

Dynamique spatiale du domaine de chasse et réserve de Bombo Lumene entre 2000 et 2015 par imagerie satellitaire optique

[Spatial dynamic of the hunting area and Bombo Lumene reserve between 2000 and 2015 by optical satellite imagery]

B. MUYAYA KALAMBAY¹, J.P. RUDANT², R. LUMBUENAMO¹, M. BELAND³, and B. RIERA⁴

¹Laboratoire de Géomatique Appliquée et Environnement, École Régionale Post Universitaire d'Aménagement et de Gestion Intégrés des Forêts et Territoires Tropicaux, Kinshasa, RD Congo

²Laboratoire de Télédétection et Information Géographique, Université de Paris Est de Marne la Vallée, Paris, France

³Département de Géomatique, Université de Laval, Québec, Canada

⁴Muséum National d'Histoire Naturelle, Paris, France

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: Better management of a protected area in the context of human pressures through its improved knowledge and the latter in particular through regular evaluation of its spatial dynamics. The purpose of this study is to quantify and analyze the spatial dynamics of the hunting area and Bombo Lumene reserve between 2000 and 2015 to assess the trend during this period. The methodology consists of using two Landsat ETM+ scenes (Enhanced Thematic Mapper Plus) of 03.03.2000 and OLI (Operational Land Imager OLI) of 04.06.2015, which were classified by object-oriented approach after ortho rectification. The results of the study provide information that the site is threatened by human impacts with an increase of 20,083 ha of anthropized area (5.7%); grassland lost 8,124 ha of its area (2.3%); bushland lost 29,543 hectares of its area (8.4%). The forest has meanwhile gained 1,545 ha (0.3%), while woodland won 11,635 ha (3.3%).

KEYWORDS: satellite images, Landsat, OLI, ETM+, multi temporal monitoring, protected area, savanna ecosystem.

RÉSUMÉ: Une meilleure gestion d'une aire protégée dans un contexte des pressions anthropiques passe par sa meilleure connaissance et cette dernière passe notamment par l'évaluation régulière de sa dynamique spatiale. Le but de cette étude est de quantifier et d'analyser la dynamique spatiale du domaine de chasse et réserve de Bombo Lumene entre 2000 et 2015 afin d'en évaluer la tendance durant cette période. La méthodologie consiste en l'utilisation de deux scènes Landsat ETM+ (Enhanced Thematic Mapper Plus) du 3/3/2000 et OLI (Operational Land Imager OLI) du 6/4/2015 qui ont été classifiées par approche orientée objet après ortho rectification. Les résultats de l'étude renseignent que le site est menacé par l'anthropisation avec une augmentation de 20 083 ha de la zone anthropisée (5,7%); la savane herbeuse a perdu 8 124 ha de sa superficie (2,3%); la savane arbustive a perdu 29 543 ha de sa superficie (8,4%). La forêt a quant à elle gagné 1 545 ha (0,3%), alors que la savane boisée a gagné 11 635 ha (3,3%).

MOTS-CLEFS: images satellitaires, Landsat, OLI, ETM+, suivi multi temporel, aire protégée, écosystème savanicole.

1 INTRODUCTION

Créée en deux temps, c'est-à-dire d'abord comme domaine de chasse en 1968, puis une réserve au sein du domaine de chasse en 1976, le domaine de chasse et réserve de Bombo Lumene que nous allons dans la suite du présent document

simplement appelé Bombo Lumene, est une aire protégée de catégorie VI de l'Union Internationale pour la Conservation de la Nature dont l'objectif principal est la gestion et l'utilisation durable d'écosystèmes naturels [1], [2], [3], [4], [5].

Situé à 130 kilomètres du centre-ville de Kinshasa, Bombo Lumene est, malgré son statut d'aire protégée, menacé par des pressions anthropiques parmi lesquelles la carbonisation, l'agriculture, le lotissement illégal ainsi que le braconnage [6], [7], [8]. D'où la nécessité de suivre sa dynamique spatiale afin de permettre à ses gestionnaires de concevoir et de mettre en œuvre des stratégies de sa protection en vue de sa gestion durable.

Pour ce faire, la télédétection spatiale à travers l'imagerie satellitaire qu'elle fournit, se positionne comme l'outil de premier choix pour cette fin [9], [10], [11], [12], [13].

L'intérêt de l'imagerie satellitaire pour le suivi de l'espace réside principalement dans sa capacité à offrir une vue globale du territoire d'étude, mais aussi à réaliser des études spatiales multi échelles et multi temporelles [14], [15], [16]. C'est cette dernière propriété de l'imagerie satellitaire que nous exploitons dans cette étude pour évaluer la dynamique spatiale de Bombo Lumene entre 2000 et 2015.

L'objectif de la présente étude est de contribuer à une meilleure connaissance du site de Bombo Lumene. De façon spécifique, il s'agira d'évaluer la dynamique spatiale du site entre 2000 et 2015 afin d'en dégager la tendance.

Nous partons de l'hypothèse unique selon laquelle deux images d'un site prises à des dates différentes sont susceptibles de fournir des informations sur l'évolution du site entre ces deux dates.

