UNIVERSITÉ DU BURUNDI
GRENIER DU SAVOIR DU BURUNDI
Dépôt institutionnel officiel
https://repository.ub.edu.bi

Trente-trois ans de dynamique spatiale de l’ occupation du sol de la ville de Bujumbura, République du Burundi

Kabanyegeye, Henri; Et al.

2021
Afrique SCIENCE
https://repository.ub.edu.bi/handle/123456789/1640

Document téléchargé depuis le **Grenier du Savoir du Burundi** — https://repository.ub.edu.bi

Afrique SCIENCE *18(1) (2021) 203 - 215*
ISSN 1813-548X, http://www.afriquescience.net

Trente-trois ans de dynamique spatiale de l'occupation du sol de la ville de Bujumbura, République du Burundi

Henri KABANYEGEYE[1,5*], Yannick USENI SIKUZANI[2], Kouagou Raoul SAMBIENI[3], Tatien MASHARABU[4], François HAVYARIMANA[4] et Jan BOGAERT[5]

[1] Université du Burundi, Faculté des Sciences de l'Ingénieur, Centre de Recherche en Sciences Naturelles et de l'Environnement, BP 2720, Bujumbura, Burundi
[2] Université de Lubumbashi, Unité Ecologie, Restauration Ecologique et Paysage, Faculté des Sciences Agronomiques, BP 1825 Lubumbashi, République Démocratique du Congo (RDC)
[3] Université de Kinshasa, Ecole Régionale Post-Universitaire d'Aménagement et Gestion Intégrés des Forêts et Territoires Tropicaux (ERAIFT), BP 15 373 Kinshasa, République Démocratique du Congo
[4] Université du Burundi, Faculté des Sciences, Centre de Recherche en Sciences Naturelles et de l'Environnement, BP 2720, Bujumbura, Burundi
[5] Université de Liège, Gembloux Agro Bio Tech, Passage des Déportés, 2 B-5030 Gembloux, Belgique

* Correspondance, courriel : *henri.kabanyegeye@ub.edu.bi*

Résumé

Cette étude a pour objectif d'analyser la dynamique spatio-temporelle du phénomène d'urbanisation de la ville de Bujumbura. Nous avons effectué cette analyse, à partir de six images Landsat acquises entre 1986 et 2019, par l'approche cartographique couplée aux outils de l'écologie du paysage. Les résultats révèlent qu'au cours des trois dernières décennies, la proportion de la superficie du bâti a quadruplé au détriment notamment de la végétation dont la proportion est réduite de moitié. La dynamique paysagère observée résulte d'une anthropisation illustrée par la dissection de la végétation, par opposition à la création des taches du bâti. Le sol nu a connu une relative stabilité dans le paysage étudié. Ces transformations spatiales du paysage urbain de Bujumbura compromettent la durabilité des services écosystémiques fournis par les espaces verts.

Mots-clés : *urbanisation, paysage urbain, végétation, étalement urbain, Burundi.*

Abstract

Thirty-three years of land cover spatial dynamics in the city of Bujumbura, Republic of Burundi

The aim of this study is to analyze the spatio-temporal dynamics of the urbanization phenomenon in the city of Bujumbura. We conducted this analysis based on six Landsat images acquired between 1986 and 2019 by the cartographic approach coupled with landscape ecology tools. The results reveal that over the last three decades, the proportion of built area has quadrupled, to the detriment in particular of vegetation, the proportion of which is reduced by half. The observed landscape dynamics is the result of anthropization illustrated by the dissection of vegetation, as opposed to the creation of built patches. The bare soil was relatively stable in the studied landscape. These spatial transformations of Bujumbura urban landscape compromise the sustainability of the ecosystem services provided by green spaces.

