

Cartographie de la dynamique du couvert végétal du Parc National des Deux Balé à l'Ouest du Burkina Faso

[Mapping land cover dynamics of Deux Balé National Park, Western Burkina Faso]

B. TANKOANO¹⁻², M. HIEN¹, N.H. DIBI², Z. SANON¹, Y.L. AKPA², V-C. JOFACK SOKENG², and I. SOMDA¹

¹Laboratoire des Systèmes Naturels, Agro-systèmes et de l'Ingénierie de l'Environnement (Sy.N.A.I.E),
Ecole Doctorale des Sciences Naturelles et Agronomie,
Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso, Bobo-Dioulasso, Burkina Faso

²Centre Universitaire de Recherche et d'Application en Télédétection (CURAT),
UFR-Sciences de la Terre et des Ressources Minières (UFR-STRM),
Université Félix Houphouët Boigny, Abidjan, Côte d'Ivoire

Copyright © 2016 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: In Burkina Faso, protected areas have lost several hectares of their scope mainly due to the effect of anthropogenic pressure and climate change. In order to well understand this extreme degradation of vegetation, this study was initiated in Deux Balé National Park. The study aimed to highlight the forest dynamics between 1986 and 2015 using remote sensing, field data and geographic information systems. Thus, Landsat images of 1986; 2000 and 2015 were processed and field data were collected. This allowed identification and mapping of seven land cover classes: Gallery forest, wooded savannas, shrubby savannas (dense and clear), bare soils and cropland and water. The results showed regression of vegetation canopy of about 0.2% per year between 1986 and 2015. This decrease in vegetation was done at the benefit of cropland, that have increased by 4,621.4 ha, about 0.2% per year between 1986 and 2015. These results suggest the establishment of an effective sustainable management policy of Deux Balé National Park to avoid anthropisation and biodiversity loss.

KEYWORDS: Forest degradation, anthropogenic pressure, dynamics of woody cover, remote sensing, geographic information system, Deux Balé National Park, Burkina Faso.

RESUME: Au Burkina Faso, les aires protégées perdent plusieurs hectares de leurs étendues chaque année sous l'effet des pressions anthropiques et des changements climatiques. Afin de bien appréhender cette dégradation exacerbée du couvert végétal, cette étude a été initiée dans le Parc National des Deux Balé. Elle a pour objectif principal de mettre en évidence la dynamique forestière entre 1986 et 2015 au moyen de la télédétection et des Systèmes d'information géographique. Pour ce faire, une exploitation des images Landsat de 1986; de 2000 et de 2015 a été faite. La démarche méthodologique adoptée a consisté aux traitements numériques d'images satellitaires couplés aux données collectées lors de la phase vérité terrain. Cette approche a permis d'identifier 7 types d'occupations de terres que sont la forêt galerie ou ripicole, la savane arborée, les savanes arbustives (dense et claire), les zones anthropisées, les sols nus et l'eau. Les résultats cartographiques révèlent une régression de la couverture ligneuse de l'ordre de 0,2% par an entre 1986 et 2015. Cette régression de la végétation s'est faite au profit des champs qui ont augmenté de 4 621,4 ha, soit près de 0,2% par an. Ces résultats suggèrent la mise en place d'une politique efficace de gestion durable du Parc National des Deux Balé, sinon il serait colonisé par les populations locales à moyen terme. Ce qui entrainerait donc une perte énorme de biodiversité pour le pays.

MOTS-CLEFS: Dégradation forestière, pression anthropique, dynamique de la couverture ligneuse, Télédétection, Système d'information géographique, Parc National des Deux Balé, Burkina Faso.

1 INTRODUCTION

Au Burkina Faso, la création des aires protégées a été entreprise par l'administration française durant la période d'occupation coloniale qui a duré de 1895 à 1960 [1]. Les forêts classées, les réserves de faune et les parcs constituent les sites privilégiés pour la conservation de la biodiversité au Burkina Faso [2];[3];[4]. Le couvert végétal est l'une des composantes les plus importantes de l'occupation du sol dans une aire protégée [5]. Elle caractérise la nature et l'état de conservation des espaces protégés [6];[5]. En effet, il conditionne la présence de la faune et de la diversité spécifique de la flore [4].

Malheureusement au Burkina Faso, on observe une forte dégradation de la végétation liée à de nombreux facteurs naturels et anthropiques; et les aires protégées du pays n'échappent pas à cette dégradation [5]. La pression anthropique se caractérise par les feux de brousse tardifs et incontrôlés, l'agriculture itinérante sur brûlis, la quête permanente du bois énergie, le surpâturage et l'accroissement démographique. Plusieurs auteurs ont montré que l'agriculture est le facteur majeur de la réduction des surfaces forestières dans les pays en voie de développement [7];[8];[9]. Le Burkina Faso a perdu 17,5% de son couvert forestier entre 1990 et 2010 [10];[5]. Cela a aussi été signalé par [11] qui estime la réduction annuelle du couvert végétal du Burkina Faso à 4,04% entre 1992 et 2002. Il est clair qu'en absence d'une réelle volonté politique, ces réserves de biodiversité et puits de carbone disparaîtront. Cette dégradation rapide des forêts expose les populations, surtout celles vivant en zone rurale, à des conditions de vie difficiles. En effet, leurs modes de vie sont essentiellement basés sur les profits et services tirés des ressources naturelles.

Bien que la pression sur les ressources naturelles ne cesse de s'accroître, des données précises sur la cartographie détaillée, la dynamique de la végétation et sur l'appauvrissement de la biodiversité de certaines aires protégées font encore défaut au Burkina Faso. C'est le cas du Parc National des Deux Balé. Pourtant, ces informations sont d'une importance capitale pour tout plan d'aménagement forestier visant une exploitation rationnelle des ressources végétales [2]. Cette étude se propose d'améliorer les connaissances sur le phénomène de la dégradation du Parc national des Deux Balé et de donner aux gestionnaires des outils d'aide à la décision indispensables à la mise en place d'une politique de gestion durable des aires protégées. Il s'agit plus spécifiquement de caractériser et cartographier les différents types d'occupation des terres et d'évaluer la dynamique forestière entre 1986 et 2015. Pour atteindre ces objectifs fixés, nous avons émis les hypothèses suivantes : l'imagerie satellitaire offre un outil de description fine de l'occupation des terres ; les changements observés entre 1986 et 2015 sur la couverture végétale dans le parc national des Deux Balé sont imputables aux activités anthropiques dans un contexte de changement climatique.

