

Changements de l'occupation des Terres dans la Forêt Classée des Monts Kouffé et sa Périphérie Sud au Bénin (1986-2006)

Inoussa Toko Mouhamadou,

Enseignant-Chercheur, Maître-Assistant, Département des SIG, Institut Régional Africain des Sciences et Technologies de l'Information Géospatiale, Campus Universitaire Obafemi Awolowo, Ilé-Ife, Etat d'Osun, Nigéria

Doi: 10.19044/esj.2019.v15n9p478

[URL:http://dx.doi.org/10.19044/esj.2019.v15n9p478](http://dx.doi.org/10.19044/esj.2019.v15n9p478)

Résumé

La forêt classée des Monts Kouffé et sa périphérie sud subissent les pressions de la croissance démographique galopante, de l'agriculture itinérante sur brûlis, du surpâturage, du braconnage et de l'exploitation forestière anarchique. Cette vise à analyser l'occupation des terres en vue de comprendre leur dynamique spatio-temporelle. La méthodologie adoptée est basée sur la Télédétection avec des images satellitaires Landsat TM de 1986 et ETM+ de 2006. La Cartographie pour la réalisation des cartes d'occupation du sol de 1986 et 2006. Les analyses spatiales du Système d'Information Géographique ont permis d'observer, trois changements majeurs, la fragmentation et la réduction des superficies des îlots de forêt dense sèches, la savanisation de la forêt classée des Monts Kouffé et la progression des surfaces agricoles. Les superficies et taux moyens annuels d'expansion spatiale des unités d'occupation des terres calculées entre 1986-2006 montrent une augmentation majeure des superficies de la savane arborée (3%) et des champs et jachères (4,61%). Tandis que celles de la forêt dense sèche (-1%), la forêt claire (-1,13%), la savane arbustive (- 0,35%) et les autres unités dont les sols nus et les zones brûlées (-7,14%) ont diminuées. Les taux de conversion calculés sont plus élevés dans les autres unités (sols nus, zones brûlées) avec 99,84% et les champs et jachères (90,08%). Mais ces taux sont faibles pour les forêts denses sèches (48,56%). Sur ce, pour une conservation durable de la biodiversité cette aire protégée mérite d'être surveillée de près.

Mots-clés: Changements, occupation des terres, Forêt classée des Monts Kouffé, périphérie sud, Bénin

Land Use/Land Cover Changes in Monts Kouffe Forest Reserve and its Southern Surrounding (1986-2006)

Inoussa Toko Mouhamadou,

Enseignant-Chercheur, Maître-Assistant, Département des SIG, Institut Régional Africain des Sciences et Technologies de l'Information Géospatiale, Campus Universitaire Obafemi Awolowo, Ilé-Ifè, Etat d'Osun, Nigéria

Abstract

Monts Kouffe forest reserve and its southern surrounding undergo pressures of fast population growth, shifting cultivation, over pasture, poaching, unfair forestry utilization. This study aims to analyse Monts Kouffe forest reserve and its southern surrounding land use/land cover, to understand their spatiotemporal dynamics. The methodology approach is based on Remote Sensing using 1986 Landsat TM and 2006 Landsat ETM⁺ satellite data. Cartography was used to produce 1986 and 2006 land use/land cover maps. Geographical Information System using spatial analysis allowed to identify three major changes which are, dry dense forest islands' fragmentation and their areas' reduction, Monts Kouffe forest reserve's savanisation and, agricultural areas' increasing. Computed land use/land cover areas and the rates of spatial expansion annual mean between 1986-2006 present a major increasing of savannah planted (3%), fields and fallows (4,61%) areas. While the areas of dry dense forest (-1%), light forest (-1,13%), bushland (-0,35%) and others units (bare soil and burned area) (-7,14%) were reduced. Computed conversion rates are higher for others units (bare soil and burned area) with 99,84%, fields and fallows (90,08%),. But these rates are weak for dry dense forest (48,56%). So, for biodiversity sustainable conservation this protected area need to be strongly monitored.

Keywords: Changes, land cover/land cover, Monts Kouffe forest reserve, southern surrounding, Benin

Introduction

La déforestation touche sévèrement les forêts tropicales. Elle entraîne des dommages économiques, sociaux et environnementaux auxquels il est difficile de remédier (Miwoto *et al.*, 2017).

La fragmentation des habitats naturels est aujourd'hui reconnue comme une menace majeure pour la biodiversité par la convention sur la diversité biologique de Rio. La communauté scientifique considère notamment que la fragmentation écologique est devenue une des premières causes de la perte de la biodiversité, avant la pollution (Gerbeaud Maulin et Long, 2008). Aussi, la fragmentation et la perte d'habitats modifient profondément la configuration du paysage. Le milieu forestier est considéré comme l'habitat le plus affecté par la fragmentation (Bamba *et al.*, 2010).

Or, le rôle des forêts tropicales dans la régulation du climat et la conservation de la biodiversité n'est plus à démontrer (Pascal, 2003). Cependant, il sied de faire ressortir la perte de leur biodiversité et l'augmentation des émissions des Gaz à Effet de Serre (GES) liées à leurs déforestations et dégradation des forêts dues aux actions anthropiques en zone tropicale (Bocko *et al.*, 2017). La déforestation et la dégradation des forêts contribuent approximativement de 12 à 20% aux émissions globales des gaz à effet de serre dans l'atmosphère (Pearson *et al.*, 2005).

En Afrique de l'ouest, le couvert végétal enregistre continuellement de fortes perturbations et celles-ci pour des raisons multiples. Ces perturbations sont surtout observées au niveau des massifs forestiers, qui constituent actuellement le "poumon vert" de cette partie de l'Afrique. Depuis quelques années ces formations, subissent une dégradation sans précédent, due à une forte pression anthropique qui se manifeste par des prélèvements surtout à des fins agricoles, de carbonisation et de bois de feu (N'guessan *et al.*, 2006 ; Bamba *et al.*, 2008 ; Adjonou *et al.*, 2009 ; Bamba *et al.*, 2010).

Au Bénin, les phénomènes de perturbation et de dégradation des écosystèmes forestiers sont également observés. Ainsi les processus naturels de successions des formations végétales sont assujettis à de nombreuses mutations qui occasionnent la dislocation de certaines formations végétales.

Selon Miwoto *et al.*, (2017), de nombreuses études s'accordent à dire que les mauvaises politiques sont en général une des causes plus importante de la déforestation sous les tropiques. Ainsi, au Bénin, la problématique de la gestion des ressources naturelles se pose en terme de dégradation du couvert végétal, d'exploitation inadéquate des plans d'eau, de fortes pressions exercées sur les aires protégées (braconnage excessif, transhumance, activités agricoles, occupations anarchiques), d'appauvrissement quantitatif et qualitatif des terres cultivables.

De ce fait les vastes étendues de forêts denses sèches sont représentées sous forme d'îlots dans la forêt classée des Monts Kouffé (FCMK) et sa périphérie sud. Comment peut-on alors évaluer les changements de l'occupation des terres dans la forêt classée des Monts Kouffé et sa périphérie sud sur la base des technologies géospatiales à savoir la Télédétection, la

Cartographie, le Système d'Information Géographique et l'utilisation du GPS : Global Positioning System?