Keywords : *urbanization, urban landscape, vegetation, urban sprawl, Burundi.*

1. Introduction

L'urbanisation est un phénomène d'anthropisation des paysages indéniable à l'heure actuelle [1]. La population urbaine mondiale est passée de 30 % en 1950 à 55 % en 2018 et avoisinera près de 70 % d'ici 2050 d'après les statistiques des Nations Unies [2]. Toutefois, le processus d'urbanisation ralenti dans les pays développés [3], se produit actuellement à grande vitesse dans les pays en développement [4], notamment suite aux effets conjugués de l'accroissement naturel et de l'exode rural. Dans ce contexte, le développement durable dépendra, entre autres, de la gestion réussie de la croissance spatiale urbaine, en particulier dans les pays à faible revenu où l'urbanisation la plus rapide est attendue d'ici 2050, comme notamment ceux d'Afrique subsaharienne [2]. La population urbaine de cette région devrait passer de 200 millions d'individus en 2000 à un milliard en 2050, ce qui augmentera l'emprise des villes de cette région sur les paysages dont elles font partie à travers le processus de dédensification [5]. L'expansion spatiale de la ville de Kampala en Ouganda où les surfaces urbanisées ont quintuplé en passant de 71 km² en 1989 à 386 km² en 2010 [6] en est un exemple frappant. Il est à noter que les populations vivant dans les villes d'Afrique subsaharienne cherchent à assurer leur logement dans un contexte économique peu favorable, en se souciant peu de la préservation de la végétation, notamment dans les zones périurbaines [7], en dépit de son importance pour le bois de feu, la construction, les pâtures et autres [8]. Ainsi, dans la plupart des cas, les changements rapides de l'occupation du sol dans les villes d'Afrique Subsaharienne constituent une manifestation de l'absence de planification qui prévaut depuis les années 1950 [6]. La croissance spatiale urbaine non planifiée mène en général à la formation de ghettos sociaux, au renforcement des inégalités sociales, à la dégradation visuelle des paysages, à des conflits d'intérêts dus à la multiplication des acteurs y vivant ou y pratiquant une activité [1]. Ce processus mène aussi à la détérioration de la qualité de l'environnement urbain notamment à travers la suppression de la couverture végétale originelle [7, 9]. Or, les éléments et formations végétales en milieux urbanisés (arbres urbains, ceintures vertes et autres forêts périurbaines) deviennent de plus en plus importants pour le développement durable [6]. La ville de Bujumbura, où les différents acteurs, faute d'outils pratiques et de formations, peinent à appliquer le plan directeur d'urbanisme pour l'horizon 2045, n'échappe pas à cette tendance. En effet, à raison d'une forte demande en logements, la croissance spatiale de la ville est marquée par la densification des quartiers centraux existants et des lotissements qui sont à l'origine de la création de nouveaux quartiers en périphérie de la ville [10]. Sa population est passée de 497 166 habitants en 2008 à 743514 habitants en 2020 [11] sur une superficie de la ville estimée à 0,3 km² en 1907 [12] et qui ne cesse de s'étendre. Cette évolution disproportionnée entre la croissance de la population et la surface urbanisée est à l'origine des conséquences écologiques considérables dont les plus perceptibles sont la disparition des espaces verts emblématiques de la ville. Pour permettre une planification de l'aménagement urbain adaptée au contexte local, la quantification des changements spatiaux des milieux urbanisés s'avère nécessaire [13]. Une telle analyse est utile pour l'évaluation de la dynamique des paysages et ses conséquences sur les processus écologiques [6, 14]. La présente étude a pour objectif l'analyse de la dynamique spatiale de l'occupation du sol de la ville de Bujumbura de 1986 à 2019. Elle se base sur l'hypothèse selon laquelle la dynamique du paysage de Bujumbura est caractérisée par une régression importante de la végétation.