2 MATERIELS ET METHODES

2.1 SITE D'ÉTUDE

Bombo Lumene est une aire protégée qui est gérée par l'Institut Congolais pour la Conservation de la Nature. Il est situé à l'Ouest de la République Démocratique du Congo (Figure 1), et est constitué d'une réserve et d'un domaine de chasse (Figure 2).

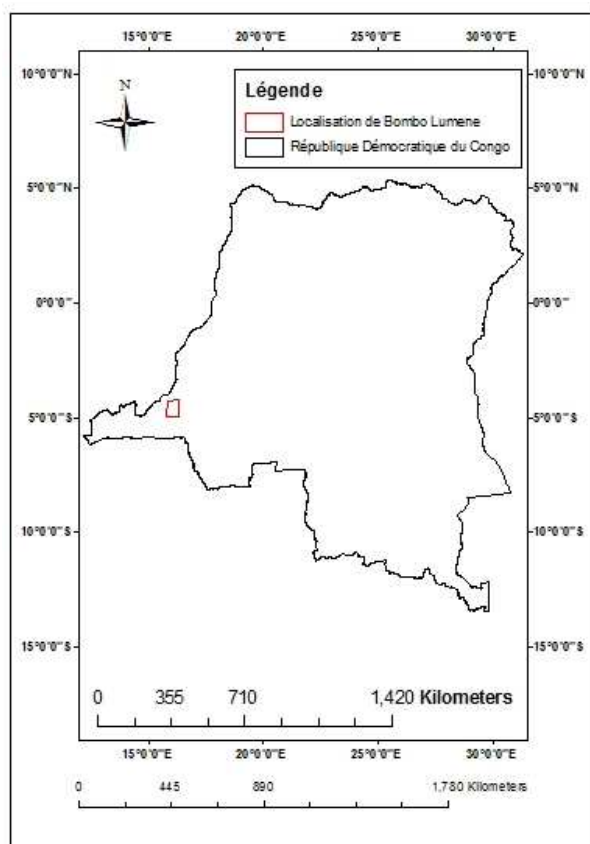


Figure 1. Localisation de Bombo Lumene

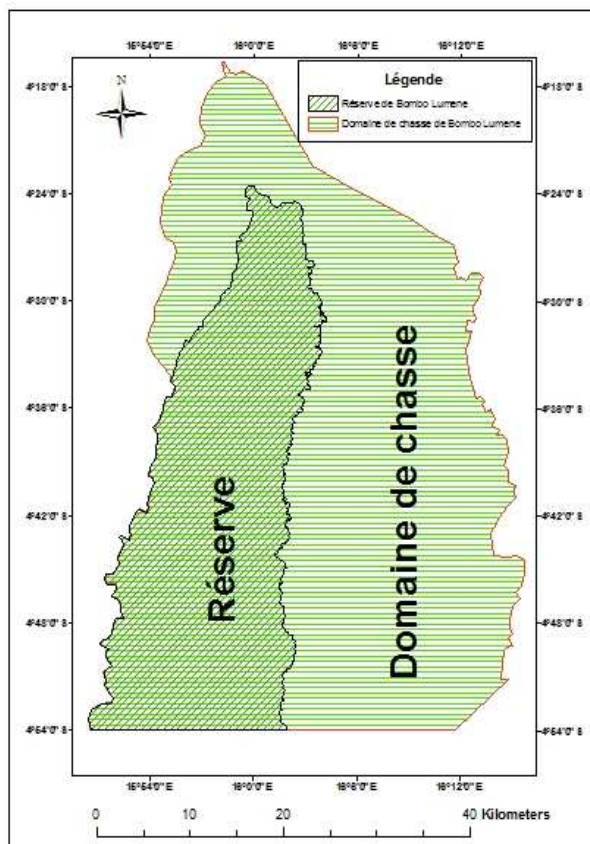


Figure 2. Domaine de chasse et réserve de Bombo Lumene

Bombo Lumene est situé entre 15.840573° et 16.261866° des longitudes Est et 4.276656° et 4.900031° des latitudes Sud. Avec une superficie de 350 000 hectares, le point le plus élevé se trouve à 637 mètres d'altitude [17]. Bombo Lumene est un écosystème essentiellement savanicole, qui est par endroit entrecoupé par des forêts sous forme des galeries et des îlots forestiers et comprend en son sein des classes de transition que sont des savanes boisées et arbustives. Deux principales rivières drainent ce site et qui lui ont prêté leurs noms à savoir la Bombo et la Lumene.

Le climat qui y règne est un climat tropical chaud et humide de type Aw_4 selon la typologie de Koppen [18], [19]. C'est un climat caractérisé par une grande saison de pluie s'étalant sur 8 mois allant de la mi-septembre à la mi-mai et qui est souvent entrecoupée par deux saisons sèches dont une petite située à cheval entre janvier et février et une grande située entre la mi-mai et la mi-septembre [20], [21]. La température moyenne annuelle qui y règne est de 24,8° alors que les précipitations moyennes annuelles sont de 1 549 mm.