2 MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1 LOCALISATION DE LA ZONE D'ETUDE

Créé en 1988 par la ZATUN°AN VII/FP/PRES/MET, suite à la fusion de deux forêts classées (Deux Balé et Dibon), le Parc national des Deux Balé couvre une superficie de 80 600 ha [12]. Il est situé dans les provinces des Balé et du Tuy. Le parc est précisément localisé entre 11°25' et 11°36' de latitude nord et entre 2°45' et 3°12' de longitude ouest (Figure 1). Le relief du Parc national des Deux Balé s'étend sur une pénéplaine ondulée avec des altitudes variant entre 240 et 320 m [13]. L'altitude moyenne est de 280 m. Au niveau pédologique, le parc est caractérisé par les vertisols, les sols hydromorphes et les sols ferrugineux tropicaux peu évolués [13]. Cette aire protégée est comprise entre les Départements de Boromo, de Bagassi et de Zawara au Nord, de Koti au Sud, de Poura et de Fara à l'Est où le fleuve constitue sa limite naturelle, et de Pa et Fouzan à l'Ouest. La zone d'étude est soumise à un climat de type soudanien, caractérisé par deux saisons. La saison pluvieuse part de mai à octobre et la seconde sèche s'étale de novembre à avril [14]. La température moyenne annuelle se situe autour de 28°C avec une amplitude thermique de l'ordre de 7°C [13]. Sur le plan phytogéographique, cette forêt est située dans la zone sud-soudanienne [15]. La disposition géographique du parc offre au milieu un paysage varié en savanes arborées, savanes arbustives et en galeries forestières. Le potentiel hydrographique du parc repose essentiellement sur le fleuve Mouhoun ; auquel s'ajoutent des rivières et marigots à régimes temporaires. L'agriculture traditionnelle est la principale activité des populations riveraines du parc à l'instar des autres communautés rurales du pays. L'adoption de la culture du coton dans la zone d'étude a été un facteur ayant stimulé la conquête de nouvelles terres [16].

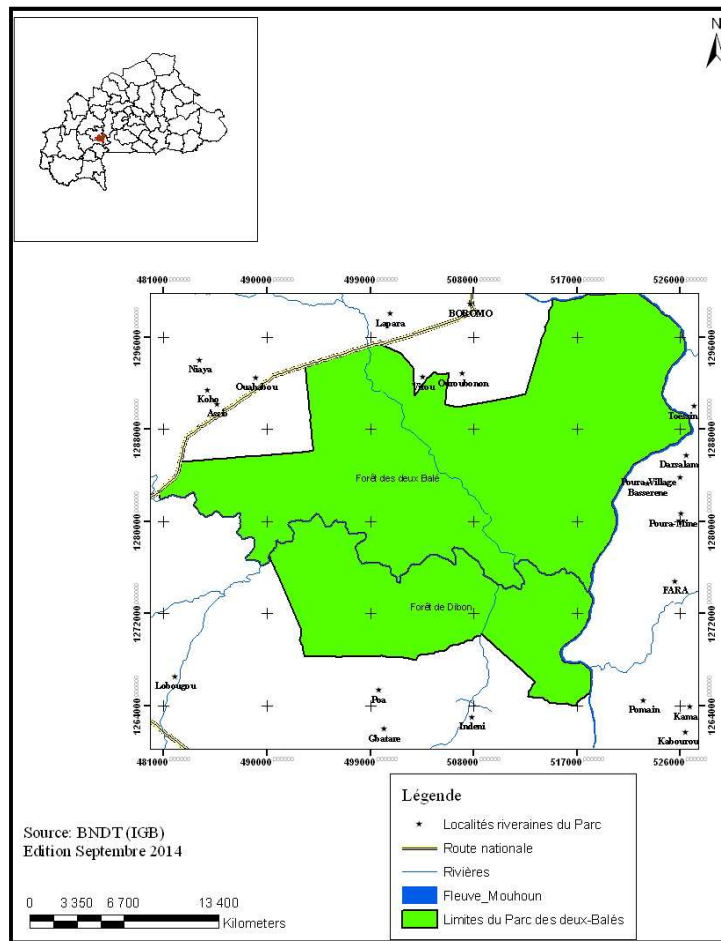


Fig. 1. Localisation du Parc National des Deux Balé (PNDB)

2.2 MATÉRIEL UTILISÉ

Les images satellitaires utilisées ont été acquises à la même période de l'année afin de réduire les problèmes liés aux différences d'angles solaires, aux changements phénologiques de la végétation et à la différence d'humidité des sols. Ce sont les scènes (Path 196, Row 52) de Landsat 5 TM du 08 octobre 1986, du 07 novembre 2000 et de Landsat 8 OLI du 21 octobre 2015. Toutes les images sont issues de la base de données de *United State Geological Survey* (USGS, www.landsat.usgs.gov/). Les logiciels *Envi 4.2* et *ArcGIS 9.3* ont été utilisés respectivement pour le traitement numérique des images et la cartographie. Des données de terrain (présence de champs, pâturages, feux de brousse, coupe du bois, activités minières) ont été également collectées en complément des images spatiales.

2.3 TRAITEMENTS NUMÉRIQUES DES IMAGES SATELLITAIRES

Pour le traitement numérique des images satellitaires et la cartographie, un ensemble d'opérations a été appliqué. La première opération a consisté à faire des corrections radiométriques et à extraire de l'image Landsat, une fenêtre d'étude centrée sur le parc. Pour l'extraction, le fichier « *shapefile* » du contour de parc extrait de la base nationale de données sur le territoire (BNDT) a été utilisé. Cette extraction de fenêtre d'étude a été suivie de l'amélioration d'image. Ainsi des corrections géométriques ont été réalisées avec comme image de référence Landsat 8 OLI.

