les terroirs villageois. On note une différence significative au seuil de 5 % entre le diamètre moyen observé dans les deux domaines d'une part et entre la densité observée dans les terroirs villageois entre 2007 et 2017 d'autre part.

Au total, les données de télédétection et d'inventaires forestier et phytosociologique ont révélé que la déforestation et la dégradation des forêts sont observées dans le bassin cotonnier du Bénin. Les efforts de reboisement entrepris depuis plus de trente ans sont insuffisants pour le moment face à l'ampleur des phénomènes de la déforestation et de la dégradation des forêts.

3.4. Moteurs de la déforestation et de la dégradation des forêts

Les paramètres climatiques et socio-économiques sont les moteurs de la déforestation analysés dans le bassin cotonnier.

3.4.1. Paramètres climatiques

Les différents traitements statistiques ont permis de noter que sur la période 1951-2015, aussi bien la pluviométrie que les températures ont connu une importante variabilité. Sur ladite période, la moyenne pluviométrique est de 1037,09 mm. Les valeurs de l'écart-type (172,24 mm) et du coefficient de variation (16,60 %) de la série pluviométrique témoignent de la grande variabilité des précipitations dans le bassin cotonnier du Bénin.

A l'échelle interannuelle, de façon générale, on enregistre une succession de phases déficitaires et excédentaires comme l'illustre l'évolution de l'indice pluviométrique sur la Figure 6.

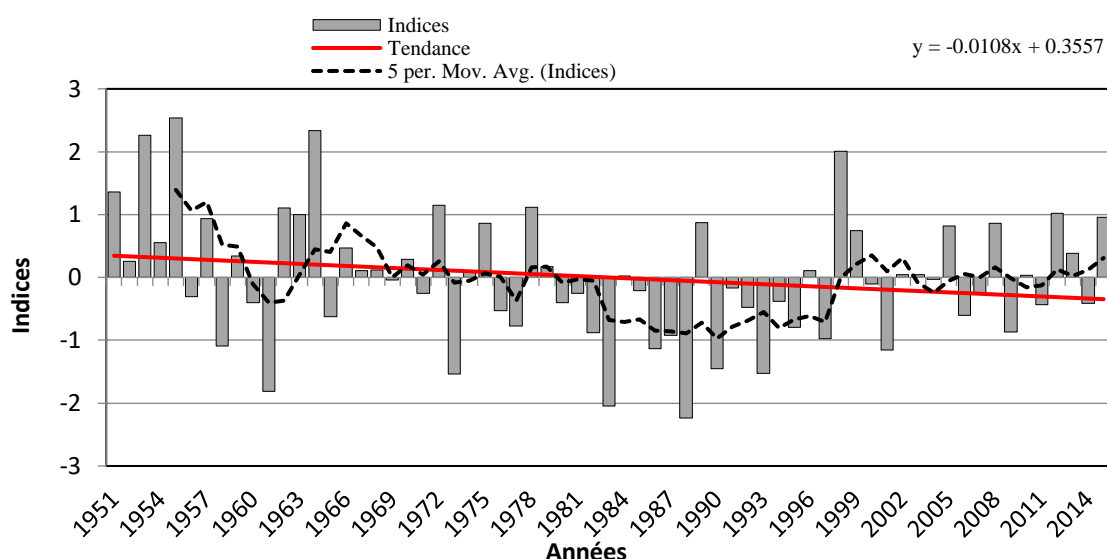


Figure 6 : Variabilité interannuelle des précipitations annuelles (1951-2015) à la station de Kandi

Source des données : ASECNA, 2016

Ainsi, la sous-période 1951-1971 a été globalement excédentaire, la sous-période 1972-1996 est quant à elle largement déficitaire alors que celle allant de 1997 à 2015 a connu une pluviométrie moyenne.

L'application du test de Pettitt (1979) à la série pluviométrique met en évidence une rupture à la baisse en 1972. Les moyennes des sous-séries avant et après la rupture sont respectivement de 1111,51 mm et 1001,57 mm soit un déficit pluviométrique d'environ 11 %.

Sur la même période, la moyenne des températures annuelles minimales est de 21,32 °C avec un écart-type de 0,75 °C. Ces températures ont eu une tendance générale à la hausse confirmée par le test de

Pettitt (1979) à partir de 1985. Les moyennes des sous-séries avant et après 1985 sont respectivement de 20,76°C et 21,98°C soit une hausse de 1,22°C.