2.2 MATÉRIELS

IMAGES

Deux scènes Landsat sont utilisées dans cette étude. La première est une scène du capteur ETM+ (Enhanced Thematic Mapper Plus) du 03/03/2000 (figure 3) et dont les caractéristiques sont reprises ci-après (tableau 1). La deuxième est du capteur OLI (Operational Land Imager) du 6/04/2015 (figure 4) et dont les caractéristiques ci-après (tableau 2).

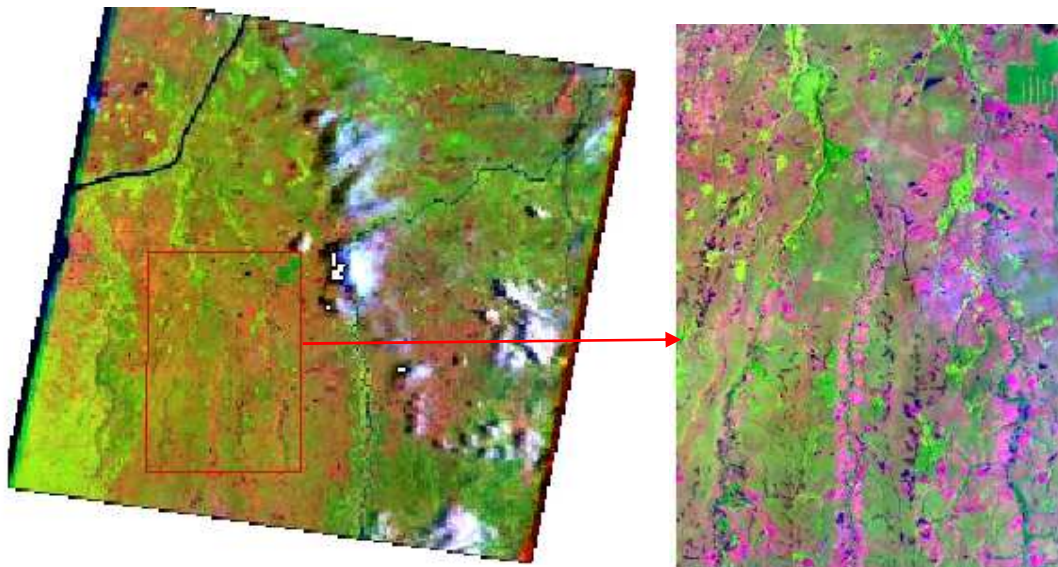


Figure 3.a. Scène Landsat ETM+, p181r063 du 06 /04/2000 (542) Figure 3.b. Extrait de la scène de Bombo Lumene (542)

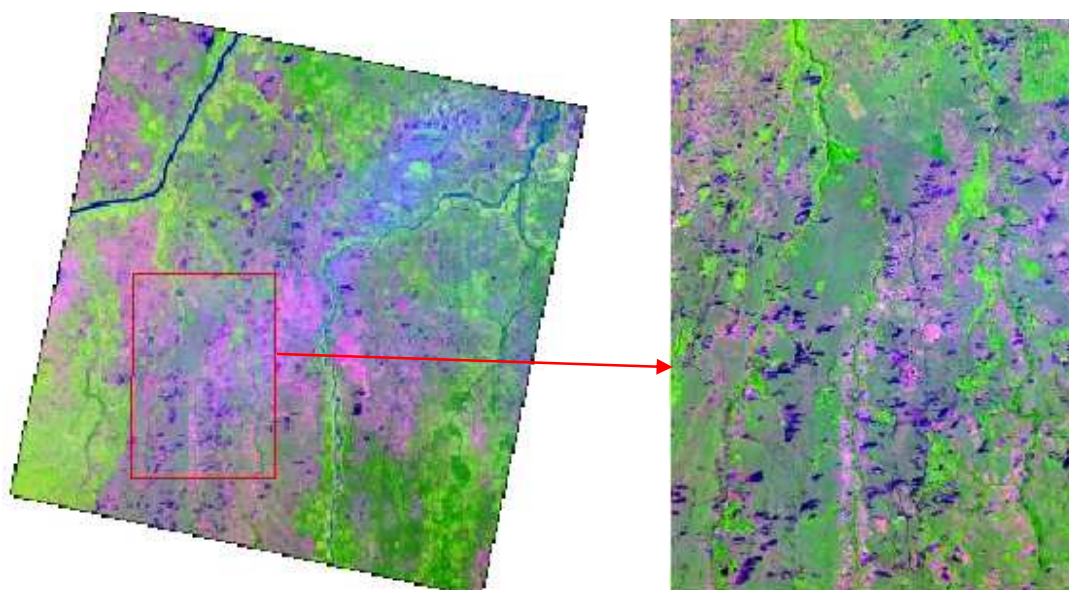


Figure 4.a. Scène Landsat OLI, p181r063 du 06 /04/2015 (654)

Figure 4.b. Extrait de la scène de Bombo Lumene (654)

Tableau 1. Caractéristiques de la scène Landsat ETM+ utilisée [22], [23], [24], [25]