2. Matériel et méthodes

2-1. Milieu d'étude

La ville de Bujumbura a été créée en 1897 au bord du Lac Tanganyika par les Allemands sur un site dénommé Kajaga. Elle est située à l'Ouest de la République du Burundi entre 3° 30' et 3° 51' de latitude Sud et 29°31' et 29° 42' de longitude Est. Avec une superficie estimée à 10 462 hectares (d'après la nouvelle délimitation), elle est subdivisée en trois communes (Muha, Mukaza et Ntahangwa) qui s'étendent sur 13 entités administratives érigées en zones urbaines : Buterere, Buyenzi, Bwiza, Cibitoke, Gihosha, Kamenge,

Kanyosha, Kinama, Kinindo, Musaga, Ngagara, Nyakabiga et Rohero ***(Figure 1)***. Son climat est caractérisé par deux saisons (la saison sèche et la saison des pluies) ayant chacune deux variantes : la grande saison sèche (de juin à mi-septembre), la petite saison sèche (de mi-décembre à mi-février), la grande saison des pluies (de mi-février à mai) et la petite saison des pluies (de mi-septembre à décembre). La ville de Bujumbura enregistre des précipitations moyennes annuelles allant de 800 à 1000 mm tandis que la température moyenne annuelle est supérieure à 23°C [15]. Le relief est caractérisé par une plaine qui se relève d'Ouest en Est, avec une altitude moyenne de 820 mètres. La ville est dominée par des sols argileux dans sa partie nord tandis que les sols sableux sont répandus dans sa partie sud. La partie non construite de la ville de Bujumbura est couverte des champs, des jachères et de la végétation naturelle résiduelle [16]. Les activités socio-économiques réalisées dans la ville de Bujumbura sont la pêche, l'industrie, les services administratifs et l'agriculture urbaine.