Des compositions colorées ont été réalisées sur les bandes brutes OLI 5-4-3 et TM 4-3-2. Ensuite, un rehaussement d'image a été fait pour faciliter l'interprétation visuelle et l'identification des classes d'occupation des terres. En appui aux premiers résultats (compositions colorées), quatre indices de végétation (indices biophysiques) ont été calculés [17]. Il s'agit de l'indice de brillance des sols (*Brightness Index*), l'indice d'humidité (*Wetness Index*), l'indice de verdure (*Greenness Index*) et l'indice de végétation normalisé (*Normalized Difference Vegetation Index*). Ces indices biophysiques permettent une meilleure discrimination des classes d'occupation des terres et réduisent la confusion [18]. Cette approche nous a permis de choisir 250 parcelles d'entraînement et de contrôle qui ont été identifiées et caractérisées lors de la phase de collecte de

données sur le terrain. Comme informations supplémentaires, les espèces ligneuses qui caractérisent au mieux chaque type de végétation ont été notées. Des données complémentaires telles que les réseaux routier et hydrographique ainsi que la base de données sur l'occupation des terres (BDOT) ont été utilisées.

La classification dirigée par la méthode de maximum de vraisemblance a été appliquée pour chacune des images de 1986; 2000 et 2015 et a permis l'identification des différentes classes d'occupation des terres. Ainsi, la moitié des 250 parcelles de vérité terrain ont servi de base à la classification. Pour la classification des images satellitaires de 1986 et 2000, les zones stables durant la période de l'étude seront utilisées.

La validation de la classification a été faite en deux étapes. Une première validation dite thématique est basée sur une comparaison entre l'image de la composition colorée et l'image classifiée. La seconde validation dite statistique est basée sur la matrice de confusion. Pour la validation des images satellitaires de 1986 et 2000, les zones stables durant la période de l'étude seront utilisées. Ce qui a permis de mettre en évidence la performance du traitement et la fiabilité des résultats obtenus.

Quant aux traitements post-classification, un filtre médian 3x3 a été appliqué à toutes les images classifiées en vue de les rendre plus nettes par élimination de pixels isolés. Ensuite, la vectorisation des images classifiées a été réalisée. a permis de générer les cartes d'occupation des terres du parc national des Deux Balé en 1986, en 2000 et en 2015.

2.4 EVALUATION DE LA DYNAMIQUE VÉGÉTALE

Une évaluation des superficies des différentes classes d'occupation des terres a été faite à l'aide du logiciel *ArcGis 10.1*. Cette évaluation a servi à analyser l'évolution des différentes classes d'occupation des terres dans le parc national des Deux Balé entre 1986 et 2015. Le taux d'évolution moyen annuel de chaque classe d'occupation des terres a été calculé suivant la formule de [19] modifiée par [20] (équation 1).

$$r = \left(\frac{100}{t_2 - t_1} \right) \times \ln \frac{A_2}{A_1} \quad (1)$$

r : Taux d'évolution annuel de la classe i; A_1 : superficie de la classe i au temps t_1 ; A_2 : superficie de la classe i au temps t_2

3 RÉSULTATS ET DISCUSSION

3.1 RÉSULTATS

3.1.1 CARACTERISATION DES TYPES DE VEGETATION

Le Parc National des Deux Balé (PNDB) comporte 4 types de formations végétales.

La forêt galerie ou ripicole est rencontrée le long du fleuve Mouhoun et ses affluents. Elle reste verte toute l'année. Les principales espèces de cette formation sont : *Mitragyna inermis* (Willd.) Kuntze, *Vitex chrysocarpa* Planch. ex Benth., *Aphania senegalensis* (Juss. ex Poir.) Radlk., *Cola laurifolia* Mast., *Pterocarpus santalinoides* L'Her. ex DC., *Terminalia togoensis* Engl. et Diels. et *Eugenia nigerina* A. Chev. ex Hutch. et Dalz.

La savane arborée est caractérisée par une dominance de la strate arborée avec peu d'arbustes. Il existe un tapis herbacé peu dense. Le recouvrement ligneux est compris entre 50 et 70%. Comme principales espèces, il y a : *Anogeissus leiocarpa* (DC.) Guill. et Perr., *Daniellia oliveri* (Rolfe) Hutch. et Dalz., *Burkea africana* Hook. f., *Isobertia doka* Craib et Stapf, *Pterocarpus erinaceus* Poir., *Vitellaria paradoxa* Gaertn. f., *Terminalia macroptera* Guill. et Perr. et *Combretum collinum* Fresen.

La savane arbustive dense est une formation végétale qui est dominée par les arbustes, avec une densité élevée. Elle est caractérisée par une strate ligneuse dense avec un tapis herbacé composé essentiellement de graminées vivaces denses. Les arbres y sont rares. Le recouvrement ligneux varie de 50 à 70% dont moins de 10% pour les arbres. Les principales espèces qu'on y rencontre sont *Detarium microcarpum* Guill. et Perr., *Anogeissus leiocarpa*, *Burkea africana*, *Terminalia laxiflora*, *Piliostigma thonningii* (Schumach.) Milne-Redh. *Piliostigma reticulatum* (D.) Hochst., *Ptelopsis suberosa* Engl. et Diels.

La savane arbustive claire présente une strate arbustive peu dense avec un tapis herbacé composé de vivaces. Le recouvrement ligneux varie de 15 à 30%. Les espèces fréquentes sont *Combretum glutinosum* Perr. ex DC., *Acacia dudgeoni* Craib ex Hall., *Acacia macrostachya* Reichenb. ex Benth., *Combretum micranthum* G. Don, *Gardenia ternifolia* Schumach. et Thonn., *Balanites aegyptiaca* (L.) Del., *Ziziphus mauritiana* Lam., *Grewia lasiodiscus* K. Schum. et *Feretia apodanthera* Del.