Matériel et Méthodes

Milieu d'étude

Le milieu d'étude se trouve à cheval entre la Commune de Bassila et celle de Bantè. Géographiquement, il est situé entre 1°40' et 2°15' de longitude est et 8°20' et 8°50' de latitude nord (figure 1). Avec une superficie de 240.432 ha, il est entièrement soumis au climat tropical de type soudano-guinéen avec une température moyenne de 27°C. Les précipitations moyennes annuelles sont de l'ordre de 1200 mm. La végétation est constituée d'une mosaïque de savanes et de formations forestières. La majeure partie de la forêt classée est occupée par les savanes arbustives, arborées et boisées. Les formations forestières fermées sont quant à elles représentées par des îlots de forêts denses sèches semi-décidues et de forêts galeries densément boisées autour des cours d'eau. L'agriculture, l'exploitation forestière et le pâturage des troupeaux transhumants venant du Nigéria, du Niger, du Burkina Faso et du Nord-Bénin, sont les activités rencontrées dans la zone.

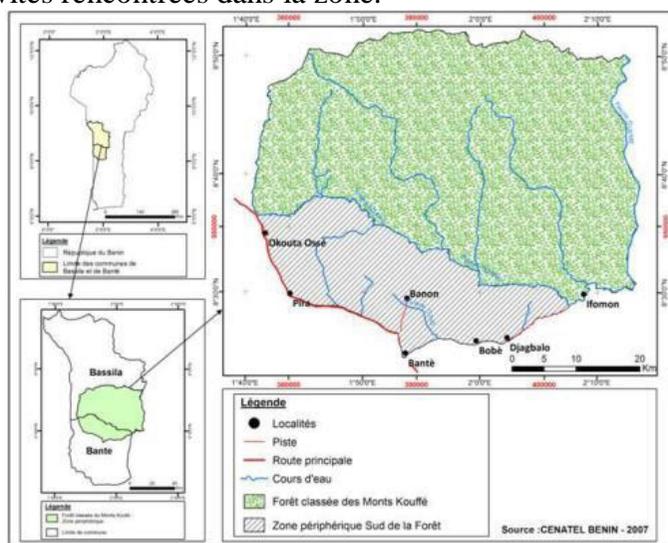


Figure 1: Forêt classée des Monts Kouffé et sa périphérie Sud

Matériel

Données

Les données utilisées concernent :

- une image satellitaire LANDSAT 5 TM de format Géotiff, du 13/01/1986, scène 192-054, d'une résolution spatiale de 30 m, obtenue sur le site internet de GLCF/USA pour la réalisation de la carte d'occupation des terres de 1986 ;

- une image LANDSAT 7 ETM+ de format Géotiff, scène 192-054 datant du 31/01/2006, d'une résolution spatiale de 30 m, obtenue sur le site internet de Global Land Cover Facility des USA pour la réalisation de la carte d'occupation des terres de 2006;
- une carte topographique de 1963 obtenue à l'Institut Géographique National du Bénin. Echelle : 1/200.000 pour l'extraction du cadre d'étude.

Logiciels

Les logiciels utilisés sont :

- Erdas Imagine 9.1, pour le traitement numérique des images satellitaires Landsat TM de 1986 et ETM⁺ de 2006) ;
- ArcGIS 9.3, pour les travaux de cartographie, de la dynamique spatio-temporelle et, la génération des matrices de transition;
- Tableur Microsoft Excel pour la finalisation des matrices de transition.

Méthodes

Correction géométrique de l'image satellitaire Landsat ETM+ de 2006

La correction géométrique ou rectification de l'image de 2006 qui est de Datum WGS 1688 a été faite par rapport à l'image de 1986 dont le Datum est WGS 1884, par un polynôme de degré 1 avec une erreur moyenne quadratique de l'ordre de 0,31 pixel, en utilisant 5 points de calage. Cette rectification s'impose parce que les deux images étaient de Datum différents donc impossibilité de les superposer. Le rééchantillonnage des images a été réalisé à l'aide de la méthode du plus proche voisin, car celle-ci n'altère pas la valeur radiométrique des pixels (Touré, 2010). Dans ce cas le système de projection est UTM-Zone 31N, Sphéroïde WGS 84, Datum WGS 84.

Composition colorée des images Landsat TM de 1986 et ETM+ de 2006

Dans le cadre de cette étude, la composition colorée qui a été privilégiée pour la détermination des unités d'occupation du sol est celle en fausses couleurs standards. Pour les images Landsat de 1986 et de 2006, elle a combiné les bandes du proche infrarouge, du rouge et du vert (432) du capteur, respectivement au plan d'affichage rouge, vert et bleu de l'écran (figure 2 et figure 3). Et, pour une bonne interprétation visuelle, le contraste des images obtenues a été amélioré par *l'Egalisation d'histogramme*. Ainsi, les formations forestières très denses, les formations peu denses et les zones très dégradées ou les sols nus ont été distingués.

Classification multispectrale par maximum de vraisemblance des images landsat de 1986 et 2006

La classification par pixel est un procédé qui consiste à regrouper les pixels d'une image en un nombre limité de classes. Si le pixel satisfait à une série de critères, il est affecté à la classe qui correspond à ces critères. Il existe deux types de classifications : la classification supervisée et la classification non supervisée. Pour cette étude le choix est porté sur la classification supervisée à cause de la connaissance du secteur d'étude. Dans ce cas, il faut choisir avant tout, des parcelles d'entraînement (AOI) qui sont des regroupements homogènes de pixels caractéristiques (échantillons) d'une occupation du sol donnée. Sur les parcelles d'entraînement, le logiciel a classifié chaque image selon l'algorithme paramétrique qu'est le Maximum de vraisemblance. C'est un algorithme très couramment utilisé car, généralement le plus performant. Son utilisation suppose que les distributions des valeurs de réflectance des parcelles d'entraînement soient normales (Toko, 2014). Cet algorithme de classification calcule une fonction de probabilité multidimensionnelle qui permet de déterminer la probabilité de chaque pixel d'appartenir à l'une des catégories correspondant aux signatures spectrales (Touré, 2010). Il a pour avantage la fourniture d'un indice de certitude lié à ce choix pour chaque pixel, en plus de la classe à laquelle il a été affecté. Pour obtenir une classification avec moins de confusion, il est recommandé de prendre un maximum d'aires d'entraînement par classe.

Pour peur de tomber dans la confusion des classes lors de la constitution des parcelles d'entraînement, le nombre d'échantillons choisis a été limité à 10 pour chaque classe. Globalement, les classes qui ont été définies s'élèvent à 9 (forêt galerie, forêt dense sèche, forêt claire, savane boisée, savane arborée, savane arbustive, champs-jachères, sol nu et zone brûlée).