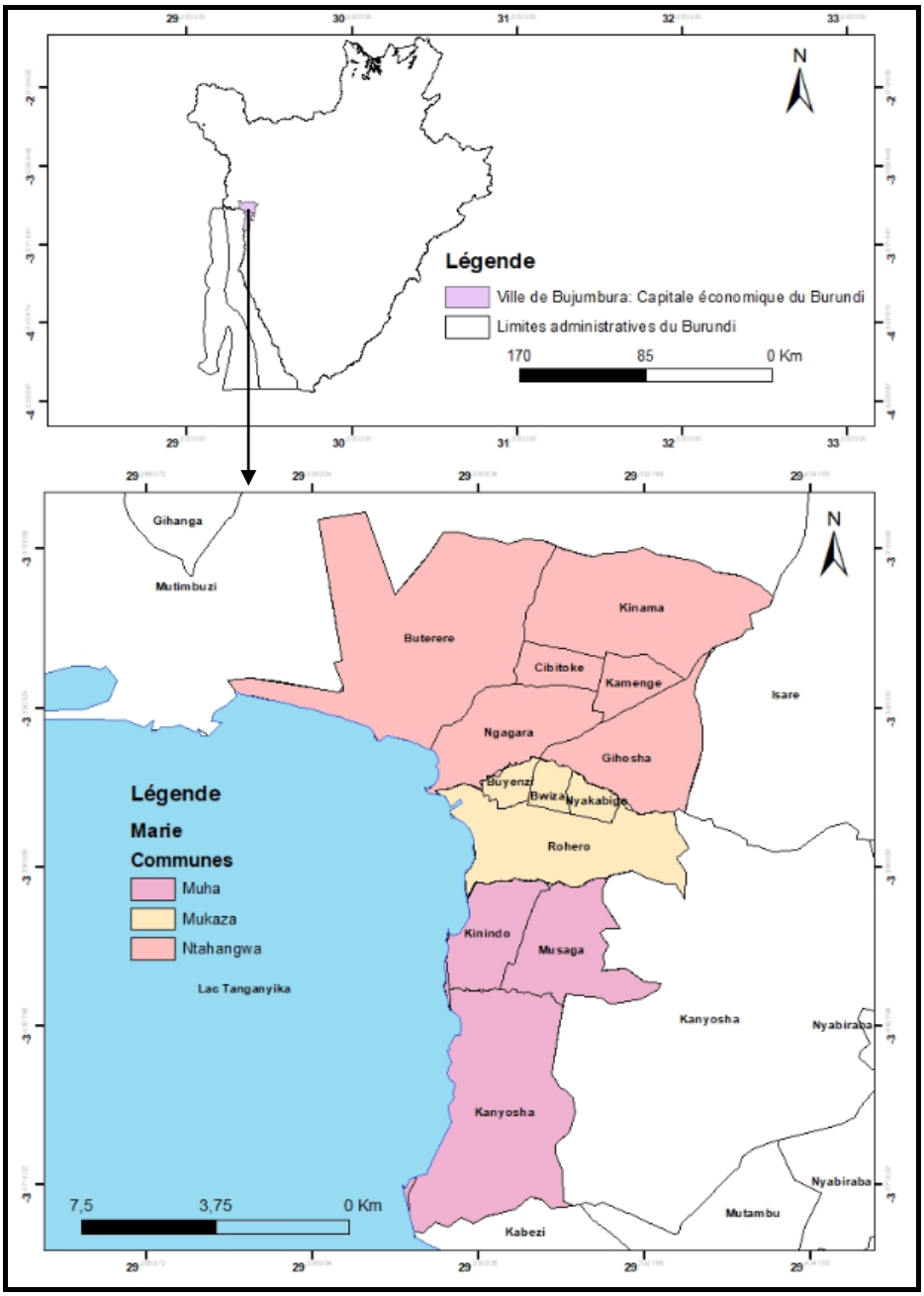


Figure 1 : *Localisation et subdivision administrative de la ville de Bujumbura*

2-2. Choix des données

La zone d'étude de 14510 ha, couvrant l'entièreté de la ville de Bujumbura, a été isolée sur six images Landsat de 30 m de résolution. Ces images, issues des capteurs Thematic Mapper (TM), Enhanced Thematic Mapper (ETM) et Operational Land Imager (OLI), ont été téléchargées sur le site Earth Explorer (https://earthexplorer.usgs.gov). Les images Landsat issues des capteurs TM datent du 03/07/1986 et du 30/07/1996 ; celle issue du capteur ETM date du 02/06/2001 et celles du capteur OLI datent du 19/07/2015 et du 16/09/2019. Il est à noter que toutes ces images ont été acquises entre mai et septembre, période qui correspond à la saison sèche et au cours de laquelle la couverture nuageuse est faible [17]. Les événements nationaux et internationaux relatifs au foncier et à l'habitat ont guidé le choix des images, notamment la promulgation du premier code foncier au Burundi (1986), la tenue de la deuxième Conférence des Nations Unies sur les établissements humains (1996), l'inventaire des terres domaniales libres et habitables (2001), le lancement du processus de réforme du code foncier burundais (2008) et la crise politique (2015). Les logiciels ENVI 4.5 et ArcGis 10.0 ont été utilisés respectivement pour la classification des images et la production des cartes thématiques.

