

CARTOGRAPHIE DE LA DYNAMIQUE DU COUVERT FORESTIER DANS LA FORET CLASSEE DE WARI-MARO AU CENTRE-BENIN

ISSIFOU MOUMOUNI Yaya

- (1) *Laboratoire de Cartographie, (LaCarto) Université d'Abomey-Calavi, 10 BP 1082
Cotonou, Cadjèhoun, Bénin,*
- (2) kismy12@gmail.com ou yaya_issifoumoumouni@yahoo.com

Résumé

L'objectif principal de cette étude est de cartographier les changements spatio-temporels de l'occupation des terres dans la forêt classée de Wari-Marô. L'approche cartographique fondée sur l'utilisation des orthophotoplans de 2003 et des images satellitaires Landsat 8 OLI-TIRS de 2013 a été adoptée pour obtenir les cartes d'occupation des terres et les superficies des différentes unités. Les taux de dégradation, de déforestation, les taux moyens annuels d'expansion spatiale et la vitesse d'évolution des changements ont été calculés. Le programme "Pontius Matrix22" grâce aux matrices de transitions, a permis de mesurer les intensités et vitesses de changement des catégories d'occupation de 2003 et 2013.

Au total, neuf classes d'occupation des terres ont été discriminées. L'analyse des résultats obtenus indiquent quatre changements majeurs à savoir : la dégradation (0,19 %) des formations végétales naturelles marquée par une régression des forêts claires et savanes boisées, des forêts galeries et des forêts denses sèches avec une vitesse de régression de 1,83 km²/an soit une perte de 5,63 % de leurs superficies; cette dégradation a entraîné une déforestation non moins négligeable de 0,02 %, une savanisation de 7,21 % marquée par la progression des savanes arborées et arbustives au détriment des forêts denses sèches, des forêts claires savanes boisées, des plantations et des mosaïques de champs et jachères avec une vitesse de 24,46 km²/an; une forte anthropisation du milieu naturel marquée par une augmentation de 53,61 % des champs et jachères, des plantations et des agglomérations avec une vitesse de 1,83 km²/an dans la forêt classée de Wari-Marô. Cette dynamique régressive du couvert forestier a influencé à coût sûr la séquestration du carbone aérien ligneux dans la forêt classée de Wari-Marô qu'il convient d'évaluer.

Mots clés : Anthropisation ; Cartographie, Couvert forestier, Orthophotoplans, Wari-Marô

Abstract

The main objective of this study is to map spatio-temporal changes in land use in the Wari-Marô classified forest. The mapping approach based on the use of 2003 orthophotoplans and 2013 Landsat 8 OLI-TIRS satellite images was adopted to obtain land use maps and areas of the different units. The rates of degradation, deforestation, average annual rates of spatial expansion and rate of change were calculated. The "Pontius Matrix22" program, using transition matrices, has made it possible to measure the intensities and rates of change of the land use categories for 2003 and 2013. In total, nine land use classes were discriminated. The analysis of the results obtained indicates four major changes, namely : the degradation (0.19%) of natural vegetation formations marked by a regression of open forests and wooded savannas, gallery forests and dense dry forests with a rate of regression of 1.83 km²/year, i.e. a loss of 5.63% of their surface area; This degradation has led to a no less negligible deforestation of 0.02%, a savannah growth of 7.21% marked by the progression of wooded and shrubby savannas to the detriment of dry dense forests, wooded savannah open forests, plantations and mosaics of fields and fallow land with a rate of 24.46 km²/year; a strong anthropization of the natural environment marked by a 53.61% increase in fields and fallow land, plantations and settlements with a rate of 1.83 km²/year in the classified forest of Wari-Marô. This regressive dynamics of forest cover has influenced the sequestration of woody aerial carbon in the Wari-Marô classified forest, which needs to be evaluated.

Keywords: Anthropisation; Mapping, Forest cover, Orthophotoplans, Wari-Marô

INTRODUCTION

Au Bénin, la nécessité de soustraire une partie des forêts naturelles à la pression humaine a été ressentie par l'administrateur colonial au début du XXe siècle. L'homme, qui n'a pas su trouver un équilibre entre son système d'exploitation et le milieu, demeure l'agent principal de l'évolution régressive des écosystèmes (HOUNDAGBA *et al.*, 2007). Le décret forestier du 4 juillet 1935 et le rapport de la mission de AUBREVILLE (1936) au Dahomey et au Togo permettent de mieux caractériser le contexte ayant présidé au classement des forêts. C'est seulement à partir de 1946 que le domaine forestier de l'État a pris corps et depuis lors, il a connu plusieurs modifications suivant le contexte politique et socio-économique du pays. Ainsi, depuis 1993, le pays dispose d'une politique forestière participative assortie d'un programme d'actions prioritaires de développement du secteur forestier. L'objectif d'une telle politique est la conservation, la gestion participative et rationnelle des ressources forestières afin d'assurer la pérennité du patrimoine écologique national. Pourtant, des superficies considérables des zones dites classées du pays sont soumises à une dégradation continue sous les effets conjugués des actions anthropiques et climatiques (SINSIN *et al.*, 1997). Les formations végétales naturelles qui, en 1990 représentaient 44 % de la superficie totale du territoire national (soit, 4 923 000 ha), sont passées en 1995 à 41 % (soit, 4 625 000 ha), avec un taux de recul estimé à 70 000 ha par an (FAO, 1997 ; FAO, 2000) représentant l'un des plus forts taux de la région. Dans le même temps au niveau du domaine protégé de l'Etat, le ruissellement s'intensifie sur les sols dénudés, l'érosion s'accélère sous la pression des différentes formes d'occupation des terres à des fins agricoles, pastorales et d'urbanisation. Au Bénin, le quatrième Recensement Général de la Population et de l'Habitation (RGPH4) de 2013 a permis de dénombrer 10 008 749 habitants résidents contre 6 769 914 habitants en 2002, avec un taux annuel d'accroissement inter censitaire de 3,5 % (INSAE, 2015). Cette forte croissance démographique représente alors un facteur de pression sur la végétation naturelle (ISSIFOU *et al.*, 2017). L'Inspection Forestière (IF) qui est chargée de la mise en œuvre des stratégies de contrôle et de gestion durable des forêts, de la faune et autres ressources naturelles inféodées aux forêts, ainsi que la restauration et la conservation des zones dégradées, mène plusieurs actions pour protéger et conserver les ressources forestières. Au nombre de ces actions figure le Projet d'Aménagement des Massifs Forestiers d'Agoua, des Monts Kouffé et de Wari-Marou (PAMF) entre 2003 et 2007. Ce projet avait pour objectif principal de réaliser l'aménagement intégré desdits massifs forestiers par la mise en œuvre de plans d'aménagement au moyen de systèmes de gestion durable des écosystèmes, avec la participation des populations riveraines. Cependant, le problème de maîtrise et de contrôle de l'espace forestier et de ses ressources demeure toujours un facteur hypothéquant le processus d'une gestion soutenue du domaine classé. Les forêts sont en train de subir des processus de déforestation ou de dégradation plus ou moins sévères entraînant des impacts négatifs sur les écosystèmes et les modes de vie des populations locales en particulier, mais aussi sur l'humanité tout entière, et ceci en raison du changement climatique global et de la perte de la biodiversité (MMFT, 2002). C'est pourquoi, l'évaluation et le suivi de l'évolution des ressources mondiales, ainsi que l'étude des menaces écologiques liées aux changements globaux, sont devenus des thèmes prioritaires pour la communauté scientifique internationale.

En effet, dans le contexte des changements globaux, les modifications spatio-temporelles de l'occupation des terres et plus spécifiquement celles de la végétation sont devenues des

indicateurs qui permettent d'évaluer la santé des écosystèmes (ZAKARI, 2015). Ainsi, la végétation est certainement devenue la composante de la surface terrestre la plus intensivement surveillée par satellite (ESCADAFAL et POUGET, 2007). Aujourd'hui, l'utilisation de la Télédétection et des données géospatiales pour la cartographie de la végétation et de l'occupation des terres est une activité courante des institutions intéressées par la gestion des ressources végétales (ACHARD *et al.*, 1996). L'imagerie satellitaire joue alors un rôle incontournable dans le processus de caractérisation et d'aménagement régional des écosystèmes (MAMAN *et al.*, 2011).