Evaluation de la classification

Une classification n'est pas complète sans l'évaluation de son exactitude (Lillesand et Kiefer, 1994). En effet, on ne peut pas utiliser des données obtenues par télédétection avec certitude si on ne sait pas quel est statistiquement, le niveau de l'erreur qui lui est associé. Il ne suffit pas de présenter un pourcentage de pixels classés correctement, comme c'est souvent les cas dans de nombreuses études, parce que cette statistique ignore la précision locale, seule la quantité totale d'une classe est considérée sans tenir compte de sa localisation (Touré, 2010). L'évaluation des résultats d'une classification se fait grâce à la comparaison de l'image classée avec des données de référence (photographies aériennes, cartes ou relevé de terrain). Ces zones d'évaluation seront relevées avec le même soin que les zones d'entraînement. On confrontera les valeurs de l'image classée à celles du terrain dans un tableau à double entrée appelé couramment matrice de

contingence ou matrice de confusion. On reporte dans les cases du tableau, le nombre de zones selon leur appartenance aux différentes classes dans l'image classée (en lignes) et sur le terrain (en colonnes). Les zones bien classées se localisent sur la diagonale de la matrice et les erreurs en dehors. On distingue deux types d'erreurs : les erreurs d'omission et de confusion (ou "commission" en anglais). Une erreur d'omission est une observation qui aurait dû être classée en B, mais qui a été "oublié" et classée dans une autre classe. Une erreur de confusion est une observation qui est classée en B alors qu'elle aurait dû être classée dans une autre classe, il y a confusion (Wolff, 2006).

Dans la présente étude, ce sont des relevés de terrain qui ont permis cette validation. Ainsi, les matrices de confusion de la classification de 1986 (tableau I) et de 2006 (tableau II) ont été calculées à partir des signatures spectrales dans ERDAS Imagine suivant les fonctions: **Signature Editor / Evaluate / Contingency**.

Calcul des erreurs de commission et d'omission, et des indices de pureté des classes, de validité cartographique, d'exactitude de la classification

Les matrices de confusion (tableau I et tableau II) ont permis de calculer les erreurs d'omission (**EO**), les erreurs de commission (**EC**), les indices de pureté des classes (**IPC**) et les indices de validité cartographique (**IVC**). Les erreurs d'omission (en colonne) ont été obtenues en faisant le rapport (du nombre de pixels bien classés dans chaque unité d'occupation du sol) et du nombre total de pixels de ladite unité. Tandis que les erreurs de commission (en ligne) ont été également obtenues par la même procédure, mais ici au niveau des lignes. Les indices de validité cartographique ont été obtenus en retranchant les erreurs d'omission de 100 %. Les indices de pureté des classes sont quant à eux obtenus, en retranchant les erreurs de commission de 100 %. L'indice d'exactitude (**I**) de la classification des images de ces trois périodes a été calculé à partir des valeurs de chaque matrice de confusion, grâce à la formule suivante (Barima *et al.*, 2009 ; Mugisha *et al.*, 2010 ; Arouna, 2012) :

$$I = \sum_{i=1}^k \frac{x_i}{X}$$

Avec x_i : Nombre d'observations de la diagonale pour la classe i ; X : Nombre total des observations pour l'ensemble des classes. Si $I \geq 0,9$ (soit 90%), alors l'interprétation est correcte (Mugisha *et al.*, 2010).

Pour cette étude, les résultats de cet indice obtenus sont respectivement de 86,09% pour 1986 ; 84,13% pour 2006 et 94,26% pour 2013. Ceux-ci ont permis de valider les 3 classifications car les deux premiers sont "proches" des 90% et le troisième au-delà.

Tableau I. Matrice de confusion de l'image Landsat 5 TM de 1986 (en Pixel)

Données classifiées (1986)	Données de Référence (1986)											
	FG	FDS	FC	SB	SA	Sa	CJ	SN	ZB	Total Ligne	IPC	EC
FG	296	327	211	17	49	1	1	0	140	1042	28,40	71,60
FDS	29	2074	14	0	3	0	0	0	39	2159	96,06	3,94
FC	12	4	2857	0	98	224	2	0	469	3666	78	22
SB		0	1	6632	66	3	0	0	0	6702	99	1
SA	36	1	146	162	2458	57	3	0	13	2876	85,46	14,54
Sa	3	0	134	0	30	1237	1	0	40	1445	85,60	14,40
CJ	1	4	1	0	0	1	871	47	78	1003	87	13
SN	0	0	4	0	8	4	453	169	127	765	22,09	77,11
ZB	0	7	31	0	5	22	259	40	4633	4997	92,71	7,29
Total	377	2417	3399	6811	2717	1549	1590	256	5539	21227		
IVC	78,51	86	84,05	97,37	90,46	80	55	66,01	83,64			
EO	21,49	14	15,95	2,63	9,54	20	45	33,99	16,36			

Légende : FG : Forêt galerie, FDS : Forêt dense sèche, FC : Forêt claire, SB : Savane boisée, SA : Savane arborée, Sa : Savane arbustive, CJ : Champs et jachère, SN : Sol nu, ZB : Zone brûlée. IPC : Indice de Pureté des Classes, EC : Erreur de Commission, IVC : Indice de Validité Cartographique, EO : Erreur d'Omission.

En 1986, les valeurs élevées de l'Indice de Pureté des Classes (IPC) au niveau des différentes classes d'occupation des terres FDS (96,06%), FC (78%), SB (99%), SA (85,46%), Sa (85,60%), CJ (87%) et ZB (92,71%) et de celles de l'Indice de Validité cartographique de ces mêmes classes FDS (86%), FC (84,05%), SB (97,37%), SA (90,46%), Sa (80%) et ZB (83,64%) (Tableau I) indiquent qu'une bonne partie des classes d'occupation des terres a été bien identifiée.

Tableau II. Matrice de confusion de l'image Landsat 7 ETM+ de 2006 (en Pixel)

Données classifiées (2006)	Données de Référence (2006)											
	FG	FDS	FC	SB	SA	Sa	CJ	SN	Total Ligne	IPC	EC	
FG	280	478	63	4	3	0	0	43	871	32,14	67,86	
FDS	101	2417	8	0	0	0	0	12	2538	95,23	4,77	
FC	26	17	1571	3	6	47	10	197	1877	83,69	16,31	
SB	0	0	1	1701	27	0	0	0	1729	98,38	0,98	
SA	0	0	2	123	2537	132	29	2	2825	90	10	
Sa	0	0	28	0	153	1902	203	4	2290	83,05	16,95	
CJ	0	0	8	0	37	219	1046	23	1333	78,46	21,54	
SN	2	38	104	3	4	27	71	520	769	67,62	32,38	
Total Colonne	409	2950	1785	1834	2767	2327	1359	801	11974			
IVC	68,45	82	88	93	91,68	82	77	65				
EO	31,55	18	12	7	8,32	18	23	35				

Légende : FG : Forêt galerie, FDS : Forêt dense sèche, FC : Forêt claire, SB : Savane boisée, SA : Savane arborée, Sa : Savane arbustive, CJ : Champs et jachère, SN : Sol nu. IPC : Indice de Pureté des Classes, EC : Erreur de Commission, IVC : Indice de Validité Cartographique, EO : Erreur d'Omission.

Au niveau des différentes classes d'occupation des terres de 2006 (tableau II), les valeurs élevées de l'Indice de Pureté des Classes FDS (95,23%), FC (83,69%), SB (98,32%), SA (90%), Sa (83,05%), CJ (78,46%) et de celles de l'Indice de Validité cartographique de ces mêmes classes FDS (82%), FC (88%), SB (93%), SA (91,68%), Sa (82%), CJ (77%) indiquent également que la majorité des classes a été bien affectée dans les classes appropriées.