2-3. Prétraitement des images et classifications

Le prétraitement des images Landsat a été réalisé afin d'augmenter l'apparence des données, facilitant ainsi une meilleure extraction et une interprétation de l'information. Premièrement, les images Landsat utilisées ont été géoréférencées dans le référentiel UTM Zone 36S en utilisant l'image Landsat de 2019 comme référence et 30 points de contrôle de terrain. La précision géométrique du calage entre l'image Landsat de 2019 et les images antérieures était inférieure à 1 pixel, le minimum requis pour une analyse des changements de l'occupation du sol [18]. Par la suite, une correction radiométrique, appuyée sur des invariants radiométriques, a été réalisée grâce à l'approche de régression linéaire [19]. Pour cette raison, des points de repère radiométriques, caractérisés par une réflectance invariante, ont été identifiés sur les images Landsat utilisées [20]. Une composition colorée fausse couleur a été effectuée en associant les bandes proche infrarouge, rouge et vert, les deux premiers canaux étant plus employés pour discriminer au mieux la végétation [20]. Ensuite, une classification non supervisée a permis de regrouper les occupations du sol en neuf classes. Il est à noter que ce nombre élevé de classes d'occupation du sol offrait la possibilité de fusionner ultérieurement des classes radiométriquement similaires. Ainsi, sur la base des connaissances *in situ*, acquises lors des visites sur le terrain au mois de juillet 2019, d'anciennes cartes de l'occupation du sol et des images Google Earth, un regroupement des classes de l'occupation du sol a été réalisé à travers une classification supervisée appuyée sur l'algorithme du maximum de vraisemblance. Cet algorithme repose sur les statistiques des zones d'entrainement, en calculant la probabilité d'appartenance d'un pixel à une classe donnée afin de l'affecter à l'occupation du sol la plus probable [21, 22]. Ainsi, quatre classes pertinentes de l'occupation du sol ont été retenues en fonction de l'objectif de l'étude : le bâti (les maisons, les routes, la piste de l'aéroport), les sols nus (terrains nus), l'eau (les plans d'eau, les stations d'épuration et de décantation) et la végétation (les espaces verts, les champs, les galeries arbustives et les plantations (péri)urbaines). La validation des classifications a été réalisée à partir de la précision globale et du coefficient de Kappa [22] issus de six matrices de confusion. Les valeurs de Kappa inférieures à 50 %, comprises entre 50 - 75 % et supérieures à 75 %, indiquent respectivement une classification médiocre, acceptable et excellente [23]. Pour chaque occupation du sol, au moins 30 points ont été utilisés pour cette évaluation.

2-4. Mise en évidence de la dynamique de la structure spatiale

Trois indices de structure spatiale ont été calculés afin d'étudier les rapports entre la structure spatiale du paysage et les processus écologiques en termes quantifiables. Il s'agit de l'aire totale des taches (a_t), du

nombre de taches (n) et de l'indice de dominance (D) défini comme le rapport entre l'aire de la plus grande tache de la classe d'occupation du sol et l'aire totale de la même classe. Ces indices renseignent sur la fragmentation du paysage entre deux dates [23]. Cinq matrices de transition ont été créées afin de quantifier la dynamique de conversion entre les classes d'occupation du sol sur les périodes considérées dans l'étude. La matrice de transition, obtenue par superposition des cartes d'occupation du sol, renseigne, d'une part la conversion entre occupations du sol (proportions en ligne et en colonne) et la stabilité des classes d'occupation du sol (diagonale) [23] d'autre part. Les processus de transformation spatiale qui sous-tendent les dynamiques spatiales observées [7, 9] ont été identifiés grâce à un arbre de décision basé sur trois paramètres, à savoir le nombre de taches, l'aire et le périmètre des classes [20, 24]. La valeur prédéfinie de la proportion de diminution d'aire ($t = 0,5$) [24] a été utilisée pour distinguer le processus de fragmentation de la dissection avec des valeurs supérieures à 0,5 indiquant que le paysage a subi le processus de dissection tandis que celles inférieures ou égales à 0,5 indiquent la prévalence du processus de fragmentation [20].