Par ailleurs, de nombreux travaux ont montré que dans plusieurs domaines, les processus qui s'opèrent dans le paysage sont le résultat des interactions entre systèmes sociaux et environnementaux et surviennent dans des plages d'échelles caractéristiques (QUATTROCHI *et al.*, 1997). Le rapprochement des variables démographiques et économiques met en évidence un déséquilibre entre les besoins des populations et les ressources disponibles (ONIBON, 1999). Il en résulte un amenuisement de la capacité productive des terres d'année en année. L'extension des terres agricoles en réponse à leur baisse de rendement touche désormais les zones classées et protégées. Dès lors, les zones qui renferment l'essentiel du potentiel agro-Sylvio-pastoral se trouvent ainsi soumises à une pression humaine et animale se traduisant par l'extension des terres de cultures et de surpâturage (MEHU, 2002). La dégradation et la déforestation entraînent une augmentation de l'émission des gaz à effet de serre (GES), contribuant ainsi à accélérer le réchauffement climatique de la planète. On estime que la déforestation et la dégradation des forêts tropicales contribuent à hauteur de 20 % aux émissions des gaz à effet de serre responsable du réchauffement planétaire actuel (IPCC, 2007).

Le contexte actuel des forêts classées du Bénin en général et celle de Wari-Marô plus particulièrement suscite l'interrogation suivante : quelle est la tendance évolutive actuelle du couvert forestier dans contexte de changement climatique ? La présente note scientifique aborde la question avec une démarche cartographie fondée sur l'utilisation des données de la télédétection et des SIG.

1- MILIEU D'ETUDE

La forêt classée de Wari-Marô est située entre 8° 50' et 9° 20' de latitude nord et entre 2° 10' et 3° 10' de longitude est (figure 1). « Elle couvre une superficie de 111 095,38 ha » (PAMF, 2007). La forêt classée de Wari-Marô est sous l'influence du climat tropical subhumide de type soudanien où la pluviosité moyenne annuelle est de 1 150 mm et l'évapotranspiration (ETP) moyenne annuelle oscille autour de 1 500 mm. Les conditions pédoclimatiques et anthropiques ont permis l'établissement des formations forestières, des formations savanicoles et des formations anthropozoïques. L'agriculture, l'exploitation forestière, la carbonisation, l'élevage, la chasse et la pêche constituent les principales activités économiques pratiquées par les populations des villages riverains (ISSIFOU, 2016). Ces activités influencent le couvert végétal du massif forestier.

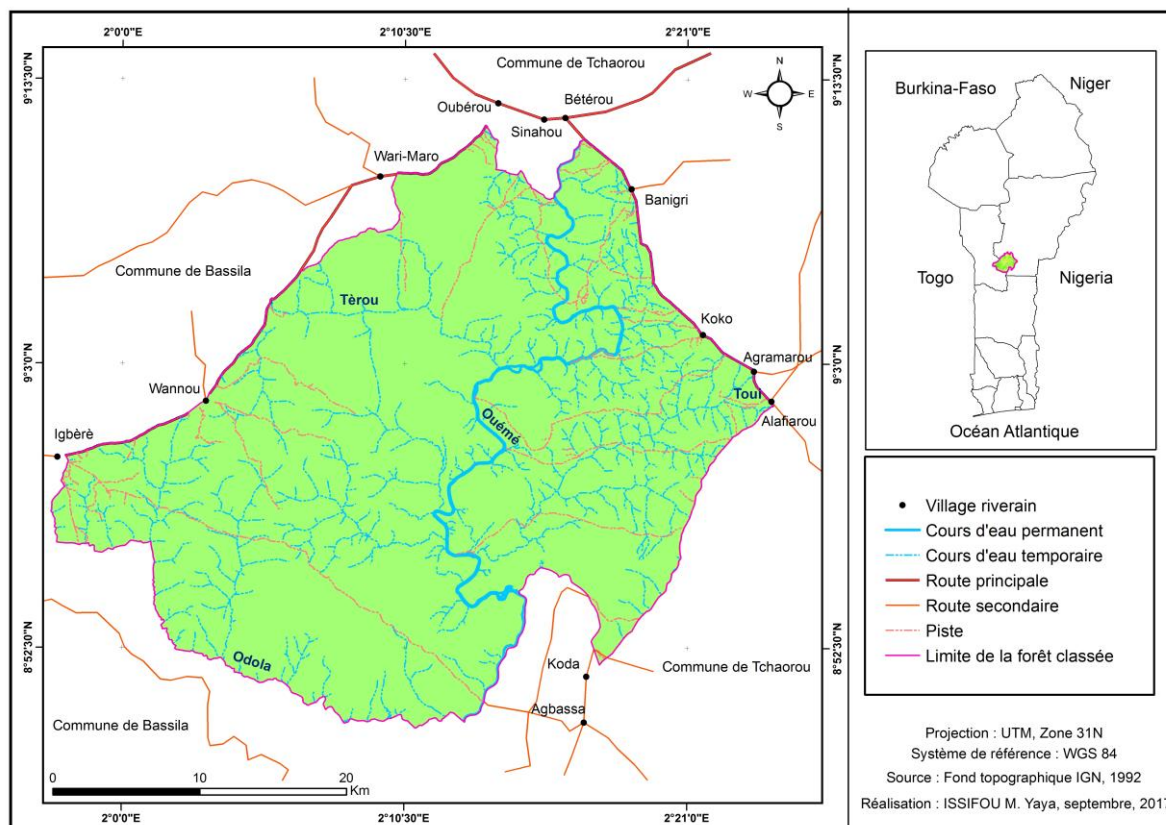


Figure 1. Situation géographique de la forêt classée de Wari-Marou

2. MATERIEL ET METHODES

2.1- Collecte des données planimétriques

La cartographie des changements d'état de la végétation est réalisée à partir des données de télédétection, notamment les orthophotoplans de 2003 et les images Landsat 8 OLI/TIRS de 2013 puis des données GPS de quelques unités d'occupation. Ces images ont subi des corrections géométriques (géo-référencement, corrections des distorsions...) à l'aide du logiciel Idrisi. Ces données ont permis de réaliser les cartes d'occupation des terres du secteur d'étude entre 2003 et 2013 avec le logiciel ArcGis 10.3 à travers les fonds topographiques de l'IGN datant de 1992, et d'évaluer la dynamique du couvert forestier de Wari-Marou.

2.2- Traitement des Orthophotoplans de 2003

2.2.1- Mission de reconnaissance

La mission de reconnaissance a consisté à explorer le secteur d'étude afin d'identifier et de localiser les éléments majeurs du paysage tels que les types de reliefs, les sols, les formations végétales et les plans d'eau. Les coordonnées géographiques des différentes formations végétales et autres unités d'occupation des terres ont été prises au GPS et le Modèle Numérique de Terrain (MNT) a été élaboré. Cette étape a facilité des corrections par des calculs et des traitements informatiques.

2.2.2- Corrections géométriques

Le MNT ainsi obtenu a subi des corrections géométriques afin que tous les points de l'image possèdent des coordonnées géographiques dans le système de projection choisi (WGS84 ; UTM Zone 31N) permettant ainsi de procéder à des corrections radiométriques.

2.2.3- Corrections radiométriques

A ce stade du traitement, les orthophotographies peuvent être associées les unes aux autres ou à des cartes mais elles nécessitent des corrections radiométriques dues aux différences d'éclairage dans les clichés et entre les clichés:

- correction des différences d'éclairage entre le centre et les bords de l'orthophotoplan,
- amélioration des clichés entre eux en traitant les zones de recouvrement,
- définition d'une gamme de couleurs et de niveau de contraste et élimination des parasites.