Capteur	Résolution spectrale	Couleur bande	Résolution spatiale	Dimension de la scène	Temps temporelle
ETM+	Band 1: 0.450 – 0.515	Blue	30 m	170 km x 183 km	16 jours
	Band 2: 0.525 – 0.605	Green	30 m		
	Band 3: 0.630 – 0.690	Red	30 m		
	Band 4: 0.760 – 0.900	Near IR	30 m		
	Band 5: 1.550 – 1.750	Mid IR	30 m		
	Band 6.1: 10.40 – 12.5	Thermal	60 m		
	Band 6.2: 10.40 – 12.5	Thermal	60 m		
	Band 7: 2.080 – 2.35	Mid IR	30 m		
Band 8: 0.52 – 0.92	Pan	15 m			

* La bande 6 du capteur ETM+ est subdivisée en deux : haut gain et faible gain [26]

Tableau 2. Caractéristiques de la scène Landsat OLI utilisée [27], [28], [29], [30]

Capteur	Résolution spectrale	Couleur bande	Résolution spatiale	Dimension de la scène	Temps temporelle
OLI	Band 1: 0.433 - 0.453	Coastal / Aerosol	30 m	170 km x 183 km	16 jours
	Band 2: 0.450 - 0.515	Blue	30 m		
	Band 3: 0.525 - 0.600	Green	30 m		
	Band 4: 0.630 - 0.680	Red	30 m		
	Band 5: 0.845 - 0.885	Near Infrared	30 m		
	Band 6: 1.560 - 1.660	S W Infrared	30 m		
	Band 7: 2.100 - 2.300	S W Infrared	30 m		
	Band 8: 0.500 - 0.680	Pan	15 m		
	Band 9: .360 - 1.390	Cirrus	30 m		

DONNÉES AUXILIAIRES

Ce sont des données essentiellement collectées sur terrain avec pour objectif d'une part, de mieux caractériser les zones d'intérêt et d'autre part, de vérifier et valider les traitements réalisés.

Il s'agit des points géo localisés, collectés à l'aide d'un récepteur GPS de marque Garmin GPS Map 78 avec une précision nominale variant entre 3 et 8 m. Nous avons ainsi collecté 20 points par classe d'intérêt (six classes au total) ainsi que des photos pour illustration.

2.3 MÉTHODES

La méthodologie comprend trois phases à savoir : une détermination des classes d'intérêt ainsi que leur description, la correction géométrique de deux images ainsi que leur classification selon l'approche orientée objet, puis l'évaluation de la précision de la classification avant de passer à l'évaluation quantitative de la dynamique spatiale et son analyse.

2.3.1 DÉTERMINATION DES CLASSES D'INTÉRÊT

En fonction de la spécificité de la zone de Bombo Lumene qui est un écosystème essentiellement savanicole, et tenant compte du potentiel de discrimination des images utilisées, nous avons déterminé six classes à savoir : forêt, savane boisée, savane arbustive, savane herbeuse, eau et zone anthropisée (tableau 3).

Tableau 3. Caractérisation des classes d'intérêt retenues [31], [32]

	Type d'occupation du sol (classes)	Caractéristiques			Illustrations
		Hauteur max (m)	% des ligneux	Espèces dominantes	
1	Eau	-	-	-	Figure 5
2	Forêt	> 20	70 – 99	- <i>Erythrophleum africanum</i> , - <i>Pterygota bequaertii</i> , - <i>Funtumia Africana</i> , - <i>Dracaena mannii</i> , - <i>Chaetocarpus africanus</i> , - <i>Paramacrolobium coeruleum</i> , - <i>Hymenocardia ulmoides</i>	Figure 6
3	Savane arbustive	< 7	2 – 70	- <i>Loudetia simplex</i> , - <i>Securidaca longipedunculata</i> , - <i>Strychnos pungens</i> , - <i>Trachypogon spicatus</i>	Figure 7
4	Savane boisée	7 < 20	2 – 70	- <i>Hyparrhenia spp.</i> , - <i>Loudetia simplex</i> , - <i>Ochna afzelii</i> ,	Figure 8
5	Savane herbeuse	1,5 - 2	0 – 2	- <i>Bothriochloa insculpta</i> , - <i>Heteropogon contortus</i> , - <i>Hyparrhenia spp.</i> , - <i>Loudetia spp.</i> , - <i>Trachypogon spicatus</i> - <i>Trichopteris marungensis</i> , - <i>Monocymbium ceresiiforme</i> , - <i>Andropogon shirensis</i>	Figure 9
6	Zone anthropisée	-	-	- Zone habitée (lotie) - Zone agricole - Zone de carbonisation,	Figure 10



Figure 5. Eau



Figure 6. Forêt



Figure 7. Savane boisée



Figure 8. Savane arbustive



Figure 9. Savane herbeuse



Figure 10. Zone anthropisée

2.3.2 CORRECTION GÉOMÉTRIQUE DE DEUX IMAGES

Cette opération a été réalisée sous ENVI 4.6.1 à l'aide de l'algorithme image – to – image et a eu pour finalité de rendre les images le mieux superposables possible afin de comparer les changements intervenus entre les deux dates. Cette opération a été réalisée à l'aide d'un échantillon de 40 points sélectionnés avec une RMS (erreur moyenne) de 0.85.