La moyenne des températures annuelles maximales est de 34,42 °C avec un écart-type de 0,81°C. Ces températures ont eu une tendance générale à la hausse mise en évidence par le test de Pettitt (1979) à partir de 1978. Les moyennes des sous-séries avant et après 1978 sont respectivement de 34,06 °C et 34,69 °C soit une hausse de 0,63 °C.

Une hausse généralisée et prolongée des températures peut affecter la croissance de certaines espèces végétales et ainsi contribuer à la dégradation des forêts de la zone d'étude.

3.4.2. Paramètres socio-économiques

Facteurs de la déforestation

La Figure 7 présente la part de chaque domaine dans l'exploitation des ressources naturelles. De la Figure 7, il ressort que 53 % des dégradations observées dans le bassin cotonnier sont dans les aires protégées et 47 % dans les terroirs villageois. La Figure 8 présente la durée d'exploitation des terres dans les aires protégées et les terroirs villageois.

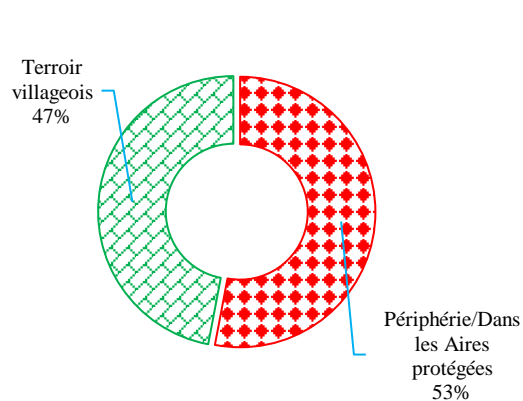


Figure 7 : Part de chaque domaine dans l'exploitation des ressources naturelles

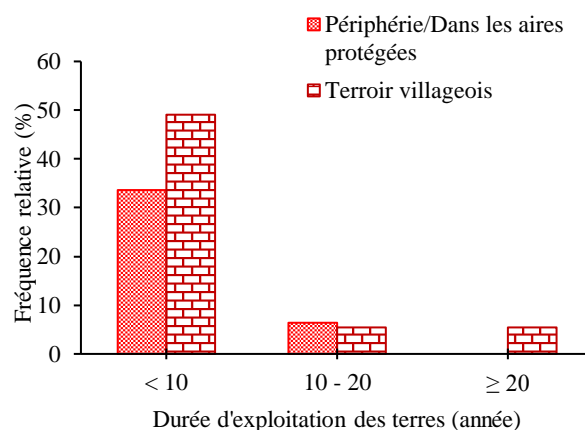
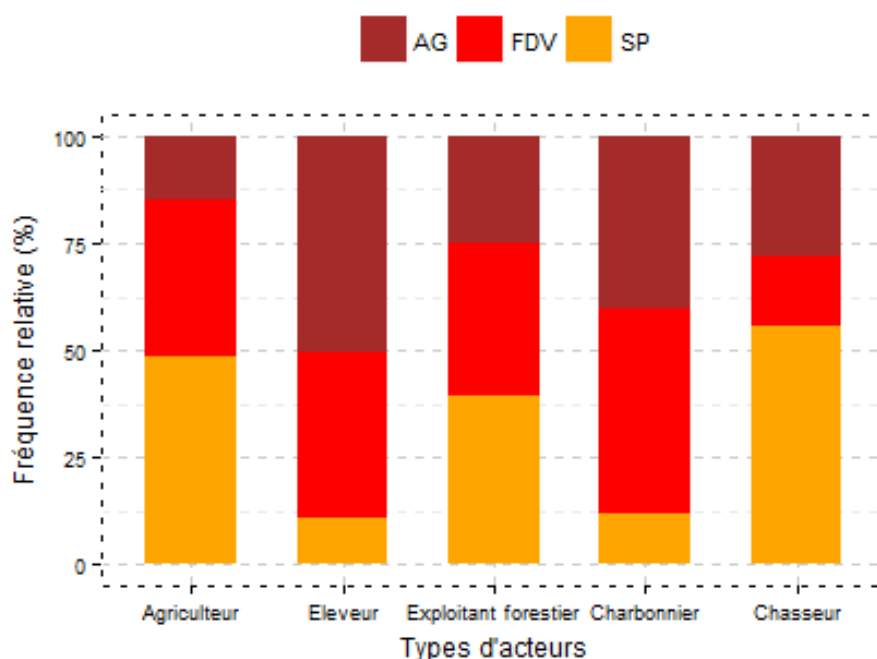