Ces différentes corrections ont permis d'élaborer la clé d'interprétation.

2.2.4- Interprétation des orthophotoplans

Les orthophotoplans sont des photographies aériennes qui présentent les qualités métriques d'une carte. L'orthophotoplan décrit le milieu physique et son occupation de surface avec une précision géographique améliorée. Ainsi, l'utilisation d'un tel outil se prédestine à l'aménagement du territoire au sens large. La clé d'interprétation a été faite à partir des coordonnées géographiques prises au niveau des formations végétales et des autres unités d'occupation des terres au cours de la mission de reconnaissance d'une part et le ton de gris, la texture, la structure et l'environnement des unités visibles sur les orthophotoplans à l'échelle de 1/10 000, d'autre part. Avant l'interprétation, 13 classes ont été déterminées à partir de la variation de la texture et de la structure des orthophotoplans. A partir de la clé d'interprétation, les différentes classes de végétation et les autres unités d'occupation des terres ont été identifiées et digitalisées à l'aide du logiciel ArcGIS 10.3.

Après l'interprétation visuelle, une classification automatique a été opérée à l'aide du logiciel Idrisi. Une fois la segmentation terminée, l'extraction des unités d'occupation est faite par la classification supervisée. Cette classification est opérée en utilisant l'algorithme du maximum de vraisemblance qui constitue l'algorithme le plus approprié en matière d'occupation des terres. La couche numérique préliminaire d'occupation des terres obtenue (i.e. polygones et codes d'identification) est ensuite transférée dans le programme de cartographie numérique ArcGIS 10.3, afin de compléter la structuration de la base de données et ajouter le libellé complet des unités d'occupation des terres.

Le contrôle-terrain réalisé à partir des coordonnées prises au niveau des classes digitalisées a permis de vérifier sur le terrain les différentes unités digitalisées ; 9 unités d'occupation des terres ont été définitivement retenues.

2.3- Traitement des images Landsat 8 OLI/TIRS de 2013

Les images ont été acquises le 02/11/2013 en format Géotiff téléchargées sur le site internet de EarthExplorer-USGS.GOV/USA avec des caractéristiques suivantes : Path = 192 et Row = 54. La résolution est de 30 m × 30 m.

2.3.1- *Traitement de l'image*

❖ **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 et ainsi faciliter l'interprétation des images. Dans ce traitement, les bandes 5, 4, 3 de Landsat 8 OLI ont été utilisées.

2.3.2- *Détection des changements d'état de la végétation*

La détection de changement est la mise en œuvre des techniques ayant pour but de repérer, de mettre en évidence, de quantifier afin de comprendre l'évolution temporelle ou le changement d'état d'un objet ou d'un phénomène à partir d'une série d'observations à différentes dates. Il existe plusieurs méthodes de détection des changements d'état de la végétation, mais la méthode de comparaison des classifications a été adoptée. Les étapes de cette classification sont : le choix des aires d'entraînement, la classification supervisée par maximum de vraisemblance, le contrôle-terrain, l'évaluation de la classification et l'exportation de l'image classifiée vers un Système d'Information Géographique.

▪ **Choix des aires d'entraînement**

La taille de l'aire d'entraînement est supérieure à l'erreur de localisation et inférieure à l'objet à détecter (KIOKO et OKELLO, 2010). Elle est estimée de la façon suivante :

$A = P (1+2L)$ (AROUNA, 2012) ; avec A = la superficie de l'aire d'entraînement ; P = dimension du pixel en mètre ; L = précision de la localisation en mètre.

Sur les images, les aires d'entraînement ont été tracées au pixel près. Elles ont été bien dispersées sur l'ensemble du secteur d'étude, représentatives de la diversité de chaque classe de végétation ou autre unité d'occupation des terres.

▪ **Classification supervisée par maximum de vraisemblance**

C'est une classification pixel par pixel qui repose sur le postulat que la signature spectrale de chacun des pixels est représentative de la classe de végétation dans laquelle il se trouve. Elle a consisté à attribuer à chaque groupe de pixels la classe la plus plausible en fonction de la ressemblance spectrale entre les pixels et la signature des classes. L'ensemble des pixels de chaque image satellite a été classé suivant l'algorithme du maximum de vraisemblance extrapolant les caractéristiques spectrales des aires d'entraînement au reste de l'image (LGGI, 2005). Les pixels ont été affectés à la classe la plus vraisemblable à partir d'une probabilité préalablement déterminée. Les pixels qui n'ont pas pu être affectés à une classe de végétation ont été classés en rejet et ensuite identifiés au cours du contrôle-terrain qui a consisté à vérifier les classes de pixels issues de la classification et à valider l'interprétation de l'image.

▪ **Exportation vers un Système d'Information Géographique (SIG)**

Après l'intégration des observations du terrain, chaque image interprétée a été exportée vers un SIG. Il s'est agi de convertir le fichier du format raster en format vecteur à l'aide du logiciel ArcGis 10.3. Dans ce Système d'Information Géographique ArcGis, les superficies des différentes formations végétales et les autres unités d'occupation des terres sont calculées et cartographiées.

2.4- Analyse statistique des changements d'état de la végétation

L'analyse des changements d'état de la végétation a été faite à travers le calcul du taux de déforestation, du taux de dégradation des formations naturelles, du taux moyen annuel d'expansion spatiale et de la vitesse d'évolution des unités d'occupation des terres. L'utilisation du programme "Pontius Matrix22" de ALDWAIK et PONTIUS (2012) a favorisé l'analyse de l'intensité des changements entre 2003-2013.

2.4.1- Matrice de transition

La matrice de transition a permis de mettre en évidence les différentes formes de conversion qu'ont subies les formations végétales entre 2003 et 2013. Elle est constituée de X lignes et de Y colonnes. Le nombre X de lignes de la matrice indique le nombre de formations végétales au temps t_0 (2003) ; le nombre Y de colonnes de la matrice est le nombre de classes de végétation converties au temps t_1 (2013) et la diagonale contient les superficies des formations végétales restées inchangées. Les transformations se font donc des lignes vers les colonnes. Les superficies de ces différentes classes de végétation ont été calculées à partir du croisement des cartes de végétation des deux dates à l'aide de la fonction *Intersect* de la boîte à outils *Arctool box* du logiciel ArcGIS 10.3.

2.4.2- Taux de dégradation

Le taux de dégradation "TDg" est calculé par la formule suivante :

$$TDg = \frac{\left[\frac{SD + V_{FP}}{S_{FP(A)} + S_{FS(A)}} \right]}{N} * 100$$

Avec :

TDg = Taux de Dégradation

SD = Superficie Dégradée

V_{FP} = Variation des forêts primaires

$S_{FP(A)}$ = Superficie des forêts primaires pendant l'année A

$S_{FS(A)}$ = Superficie des forêts secondaires pendant l'année A

N = Période d'évolution.

2.4.3- Taux de déforestation

Le taux de déforestation annuel "R" est calculé par la formule proposée par PUYRAVAUD (2003).

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

$t_2 - t_1$ représente l'intervalle de temps dans lequel l'on veut évaluer les changements de l'occupation des terres. A_1 et A_2 représentent la somme de la proportion des formations (forêt galerie, forêt dense, savanes arbustive et arborée et savane boisée) de chaque année.

2.4.4- Taux moyen annuel d'expansion spatiale

Le taux moyen annuel d'expansion spatiale exprime la proportion de chaque unité de végétation naturelle qui change annuellement. Ce taux annuel T_a est calculé à partir de la

formule suivante utilisée par AROUNA (2012) et TOKO Mouhamadou (2014), pour analyser la dynamique de l'occupation des terres :

$$T = \left[\frac{(\ln S_2 - \ln S_1)}{(t_2 - t_1) \times \ln e} \right] \times 100$$

Avec S_1 la superficie d'une unité de végétation à la date t_1 (2003), S_2 la superficie de la même unité de végétation à la date t_2 (2013) et $(t_2 - t_1)$ la différence d'années entre t_1 et t_2 .