3.1.2 VALIDATION DE LA CLASSIFICATION

La discrimination entre les différentes classes d'occupation des terres est statistiquement significative pour les images de 1986; 2000 et 2015. En effet, les résultats de l'analyse de fiabilité sont dans l'ensemble très similaires, avec des précisions globales variant de 83; 84 à 88 % et des valeurs du coefficient Kappa élevées avec 0,77; 0,81 et 0,85 respectivement pour 1986; 2000 et 2015 (tableaux 1; 2 et 3). Les matrices de confusion montrent globalement qu'il n'existe pas d'énormes confusions entre les classes pour les trois images (1986; 2000 et 2015). Une analyse approfondie des tableaux 1 et 2 montre que la classe forêt galerie ou ripicole présente des confusions avec la classe savane arborée. Ainsi, 26,91% des pixels de la forêt galerie ou ripicole se retrouvent classés dans la classe savane arborée (tableau 1) et 11,94% des pixels de la savane arborée sont classés dans la classe forêt galerie ou ripicole (tableau 2). Pour les mêmes classes (savane arborée et forêt ripicole) des confusions moindres sont observées lors de la classification de l'image de 2015 (tableau 3). De manière globale, les autres classes d'occupation des terres sont bien discriminées avec des confusions relativement faibles.

Tableau 1. Matrice de confusion de la classification dirigée par le maximum de vraisemblance de 1986

Classes	1	2	3	4	5	6	7
1	73,09	0	0	0	0	0	0
2	26,91	58,55	0	0	0	0	0
3	0	16,34	96,75	0,43	0	0	0
4	0	25,11	3,25	78,91	2,25	0	0
5	0	0	0	20,66	97,75	19,57	0
6	0	0	0	0	0	80,43	0
7	0	0	0	0	0	0	100

Précision globale=83,64%; Coefficient de Kappa=76,50%

Tableau 2. Matrice de confusion de la classification dirigée par le maximum de vraisemblance de 2000

Classes	1	2	3	4	5	6	7
1	96,41	11,94	0	0	0	0	0
2	3,59	81,08	7,01	0,14	0	0	0
3	0	6,98	92,37	2,72	0,13	0	0
4	0	0	0,62	95,92	1,20	0,22	0
5	0	0	0	1,08	55,56	10,20	0
6	0	0	0	0,14	43,11	89,58	0,90
7	0	0	0	0	0	0	99,10

Précision globale=84,28%; Coefficient de Kappa=81,45%

Tableau 3. Matrice de confusion de la classification dirigée par le maximum de vraisemblance de 2015

Classes	1	2	3	4	5	6	7
1	98,59	3,81	2,41	0	0	0	0
2	1,21	95,24	4,33	1,06	0	0	0
3	0,20	0,95	93,26	0	0	0	0
4	0	0	0	98,73	1,09	4,72	0
5	0	0	0	0,21	71,64	19,85	0,59
6	0	0	0	0	27,27	74,94	0
7	0	0	0	0	0	0,49	99,41

Précision globale=88,03%; Coefficient de Kappa=85,54%

Légende des tableaux (1;2 et 3):

1: forêt galerie ou ripicole; 2: savane arborée; 3: savane arbustive dense; 4: savane arbustive claire; 5: zones anthropisées; 6: sols nus; 7: eau

3.1.3 ETATS DE L'OCCUPATION DES TERRES EN 1986, EN 2000 ET EN 2015

La cartographie de l'occupation des terres en 1986 montre que la forêt galerie ne représentait que 1,54% (1237,6 ha) du parc; comparativement aux savanes qui représentent, à elles seules, 96,34% (77 641,3 ha). Ceci dénote de la forte dominance de cette aire protégée par les savanes. Avec 1693,7 ha, les zones anthropisées et les sols nus représentaient 2,1% de la superficie totale cartographiée (figure 2 A). Les résultats cartographiques de 2000 montrent que la forêt galerie n'occupait plus que 0,68% du parc contre 97,31% de savanes. Les classes zones anthropisées et les sols nus occupaient 2% du parc (figure 2 B).

Avec 74 263,5 ha en 2015, le couvert végétal représente 92,14% de la superficie totale du parc. Il est essentiellement constitué de forêt galerie (1207,6 ha), savane arborée (11 566,9 ha), savane arbustive dense (14 930,2 ha), savane arbustive claire (46 558,8 ha). La classe forêt galerie ou forêt ripicole représente 1,5% de la superficie du parc contre 90,64% pour les savanes. Les zones anthropisées et les sols nus, avec une superficie de 6315,1 ha occupent 7,83% de l'ensemble du parc (figure 2 C).