Figure 8 : Durée d'exploitation des terres dans les aires protégées et les terroirs villageois

La Figure 8 montre une plus forte utilisation des terres des aires protégées et des terroirs villageois sur une courte période (moins de 10 ans). Les aires protégées et leurs périphéries sont plus exploitées pour une période de temps de 10 à 20 ans. Au-delà d'une durée d'exploitation de 20 ans, seuls les terroirs villageois sont exploités.

La Figure 9 montre la variation de l'importance des facteurs directs de la déforestation et de la dégradation des forêts en fonction des catégories socio-professionnelles.

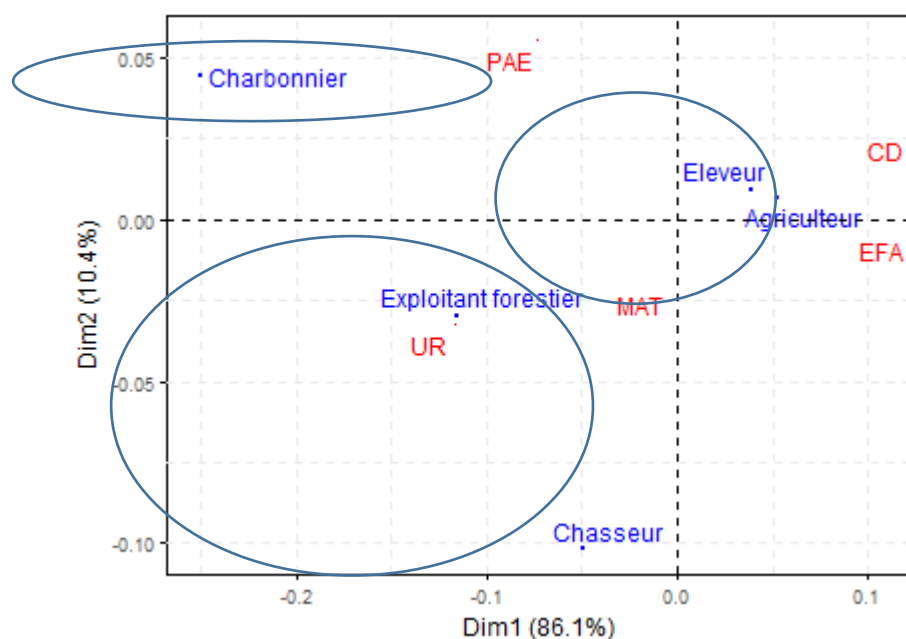


AG : Agriculture ; FDV : Feu de végétation ; SP : Surpâturage

Figure 9 : Variation du score des facteurs directs de déforestation en fonction des catégories d'acteurs.

L'examen de la Figure 9 révèle que l'agriculture, le surpâturage et les feux de végétation sont les principaux facteurs de déforestation et de dégradation des forêts dans le bassin cotonnier. Pour les éleveurs et les charbonniers, les facteurs les plus importants de la déforestation sont l'agriculture et les feux de végétation. Pour les agriculteurs et les exploitants forestiers, ce sont surtout les feux de végétation et le surpâturage qui entraînent une importante déforestation des aires protégées. Par contre, les chasseurs voient l'agriculture et le surpâturage comme les facteurs principaux de déforestation.

La Figure 10 présente la répartition des facteurs indirects de déforestation entre catégories d'acteurs dans les plans factoriels 1 x 2.