2.4.5- Vitesse d'évolution (régression ou progression) des unités d'occupation des terres

Afin de connaître la vitesse de variation des unités d'occupation des terres identifiées, la formule suivante utilisée par ZAKARI *et al.* (2015), a été adoptée :

$$\Delta_s = \frac{S_{P2} - S_{P1}}{t_2 - t_1}$$

Où : Δ_s = Vitesse de variation (extension ou régression en ha/an) ; S_{P1} = Superficie occupée par l'unité d'occupation considérée au cours de l'année 1 (ha) ; S_{P2} = Superficie occupée par l'unité d'occupation considérée au cours de l'année 2 (ha) ; t_1 = année 1 ; t_2 = année 2.

24.6- Analyse de l'intensité et de la vitesse des changements entre 2003-2013

Dans la présente recherche le programme d'analyse "Pontius Matrix22" de ALDWAIK et PONTIUS utilisés par TOKO Mouhamadou (2014) a permis de mesurer (en %) les intensités des changements selon les intervalles de temps, les catégories, et les transitions entre catégories d'occupation des terres.

Ce programme s'est basé sur la matrice de transition de 2003-2013 pour générer un graphique montrant lesdites intensités selon l'intervalle de temps. Le premier graphique présente les intensités des changements survenus au niveau des catégories d'occupation des terres à l'échelle du secteur d'étude. Le deuxième graphique quant à lui, présente celles des changements qui se sont opérés au sein de chaque catégorie et les intensités de pertes et de gains par catégorie. A ce niveau, l'état de rapidité des changements est déterminé grâce à la ligne verticale en tireté, appelée ligne de zone uniforme. Si le graphe est à gauche de cette ligne où les changements devraient s'arrêter si les perturbations ne continuaient plus, le changement est dit lent (ou dormant). Mais si celui-ci est à droite de cette ligne, le changement est rapide (ou actif).

3- RESULTATS

3.1- Occupation des terres de la forêt classée de Wari-Marô entre 2003 et 2013

En 2003, la physionomie de la forêt est dominée par les forêts claires et savanes boisées observées un peu partout. On observe également la forêt galerie, les îlots de forêt dense sèche, les savanes arborées et arbustives. Les plantations, les champs et jachères, les surfaces rocheuses et les agglomérations ne sont pas du reste.

Par contre, en 2013, ce sont les savanes arborées et arbustives qui dominent la physionomie du paysage. Mais on observe aussi les forêts claires et savanes boisées, des fragments de forêt galerie, les îlots de forêt dense sèche, les plantations, les champs et jachères qui sont plus

remarqués au niveau des terroirs villageois qu'en 2003. Les surfaces rocheuses et les agglomérations sont observées également. La forêt est séparée en deux blocs par le fleuve Ouémé (figure 2). La matrice de transition donne plus de détails sur les différentes conversions opérées dans le temps et dans l'espace.

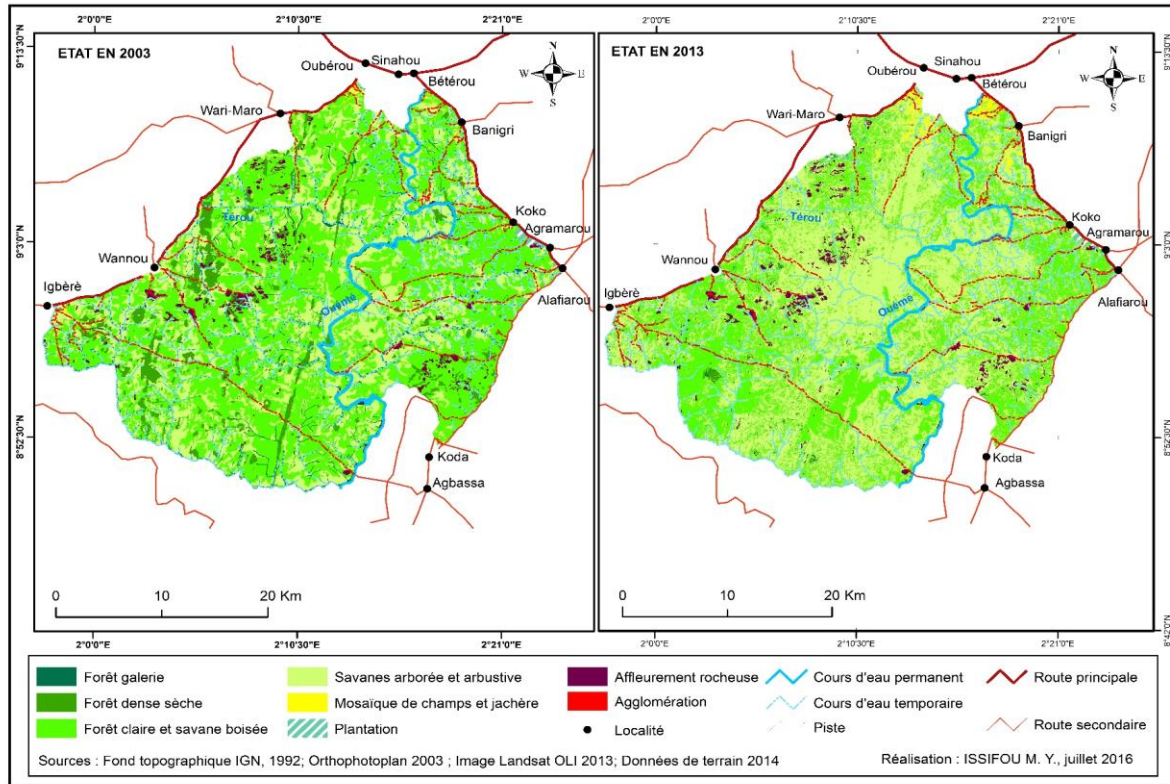


Figure 2. Occupation des terres entre 2003 et 2013 de la forêt classée de Wari-Marou

3.2- Evaluation des changements spatio-temporels de l'occupation des terres de la forêt classée de Wari-Marou entre 2003 et 2013

Les différentes conversions subies par les unités d'occupation des terres de 2003 à 2013 sont consignée dans la matrice de transition du tableau 1.

Tableau 1. Matrice de transition des formations végétales et des autres unités d'occupation des terres entre 2003 et 2013

Unités 2003	Unité de 2013									Sup.2003 (ha)
	FG	FDS	FCSB	SAA	PL	CJ	SR	PE	AG	
FG	7206,61	0	0	0	42,83	100,95	0	0	0	7350,39
FDS	0	432,96	3313,03	2564,97	98,12	3,88	0	0	0	6412,96
FCSB	0	27,2	24851,89	34230,06	295,83	655,80	0	0	0	60060,76
SAA	0	0	11696,19	21589,48	97,44	537,50	0	0	0,01	33920,62
PL	0	0	0	0	355,26	1,01	0	0	0,84	357,11
CJ	0	0	0	0	25,57	312,50	0	0	0	338,07
SR	0	0	0	0	0	0,0	2096,68	0	0	2096,68
PE	0	0	0	0	0	0	0	531,48	0	531,48
AG	0	0	0	0	0	0	0	0	27,33	27,33
Sup.2013	7206,61	460,13	39861,11	58384,50	915,05	1611,63	2096,68	531,48	28,18	111095,38

Sources : Orthophotoplans de 2003 et Images Landsat 8 OLI/TIRS, 2013

Légende :

FG : Forêt galerie ; FDS: Forêt dense sèche; FCSB : Forêt claire et savane boisée ; SAA : Savanes arborée et arbustive ; PL : Plantation ; CJ : Champs et jachères ; SR : Surface rocheuse ; PE : Plan d'eau ; AG : Agglomération.