Post-classification des images landsat de 1986 et 2006 : filtrage

Avant la représentation cartographique de la classification, le filtre Médian a été appliqué aux différentes images classifiées comme traitement post-classification en vue de la généralisation de certains éléments qui éparpillés sur les images. Après toutes ces opérations de nettoyage, le fichier raster a été converti en fichier vecteur par la méthode de vectorisation.

Cartographie des résultats de la classification des images Vectorisation dans ArcMap

Après le filtrage de l'image classifiée, le fichier raster a été vectorisé dans l'interface ArcMap. Après la vectorisation, les opérations cartographiques ont réellement commencé.

Symbolisation graphique dans ArcMap

Pour avoir une légende cartographique bien expressive, lors de la symbolisation graphique, des symboles et couleurs appropriés et prédéfinis ont été attribués aux différentes informations ponctuelles, linéaires et zonales identifiées dans le secteur d'étude.

De ce fait, les localités ont été représentées par un point de couleur noir, les cours d'eau par une ligne bleue, les routes principales et les pistes par une ligne rouge avec une taille plus importante pour les premières et une taille moindre pour les secondes. Les unités d'occupation des terres qui sont des informations zonales ou surfaciques ont été représentées par des trames rectangulaires de couleurs rigoureusement choisies selon les principes du HSV (Hue = Couleur, Saturation = Saturation, Value = Teinte).

Le tableau III ci-dessous présente les caractéristiques HSV des couleurs de ces unités d'occupation des terres.

Tableau III. Caractéristiques des couleurs des unités d'occupation des terres

Unités d'occupation des terres	Caractéristiques des couleurs suivant HSV			
	H (Couleur)	S (Saturation)	V (Teinte)	Couleurs correspondantes
Forêt galerie	88	69	24	Vert très foncé
Forêt dense sèche	88	69	24	Vert très foncé
Forêt claire	140	61	75	Vert foncé

Savane boisée	164	100	90	Vert bleuté
Savane arborée	166	100	100	Vert très bleuté
Savane arbustive	101	85	100	Vert claire
Champs et jachère	60	100	100	Jaune claire
Sol nu	0	25	95	Rose claire
Zone brûlée	0	0	70	Gris

Mise en page cartographique dans ArcMap

La mise en page cartographique a pris en compte les différents éléments des cartes. Ceux-ci concernent le cadre de la carte, la légende, l'échelle graphique, le Nord géographique, la source de l'image Landsat de base, le système de coordonnées cartographiques UTM. Après cette opération de mise en page, le périmètre et la superficie de chaque unité d'occupation des terres ont été calculés. Ce travail a permis d'effectuer différents calculs relatifs à quelques indices de structure spatiale et à l'évaluation des taux moyens annuels d'expansion spatiale.

Calcul des taux moyens annuels d'expansion spatiale (T)

Le taux moyen annuel d'expansion spatiale exprime la proportion de chaque unité d'occupation des terres qui change annuellement. A partir de la superficie des unités d'occupation des terres, ce taux a été calculé grâce à la formule de Bernier (1992) :

$$T = [(\ln S_2 - \ln S_1) / ((t_2 - t_1) \times \ln e)] \times 100$$

S_1 et S_2 : Superficie d'une unité paysagère à la date t_1 et t_2 respectivement ; $t_2 - t_1$: Nombre d'années d'évolution ; \ln : Logarithme népérien ; e : Base du logarithme népérien ($e = 2,71828$).

Détection des changements des unités d'occupation des terres

Grâce au logiciel ArcGIS 9.3, des opérations SIG ont été exécutées. Celles-ci concernent le croisement des tables d'attributs des cartes d'occupation des terres de 1986, et 2006 et les analyses spatiales afin de détecter des changements.

Génération de la matrice de transition

La matrice de transition a permis de mettre en évidence les différentes formes de conversion qu'ont subies les unités paysagères entre deux dates instantanées. Elles sont constituées de x lignes et de y colonnes. Le nombre x de lignes de la matrice indique le nombre d'unités paysagères présentes à la date t_1 tandis que le nombre y de colonnes de la matrice indique le nombre d'unités paysagères converties à la date t_2 . Quant à la diagonale, elle contient les superficies des unités paysagères restées inchangées. Dans ces matrices, les transformations se font des lignes vers les colonnes. Les superficies de ces différentes classes d'unités paysagères ont été calculées à partir du croisement

des cartes de deux dates. Pour l'approche diachronique de cette étude, la matrice de transition a été utilisée pour représenter la quantité (ou la valeur de l'aire) des unités qui ont changé de classe ou non, entre 1986 et 2006. Les tableaux croisés sont une technique qui a permis l'obtention de toutes les combinaisons possibles des n classes des deux cartes de dates distinctes.

Calcul du taux de conversion des unités d'occupation du sol

Le taux de conversion a permis de mesurer le degré de conversion d'une unité donnée en d'autres unités d'occupation des terres. Il est obtenu à partir de la matrice de transition (Arouna, 2012) suivant la formule ci-dessous:

$$T_c = [(S_{it} - S_{is}) / S_{it}] \times 100$$

Avec : S_{it} : Superficie de l'unité d'occupation des terres i à la date initiale t ;
 S_{is} : Superficie de la même catégorie de cette unité i demeurée stable à la date t_1 .

Opérations d'Analyses spatiales (SIG)

Analyse qualitative

Pour analyser qualitativement les îlots de forêts denses sèches on a procédé par leur visualisation, localisation et distribution spatiale. Pour cela, des requêtes combinatoires ont été faites au niveau des tables d'attributs pour les extraire. Ensuite les fonctions de superposition d'ArcGIS dont l'opération, '*Analysis Tools/Overlay/Union*', ont été utilisées, pour fusionner les taches des îlots de forêts denses sèches en une seule couche. En plus, on a utilisé l'opération, '*Data management Tools/General/Merge*', pour regrouper les autres types de végétation en une seule couche pour mieux les représenter. Puis, l'opération, '*Analysis Tools/Statistics/frequency*', a été lancé pour avoir la somme des superficies de chaque unité d'occupation du sol en une seule table attributaire qui a été exportée et traitée dans Excel.

Analyse quantitative

En confrontant les occupations des terres de 1986 et 2006, il a été possible de connaître la mutation de l'occupation des terres de chaque cellule entre T_0 et T_1 , afin de saisir ces mutations de façon dynamique. La dynamique peut donc se présenter comme une série de transitions possibles d'une occupation du sol initiale à une occupation du sol finale. Pour l'analyse quantitative, on a procédé d'abord à un regroupement des couches d'une même date en utilisant l'outil '*Merge*' d'ArcGIS. Ainsi, deux nouvelles couches d'occupation du sol de chaque année ont été générées puis par la suite, superposées.