CD : Croissance démographique, EFA : Évolution du front agricole, MAT : Mode d'accès aux terres, PAE : Politique agricole et d'élevage, UR : Urbanisation

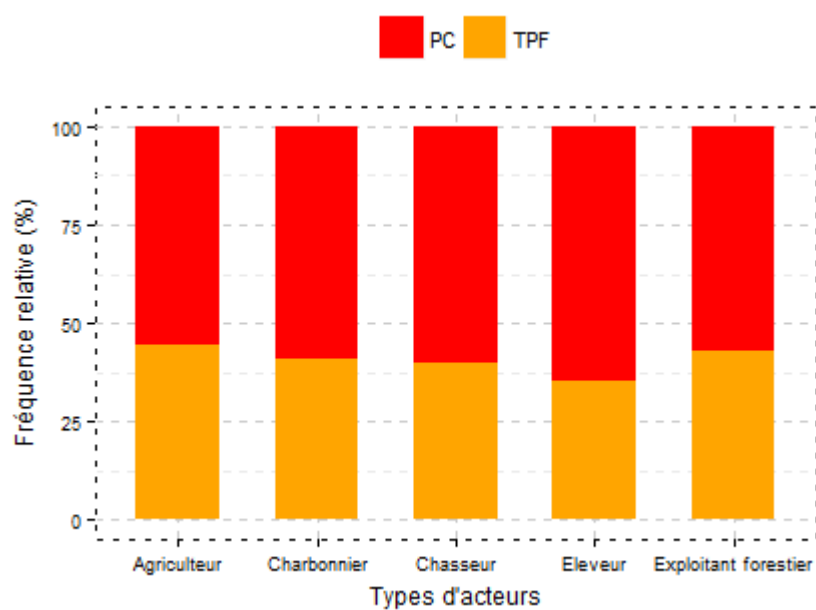
Figure 10 : Répartition des facteurs indirects de déforestation entre catégories d'acteurs dans les plans factoriels 1 x 2.

Les résultats de l'analyse factorielle des correspondances montrent que quatre axes ont été nécessaires pour prendre en compte la totalité de la variation (100 %) présente dans les données initiales. Les deux premiers axes factoriels contrôlent 96,48 % de la variance commune (Figure 10).

La projection des facteurs indirects de déforestation sur les plans factoriels a permis de noter que la croissance démographique et l'évolution du front agricole sont considérées par les agriculteurs et les éleveurs comme les plus importants facteurs indirects de déforestation. Cette perception s'oppose à celle des charbonniers et des exploitants forestiers qui jugent l'urbanisation et les politiques agricoles et d'élevage comme étant les facteurs indirects les plus pertinents de la déforestation. Pour les chasseurs, la déforestation est indirectement causée par les modes d'accès aux terres.

Facteurs de dégradation des forêts

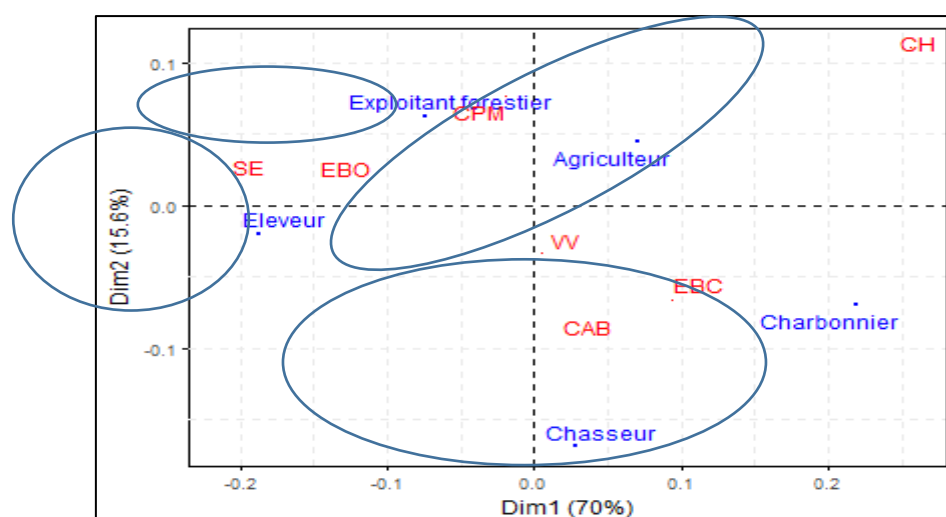
La Figure 11 illustre la variation de l'importance des facteurs directs de dégradation des forêts en fonction des catégories d'acteurs.



PC : Perturbations climatiques ; TPF : Textes et politiques forestières

Figure 11 : Variation du score des facteurs indirects de dégradation en fonction des catégories d'acteurs.