Sup. 2003 : Superficie des formations végétales et des autres unités d'occupation des terres en 2003

Sup. 2013 : Superficie des formations végétales et des autres unités d'occupation des terres en 2013

6,21 : Superficie des formations végétales et des autres unités d'occupation des terres restée stable

L'examen de la matrice de transition du tableau 1 permet d'identifier clairement les différentes conversions opérées entre les classes d'occupation des terres de 2003 à 2013. Il ressort que toutes les formations végétales naturelles ont régressé au profit des formations anthropozoïques qui ont globalement progressées.

❖ **Galeries forestières**

En effet, les galeries forestières qui occupaient 7 350,39 ha en 2003 sur 111 095,38 ha qu'occupe la FCWM sont passées à 7 206,61 ha en 2013. Environ 42,83 ha de cette unité sont convertis en plantation et 100,95 ha ont été convertis en mosaïques de champs et jachères.

❖ **Forêts denses sèches**

Entre 2003 et 2013, environ 3 313,03 ha des forêts denses sont convertis en forêts claires et savanes boisées, 2 564,97 ha en savanes arborées et arbustives, 3,88 ha en champs et jachères, 98,12 ha en plantation, et 432,96 ha sont restées inchangées.

❖ **Forêts claires et savanes boisées**

La superficie des forêts claires savanes boisées a connu une stabilité de 24 851,89 ha en 2013 sur les 60 060,76 ha qu'elles couvraient en 2003. L'examen de la matrice montre que 27,2 ha ont été convertis en forêts denses sèches, 34 230,06 ha en savanes arborées et arbustives, 295,83 ha en plantation et 655,80 ha en mosaïque de champs et jachères.

❖ **Savanes arborées et arbustives**

Parlant des savanes arborées et arbustives, 11 696,19 ha sont convertis en forêts claires savanes boisées, 97,44 ha en plantation, 537,50 ha en mosaïque champs et jachères, et environ 0,01 ha en agglomération et 21 569,48 ha sont restées stables.

❖ **Plantations**

Les plantations qui occupaient une superficie de 357,11 ha de la FCWM en 2003, sont passées à 915,05 ha en 2013. Entre ces deux dates, 1,01 ha sont convertis en mosaïque de champs et jachères et 0,84 ha en agglomération.

❖ **Mosaïques champs et jachères**

La superficie des mosaïques de champs et jachères a également connu des conversions avec 25,57 ha convertis en plantation et 312,50 ha restées inchangées.

Les plans d'eau, les surfaces rocheuses et les agglomérations n'ont pas subi de conversions.

Les différentes transitions observées indiquent que cette situation de conversion différentielle des formations végétales naturelles est une conséquence du non-respect des principes de sauvegarde des ressources naturelles par les populations riveraines et la défaillance de

l'administration forestière après le départ du Projet PAMF dans cette forêt classée de Wari-Marou.

L'analyse statistique permet de quantifier avec précision les différents changements opérés entre 2003 et 2013 dans cette forêt classée.

3.3- Analyse statistique des changements spatio-temporels des unités d'occupation des terres

Elle est faite à travers le calcul des taux moyens annuels d'expansion spatiale et des vitesses d'évolutions (tableau 2).

Tableau 2. Taux moyen annuel d'expansion spatiale et vitesse d'évolution (progression ou régression) des unités d'occupation des terres de 2003 à 2013

Unités d'occupation	Sup. (Km ²) 2003	Sup. (Km ²) 2013	Ta (%)	Vs (km ² /an)
FG	73,50	72,07	-0,20	-0,14
FDS	64,13	4,60	-9,28	-5,95
FCSB	600,61	398,61	-3,36	-20,20
SAA	339,21	583,85	7,21	24,46
PL	3,57	9,15	15,62	0,56
CJ	3,38	16,12	37,67	1,27
AG	0,27	0,28	0,31	0,001

Légende :

FG : Forêt galerie ; FDS: Forêt dense sèches; FCSB : Forêt claire et savane boisée ; SAA : Savanes arborée et arbustive ; PL : Plantation ; CJ : Champs et jachères ; SR : Surface rocheuse ; PE : Plan d'eau ; AG : Agglomération, Ta (%) : taux moyen annuel d'expansion spatiale; Vs (km²/an) : vitesse d'évolution ; Sup. : superficie

De l'examen du tableau 2, il ressort que les champs et jachères ont connu la plus forte expansion moyenne annuelle avec 37,67 % et une vitesse de progression de 1,27 km²/an entre 2003 et 2013, suivie des plantations avec une expansion moyenne annuelle de 15,62 % et une vitesse d'évolution de 0,56 km²/an. Quant aux formations végétales naturelles, seules les savanes arborées et arbustives ont connu une expansion avec un taux moyen annuel de 7,21 % et une vitesse de 24,46 km²/an. A l'opposé des progressions, on note la plus importante régression pour les forêts denses sèches avec un taux de 9,28 % et une vitesse de régression de l'ordre de 5,95 km²/an. Les forêts claires et savanes boisées ont aussi régressé de 3,36 %, avec une vitesse de régression de 20,20 km²/an, ainsi que les galeries forestières qui ont régressé de 0,20 % avec une vitesse de 0,14 km²/an. Les agglomérations ont connu une extension relativement faible avec une vitesse d'évolution faible (0,31 %, soit 0,001 km²/an).

Cette évaluation a permis de dégager quatre changements majeurs :

- 1- la dégradation (3,01 %) des formations végétales naturelles marquée par une réduction de 1,83 km²/an de leur superficie;
- 2- cette dégradation a entraîné une déforestation non moins négligeable de 0,02 % ;
- 3- la savanisation (7,21 %) de la forêt, marquée par l'extension (24,46 km²/an) des savanes arborées et arbustives comme matrice paysagère du milieu en 2013 ;

4- l'augmentation de 53,61 % des mosaïques de champs et jachères, des plantations et des agglomérations, soit une progression de 1,83 Km²/an dans la forêt classée de Wari-Marô.

Il faut retenir que l'expansion des savanes peut être le fruit des programmes de reboisement exécutés par le projet PAMF jusqu'en 2006 à travers le plan d'aménagement participatif de la forêt. Cependant, malgré les efforts de sensibilisation et de reboisement de ce projet les formations végétales naturelles ont considérablement régressé (5,63 %). Cette situation peut s'expliquer d'une part par le fait qu'à la fin de l'exécution du Projet PAMF, les populations riveraines ont repris d'assaut la forêt classée pour réinstaller les champs, produire du charbon, couper les bois d'œuvre et de service, d'autre part par la croissance démographique et les changements climatiques.

3.4- Intensités des changements et vitesse de transition par catégorie d'occupation des terres et par intervalle de temps entre 2003 et 2013

3.4.1- Intensité des changements à l'intérieur de chaque catégorie d'occupation des terres

La figure 3 présente l'intensité des changements à l'intérieur de chaque catégorie d'occupation des terres entre 2003 et 2013.

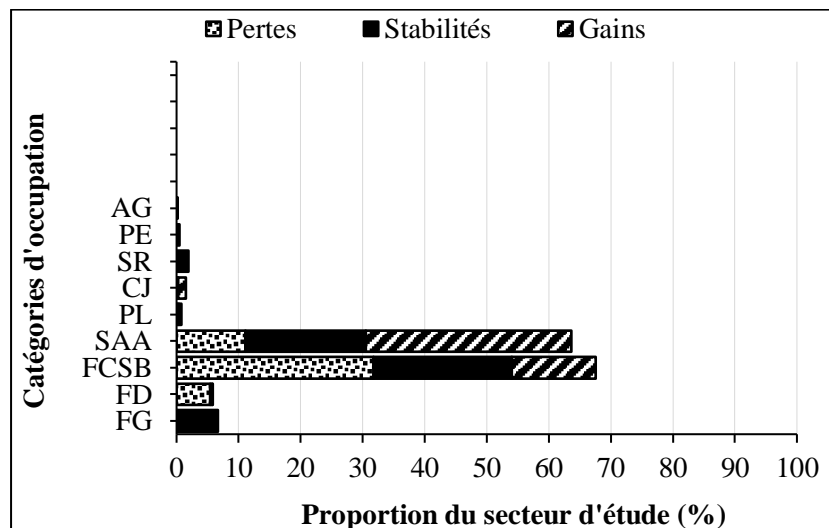


Figure 3. Intensité des changements opérés globalement à l'intérieur de chaque catégorie entre 2003 et 2013

Légende :

FG : Forêt galerie ; FDS: Forêt dense sèches; FCSB : Forêt claire et savane boisée ; SAA : Savanes arborée et arbustive ; PL : Plantation ; CJ : Champs et jachères ; SR : Surface rocheuse ; PE : Plan d'eau ; AG : Agglomération.