2.3.3 CLASSIFICATION ET POST CLASSIFICATION

Dans le cadre de la présente étude nous avons procédé par une classification selon l'approche orientée objet. Celle-ci s'est faite en deux temps : segmentation et classification.

Cette approche a été choisie notamment à cause de la difficulté que présente la classification des images satellitaires des espaces très hétérogènes ou très fragmentés.

La segmentation d'images qui est un traitement préliminaire de bas niveau qui a été utilisée afin de faciliter la compréhension des images avant leur classification. Son objectif consiste à partitionner l'image, à la découper en régions connexes et homogènes selon certains critères [33], [34], [35], [36] qui concourent à sa meilleure compréhension. A la différence des méthodes de classifications basées sur une approche « pixel à pixel », la classification « orientée objet » est une méthode de classification qui consiste à regrouper des pixels sur le plan spatial suivant des caractéristiques communes (radiométrie, forme, texture) [37]. L'unité de base de la classification objet est le segment appelé « objet image ». Les opérations de segmentation et de classification ont été réalisées sous ENVI ZOOM [38], [39], [40] qui est un module de segmentation du logiciel ENVI 4.6.1 qui intègre la classification « orientée-objet » dans les outils de classification supervisée. La grande contrainte a été de trouver un niveau sur l'échelle de segmentation qui permet d'avoir des régions homogènes et significatives pour le thème à l'étude et qui reste somme toute à l'appréciation de l'opérateur.

L'évaluation de la classification à été réalisée sous ENVI avec une précision moyenne de 75% ainsi que des précisions par classe ci après (tableau 4).

Tableau 4. Précision de la classification des images utilisées

	Classe	Précision par classe	Précision moyenne
1	Eau	80 %	75 %
2	Forêt	80 %	
3	Savane boisée	70 %	
4	Savane arbustive	70 %	
5	Savane herbeuse	70 %	
6	Zone anthropisée	85 %	

2.3.4 CALCUL DES STATISTIQUES DE LA DYNAMIQUE SPATIALE

Le calcul de la dynamique spatiale a été réalisé sous le logiciel ArcGIS 9.3 en faisant l'occupation du sol du site (domaine de chasse, réserve et l'ensemble) pour l'année 2000, puis pour l'année 2015 avant de calculer l'évolution pour chacune des classes retenues.

3 RESULTATS

3.1 OCCUPATION DU SOL EN 2000 ET 2015

Pour l'ensemble de l'aire protégée, nous présentons l'occupation du sol pour les années 2000 et 2015 respectivement illustrées par les figures ci-après (figures 11 et 12). Les statistiques d'occupation du sol pour les mêmes années sont respectivement reprises dans les tableaux ci-après (tableaux 5 et 6).