L'examen de la Figure 11 montre que les perturbations climatiques constituent le facteur indirect de dégradation des forêts le plus important selon pratiquement tous les acteurs interrogés. La Figure 12 présente la répartition des facteurs directs de dégradation des forêts entre catégories d'acteurs. Les deux premiers axes factoriels contrôlent 85,61 % de la variance commune ; ce qui est suffisant pour tirer des conclusions.



CAB : Carbonisation, CH : Chasse, CPM : Collecte de plantes médicinales, EBC : Exploitation de bois de chauffe, EBO : Exploitation de bois d'œuvre, SE : Sécheresse, VV : Vents violents

Figure 12: Répartition des facteurs directs de dégradation entre catégories d'acteurs dans les plans factoriels 1 x 2.

La projection des facteurs directs de dégradation sur les plans factoriels a révélé que la chasse et l'exploitation de bois de chauffe sont considérées par les agriculteurs et les charbonniers comme les plus importants facteurs directs de dégradation des forêts. Cette perception s'oppose à celle des éleveurs qui identifient l'exploitation de bois d'œuvre et la sécheresse comme étant les facteurs directs de dégradation. Pour les chasseurs, la dégradation des forêts est directement causée par la carbonisation. Les exploitants forestiers considèrent les vents violents comme le facteur qui occasionne le plus la dégradation des forêts dans les aires protégées.

4. DISCUSSION

La comparaison des images SPOT pivot de 2000 et pivot de 2015 a permis de quantifier la déforestation intervenue dans la zone d'étude (DeFries *et al.*, 2007). Les classifications supervisées des images, ont donné des valeurs de précision statistiquement acceptables si l'on se réfère à l'échelle de Kabba et Li (2011) ainsi que Landis et Koch (1977). Cela peut s'expliquer en partie par le regroupement des formations végétales (N'Guessan *et al.*, 2006). L'analyse de la dynamique de l'occupation des terres a fait ressortir une régression continue des formations forestières et savanicoles au profit essentiellement des mosaïques de champs et jachères (Arouna *et al.*, 2002 ; Orékan, 2007 ; Bogaert *et al.*, 2011 ; Diallo *et al.*, 2011). Ainsi, la matrice de transition a permis de déceler une dégradation des écosystèmes forestiers et savanicoles, une anthropisation marquée par l'augmentation de l'aire totale des mosaïques de champs et jachères et enfin, une faible tendance à la reprise de la végétation entre 2000 et 2015. La faiblesse du taux de restauration des forêts et savanes est un signe de perturbation de ces écosystèmes. Cette situation est provoquée dans le secteur d'étude par une réduction du temps de jachère et une accélération des défrichements pour la production agricole. La superficie des champs et jachères est multipliée par deux entre 2000 et 2015. Les formations forestières se transforment progressivement en formations anthropiques (champs et jachères). Ces résultats sont conformes à ceux de Mama *et al.* (2013) dans la zone soudanienne au Nord du Bénin, ainsi qu'à ceux de Arouna (2002), Orékan (2007), Sounon-Bouko *et al.* (2007), Bogaert *et al.* (2011), Diallo *et al.* (2011) qui montrent une régression continue des formations forestières et savanicoles au profit des mosaïques de champs et jachères, des sols nus et des agglomérations à partir d'étude diachronique.

Par ailleurs, dans le sud du Parc National du W au Bénin, Houessou *et al.* (2013), ont trouvé que l'agriculture est la principale force motrice du changement de la couverture végétale dans la région. Les résultats sont donc cohérents avec certains travaux antérieurs (Wood *et al.*, 2004, Mama *et al.*, 2013 ; Avakoudjo *et al.*, 2014) qui ont conclu que l'agriculture demeure le principal facteur induisant des changements de la couverture végétale en Afrique subsaharienne. Cependant, les perceptions peuvent varier d'une région à l'autre à l'intérieur du pays. Arouna *et al.* (2011), ont constaté que la production de charbon de bois représente l'activité principale induisant le changement de la couverture dans le Centre

du Bénin tandis que Lykke (2000) a signalé les feux intensifs fréquents et la diminution des précipitations en tant que facteurs induisant le changement de végétation dans la zone semi-aride du Sine Saloum au Sénégal. Notons que dans la zone d'étude, un déficit pluviométrique de 11 % a été enregistré au cours de la période de 1951 à 2015.