L'examen de la figure 3 indique que globalement les changements entre les catégories d'occupation des terres se sont opérés dans le secteur d'étude de façon différentielle sur le plan spatial. Dans chaque catégorie, des zones de perte, de stabilité et de gain ont été observées et occupent chacune des proportions différentes de la forêt classée.

Les forêts claires et savanes boisées sont les unités où les changements ont été plus significatifs. Sur 68 % de la forêt, elles ont connu 32 % de pertes contre 14 % de gains et 22 % de stabilité. Viennent ensuite les savanes arborées et arbustives avec 11 % de pertes pour 33 % de gains et 19 % de stabilité. Les forêts denses sèches ont connu essentiellement 5 % de

perdes, par contre, les forêts galeries ont connu 6 % de stabilité. Les champs et jachères ont eu 1 % de gains, les plantations ont connu 1 % de gains. Enfin, l'intensité des changements est de 0 % à l'intérieur des agglomérations.

3.4.2- Intensités et vitesses des changements à l'intérieur de chaque catégorie d'occupation des terres entre 2003 et 2013

La figure 4 présente les intensités et les vitesses des changements par catégorie d'occupation du sol entre 2003 et 2013.

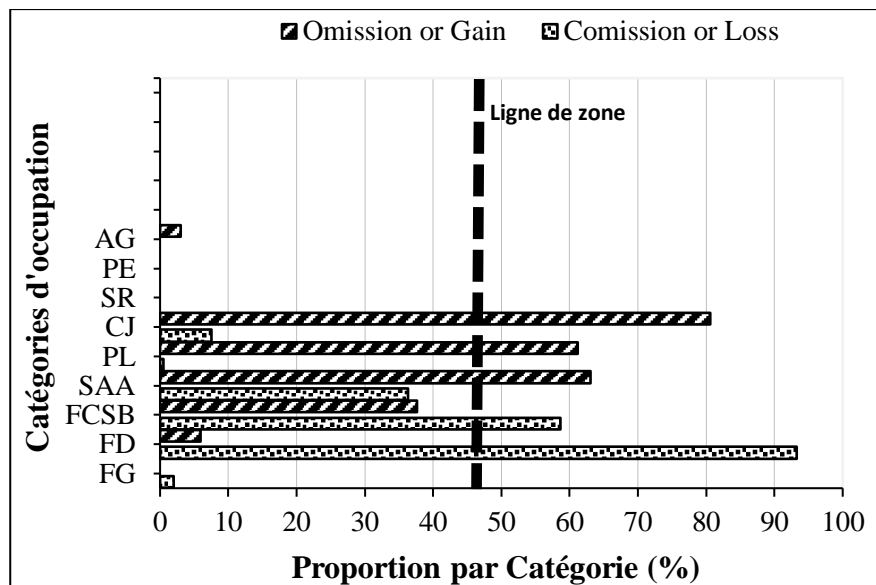


Figure 4. Intensités et vitesses des changements par catégorie dans la FCWM entre 2003-2013

Légende :

FG : Forêt galerie ; FDS: Forêt dense sèches; FCSB : Forêt claire et savane boisée ; SAA : Savanes arborée et arbustive ; PL : Plantation ; CJ : Champs et jachères ; SR : Surface rocheuse ; PE : Plan d'eau ; AG : Agglomération.

L'observation de la figure 4 montre que toutes les unités d'occupation des terres ont connu des gains et des pertes disproportionnelles par rapport à la superficie de la forêt.

Le graphe de la figure 4 indique que pour les forêts denses sèches, les forêts claires et savanes boisées, les savanes arborées et arbustives, les plantations et les champs et jachères, les changements opérés sont tous actifs, alors qu'ils sont dormants pour les forêts galeries, les agglomérations, les surfaces rocheuses, et les plans d'eau. Entre 2003 et 2013, la plus grande perte s'est observée au niveau des forêts denses sèches soit 93 % de pertes contre 6 % de gains, suivies des forêts claires et savanes boisées avec 59 % de pertes et 38 % de gains. A l'opposé, on note le gain le plus élevé pour les champs et jachères avec 81 % de gains et 8 % de pertes ; viennent respectivement les plantations avec 61 % et 1 % de pertes puis les savanes arborées et arbustives avec aussi 63 % de gains et 38 % de pertes. On note 2 % de pertes seulement pour les forêts galeries qui n'ont rien gagnés. Enfin, les agglomérations ont connu essentiellement 3 % de gains. Les plans d'eau et les surfaces rocheuses sont statiques.

4.1.5 Tendance évolutive générale des unités d'occupation des terres entre 2003 et 2013

La figure 5 présente la tendance de l'évolution globale du couvert forestier de 2003 à 2013.

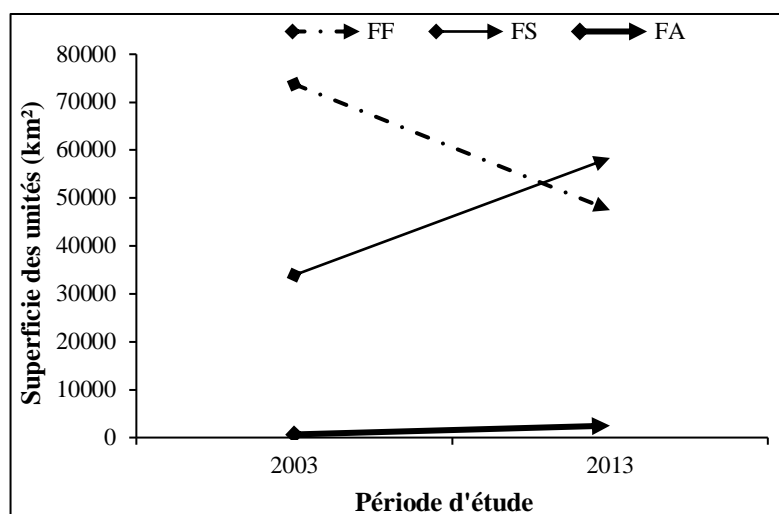


Figure 5. Tendance évolutive des unités d'occupation des terres de 2003 à 2013

Légende : FF : Formations Forestières ; FS : Formations Savanicoles ; FA : Formations Anthropiques

De 2003 à 2013 on note une baisse généralisée des formations forestières qui sont passées de 73 824,10 ha en 2003 à 47 527,85 ha en 2013 (soit 36 % de régression) au profit des formations savanicoles qui ont progressé de 33 920,62 ha en 2003 à 58 384,50 ha en 2013 (soit 72 % de progression) et des formations anthropiques qui en 2003 occupaient seulement 722,51 ha contre 2 554,86 ha en 2013 (soit 3 % de progression).

On peut estimer à partir de cette figure 5 de 2013 à nos jours, les formations forestières ont continué à diminuer considérablement au profit des formations savanicoles qui sont en progression considérable et des formations anthropiques en forte croissance. Ainsi donc, il convient de noter que dans un proche avenir, si les conditions actuelles qui sous-tendent cet état de déforestation prononcée sont maintenues, dans la forêt classée de Wari-Marou, les formations végétales naturelles laisseront place aux mosaïques de champs, jachères et plantations sans oublier les agglomérations. Il serait donc intéressant d'anticiper des mesures pour contrer ce phénomène.