Opération d'Union logique (Génération de la matrice de transition)

Pour la période 1986-2006, la génération des matrices de transition a été possible grâce à une opération d'union logique. Celle-ci concerne les tableaux croisés (tables d'attributs) qui sont une technique permettant l'obtention de toutes les combinaisons possibles des n classes de deux cartes à des dates distinctes. Une matrice est utilisée pour représenter la quantité (ou la valeur de l'aire) des unités qui ont changé de classe ou non, entre les deux dates. Les unités qui n'ont pas changé figurent dans la diagonale de cette matrice. Diverses mesures d'association entre les cartes des deux dates peuvent être calculées en utilisant cette matrice. Pour identifier les changements, la méthode d'union logique a été choisie. Nous avons utilisé pour cela le module "Spatial Analyst" d'ArcGis 9.3. La procédure est la suivante, "Spatial Analyst/Zonal/Tabulate Area". La matrice est ensuite formatée sous Excel grâce à l'exportation sous ArcGis 9.3 en fichier DBase.

Analyse des intensités de changements par transition des Forêts denses sèches vers les autres unités d'occupation des terres entre 1986-2006

Dans la présente étude le programmes "Intensity Analysis02.xlms" d'Aldwaik et Pontius (2012), a permis de calculer en % et selon les intervalles de temps, les intensités de changements par transition, des unités d'occupation des terres. Ce programme fournit une variété d'analyses et les sommaires statistiques d'une matrice de tableau-croisé (www.clarku.edu/~rpontius). Il s'est basé sur la matrice de transition de 1986-2006 pour générer deux graphiques montrant les intensités de changements par transition des Forêts denses sèches vers les autres unités d'occupation des terres dans ladite intervalle de temps (1986-2006).

Résultats

Extraits de la composition colorée des images Landsat de 1986 et 2006



Figure 2. Composition colorée 432 de l'image Landsat 5 TM de 1986

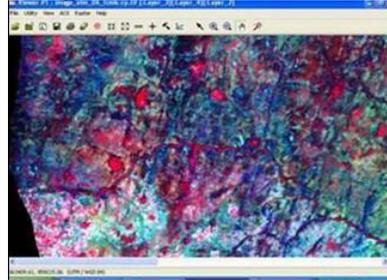


Figure 3. Composition colorée 432 de l'image Landsat 7 ETM+ de 2006

Légende :

- **Rouge foncé** : îlots de forêts denses, - **Rose** : forêts claires, - **Vert foncé** : savanes boisées, - **Vert bleuté** : savanes arborées, - **Violet** : savanes arbustives, - **Blanc** : sols nus et zones brûlées, - **Bleu marine** : plan d'eau, fleuve.

Cartes d'occupation des terres de 1986 et 2006

Les cartes d'occupation des terres de 1986 (figure 4) et de 2006 (figure 5) sont issues de la vectorisation des images classifiées. Celles-ci illustrent spatialement et quantitativement les changements importants survenus dans cette forêt pour la période 1986-2006 au niveau des différentes unités d'occupation des terres.

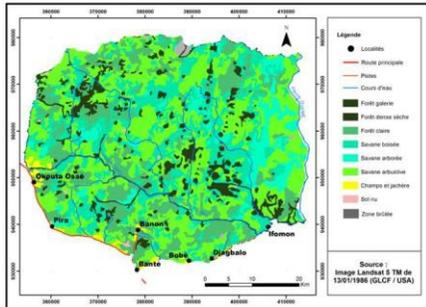


Figure 4. Occupation des terres de la forêt classée des Monts Kouffé et de sa périphérie sud en 1986

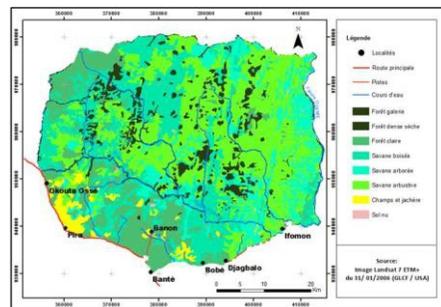


Figure 5. Occupation du sol de la forêt classée des Monts Kouffé et de sa périphérie sud en 2006

Ainsi, pour la figure 4 de 1986, les unités d'occupation des terres identifiées sont composées de forêt-galerie (1843 ha), forêt dense sèche (18192 ha), forêt claire (45210 ha), savane boisée (58651 ha), savane arborée (16946 ha), savane arbustive (80783 ha), champs et jachères (2560 ha), autres (sol nu et zone brûlée) (1358 ha). Sur cette figure, la forêt classée des Monts Kouffé (FCMK) est séparée de sa zone périphérique sud par une rivière naturelle appelée Adjiro. Tandis que la zone périphérique sud est circonscrite entre la forêt classée et une partie de la Route Inter-Etat N°3 (RNIE3) passant par Bantè, Pira et Okouta-Ossé.

La présence des champs et jachères était faible dans la zone périphérique où on note la présence de quelques îlots de forêts denses sèches. Mais ceux-ci marquent faiblement leur présence dans la forêt classée et dans la localité d'Okouta-Ossé. De même pour la figure 5, les unités qui composent l'occupation des terres du secteur d'étude sont la forêt-galerie (1828 ha), la forêt dense sèche (14007 ha), la forêt claire (36683 ha), la savane boisée (61645 ha), la savane arborée (20401 ha), la savane arbustive (83776 ha), les champs et jachères (6917 ha), et les autres unités (sol nu) (286 ha).

Sur cette figure 10, et comme signalé précédemment, la FCMK est séparée de sa zone périphérique sud par une rivière naturelle appelée Adjiro. Tandis que la zone périphérique sud est circonscrite entre la forêt classée et une bonne partie de la Route Nationale Inter-Etat N°3 (RNIE3) passant par Bantè, Pira et Okouta-Ossé. En 2006, la présence des champs et jachères était importante uniquement dans la zone périphérique où les forêts claires ont presque occupé la zone en l'absence des îlots de forêts denses sèches.

Changements entre 1986 et 2006

Superficies et taux moyen d'expansion spatiale des unités d'occupation des terres

Le tableau IV présente les superficies et le taux moyen annuel d'expansion spatiale des unités d'occupation des terres de la de forêt classée des Monts Kouffé et de sa périphérie sud entre 1986 et 2006.

Tableau IV. Superficies et taux moyen annuel d'expansion spatiale des unités d'occupation des terres (1986-2006)

Unités d'occupation des terres	Années		Taux moyen annuel d'expansion spatiale (T) en (%)
	1986 (t ₁)	2006 (t ₂)	
	Superficie (S ₁) (ha)	Superficie (S ₂) (ha)	
FG	5032	5640	0.57
FDS	17865	14852	-1
FC	44124	35194	-1.13
SB	57781	62854	0.42
SA	17006	30371	3
Sa	89685	83496	-0.35
CJ	2581	6501	4.61
Autres	6358	1524	-7.14
Total	240432	240432	

Légende :

FG : Forêt galerie, **FDS** : Forêt dense sèche, **FC** : Forêt claire, **SB** : Savane boisée, **SA** : Savane arborée, **Sa** : Savane arbustive, **CJ** : Champs et jachère, **Autres** : Sol nu et zone brûlée.

Les résultats du tableau IV traduisent les taux moyens annuels d'expansion spatiale des unités d'occupation des terres du secteur d'étude. Globalement, les valeurs positives du taux indiquent que la forêt galerie (0,57%), la savane boisée (0,42%), la savane arborée (3%) et les champs et jachères (4,61%) ont connu une augmentation de leurs superficies, tandis que, les valeurs négatives expriment la diminution des superficies de la forêt dense sèche (-1%), de la forêt claire (-1,13%), de la savane arbustive (- 0,35%) et des autres unités constituées de sols nus et de zones brûlées (-7,14%).