La démographie est aussi considérée comme facteurs indirects de dégradation dans le bassin cotonnier et sa périphérie. En effet, dans la zone d'étude, la croissance de la population conduit souvent à l'accroissement de l'exploitation des ressources végétales pour faire face à la hausse des besoins de tous genres (alimentaires, logement, énergétiques, etc.). La taille des actifs agricoles des ménages affecte de manière significative la décision des ménages à défricher de nouvelles terres pour l'agriculture (Houessou *et al.*, 2013). Face à de nouveaux besoins, les agriculteurs défrichent souvent de nouveaux champs afin de surmonter la charge de plus en plus croissante de leurs ménages. Cette idée concorde avec les résultats de Orékan (2007) et Ouédraogo *et al.* (2010), qui ont conclu au terme de leurs travaux qu'il existe une forte corrélation entre la croissance démographique et la dégradation des terres et de la végétation.

5. CONCLUSION

L'évaluation de la déforestation et de la dégradation des forêts dans les aires protégées et terroirs villageois du bassin cotonnier du Bénin ont été réalisées à partir de l'analyse diachronique des images SPOT de 2000 et de 2015. Cette analyse a révélé la régression des formations naturelles au profit des mosaïques de champs et jachères. Entre les deux périodes d'étude, le taux de déforestation sur l'ensemble du secteur est de 2,94 %. Ce taux est de 4,25 % dans les terroirs villageois et de 0,66 % dans les aires protégées. Il s'agit notamment de la conversion des forêts galeries, des forêts denses sèches, des forêts claires et savanes boisées et des savanes arborées et arbustives en mosaïques de champs et jachères. Les terroirs villageois sont plus touchés par la déforestation que les aires protégées. On note globalement une baisse de la diversité spécifique aussi bien dans les terroirs villageois que dans les aires protégées entre 2007 et 2017. Cette baisse de la diversité spécifique est un indicateur de la déforestation et de la dégradation des forêts dans le bassin cotonnier du Nord-Bénin. Des efforts de reboisement entrepris doivent être poursuivis. Il faut aussi promouvoir une agriculture et un élevage moins extensifs et conservateurs des ressources végétales afin de renverser la tendance et mettre en place les bases d'un développement local durable de cette région. La présente recherche va se poursuivre avec la détermination des gaz à effet de serre engendrés par la déforestation et la dégradation des forêts du bassin cotonnier du Bénin.

Remerciements

Les auteurs remercient le projet Observation Spatiale des Forêts d'Afrique Centrale et de l'Ouest (OSFACO) qui a contribué financièrement et matériellement à la réalisation de la présente recherche.

Références bibliographiques

- Amoussou E., Totin Vodounon S.H., Hougni A., Vissin E.W., Houndénou C., Mahé G., Boko M., 2016. Changements environnementaux et vulnérabilité des écosystèmes dans le bassin-versant béninois du fleuve Niger, *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 10(5): 2183-2201
- Arouna O., Eténé Cyr G., Issiako D., 2016. Dynamique de l'occupation des terres et état de la flore et de la végétation dans le bassin supérieur de l'Alibori au Bénin. *Journal of Applied Biosciences*, 108 : 10543-10552.
- Arouna O, Toko I, Djogbénou CP, Sinsin B. 2011. Comparative analysis of local populations' perceptions of socioeconomic determinants of vegetation degradation in sudano-guinean area in Benin (West Africa). *International Journal of Biodiversity and Conservation*, 3: 327-337.
- Avakoudjo J., Mama A., Toko Imorou I., Valentin Kindomihou V., Sinsin B., 2014. 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) : 2608-2625.
- Bogaert J., Barima Y.S.S., Ji J., Jiang H., Bamba I., Iyongo W.M.L., Mama A., Nyssen E., Dahdouh-Guebas F., Koedam N., 2011. A methodological framework to quantify anthropogenic effects on landscape pattern In: *Landscape ecology in Asian cultures* (eds S.-K. Hong, J. Wu, J.-E. Kim & N. Nakagoshi), Springer, Verlag, New York, pp. 141-167.
- Dagnelie P., 1998. *Statistique théorique et appliquée (Tome 2)*. De Boeck & Larcier, Paris–Bruxelles, 659 p.
- DeFries R., Achard F., Brown S., Herold M., Murdiyarso D., Schlamadinger B. & de Souza C., 2007, Earth observations for estimating greenhouse gas emissions from deforestation in developing countries. *Environmental Science & Policy*, 10, pp. 385-394.
- Diallo H., Bamba I., Barima Y. S. S., Visser M., Ballo A., Mama A., Vranken I., Maiga M. et Bogaert J., 2011. Effets combinés du climat et des pressions anthropiques sur la dynamique évolutive de la végétation d'une zone protégée du Mali (Réserve de Fina, Boucle du Baoulé). *Sécheresse*, Vol. 22 : 97-107.
- FAO, 2010. *Evaluation des Ressources forestières mondiales, Rapport principal*, 377 p.
- FAO, 2001. *Evaluation des ressources forestières mondiales 2000. Rapport principal, Etude FAO, Forêts*, Rome, 140 p.
- GIEC., 2003. *Recommandations en matière de bonnes pratiques pour le secteur de l'utilisation des terres, changements d'affectation des terres et foresterie*. Préparé par le Programme des inventaires nationaux de gaz à effet de serre, Publication: IGES (Japon), 594 p.