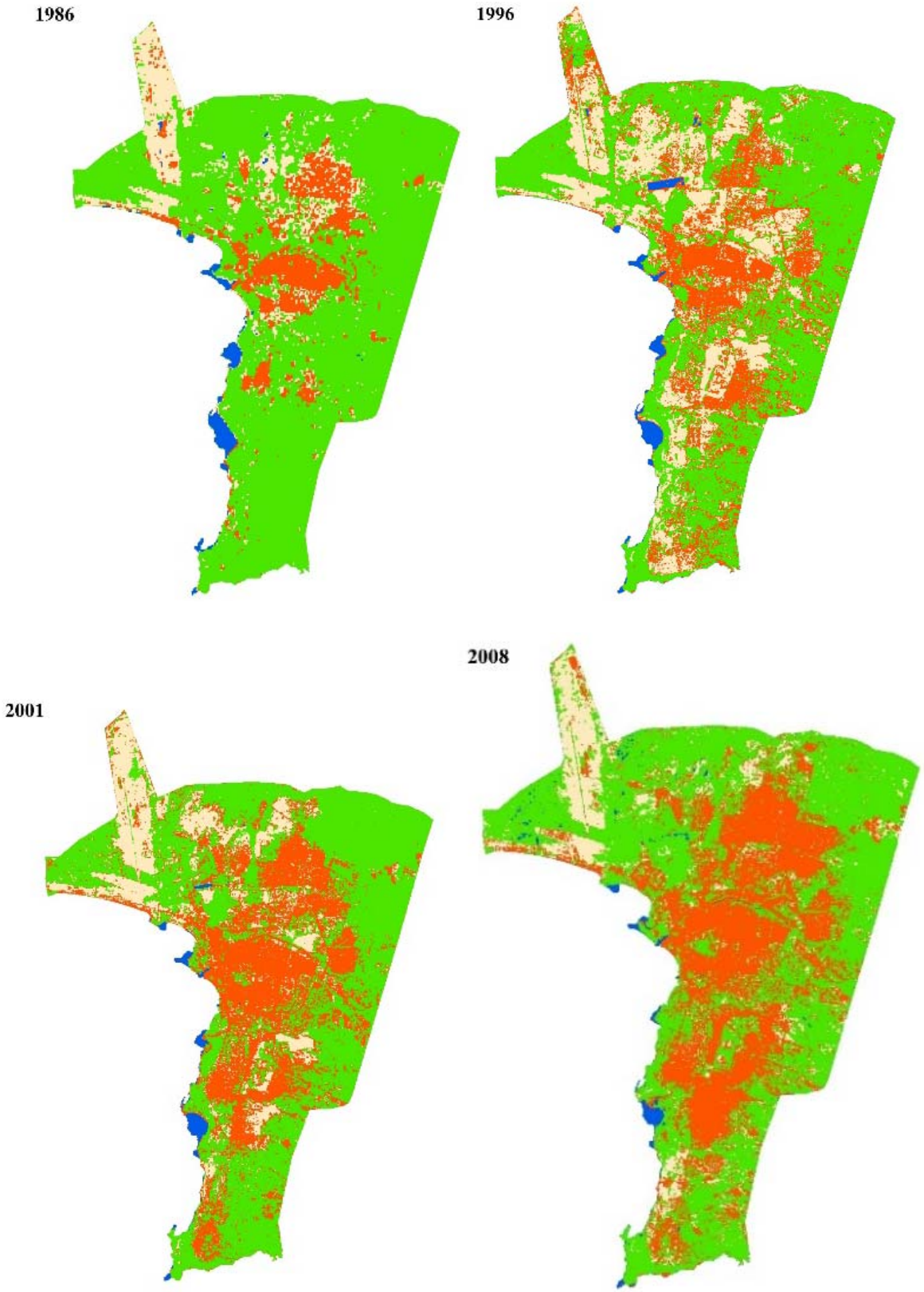
3. Résultats

3-1. Classifications et cartographie

Les résultats issus de l'analyse de la qualité des classifications supervisées réalisées révèlent que, pour chacune des images, les valeurs de la précision globale et du coefficient de Kappa se rangent respectivement entre 88,1 % et 97,1 % ainsi que 81,0 % et 95,0 % ***(Tableau 1)***; ce qui indique une discrimination statistiquement fiable entre les différentes classes d'occupation du sol. L'analyse visuelle des cartes obtenues ***(Figure 2)*** montre que le bâti et le sol nu sont caractérisés par une dynamique progressive au détriment de la végétation. La classe « eau » a été exclue du reste des résultats au regard de sa relative stabilité dans le paysage urbain de Bujumbura.