Matrice de transition de 1986-2006

La matrice de transition de 1986-2006 est présentée par le tableau V. Elle permet de quantifier la dynamique de chaque unité d'occupation des terres de la forêt classée des Monts Kouffé et de sa périphérie sud.

Tableau V. Matrice de transition des unités d'occupation des terres de la forêt classée des Monts Kouffé et de sa périphérie sud (1986 et 2006)

Occupation des terres en 1986	Occupation des terres en 2006								
	FG	FDS	FC	SB	SA	Sa	CJ	Autres	Total 1986
FG	1823	0	0	0	0	0	20	0	1843
FDS	0	9189	2365	3304	522	2651	161	0	18192
FC	0	1069	12364	11540	5333	12670	2214	20	45210
SB	0	500	6488	17083	7804	26073	673	30	58651
SA	0	306	542	1622	5157	8431	833	55	16946
Sa	0	2943	13242	27504	993	33535	2395	171	80783
CJ	0	0	1682	522	15	85	256	0	2560
Autres	5	0	0	70	577	331	365	10	1358
Total 2006	1828	14007	36683	61645	20401	83776	6917	286	225543

Légende :

FG : Forêt galerie, **FDS** : Forêt dense sèche, **FC** : Forêt claire, **SB** : Savane boisée, **SA** : Savane arborée, **Sa** : Savane arbustive, **CJ** : Champs et jachère, **Autres** : Sol nu et zone brûlée.

Conversion des unités d'occupation des terres

Le tableau VI montre les taux de conversion des unités d'occupation des terres de la forêt classée des Monts Kouffé et de sa périphérie sud entre 1986 et 2006.

Tableau VI. Taux de conversion des unités d'occupation des terres de la forêt classée des Monts Kouffé et de sa périphérie sud (1986-2006)

Unités d'occupation des terres	Années		Taux de conversion (T _c) des unités d'occupation des terres (%)
	1986 (t ₁)	2006 (t ₂)	
	Superficie (S _{it}) (ha)	Superficie stable (S _{is}) (ha)	
FG	5032	1823	63,77
FDS	17865	9189	48,56
FC	44124	12364	71,97
SB	57781	17083	70,43
SA	17006	5157	69,67
Sa	89685	33535	62,60
CJ	2581	256	90,08
Autres	6358	10	99,84
Total	240432	79417	

Légende :

FG : Forêt galerie, **FDS** : Forêt dense sèche, **FC** : Forêt claire, **SB** : Savane boisée, **SA** : Savane arborée, **Sa** : Savane arbustive, **CJ** : Champs et jachère, **Autres** : Sol nu et zone brûlée.

L'analyse du tableau VI montre qu'entre 1986 et 2006, les taux de conversion les plus élevés sont observés dans les autres unités composés de sols nus et de zones brûlées (99,84%) et des champs et jachères (90,08%). Par contre, les taux de conversion les plus faibles sont obtenus dans les forêts

denses sèches (48,56%). Les résultats analysés montrent que cette situation de conversion différentielle des unités d'occupation des terres (formations végétales) serait les conséquences du non-respect des principes de sauvegarde des ressources naturelles par les populations riveraines après le passage du Projet PAMF (Projet d'Aménagement des Massifs Forestiers d'Agoua, des Monts Kouffé et de Wari-Marou) dans cette forêt classée.

Cartes de distribution spatiale des îlots de forêts denses sèches

Les cartes de distribution spatiale des îlots de forêts denses sèches ont été réalisées pour chacune des 2 années, 1986 (figure 6) et 2006 (figure 7). Ces dernières mettent en exergue la distribution spatiale des îlots de forêts denses sèches afin de mieux appréhender leur dynamique entre 1986 et 2006.

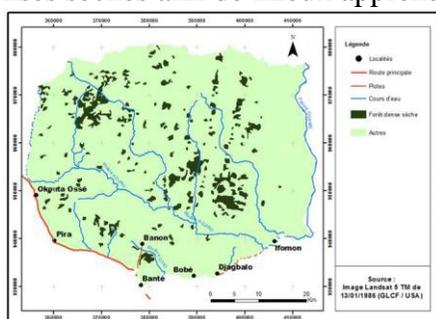


Figure 6. Îlots de forêts denses sèches de la forêt classée des Monts Kouffé et de sa périphérie sud en 1986

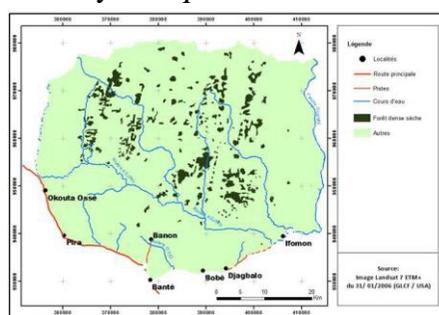


Figure 7. Îlots de forêts denses sèches de la forêt classée des Monts Kouffé et de sa périphérie sud en 2006

Sur la figure 6 on peut constater que les forêts denses sont fortement bien représentées par des îlots de tailles variées dans la forêt classée des Monts Kouffé. Dans la zone périphérique sud, elles sont par contre faiblement représentées par quelques îlots. Les forêts denses sèches demeurent des habitats potentiels de certaines espèces ligneuses de très forte valeur commerciale.

A cet effet, elles sont diversement exploitées par la population riveraine. Il ressort de la figure 7 que les forêts denses sèches sont massivement représentées dans la forêt classée des Monts Kouffé par un nombre plus important d'îlots de tailles variées et plus petites.

Dynamique des changements par transition des Forêts denses sèches vers les autres unités d'occupation des terres entre 1986 et 2006

Le tableau VII présente les changements connus entre 1986 et 2006 par les Forêts denses sèches vers les autres unités d'occupation des terres.

Tableau VII. Transition des forêts denses sèches vers les forêts galeries, forêts claires, savanes boisées, savanes arborées, savanes arbustives, champs-jachères et autres unités (sols nus et zones brûlées), entre 1986 et 2006

Intervalle de temps	1986-2006							
Transitions de	FDS							
vers l'unité	Nombre d'éléments de transition annuelle observée	Pourcentage de l'intensité de transition de l'unité de 2006	Pourcentage de l'intensité uniforme de non-FDS de 2006	Nombre d'éléments de transition annuelle uniforme	Nombre d'éléments d'erreur annuelle supposée	Pourcentage de l'intensité de commission de transition	Pourcentage de l'intensité d'omission de transition	Pourcentage d'erreur supposée de 2006 de l'intervalle de domaine
FG	0	0.00	0.22	4	4	0.00	100.00	0.71
FC	118	0.34	0.22	75	44	36.97	0.00	0.71
SB	165	0.27	0.22	131	34	20.85	0.00	0.71
SA	26	0.13	0.22	45	19	0.00	41.98	0.71
Sa	133	0.16	0.22	181	48	0.00	26.64	0.71
CJ	8	0.12	0.22	14	6	0.00	44.23	0.71
Autres	0	0.00	0.22	1	1	0.00	100.00	0.71

Légende :

- a- **couleur verte** : indique que le changement de l'unité FDS est relativement actif comparé à l'uniforme,
- b- **couleur rouge** : indique que le changement de l'unité FDS est relativement dormant comparé à l'uniforme,
- c- **couleur blanche** : indique que la transition de l'unité FDS est égale à la distribution uniforme des transitions à travers les zones possibles de cette transition,
- d- **couleur rose** : indique l'erreur d'omission,
- e- **couleur grise foncée** : indique l'erreur de commission,
- f- **couleur noire** : indique le nombre d'éléments de transition annuelle de FDS (forêts denses sèches) vers les FG (forêts galeries); FC (forêts claires); SB (savanes boisées); SA (savanes arborées); Sa (savanes arbustives); CJ (champs-jachères) et Autres (sols nus et zones brûlées) entre 1986 et 2006.