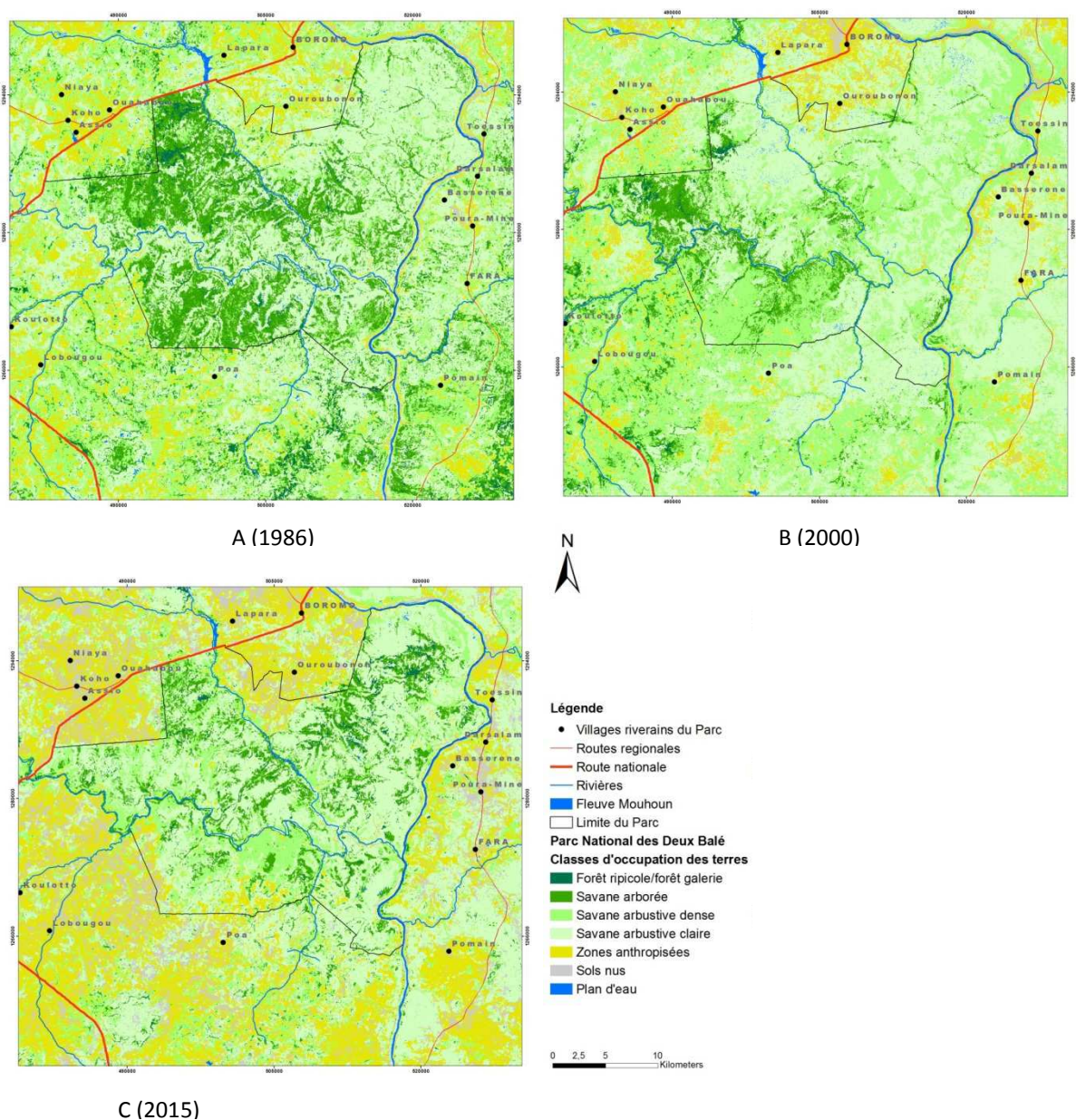


Fig. 2. Cartes d'occupation des terres du Parc national des Deux Balé en 1986 (A), en 2000 (B) et en 2015 (C)

3.1.4 DYNAMIQUE VEGETALE DU PARC NATIONAL DES DEUX BALE (PNDB)

Les cartes de 1986; 2000 et 2015 ont permis de quantifier la dynamique de l'occupation des terres du PNDB. Les résultats cartographiques et statistiques (tableau 4) obtenus permettent de mettre en évidence l'évolution progressive de certaines classes d'occupation des terres entre 1986; 2000 et 2015. La savane arbustive dense est le type de végétation qui a connu la plus forte augmentation de sa surface. Elle est passée de 10 387,1 ha en 1986 à 29062,2 ha en 2000, soit une augmentation annuelle de 7,35%. Les sols nus ont connu aussi une augmentation de 50,5 ha entre 1986 et 2000, passant ainsi 97,6 ha à 148,1 ha. Contrairement aux autres classes d'occupation des terres; la forêt galerie, la savane arborée, la savane arbustive claire, les zones anthropisées et la classe eau sont en recul entre 1986 et 2000. La forêt galerie et la savane arborée ont perdu respectivement 692,2 ha et 14 371,2 ha en 14 ans. La savane arbustive claire quant à elle a perdu 3522,9 ha entre 1986 et 2000, soit un recul de 0,6% par an. Les zones anthropisées ont reculé de 123,2 ha, soit près de 0,57% par an entre 1986 et 2000. Enfin, la classe eau a perdu 16 ha entre 1986 et 2000, soit une régression de 6,33% par an.

Entre 2000 et 2015, exceptée la savane arbustive dense qui a connu une perte de 14132 ha, les autres classes d'occupation des terres ont connu une progression. Une évolution positive de l'ordre de 5,3% est notée, 1,56%, 0,98%, 8,04%, 16,96% et 4,26% par an, respectivement pour la forêt galerie, la savane arborée, la savane arbustive claire, les zones anthropisées, les sols nus et la classe eau. Les zones anthropisées et les sols nus ont plus augmenté en superficie. Ainsi les zones anthropisées passent de 1472,9 ha en 2000 à 4917,9 ha en 2015, soit une augmentation de 3445 ha en 15 ans et les sols nus ont progressé de 148,1 ha en 2000 à 1397,2 ha en 2015.

Tableau 4. Evolution des classes d'occupation du sol entre 1986-2000 et entre 2000-2015

Classes	S1 (ha)	S2 (ha)	C1 (ha)	T1 (%)	S3 (ha)	C2 (ha)	T2 (%)
1	1237,6	545,4	-692,2	-5,85	1207,6	662,2	5,3
2	23523,8	9152,6	-14371,2	-6,74	11566,9	2414,3	1,56
3	10387,1	29062,2	18675,1	7,35	14930,2	-14132	-4,44
4	43730,4	40207,5	-3522,9	-0,6	46558,8	6351,3	0,98
5	1596,1	1472,9	-123,2	-0,57	4917,9	3445	8,04
6	97,6	148,1	50,5	2,98	1397,2	1249,1	16,96
7	27,4	11,3	-16,1	-6,33	21,4	10,1	4,26

Légende du tableau 4: S1 (superficie en 1986); S2 (superficie en 2000); S3 (superficie en 2015); T1 (Taux de changement entre 1986-2000); T2 (Taux de changement entre 2000-2015); C1 (perte ou gain de superficie entre 1986-2000); C2 (perte ou gain de superficie entre 2000-2015), 1: forêt galerie; 2: savane arborée; 3: savane arbustive dense; 4: savane arbustive claire; 5: zones anthropisées; 6: sols nus; 7: eau

3.2 DISCUSSION

3.2.1 DESCRIPTION DE LA VEGETATION ET TRAITEMENTS D'IMAGES

Sur la base de la description physionomique de la végétation faite sur le terrain nous avons pu identifier 07 classes d'occupation des terres du PNDB. Parmi ces 7 classes il ya quatre classes de végétation. Les résultats cartographiques confirment les descriptions faites sur le terrain. Ce qui signifie que les classes thématiques sont bien définis. Une meilleure définition des classes d'occupation des terres permet de faire une classification de qualité [21].