4- DISCUSSION

La dynamique du couvert forestier de Wari-Marou a été cartographiée à partir des orthophotoplans de 2003 et des images satellitaires Landsat OLI-TIRS de 2013. Ces images satellitaires et photographies aériennes ont permis de réaliser les cartes d'occupation des terres de 2003 et 2013 et les superficies de chaque unité d'occupation ont été également extraites. Cette cartographie a permis de mettre en évidence l'importance de la télédétection et des SIG dans la compréhension des changements spatio-temporels de l'occupation des terres dans le suivi des aires protégées. Plusieurs auteurs ont aussi reconnu la pertinence de cette méthode cartographique dans l'étude de la dynamique paysagère. L'imagerie satellitaire joue un rôle incontournable dans le processus de caractérisation et d'aménagement régional des

écosystèmes selon MAMAN *et al.* (2011). L'utilisation de la Télédétection et des données géospatiales pour la cartographie de la végétation et de l'occupation des terres est une activité courante des institutions intéressées par la gestion des ressources végétales (ACHARD *et al.*, 1996). Cette approche cartographique a permis d'apprécier les changements qui ont lieu dans la forêt classée de Wari-Marou et d'apporter des diagnostics pour expliquer la déforestation en cours dans cette forêt. La cartographie selon THOMAS (2014), offre une approche visuelle vivante et pragmatique au développement territorial qui, en retour, lui donne un volume architectural par la complexité des champs explorés, la diversité des acteurs en jeu et la variété des traits de caractères. La carte permet de penser globalement et d'agir localement. Elle est l'outil idéal pour aider un territoire à développer ses forces, en fonction des opportunités contemporaines pour réduire les faiblesses telle que la pauvreté et faire face aux menaces comme les changements climatiques.

L'approche diachronique a également permis de mettre en exergue l'interaction entre systèmes sociaux et environnementaux dans la forêt classée de Wari-Marou qui s'est soldée par la régression de toutes les formations forestières au profit des formations savanicoles et anthropozoïques. De nombreux travaux ont montré que les processus qui s'opèrent dans le paysage sont le résultat des interactions entre systèmes sociaux et environnementaux et surviennent dans des plages d'échelles caractéristiques (QUATTROCHI *et al.*, 1997 ; ISSIFOU, 2014 ; ZAKARI, 2015). Dans la forêt classée de Wari-Marou quatre changements majeurs sont à noter : la dégradation (3,01 %) des formations forestières marquée par une réduction de 1,83 km²/an pour l'ensemble des galeries forestières, forêts denses sèches, forêts claires et savanes boisées. Cette dégradation a entraîné une déforestation non moins négligeable de 0,02 % ; et une savanisation (7,21 %) de la forêt, marquée par l'extension (24,46 km²/an) des savanes arborées et arbustives comme matrice paysagère du milieu en 2013 et enfin l'augmentation des mosaïques de champs et jachères, des plantations et des agglomérations. Ces résultats sont similaires à ceux de AROUNA (2005) dans la même forêt classée, et de TOKO (2014) dans la forêt classée des Monts Kouffé. Le taux de dégradation des forêts au Mali est de l'ordre de 8,3 % par an (HADY, 2011). Le taux de déforestation annuel signalé dans la forêt communautaire Gnanhouzounmè dans la commune de Bonou est de 0,73 % entre 1982 et 2009 (GUILLAUME, 2013). L'analyse des programmes "PontiusMatrix22" et "Intensity Analysis02.xmls" a montré globalement que les changements entre les catégories d'occupation des terres se sont opérés dans le secteur d'étude de façon différentielle sur le plan spatial. On note à cet effet que les changements opérés sont statistiquement actifs avec des pertes significatives pour les forêts denses sèches (5 %) et les forêts claires et savanes boisées (32 %) et des gains significatifs pour les savanes arborées et arbustives (33 %), les plantations (1 %), et les champs et jachères (1 %). Par contre, les changements sont dormants pour les forêts galeries et les agglomérations. De 2003 à 2013, on note une baisse généralisée des formations forestières qui sont passées de 73 824,10 ha en 2003 à 47 527,85 ha en 2013 au grand profit des formations savanicoles qui ont progressé de 33 920, 62 ha en 2003 à 58 384,50 ha en 2013 et des formations anthropiques qui en 2003 occupaient 722,51 ha de la forêt pour 2 554,86 ha en 2013. Ces résultats corroborent ceux de ISSIFOU (2014) dans le district phytogéographique du Borgou-Nord ; de SORO *et al.* (2014) dans la région des lacs au centre de la Côte d'Ivoire ; de ZAKARI (2015) dans le bassin versant de la Sota et de TOKO (2014) dans la forêt classée des Monts Kouffé. Il faut retenir que l'expansion des savanes qui donne une tendance à la régénérescence peut être le fruit des programmes de reboisement exécutés par le projet PAMF jusqu'en 2006.

Cependant, malgré les efforts de sensibilisation et de reboisement de ce projet les formations végétales naturelles ont considérablement régressé.

CONCLUSION

Cette recherche portant sur la dynamique du couvert forestier dans la forêt classée de Wari-Marou a permis de mettre en évidence l'importance des outils de télédétection et du SIG dans la compréhension des changements spatio-temporels de l'occupation des terres et le suivi des aires protégées. La cartographie de la dynamique du couvert forestier à partir des orthophotoplans de 2003 et des images satellites Landsat OLI-TIRS a montré qu'il y a une forte régression de toutes les formations forestières au profit des formations savaniques et anthropozoïques. Cette régression est provoquée par la forte dégradation des formations végétales naturelles marquée par une réduction des galeries forestières, des forêts denses sèches et des forêts claires savanes boisées. Cette dégradation a entraîné une déforestation non moins négligeable et une savanisation remarquable de la forêt, marquée par l'extension des savanes arborées et arbustives comme matrice paysagère du milieu en 2013 et enfin l'augmentation galopante des mosaïques de champs et jachères ; des plantations et des agglomérations.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ACHARD F., ANSSEAU C., BEAUBIEN J., DEFOURNY P., JATON A., LEMIEUX G., 1996. La télédétection et la gestion des forêts. In : AUPELF eds. Précis de Télédétection. Québec : AUF Québec.
- ACHARD F., De FRIES R., EVA H., HANSEN M., MAYAUX P., STIBIG H-J., 2007. Pantropical monitoring of deforestation. *Environmental Research Letters*, **2**: 045022.
- ALDWAIK S.Z. and PONTIUS J-R. R.G., 2012. Intensity analysis to unify measurements of size and stationarity of land changes by interval, category, and transition. *Landscape and Urban Planning*, **106** : 103-114.
- AROUNA O., 2005. Carte phytoécologique de la forêt classée de Wari-Marou au Bénin. Mémoire de DEA (Diplôme d'Etudes Approfondies) à l'Ecole Doctorale Pluridisciplinaire (EDP) de la FLASH/UAC/BENIN. 107p.
- AROUNA O., 2012. Cartographie et modélisation prédictive des changements spatio-temporels de la végétation dans la Commune de Djidja au Bénin : Implication pour l'aménagement du territoire. Thèse de doctorat en Géographie, UAC, 246p.
- AUBREVILLE A., 1936. Les forêts du Dahomey et du Togo. Bulletin du comité d'études historiques et scientifiques de l'Afrique occidentale française, **XX (1-2)** : 1-112
- AUBREVILLE A., 1937. Les forêts du Dahomey et du Togo. Bull. com. Etu. His. Et Scientif. Afrique occidentale française, **20**: 1-112.
- AUKLAND L., COSTA M.P., BASS S., HUQ S., LANDELL-MILLS N., TIPPER R., CARR R., 2002. Poser les fondations d'un développement 'propre' : Préparer le secteur de l'affectation des terres. Un guide concis du Mécanisme pour un Développement Propre. IIED, *EcoSecurities*, ECCM, Londres, 39 p.
- BONOU N. W., 2007. Caractérisation structurale des formations végétales hébergeant *Azelia africana* sm: cas de la forêt classée de la Lama au sud du Bénin. Thèse pour l'obtention du Diplôme d'Ingénieur Agronome de la faculté des sciences agronomiques de l'Université d'Abomey-Calavi, Cotonou, Bénin. 119p.