Discussion

Concept de détection de changements dans l'occupation des terres

La détection du changement dans l'occupation des terres est un processus qui permet l'identification des différences dans l'état d'un objet ou phénomène à travers son observation à des périodes différentes (Singh, 1989). Idéalement, ce processus doit utiliser des images obtenues par le même capteur (ou équivalent) et enregistrées en utilisant les mêmes résolutions spatiales et spectrales, la même géométrie d'observation et date d'acquisition. Aussi, l'utilisation d'images obtenues à la même date permet la minimisation des erreurs provoquées par les variations saisonnières et l'angle solaire.

Une classification n'est pas complète sans l'évaluation de son exactitude (Lillesand et Kiefer, 1994). Ainsi, selon Jensen (1996), on ne peut pas utiliser des données obtenues par Télédétection avec certitude si on ne sait pas quel est, statistiquement, le niveau de l'erreur qui lui est associé. Il ne suffit pas de présenter un pourcentage de pixels classés correctement, comme c'est souvent les cas dans de nombreuses études, parce que cette statistique ignore la précision locale, seule la quantité totale d'une classe est considérée sans tenir compte de sa localisation.

En résumé, il n'existe pas un consensus sur la meilleure méthode pour détecter les changements en télédétection (Kaufmann et Seto, 2001). La sélection de la technique à utiliser dépend du paysage, des types de changement de l'occupation du sol et des résolutions spatiales et temporelle des données à utiliser.

Apport des Technologies Géospatiales dans l'analyse des changements de l'occupation des terres

L'occupation des terres est une variable fondamentale pour la planification régionale ainsi que pour l'étude et la compréhension de l'environnement. Cette thématique est devenue incontournable dans la plupart des inventaires cartographiques et de suivi des phénomènes environnementaux. Les capteurs actifs ou passifs de Télédétection utilisés pour des applications en matière de détection, analyse, cartographie et caractérisation des changements de l'occupation des terres et de la dynamique du couvert végétal couvrent un domaine très large du spectre électromagnétique et les informations issues de ces gammes spectrales ou de leur combinaison ont permis, au cours de ces dernières années, de contribuer de manière significative à l'amélioration de l'étude de l'occupation des terres et du couvert végétal (Anonyme, 2016).

Dans l'île d'Anjouan où très peu d'information spatio-temporelle existe sur l'évolution de la couverture terrestre, le recours de la télédétection a permis dans cette étude, de mettre en évidence les dynamiques d'occupation des sols, par le traitement des images SPOT 3 et 4 de 1995 et 2014. Les résultats indiquent que les superficies forestières (forêt dense) de l'île d'Anjouan ont diminué de 18% pendant cette période. Cette diminution des superficies forestières s'est faite au profit des terres agricoles, qui quant à elles, ont subies une augmentation de 19% (Boussougou *et al.*, 2015).

Dans la zone agropastorale du lac de Guiers au Sénégal; l'analyse diachronique des images satellites a permis de mettre en évidence des mutations importantes de cette occupation. Ainsi, de 1973 à 1988, les conditions pluviométriques défavorables ont participé à la dégradation du couvert végétal aussi bien terrestre qu'aquatique avec la disparition de la steppe arbustive, l'accroissement de la steppe herbeuse de 199% et la réduction

de la végétation aquatique de 67%. Pour la période 1988-2010, les tendances observées sont liées à la maîtrise du plan d'eau lacustre. Il s'agit d'une augmentation des étendues de végétation aquatique de 253%, des exploitations agricoles de 26% pour la CSS et de 574% pour les privées, et une réduction du couvert végétal terrestre (88% de la steppe herbeuse) avec une densification de la strate arbustive dans les proportions restantes (Faye *et al.*, 2016). L'approche cartographique de l'occupation des sols à travers une série de classifications d'images satellitaires Landsat couplée à une vérité terrain dont les précisions globales ont été hautement appréciables confirme l'importance de la connaissance du milieu et de l'acquisition des données auxiliaires pour l'amélioration de la qualité des traitements d'images (Mama *et al.*, 2014).

La Détection de changements dans l'occupation du sol de la Commune de Thiel entre 2002 et 2017 au Sénégal, a été possible grâce à l'opération d'analyse spatiale (SIG) qui a permis de superposer les cartes d'occupation du sol de 2002 et 2017 issues des images classifiées desdites dates. Puis, la Matrice de transition a été calculée avec le logiciel ArcGIS grâce à la superposition des tables attributaires des deux cartes d'occupation du sol (Toko *et al.*, 2018).

Conclusion

La cartographie de l'occupation des terres dans la Forêt classée des Monts Kouffé et sa périphérie sud au Bénin entre 1986 et 2006 a permis d'analyser les changements de l'occupation des terres survenues dans cette période. L'approche basée sur les Technologies Géospatiales (Télétection, SIG, Cartographie etc.) a permis de détecter et de quantifier les changements de différentes unités d'occupation des terres (forêts denses sèches, forêts claires, savanes boisées, savanes arborées, savanes arbustives, champs et jachères, et autres (sols nus et zones brûlées)) dans le temps et dans l'espace.

D'après l'analyse de la matrice de transition de la période d'étude 1986-2006, la réduction des superficies s'est faite au profit des savanes et des zones de cultures laissant ainsi place à un processus de savanisation de la zone d'étude, où la savane arbustive domine le paysage. Aussi au cours de cette période, les taux de conversion les plus élevés sont observés dans les autres unités composés de sols nus et de zones brûlées (99,84%), champs et jachères (90,08%), forêts claires (71,97%), savanes boisées (70,43%) et savanes arborées (69,67%). Par contre, les taux de conversion les plus faibles sont obtenus dans les forêts denses sèches (48,56%). Ces résultats analysés montrent que cette situation de conversion différentielle des unités d'occupation des terres (formations végétales) serait les conséquences du non-respect des principes de sauvegarde des ressources naturelles par les populations riveraines après le passage du Projet PAMF dans cette forêt classée.

Cette situation mérite donc une attention particulière de la part des populations riveraines à travers des séances de sensibilisation et de la part des autorités politiques pour une application rigoureuse des lois sur la gestion rationnelle de l'environnement, pour la sauvegarde durable de la biodiversité.