La méthode des classifications dirigées a permis de distinguer sept classes d'occupation des terres, qui ne sont pas toujours bien différenciées. Cette confusion est due à des réponses spectrales proches pour ces formations ligneuses [22]. Ces mêmes difficultés ont été signalées par d'autres auteurs [23];[2];[7];[6];[5]. En plus, la confusion pourrait être liée à la définition des parcelles homogènes lors du choix des sites d'entraînement [23]. Malgré ces difficultés, les résultats cartographiques obtenus sont satisfaisants. En effet, les indices de *Kappa* obtenus sont de 76,5%; 81,45% et de 85,54%, respectivement pour les images de 1986; 2000 et 2015. Ces précisions satisfaisantes pourraient être liées à une meilleure description des classes d'occupation des terres lors de la phase terrain. Egalement le choix des parcelles d'entraînement des zones homogènes influencent positivement la qualité de la classification d'image. Avec l'hétérogénéité du paysage sahélien, un tel résultat s'explique par la qualité des images et le choix des classes thématiques [24];[21]. Ces cartes peuvent être validées, car les indices de *Kappa* et les taux de classification global sont supérieurs à 50% [25];[26]. Quant aux confusions observées entre la classe zones anthropisées et la classe de savane arbustive claire, cela est lié au fait que les arbres utiles épargnés dans les champs donnent à cette classe par endroits l'aspect d'une savane arbustive claire.

3.2.2 DYNAMIQUE DE LA VEGETATION DU PARC ET ACTIVITES ANTHROPIQUES

Les résultats obtenus montrent que dans le PNDB, certaines formations boisées (la forêt galerie et la savane arborée) ont connu une régression entre 1986 et 2000. Cette régression pourrait être liée aux activités humaines (bois-énergie, agriculture, feux de brousse, et le surpâturage). Cette pression anthropique sur les savanes boisées a déjà été signalée [27];[28];[5]. La pression anthropique sur le parc est plus perceptible par l'installation des activités agricoles à la périphérie du parc. La végétation de la partie non protégée (la périphérie du parc) est la plus dégradée à cause de l'exacerbation de la pression anthropique. Ce même constat a été signalé dans d'autres pays d'Afrique de l'Ouest, notamment au Mali [22], en Côte d'Ivoire [27] et au Niger [28]. La présence de zones anthropisées dans le parc s'explique par une forte pression foncière à la périphérie. La proximité du parc avec la ville de Boromo et les hameaux de culture tout autour en fait une réserve de terres cultivables. Les défrichements agricoles ont déjà été relevés comme un facteur important dans la dynamique régressive des ligneux par plusieurs auteurs [29];[30];[31];[6]. En plus, le passage régulier des feux ne favorise pas la reconstitution de la végétation naturelle [22]. Outre les activités humaines, il y a le facteur climatique qui pourrait expliquer cette dynamique régressive de ces formations arborées. En effet, la contrainte climatique principale est la variabilité dans la distribution et l'imprévisibilité des précipitations, qui s'augmentent du Sud au Nord [32]. Plusieurs études ont montré les impacts négatifs de la sécheresse sur la végétation [33];[22];[17]. En Afrique, certaines études ont montré que les sécheresses répétées des années 1980 ont entraîné la mortalité des espèces ligneuses des écosystèmes sensibles [34];[35]. Les effets de la sécheresse en milieu de savane sont observés à travers les variations de la couverture ligneuse qui sont très indicatrices des changements climatiques à l'échelle locale [35];[22];[27]. Ainsi, les comportements des populations dépendent de plusieurs facteurs, notamment le climat et la charge anthropique du milieu [36]. Pendant une période de crise de type climatique, les aires protégées sont exposées et parfois soumises à l'assaut des populations riveraines en quête de meilleures zones de cultures [37].

Entre 2000 et 2015, on note une forte progression des classes de végétation à l'exception de la savane arbustive dense. Cela pourrait s'expliquer par une surveillance accrue du parc. Egalement, les efforts d'aménagements ont certainement contribué à la protection du parc. Malheureusement les zones anthropisées ont connu une progression significative entre cette même période. Ceci pourrait s'expliquer par la forte pression foncière à l'intérieur et à la périphérie dudit parc. Cette pression foncière a été mise en évidence par la cartographie qui montre une progression du front agricole entre 2000 et 2015. En Afrique subsaharienne, le manque de nouvelles terres agricoles et fertiles incitent les populations à s'installer dans les réserves forestières [38];[37];[5].

4 CONCLUSION

Cette étude avait pour principal objectif d'améliorer les connaissances sur le phénomène de la dégradation du Parc national des Deux Balé afin de donner aux gestionnaires des outils d'aide à la décision indispensables à la mise en place d'une politique de gestion durable des aires protégées. En d'autres termes c'est de mettre en évidence la dynamique forestière entre 1986 et 2015 au moyen de la télédétection, des données de terrain et des Systèmes d'information géographique. La démarche méthodologique adoptée a consisté aux traitements numériques d'images Landsat couplés aux données de terrain. Cette approche méthodologique, nous a permis de discriminer les différentes classes d'occupation des terres du parc. Ainsi, nous avons pu identifier : la forêts galerie ou ripicole, la savanes arborée, les savanes arbustives (dense et claire), les zones anthropisées, les sols nus et l'eau. Ainsi, nous avons édité trois cartes d'occupation des terres du PNDB en 1986; 2000 et 2015.