- Hountondji, Y. C. H., 2008. Dynamique environnementale en zones sahélienne et soudanienne de l'Afrique de l'Ouest : Analyse des modifications et évaluation de la dégradation du couvert végétal. Département des Sciences et Gestion de l'Environnement Faculté des Sciences. Université de Liège, Liège, Belgique, 131 p.
- Hountondji Y-C., Gaoue O. G., Sokpon N., Ozer P., 2013. Analyse écogéographique de la fragmentation du couvert végétal au nord-Bénin : paramètres dendrométriques et phytoécologiques comme indicateurs *in situ* de la dégradation des peuplements ligneux. *Geo-Eco-Trop.*, 37 (1) : 53-70.
- Houessou L. G., Téka O, Toko I. I., Lykke AM, Sinsin B., 2013. Land use and land cover change at “W” Biosphere Reserve and its surroundings areas in Benin Republic (West Africa). *Environment and Natural Resources Research*, 3(2): 87-101.
- Issiako D., Arouna O. 2018. Dynamique de l'occupation des terres avant et après l'élaboration du plan d'aménagement participatif de la forêt classée de l'Alibori Supérieur au Nord-Benin. In Actes de la conférence scientifique internationale OSFACO : Images satellitaires pour un meilleur aménagement des territoires et une gestion durable de la biodiversité, p. 193-2010
- Kabba S.T.V., Li J., 2011. Analysis of land use and land cover changes, and their ecological implication in Wuhan, China. *Journal of Geography and Geology*, 3 : 104-118.
- Lambin E. F., Geist H. J., Lepers E., 2003. Dynamics of land-use and land-cover change in tropical regions. *Annual Review of Environment and Resources*, 28: 205-241.
- Kouta S., Toko Imorou I., Sogbosi E. S., Mazo I., Zakari S., Arouna O., Djaouga M., Thomas O., 2018. Classification d'images satellites SPOT avec randomforest et cartographie du paysage forestier dans le bassin cotonnier du Nord-Benin. In Actes de la conférence scientifique internationale OSFACO : Images satellitaires pour un meilleur aménagement des territoires et une gestion durable de la biodiversité, p. 211-228
- Lamb P. J., 1982. Persistence of Subsaharan drought. *Nature*, 299 : 46 - 47.
- Landis J.R., Koch G.G., 1977. The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics*, 33 : 159-174.
- Lykke A. M., 2000. Local perceptions of vegetation change and priorities for conservation of woody savanna vegetation in Senegal. *Journal of Environmental Management*, 59: 107-120.
- Mama A., Sinsin B., De Canniere C., Bogaert J., 2013. Anthropisation et dynamique des paysages en zone soudanienne au nord du Bénin. *Tropicultura*, 31(1) : 78-88.
- N'Guessan K.E., Dibi N'Dah H., Bellan M-F., Blasco F., 2006. Pression anthropique sur une réserve forestière en Côte-d'Ivoire: Apport de la télédétection. *Télédétection*, 5 : 307-323

Oloukoï J., Mama V. J., Agbo F. B., 2006. Modélisation de la dynamique de l'occupation des terres dans le Département des Collines au Bénin. *Télédétection* 6 (4) : 305-323.