References:

1. Adjonou, K., Bellefontaine, R. et Kokou, K. (2009). Les forêts claires du Parc national Oti-Kéran au Nord-Togo : structure, dynamique et impacts des modifications climatiques récentes. *Sécheresse*, 20 (1e) : e1-e10.
2. Aldwaik, S.Z. & Pontius, J.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.
3. Anonyme (2016). *Apport potentiel des nouveaux satellites pour l'étude des changements de l'occupation du sol et de la dynamique du couvert végétal dans le Pays de Brest*. Titre et Résumé de Thèse. Ecole Doctorale : Sciences de la Mer. Université de Bretagne Occidentale / Institut Universitaire Européen de la Mer. 2p.
4. Arouna, O. (2012). *Cartographie et modélisation prédictive des changements spatio-temporels de la végétation dans la Commune de Djidja au Bénin : implications pour l'aménagement du territoire*. Thèse de doctorat, Université d'Abomey-Calavi, Bénin, 246p.
5. Bamba, I., Barima, Y.S.S. et Bogaert, J. (2010). Influence de la densité de la population sur la structure spatiale d'un paysage forestier dans le bassin du Congo en R. D. Congo. *Tropical Conservation Science* Vol. 3 (1) : 31-44. Disponible en Ligne: www.tropicalconservationscience.org, <http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/pdf>.
6. Bamba, I., Mama, A., Neuba, F.R.D., Koffi, J.K., Traoré, D., Visser, M., Sinsin, B., Lejoly, J. & Bogaert, J. (2008). Influence des actions anthropiques sur la dynamique spatio-temporelle de l'occupation du sol dans la province du Bas-Congo (R.D. Congo). *Sciences & Natures*. Vol. 5 N°1 : 49-60.
7. Barima, Y.S.S., Barbier, N., Bamba, I., Traoré, D., Lejoly, J. & Bogaert, J. (2009). Dynamique paysagère en milieu de transition forêt-savane ivoirienne. *Bois et forêts des tropiques*, 299 (1): 15-25.
8. Bernier B. (1992). *Introduction à la macroéconomie*. Paris, Dunod, France, 217p.
9. Bocko Y. E., Ifo S. A., Loumeto J.J. (2017). Quantification Des Stocks De Carbone De Trois Pools Clés De Carbone En Afrique Centrale : Cas De La

- Forêt Marécageuse De La Likouala (Nord Congo). *European Scientific Journal*. February 2017 edition vol.13, No.5 ISSN: 1857 – 7881 (Print) e - ISSN 1857- 7431. doi: 10.19044/esj.2017.v13n5p438. URL:<http://dx.doi.org/10.19044/esj.2017.v13n5p438>.
10. Boussougou, B.G., Brou, Y.T., Mohamed, I. (2015). *Changements de la couverture forestière dans l'île d'Anjouan entre 1995 et 2014*. Spatial Analysis and GEomatics conference, SAGEO 2015, Nov 2015, Hammamet, Tunisie. Proceedings of the Spatial Analysis and GEomatics conference, SAGEO 2015, 2015. <hal-01478236>: 1-14.
 11. Faye, V.M., Mbow, C. & Thiam, A. (2016). Évolution de l'occupation et de l'utilisation du sol entre 1973 et 2010 dans la zone agropastorale du lac de Guiers (Sénégal). [*VertigO*] La revue électronique en sciences de l'environnement, 16(1). [En Ligne], URI : id.erudit.org/iderudit/1037595ar. Page consultée le 15 déc. 2018 à 09:45.
 12. Gerbeaud Maulin, F. et Long M. (2008): *La fragmentation des milieux naturels. Tome 1. Etat de l'art en matière d'évaluation de la fragmentation des milieux naturels*. DIREN PACA, France, 73p.
 13. Kaufmann, R. K. and Seto, K. C. (2001). Change detection, accuracy, and bias in a sequential analysis of Landsat imagery of the Pearl River Delta, China: econometric techniques, *Agriculture Ecosystems and Environment* 85(1-3): 95-105.
 14. Lillesand, T.M. and Kiefer, R.W. (1994). *Remote Sensing and Photo Interpretation*, 3rd. ed. John Wiley & Sons: New York. 750p.
 15. Mama, A., Bamba, I., Sinsin, B., Bogaert, J., De Cannière, C. (2014). Déforestation, savanisation et développement agricole des paysages de savanes-forêts dans la zone soudano-guinéenne du Bénin. *Bois et Forêts des Tropiques*, 2014, n°322 (4) : 65-75.
 16. Miwoto M., Zannou A., Biaou G. (2017). Déterminants Des Montants De Consentement À Payer (CAP) Déclarés Par Les Ménages Pour Une Gestion Durable De La Forêt d'Adjamey Au Sud-Ouest Du Bénin. *European Scientific Journal*. January 2017 edition vol.13, No.3 ISSN: 1857 – 7881 (Print) e - ISSN 1857- 7431. URL:<http://dx.doi.org/10.19044/esj.2016.v13n3p293>
 17. Mugisha S., Tenywa M. M., & Burt P.J.A. (2010). An improved technique for the prediction of optimal image resolution(s) for large-scale mapping of savannah ecosystems. *African Journal of Environmental Science and Technology*, 4 (10): 709-717.
 18. N'Guessan E., Dibi N'Da, H., Bellan, M-F., Blasco, F. (2006). Pression anthropique sur une réserve forestière en Côte-d'Ivoire : apport de la télédétection. *Télédétection*, Vol.5., n°4, p.307-323.
 19. Pascal J. P., (2003). Description et Dynamiques des Milieux Forestiers.

- Notions sur les structure et dynamique des forêts tropicales humides. *Rev. For. Fr. LV* - numéro spécial 2003: 118 – 130.
20. Pearson T., Harris N., Shoch D., Brown S., (2005). A sourcebook of methods and procedures for monitoring and reporting anthropogenic greenhouse gas emissions and removals associated with deforestation, gains and losses of carbon stocks in forests remaining forests, and forestation. *Global Observation of Forest and Land Cover Dynamics*, 25p.
 21. Singh, A. (1989). Review article: Digital change detection techniques using remotely sensed data. *International Journal of Remote Sensing*, vol. 10, n°6, p.989-1003.
 22. Toko Mouhamadou, I., Agbo, B.F & Tangara, P.O. (2018). Cartographie des changements de l'occupation du sol dans la Commune de Thiel au Sénégal. *Rev. Sc. Env. Univ., Lomé (Togo)*, 2018, n° 15, vol. 1 ISSN 1812-1403 .p.75-94.
 23. Toko Mouhamadou, I. (2014). *Facteurs déterminants de la fragmentation des écosystèmes forestiers : cas des îlots de forêts denses de la Forêt classée des Monts Kouffé et de sa périphérie au Bénin*. Thèse de Doctorat Unique, EDP/FLASH. Université d'Abomey-Calavi, Bénin. 221p.
 24. Touré, F., 2010. *Contribution de la Télédétection et des SIG dans l'étude de la dynamique des îlots de forêt dense dans la Forêt classée des Monts Kouffé et sa périphérie au Bénin entre (1986-2006)*. Mémoire de DESS en Production et gestion de l'information géographique. RECTAS. Campus Universitaire Obafemi Awolowo. Ilé-Ifè, Nigéria, 69p.
 25. Wolff, E. (2006). Télédétection. Notes de Cours, DESS en Gestion des Ressources Naturelles. AGE-FSA/UAC. Abomey-Calavi, Bénin, 182p.