Le parc est dominé par les formations savaniques. La forêt galerie ne représente que 1,5% de la superficie totale du parc. La couverture ligneuse a augmenté près 89 ha entre 1986 et 2000 au détriment des zones anthropisées et sols nus. Mais cette relative augmentation occulte certaines disparités, car pour la même période la savane arborée a connu une régression de l'ordre de 6,74% par an. Cependant, entre 2000 et 2015 la couverture ligneuse a perdu 4683 ha au profit des zones anthropisées et sols nus. La faible protection ou surveillance du parc par endroits, surtout dans sa partie sud constitue une menace quasi-permanente pour ce parc. Un renforcement du dispositif de contrôle dans la partie sud du parc comme cela est fait dans sa partie nord permettrait de mieux le protéger.

Pour contribuer à l'aménagement et à la gestion durable du parc, une sensibilisation et une implication effective des populations de tous les villages riverains s'imposent. Ceci permettrait de freiner la colonisation de du parc. En plus, il faut un renforcement de la surveillance à l'intérieur comme aux périphéries de l'espace protégé en collaboration avec les populations riveraines. Enfin, la formation des populations riveraines aux techniques d'agroforesterie pour le maintien de la fertilité des sols s'avère opportune. Cela pourrait limiter cette quête permanente de nouvelles terres.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient IFS (International Foundation for Science), le projet de mobilité universitaire HAAGRIM (Harmonisation et Amélioration des programmes de master et de doctorat en Agribusiness par la mobilité entre l'Afrique de l'Ouest, de l'Est et du Centre, pour un développement socio-économique durable) et le contribuable Burkinabé pour le financement qu'ils ont octroyé pour la réalisation de ce programme de recherche. Nous exprimons notre gratitude aux guides de terrain, aux agents des eaux et forêts et surtout le responsable de l'unité de protection et de conservation du Parc National des Deux Balé.

RÉFÉRENCES

- [1] S. Kiema, *Elevage extensif et conservation de la diversité biologique dans les aires protégées de l'Ouest burkinabé. Arrêt sur leur histoire, épreuves de la gestion actuelle, état et dynamique de la végétation*. Thèse de Doctorat, Université d'Orléans, France. 160p, 2007.
- [2] C. Mbow, *Potentiel et dynamique des stocks de carbone des savanes soudanaises et soudano-guinéennes du Sénégal*. Thèse de Doctorat d'Etat. Université Cheikh Anta Diop de Dakar. Sénégal. 319 p, 2009.
- [3] Y. Nouvellet and L. Sawadogo, *Recherches sur l'aménagement des formations naturelles dans la région du centre ouest du Burkina Faso*. SUAS/CNRST-IRBET/CIRAD-Forêt. Burkina Faso. 88 p, 1995.
- [4] W.G. Tabopda, *Les aires protégées de l'extrême –Nord Cameroun entre politiques de conservation et pratiques locales*. Thèse de doctorat en Géographie-Aménagement-Environnement, Université d'Orléans. France. 322 p, 2008.
- [5] B. Tankoano, M. Hien, D. H. N'Da, Z. Sanon, J. T. Yaméogo et I. Somda, "Dynamique spatio-temporelle des savanes boisées de la forêt classée de Tiogo au Burkina Faso", *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, vol 9, no.4, pp. 1984-2000, 2015.
- [6] W. G. Tabopda and F. Huynh, "Caractérisation et suivi du recul des ligneux dans les aires protégées au Nord du Cameroun: analyse par télédétection spatiale dans la réserve forestière de Kalfou", *Journées d'animation scientifique (JAS09) de l'Agence Universitaire de la Francophonie*, Alger, Algérie. 11p, 2009.
- [7] D. H. N'Da, E. K. N'Guessan, M. E. Wadja and K. Affian, "Apport de la télédétection au suivi de la déforestation dans le parc national de la Marahoué (Côte d'Ivoire)", *Télédétection*, vol 8 n° 1, pp.17-34, 2008.
- [8] G. Kissinger, M. Herold and S. De Sy, *Drivers of Deforestation and Forest Degradation: A Synthesis Report for REDD+ Policymakers*. Lexeme Consulting, Vancouver Canada, 2012.
- [9] C. Streck and M. Zurek, *Addressing Agriculture Drivers of Deforestation. Opportunities for Catalytic Donor Interventions*. *Climate Focus*. ICI, 34p, 2013.
- [10] FAO, *Evaluation des ressources forestières mondiales. Département des forêts*. Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture. Viale delle Terme di Caracalla 00153 Rome, Italie. 12 p, 2010.
- [11] P. Bombiri, *Comptabilité environnementale et biodiversité. Etude de cas/ Burkina Faso*. Communication orale. MECV/ SP-CONEDD, Burkina Faso. 20 p, 2008.
- [12] P. Kafando, *Etude pour l'élaboration des protocoles techniques d'inventaires pédestres (line-transect) dans les unités de conservation de la faune de Wamou, Arly, Pama, Boromo et Bobo*. Rapport de mission de consultation, PAUCOF, Burkina Faso. 94p, 2003.
- [13] E. W. Coziadam, *Cartographie du milieu biophysique du Parc National des Deux Balé, Provinces des Balé et de Tuy-Burkina Faso*. Mémoire de Master spécialisé en Gestion des Aires Protégées. Institut International de l'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement, Ouagadougou, Burkina Faso. 77p, 2009.
- [14] S. Diawara, *Perturbations écologiques et fonctionnement des écosystèmes savaniques : banques de semences du sol et propriétés physico-chimiques du sol*. Mémoire d'Ingénieur. Institut du Développement Rural, Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso. Burkina Faso. 108 p, 2012.
- [15] J. Fontès J. et S. Guinko, *Carte de la végétation naturelle et de l'occupation du sol du Burkina Faso*. Université de Toulouse, Université de Ouagadougou, IRBET et MET, Burkina Faso. 71p, 1995.
- [16] L. Sawadogo, *Evaluation des potentialités pastorales d'une forêt nord soudanienne du Burkina Faso (cas de la forêt classée de Tiogo)*. Thèse de doctorat. Université de Ouagadougou. Burkina Faso. 125p, 1996.
- [17] N. S. Goel and W. Quin, "Influences of canopy architecture on relationships between various vegetation indexes and LAI and FPAR: a computer simulation", *Remote Sensing of Environment*, vol 10,no.2, pp. 309-347, 1994.
- [18] M. Hussain, D. Chen, A. Cheng, H. Wei and D. Stanley, "Change detection from remotely sensed images: From pixel-based to object-based approaches", *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, vol. 80, pp. 91-106, 2013.
- [19] FAO, *Forest resources assessment 1990. Survey of tropical forest cover and study of change processes*. Food and Agriculture Organisation of the United Nations, Roma. 1996.