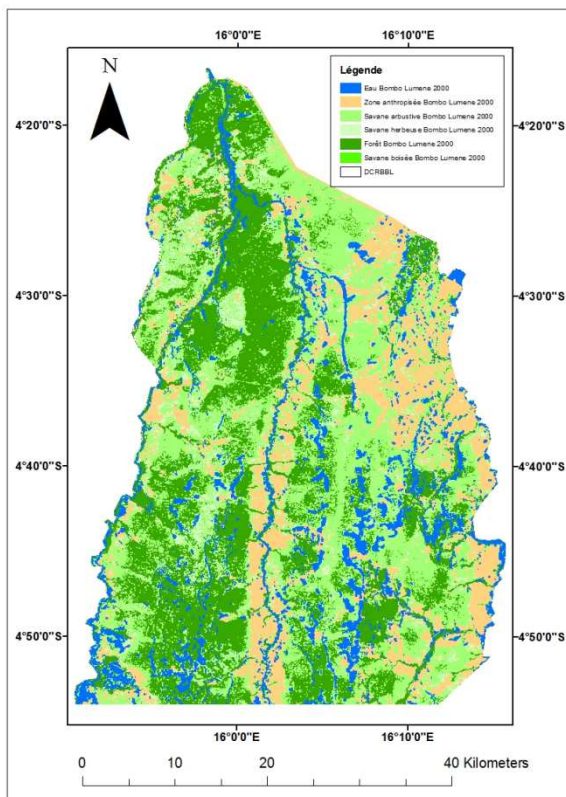


Figure 11. Occupation du sol de Bombo Lumene en 2000

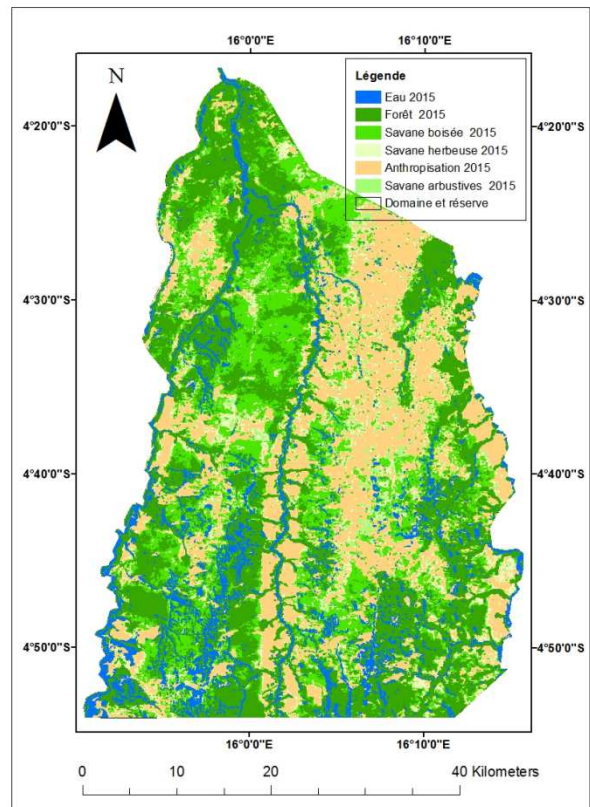


Figure 12. Occupation du sol de Bombo Lumene en 2015

Tableau 5. Statistiques d'occupation du sol du domaine de chasse et de la réserve en 2000

Occupation du sol du domaine de chasse et réserve de Bombo Lumene en 2000			
	Classes	Superficie en hectares	%
1	Eau	25 308	7,2
2	Forêts	19 501	5,7
3	Savane boisée	66 911	19,1
4	Savane arbustive	65 216	18,6
5	Savane herbeuse	123 062	35,1
6	Zone anthropisée	50 002	14,3
	Superficie totale	350 000	100,0

Tableau 6. Statistiques d'occupation du sol du domaine de chasse et de la réserve en 2015

Occupation du sol du domaine de chasse et réserve de Bombo Lumene en 2015			
	Classes	Superficie en hectares	%
1	Eau	29 712	8,5
2	Forêts	21 046	6,0
3	Savane boisée	78 546	22,4
4	Savane arbustive	35 673	10,2
5	Savane herbeuse	114 938	32,8
6	Zone anthropisée	70 085	20,0
	Superficie totale	350 000	99,9

3.1.1 STATISTIQUE DE LA DYNAMIQUE D'OCCUPATION DU SOL ENTRE 2000 ET 2015

Les statistiques de la dynamique d'occupation du sol entre 2000 et 2015 est illustrée au tableau ci après (tableau 7)

Tableau 7. Dynamique de l'occupation du sol du domaine de chasse et la réserve entre 2000 et 2015

Dynamique de l'occupation du sol du domaine de chasse et réserve de Bombo Lumene entre 2000 et 2015			
	Classes	Variation de la superficie en hectares	%
1	Eau	(+) 4 404	(+) 1,3
2	Forêts	(+) 1 545	(+) 0,3
3	Savane boisée	(+) 11 635	(+) 3,3
4	Savane arbustive	(+) 29 543	(-) 8,4
5	Savane herbeuse	(-) 8 124	(-) 2,3
6	Zone anthropisée	(+) 20 083	(+) 5,7

4 DISCUSSION ET PERSPECTIVES

Les résultats montrent une tendance à l'anthropisation du site avec une moyenne de 5,7% d'augmentation de la superficie de la zone anthropisée sur une durée de 15 ans allant de 2000 à 2015. Cela représente un taux moyen annuel d'anthropisation de 0,46%, ce qui est déjà inquiétant mais pas alarmant.

Les superficies de la savane arbustive et herbeuse ont respectivement diminuées de 8,4% et 2,3%. La grande variation de la superficie de l'eau peut trouver son explication dans le fait que le site contient des nombreuses marres saisonnières dont nous ne sommes pas encore arrivés à comprendre la périodicité et cela mérite une étude approfondie.

Quoique la tendance soit à la dégradation, elle n'est pas si alarmante et est même récupérable si des mesures d'encadrement urgentes sont prises pour stopper la menace. Ceci d'autant plus que dans un milieu naturel comme celui-là la tendance normale est à une dynamique progressive qui doit en principe permettre aux forêts de se densifier et aux savanes (boisée, arbustive et herbeuse) d'évoluer vers la forêt.

Ces résultats corroborent ceux trouvés par G Wafo Tabopda et F Huynh [41] qui, dans une étude réalisée dans la réserve forestière de Kalfou du Cameroun ont conclu que la situation se dégradait mais n'était pas dramatique et pouvait être récupérée.