Orékan V.A., 2007. Implémentation du modèle local CLUE-s aux transformations spatiales dans le Centre Bénin aux moyens de données socio-économiques et de télédétection. Thèse de doctorat, Université de Bonn, Bonn, Allemagne, 204 p.

Ouédraogo I, Tigabu M, Savadogo P, Compaore H, Oden PC, Ouadba J. M., 2010. Land cover change and its relation with population dynamics in Burkina-Faso, West Africa. *Land Degradation and Development.*, 21: 453-462.

Pettitt A. N., 1979. A Nonparametric Approach to the Change-Point Problem. *Applied Statistics*, 28: 126-135.

Puyravaud J. P., 2003. Standardizing the calculation of the annual rate of deforestation. *Forest Ecology and Management*, 177, 1–3 : 593–596

Rodriguez-Galiano V. F., Chica-Olmo M., Abarca-Hernandez F., Atkinson P. M., Jeganathan C., 2012. Random Forest classification of Mediterranean land cover using multi-seasonal imagery and multi-seasonal texture. *Remote Sensing of Environment*, 121, 93 – 107, doi : 10.1016/j.rse.2011.12.003.

Shao Z., Zhang Y., Zhang L., Song Y., Peng M., 2016. Combining spectral and texture features using random forest Algorithm : extracting impervious surface area in Wuhan. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Volume XLI-B7 : 351-358. XXIII ISPRS Congress, 12-19 July 2016, Prague, Czech Republic.

Sarè B. A., Kindjinou A., Yabi I., Houssou C. S., Sinsin B., 2018. Dynamique de l'occupation du sol dans la périphérie de la Réserve de Biosphère Transfrontalière du W (Bénin). In *Actes de la conférence scientifique internationale OSFACO : Images satellitaires pour un meilleur aménagement des territoires et une gestion durable de la biodiversité*, p. 30-53

Saré Wara Kassim I., 2017. Application de la télédétection et du SIG au suivi des formations végétales de la forêt classée de la Sota dans la commune de Ségbana. *Mémoire de maîtrise de géographie*, Université d'Abomey-Calavi, 71 p.

Sinsin B., Kampmann D. (eds), 2010. *Atlas de la biodiversité de l'Afrique de l'Ouest*, Tome I : Bénin, Cotonou & Frankfurt/Main 725 p.

Sounon Bouko B, Sinsin B, Goura Soulé B., 2007. Effets de la dynamique d'occupation du sol sur la structure et la diversité floristique des forêts claires et savanes au Bénin. *Tropicultura*, 25(4): 221-227.

Toko Issiaka N., 2014. Cartographie et modélisation de la dynamique des parcours naturels des troupeaux transhumants dans les Communes de Banikoara et de Karimama (Nord-Bénin). *Mémoire de DEA*, Université d'Abomey-Calavi 101 p.

Toko Mouhamadou I., 2014. Facteurs déterminants de la fragmentation des écosystèmes forestiers : cas des îlots de forêts denses sèches de la forêt classée des Monts Kouffé et de sa périphérie au Bénin. Thèse de doctorat, Université d'Abomey-Calavi, Bénin, 231 p.

Vissin E. W., 2007. Impact de la variabilité climatique et de la dynamique des états de surface sur les écoulements du bassin béninois du Niger. Thèse de doctorat. Université de Bourgogne, Dijon, France, 311 p.

Wood E. C., Tappan G. G., Hadj A., 2004. Understanding the drivers of agricultural land use change in south-central Senegal. *Journal of Arid Environments*, 59: 565-582.

Zakari S., Mazo I., Toko Imorou I., Djaouga M., Arouna O., Thomas O. 2018. Cartographie des changements spatiotemporels des unités d'occupation des terres dans la forêt classée de Goungoun et ses terroirs riverains. In *Actes de la conférence scientifique internationale OSFACO : Images satellitaires pour un meilleur aménagement des territoires et une gestion durable de la biodiversité*, p. 229-246.

Zakari S., Tenté B.A.H., Toko Imorou I., Yabi I. 2015. Variabilité hydropluviométrique et dynamique de l'occupation des terres dans le bassin de la Sota à l'exutoire de Coubéri au Bénin (Afrique de l'Ouest). *International Journal of Innovation and Applied Studies*. 13(2): 235-250.