- ESCADAFAL, R. & POUGET, M., 2007. Luminance spectrale et caractères de la surface des sols en région aride méditerranéenne (Sud tunisien). *ITC Journal*, N°1, 19-23.
- FAO, 1997. Agriculteurs itinérants. Connaissances techniques locales et gestion des ressources naturelles en zone tropicale humide, Rome, 80 p.
- FAO, 2000. Global Forest Resources Assessment 2000. Tech. Rept. Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture. www.greenfacts.org.
- GODRON M., 1984. Ecologie de la végétation terrestre. Masson, Paris France, 196 p.
- GRAYET J.P., 1977. Contribution à l'étude e l'échantillonnage en futaie feuillue. *Ann. Sci. For.* **34** : 59-75.
- GUILLAUME M.H., 2013. Analyse systémique et intégrée de la gestion de la forêt communautaire de Gnanhouizounmè dans la commune de Bonou au Bénin. Mémoire présenté en vue de l'obtention du Diplôme d'Etudes Supérieures Spécialisées (DESS) en Aménagement et gestion intégrés des forêts et territoires tropicaux. Université de Kinshasa, Commune de Lemba Kinshasa, République Démocratique du Congo, 75p.
- HADY D., 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). **22(2)** : 11p.
- HEYMANS J-C, PETIT J-M., 1985. Etude et aménagement de la forêt classée des Monts Kouffé (Rép. du Bénin). *Tropicultura*. **3(3)**: 88-92.
- HOUINATO M.R.B., 2001. Phytosociologie, écologie, production et capacité de charge des formations végétales pâturées dans la région des Monts Kouffé (Bénin). Thèse de doctorat, université libre de Bruxelles, ULB, Belgique, 241 p.
- HOUNDAGBA C.J., TENTE A.B.H., et GUEDOU R., 2007. Dynamique des forêts classées dans le cours moyen de l'Ouémé au Bénin (Kétou, Dogo et Ouémé-Boukou). © IRD Éditions, 2007, p. 369-380. Conditions d'utilisation : <http://www.openedition.org/6540>.
- INSAE, 2015. RGPH4 : Que retenir des effectifs de population en 2013 ? Cotonou, Direction des études démographiques, institut national de la statistique et de l'analyse économique (INSAE).
- IPCC, 2007. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), special report, UNEP, **15** : 5-90.
- ISSIFOU M.Y., 2014. Dynamique phytogéographique de la région soudanienne au Benin : secteur du district Borgou-Nord (Arrondissement de Bagou commune de Gogounou). Mémoire de maîtrise de géographie et aménagement du territoire de l'Université d'Abomey-calavi. Cotonou, Bénin, 119p.
- KIOKO J, OKELLO M.M., 2010. Land use cover and environmental changes in a semi-arid rangeland, Southern Kenya. *J. Geogr. Regional Plann.* **3(11)**:322-326.
- KÖHL M., MAGNUSSEN S., MARCHETTI M., 2006. Sampling methods, remote sensing and GIS multiresource forest inventory. *Springer*, Berlin.
- LAMBIN E.F., TURNER B.L. I.I, GEIST H.J., AGBOLA S.B., ANGELSEN A., BRUCE J. W., COOMES O., DIRZO R., FISCHER G., FOLKE C., GEORGE P.S., HOMEWOOD K., IMBERNON J., LEEMANS R., LI X., MORAN E.F., MORTIMORE M., RAMAKRISHNAN P.S., RICHARDS J.F., SKÅNES H., STEFFEN W., STONE G., SVEDIN U., VELDKAMP T.A., VOGEL C. & XU J., 2001. The Causes of land-use and cover change: moving beyond the myths. *Global Environ. Change*, **11** : 261-269.
- LAURENT et RONDEUX, 1985. Etude comparative de diverses unités d'échantillonnage à nombre de bois prédéterminés (cas des forêts résineuses équiennes). Document 85-2, Gembloux, 21p.

- MAMAN M.I., MAHAMANE A., MBOW C., SAADOU M., BACHMANN Y., 2011. Dynamique spatio-temporelle des forêts claires dans le Parc national du W du Niger (Afrique de l'Ouest). *Sécheresse*, **22** : 108-16.
- MEHU, 2002. Stratégie Nationale et Plan d'Action pour la Conservation de la Diversité Biologique au Bénin, 144p.
- MMFT, 2002. Afrique : Ses forêts menacées, éd. Hersilia Fonseca, Royaume Uni, 258 p.
- MULINDABIGWI V., 2005. Influence des systèmes agraires sur l'utilisation des terroirs, la séquestration du carbone et la sécurité alimentaire dans le bassin versant de l'Ouémé supérieur au Bénin. Thèse de l'Institut für Gartenbauwissenschaft der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn. 253p.
- ONIBON, P., 1999. Définition d'une politique et d'un programme d'actions pour la gestion de la transhumance « durable », dans le cadre de la lutte contre la désertification au Bénin. Mission, MEHU, Cotonou, Bénin, 65p.
- OZENDA P., 1982. Les végétaux dans la biosphère. Do in, Paris, France, 431 p.
- PAMF, 2007. Plan d'Aménagement participatif du complexe des forêts classées de Wari-Marou et des Monts Kouffés. Volume A, Partie descriptive. DGFRN/MEPN, Cotonou, Bénin. 215 p.
- PUYRAVAUD J.P., 2003. Standardizing the calculation of the annual rate of deforestation. *Forest Ecology and Management*, **177**, 1–3, pp. 593–596.
- QUATTROCHI D.A. & GOODCHILD M.F., 1997. Scale in Remote Sensing and GIS. Lewis Publishers, 406p.
- RB (République du Bénin), 1993. Loi n° 93-009 du 2 juillet 1993 portant régime des forêts en République du Bénin. DFRN, Cotonou, Bénin, 26p.
- RIEDACKER A., 2004. Changements Climatiques et Forêts. SILVA, RIAT, 231 p.
- RONDEUX J., 1999. La mesure des peuplements forestiers. Presses agronomiques de Gembloux, 2ème (éd). Gembloux, 521 p.
- SINSIN B., DAOUDA I.-H., AHOKPE E. et TEHOU A. 1997. Faune sauvage des forêts classées de Goungoun et de la Sota. Série, Notes du Laboratoire d'Ecologie Appliquée.
- SORO G. ; AHOUSSE E.K., KOUADIO E.K., SORO T.D., OULARE S., SALEY M.B., SORO N., et BIEMI J., 2014. Apport de la télédétection à la cartographie de l'évolution spatio-temporelle de la dynamique de l'occupation du sol dans la région des Lacs (Centre de la Côte d'Ivoire). *Afrique SCIENCE* 10 (3) 146 – 160.
- THOMAS A.O., 2014. Cartographie en stratégie territoriale : retour d'expériences et modèle pour la planification du développement du département des collines au Bénin. Thèse présentée pour l'obtention du Diplôme de Doctorat d'Etat de l'Université d'Abomey-Calavi, Cotonou, Benin. 158p.
- TOKO M.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 unique de l'Université d'Abomey-Calavi, Cotonou, Bénin ; 202p.
- ZAKARI S., 2015. Vulnérabilité des parcours naturels aux changements climatiques dans le bassin de la Sota a l'exutoire de coubéri (Benin). Thèse de doctorat unique de l'Université d'Abomey-Calavi, Cotonou, Bénin. 189p.
- ZAKARI S., TENTE. B.A.H, YABI.I., et TOKO IMOROU I., N'BESSA B., 2015 : Changements spatio-temporels de l'occupation des terres et dynamique des écoulements de surface dans le bassin versant de la Sota (Nord Benin). Actes du 5ème Colloque International. Sciences, cultures et Technologies pour le développement, Université d'Abomey-Calavi (Sous-Presses).