Les perspectives doivent être orientées vers une meilleure compréhension des facteurs de cette anthropisation à l'échelle du site, ce qui permettra de concevoir des stratégies pour l'arrêter. Pour cela, un suivi systématique à l'aide des images multi sources optiques et RADAR moyenne, haute et très haute résolution est une piste à explorer (Sentinel 1 & 2). Il faudrait à cela coupler des enquêtes socioéconomiques, ce qui permettra de mieux comprendre les facteurs de l'anthropisation ainsi que leur mécanique opérationnelle, l'intérêt étant de produire des informations à jour devant permettre de guider l'action des gestionnaires de ce site

5 CONCLUSION

L'objectif de la présente étude a été de réaliser une cartographie d'occupation du sol entre 2000 et 2015 par l'utilisation des images satellitaires Landsat et de dégager les statistiques d'occupation du sol de ce site entre les deux dates afin d'apprécier la tendance de cette dynamique. Les résultats ont effectivement donné la tendance de la dynamique spatiale du site de Bombo Lumene entre 2000 et 2015.

RÉFÉRENCES

- [1] N Dudley, Lignes directrices pour l'application des catégories de gestion aux aires Protégées, Gland, Suisse : UICN, 116p, 2008.
- [2] Thomas, Lee, Middleton, Julie, Lignes directrices pour la planification de la gestion des aires protégées, Gland, Suisse: UICN, 81p, 2011.
- [3] F Brassard, Que conserve-t-on avec le réseau d'aires protégées au Québec ? Le naturaliste Canadien, Vol.135 n°2, La société Provencher d'Histoire naturelle du Canada, pp.12-23, 2011.
- [4] J Day, N Dudley, M. Hockings, G Holmes, D Laffoley, S Stolton et S Wells, Application des catégories de gestion aux aires protégées : lignes directrices pour les aires marines n° 19, Gland, Suisse, UICN, 36 p, 2012.
- [5] G Borrini-Feyerabend, N Dudley, T Jaeger, B Lassen, N Pathak Broome, A Phillips et T Sandwith, Gouvernance des Aires Protégées : de la compréhension à l'action, Collection des lignes directrices pour les aires protégées n°20, Gland, Suisse : UICN, 114p, 2014.
- [6] C Vermeulen et F Lanata, Le domaine de chasse de Bombo Lumene: un espace naturel en péril aux frontières de Kinshasa, Parcs et Réserves, Vol. 61, n°2, pp4-8, 2006.
- [7] T Trefon, P Assenmaker & Mutambwe Shango, Bombo-Lumene, espace protégé et menacé en périphérie de Kinshasa, étude de cas n° 4, in P. Assenmaker (Ed.) Gestion participative en Afrique Centrale, Quatre études de cas, GEPAC/ULB, pp.127-150, 2007.
- [8] UICN-PAPACO, Renforcer la conservation des aires protégées d'Afrique, Synthèse de la rencontre de Weotenga (Burkina Faso du 25 au 27 octobre 2011), 58p, 2011.
- [9] A Huart, C Tombu, A Van der Elstraeten, Voyager dans le pays des 4 trésors, EcoCongo, Entrepreneuriat - Forêt - Environnement - Société, 13 p, 2012
- [10] Khedam Radja, Contribution au développement de méthodologies de fusion/classification contextuelles d'images satellitaires multi sources : Application à la cartographie thématique du milieu urbain de la ville d'Alger, thèse de doctorat en électronique, spécialité : traitement d'images, Université des Sciences et de la Technologie Houari BOUMEDIENE, 214p, 2008.
- [11] K Hachemi, A Abdellaoui, F Grecu, A Ozer, M Visan, L'association d'images diachroniques avec un MNA pour une meilleure interprétation des changements de paysage meilleure interprétation des changements de paysage meilleure interprétation des changements de paysage dans la de Buzau (Roumanie), Revista de geomorfologie, vol.12, pp59-71, 2010.
- [12] A Dehouck, V Lafon, N Baghdadi, V Marieu, B Lubac, S Kervella, Synergie de l'imagerie satellitaire optique et radar pour la cartographie des habitats du Bassin d'Arcachon, XIIèmes Journées Nationales Génie Côtier – Génie Civil Cherbourg, 12-14 juin 2012, Editions Paralia CFL, pp577-587, 2012.
- [13] Mohamed Djide, Sofiane Labar, Fethi Medjani, Bouafia Imadeddine, Etude des changements écologiques des zones humides en milieux désertiques en utilisant l'imagerie Landsat et le SIG, article, International Journal of Environment & Water, Vol.2, issue 5, pp81-87, 2013.
- [14] A Begue, L Leroux, Lo Seen, J-P Tonneau et P Moeant, Observation spatiale pour l'agriculture en Afrique : potentiels et défis, Notes techniques n°12, CIRAD, 185p, 2016.[15] Dan-Xia Song, Chengquan Huang, Joseph O Sexton, Saurabh Channan, Min Feng, John R Townshend, Use of Landsat and Corona data for mapping forest cover change from the