- [20] J. P. Puyravaud, "Standardizing the calculation of the annual rate of deforestation", *Forest Ecology and Management*, vol. 177, no. 4, pp. 206-219, 2003.
- [21] I. M. Maârouhi, A. Mahamane, M. Saadou et Y. Bachmann, "Dynamique spatio-temporelle des forêts claires dans le Parc national du W du Niger (Afrique de l'Ouest)", *Sécheresse*, vol. 22, no. 3, pp. 97-107, 2011.
- [22] H. Diallo, I. Bamba, Y. S. S. Barima, M. Visser, A. Ballo, A. Mama, I. Vranken, M. Maïga et J. Bogaert, "Effets combinés du climat et des pressions anthropiques sur la dynamique évolutive de la végétation d'une zone protégée du Mali (Réserve de Fina, Boucle du baoulé)" *Sécheresse*, vol. 22, no. 2, pp. 97-107, 2011.
- [23] INSD, *Résultats préliminaires du recensement général de la population et de l'habitat de 2006*. Institut National des Statistiques et de la Démographie (INSD). Direction de la démographie, Ouagadougou. Burkina Faso. 394 p, 2007.
- [24] A. Geymen and I. Baz, "The potential of remote sensing for monitoring land cover changes and effects on physical geography in the area of Kayisdagi mountain and its surroundings (Istanbul)", *Environmental Monitoring and Assessment*, vol. 140 no.3, pp. 33-42, 2008.
- [25] P. Ozer, "Bois de feu et déboisement au Sahel : Mise au point", *Sécheresse*, vol.15, pp. 243-251, 2004.
- [26] S. T. V. Kabba and J. Li, "Analysis of land use and land cover changes, and their ecological implication in Wuhan, China", *Journal of Geography and Geology*, vol. 3, pp. 104-118, 2011.
- [27] A. M. Kouassi, K. F. Kouamé, K. E. Ahoussi, S. Oularé et J. Biemi, "Impacts conjugués des changements climatiques et des pressions anthropiques sur les modifications de la couverture végétale dans le bassin versant du N'zi-Bandama (Côte d'Ivoire)", *Rev. Ivoir. Sci. Technol.*, vol.20, pp. 124-146, 2012.
- [28] A. Mama, B. Sinsin, C. De Cannière et J. Bogaert, "Anthropisation et dynamisation des paysages en zone soudanienne au nord du Bénin", *Tropicultura*, vol. 31, no.1, pp. 78-88, 2013.
- [29] E. Faye, M. Diatta, A. N. S. Samba et J. Lejoly, "Usages et dynamique de la flore ligneuse dans le terroir villageois de Latmingué (Sénégal)", *Journal des sciences et Technologies*, vol.7, pp. 43-58, 2008.
- [30] P. Ozer, Y. C. Hountondji, A. J. Niang, S. Karimoune, O. L. Manzo et M. Salmon, "Désertification au Sahel: historique et perspectives", *BSGLG*, vol. 54, pp. 69-84, 2010.
- [31] L. Sawadogo, *Influence de facteurs anthropiques sur la dynamique de la végétation des forêts naturelles de la zone soudanienne du Burkina Faso*. Thèse d'Etat. Université de Ouagadougou. Burkina Faso. 142 p, 2009.
- [32] P. Ouoba, *Flore et végétation de la forêt classée de Niangoloko, sud-ouest du Burkina Faso*. Thèse de Doctorat, Université de Ouagadougou. Burkina Faso. 140 p, 2006.
- [33] M. B. K. Darkoh, "Regional perspectives on agriculture and biodiversity in drylands of Africa", *Journal of Arid Environment*, vol.54, pp. 261-279, 2003.
- [34] G. Boudet, 1972, "Désertification de l'Afrique tropicale", *Adansonia*, vol.12, pp. 505-524, 1972.
- [35] M. Koné, A. Aman, A. C. Y. Yao, L. Coulibaly et K. E. N'Guessan, "Suivi diachronique par télédétection spatiale de la couverture ligneuse en milieu de savane Soudanienne en Côte d'Ivoire", *Télédétection*, vol. 7, pp. 433-446, 2007.
- [36] M. K. Masozera and J. J. R. Alavalapati, "Forest dependency and its implications for protected areas management: A case study from the Nyungwe Forest Reserve, Rwanda", *Scandinavian Journal of Forest Research*, vol. 19, pp. 85-92, 2004.
- [37] G. W. Tabopda et J-M. Fotsing, "Quantification de l'évolution du couvert végétal dans la réserve forestière de Laf-Madjam au nord du Cameroun par télédétection satellitale", *Sécheresse*, vol. 21 no.3, pp. 169-78, 2010.
- [38] M. Ba, A. Toure and A. Reenberg, "Mapping land use dynamics in Senegal. Case studies from Kaffrine Departments", *Sahel-Sudan Environmental Research Initiative (SEREIN) Working Paper*, vol. 45, pp. 1-33, 2004.