- mid-1960s to 2000s: Case studies from the Eastern United States and Central Brazil, Elsevier, ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 12p, 2014
- [16] Xiao-Peng Song, Chengquan Huang, Joseph O Sexton, Saurabh Channan and John R Townshend, Annual Detection of Forest Cover Loss Using Time Series Satellite Measurements of Percent Tree Cover, remote sensing Remote, 6, pp8879-8903, 2014.
- [17] Do – Hyung Kim, Joseph O.Sexton, Praveen Noojipady, hengquan Huang, Anupam Anand, aurabh Channan, Min Feng, John R. Townshend, Global, Landsat-based forest-cover change from 1990 to 2000, Global Land Cover Facility, Department of Geographical Sciences, University of Maryland, College Park, Elsieve, 16p, 2014
- [18] M Kayumba, Etude floristique de la végétation de la formation mature du Domaine et Réserve de Bombo-Lumene (Kinshasa / RD Congo), International Journal of Innovation and Applied Studies, Vol. 11 No. 3 Jun. 2015, pp. 716-727, 2015.
- [19] F Bultot, Atlas climatique du bassin congolais. Publications de l'Institut National pour L'Etude Agronomique Du Congo. Hors Série: INÉAC, Bruxelles, 1950.
- [20] M Crabbe., Le climat de kinshasa d'après les observations centrées sur la période de 1931-1970, éd. Service de l'Administration Belge de la coopération au développement, Kinshasa, 120 p.1980.
- [21] M Leroux, 1983. Le climat de l'Afrique tropicale, tomes 1 et 2, Edition Slatkine, Genève – Paris. 633p.
- [22] H Rüdener, M Schmitz, Use of Landsat 7 ETM+ data as basic information for infrastructure planning, University of Duisburg-Essen, Dept. of Civil Engineering 45117 Essen, Germany.
- [23] National Aeronautics and Space Administration, Landsat 7 Science Data Users Handbook, 187p.
- [24] Landsat spectral bands, Landsat Thematic Mapper (TM) and Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM)+ Bands, 2p.
- [25] Eurimage Products and services, Landsat, 7p.
- [26] University of Maryland Institute for Advanced Computer Studies University of Maryland Department of Geography, Landsat Technical Guide, Global Land Cover Facility, 2p, 2004.
- [27] USGS, Landsat—A Global Land-Imaging Mission, 4p.
- [28] Department of the Interior U.S. Geological Survey, Landsat Data Continuity Mission (LDCM) Mission Data Format Control Book (DFCB), Version 6.0, 81 p, 2012.
- [29] Department of the Interior U.S. Geological Survey, Landsat Data Continuity Mission (LDCM), Level 0 Reformatted (LOR) Mission Data Format Control Book (DFCB), Version 9.0, 97 p, 2012.
- [30] M Blackett, Early Analysis of Landsat-8 Thermal Infrared Sensor Imagery of Volcanic Activity, Centre for Disaster Management and Hazards Research, Coventry University, UK, remote sensing, Vol. 6, pp2283-2295, 2014.
- [31] F Muhashy Habiyaremye, Nlandu Lukebakio et Malio Ngaliema, Habitats de la Réserve et Domaine de chasse de Bombo-Lumene (R.D. Congo Lexique Kiteke des plantes observées dans ces milieux, Publié par l'Institut royal des Sciences naturelles de Belgique (IRSNB), 124 p, 2011.
- [32] B Muyaya, C de Wasseige, JP Rudant, P Muamba, R Lumbuenamo, Utilisation d'image Landsat OLI pour la mise à jour de la cartographie du domaine de chasse et réserve de Bombo Lumene». Afrique Science, Vol.12, N°3, 2016.
- [33] M Rakoto – Ravalontsalama, Méthodes de segmentation automatique d'image, Analyse quantitative des formes, Télédétection, pp251-260,
- [34] N Goretta, J-M Roger, F Christophe, V Bellon-Maurel, G Rabatel et C Lelong, Proposition d'une stratégie de segmentation d'images hyperspectrales, traitement du signal, volume 26-numéro spécial 2 Télédétection pour la surveillance, pp161-174, 2008.
- [35] S Derrode, W Pieczynski, Segmentation d'images par modèle de mélange conjoint non gaussien, Lavoisier, Traitement du signal – N° 1, pp9-28, 2012.
- [36] PA. Arbelaez Escalante, Une approche métrique pour la segmentation d'images, thèse de doctorat, Spécialité : Mathématiques, Université Paris Dauphine, 255p, 2005.
- [37] C Meurie, Segmentation d'images couleur par classification pixellaire et hiérarchie de partitions, Thèse de doctorat, Spécialité : Informatique, Université de Caen – Basse Normandie, 200p, 2005.
- [38] S Bernabé Garcia, Técnicas eficientes para extracciion de informacion en imágenes obtenidas de forma remota : Efficient algorithms for information retrieval from remote sensing images, Tesis Doctoral, University of Iceland, 163p, 2014.
- [39] Maryam Vahabi, Computing Aggregate Quantities in Large-Scale and Dense Sensor Networks, Doctoral Program in Electrical and Computer Engineering, Universidade do Porto, 170p, 2016.[40] ITT Visual Information Solutions, ENVI Feature Extraction Module User's Guide, USA (2008), 74 p
- [41] G Wafo Tabopda et F Huynh, Caractérisation et suivi du récul des ligneux dans les aires protégées du Nord du Cameroun : Analyse par télédétection spatiale dans la réserve de Kalfou, Journées d'animation scientifique de l'Agence Universitaire Francophone d'Alger, 7p, 2009.