Tableau 1 : *Précisions des classifications supervisées des images Landsat de 1986, 1996, 2001, 2008, 2015 et 2019 appuyées sur l'algorithme de maximum de vraisemblance*

Indices	1986	1996	2001	2008	2015	2019
Précision globale (%)	97,1	90,9	95,6	97,4	91,5	88,1
Kappa (%)	95,2	86,7	93,3	96,3	86,8	81,4


1986
1996
2001
2008

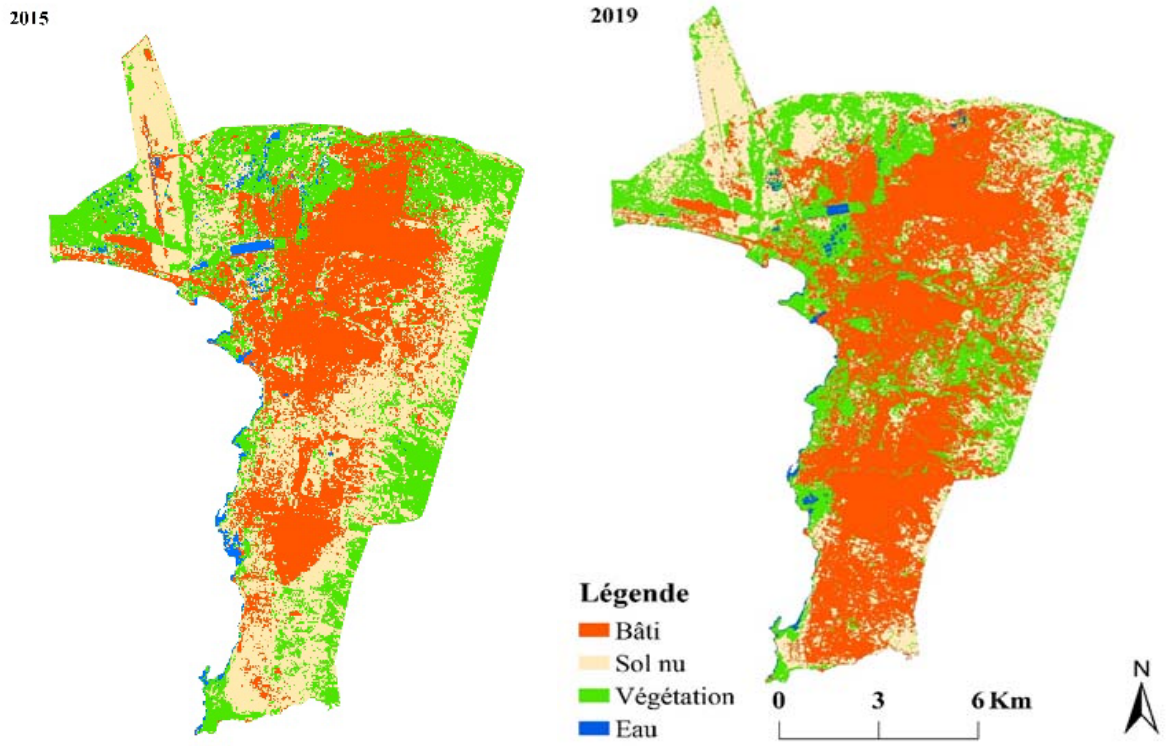


Figure 2 : *Cartes de l'occupation du sol de la ville de Bujumbura issues des classifications supervisées des images Landsat de 1986 à 2019 appuyées sur l'algorithme du maximum de vraisemblance*

3-2. Dynamique de composition

Durant la période étudiée (1986-2019), le paysage a été dominé par une transition matérialisée par le remplacement de la végétation, matrice du paysage en 1986, par les surfaces bâties qui ont constitué la nouvelle matrice du paysage en 2019 ***(Tableau 2)***. La période de 1986 à 1996 est caractérisée par la conversion de 12,9 % et de 14,1 % de la végétation, respectivement vers le bâti et le sol nu. Entre 1996 et 2001, 6,1 % du bâti ont évolué vers la végétation. Sur la même période, les sols nus sont convertis en bâti à 8,3 % et en surfaces végétalisées à 5,6 %. Au même moment, le bâti s'est étendu au dépend de la végétation à 8,1 %. La période de 2001 à 2008 est marquée par les changements des surfaces végétalisées qui ont d'un côté augmenté de 6,8 % au dépend du bâti et de l'autre côté ont diminué de 7,2 % en faveur du sol nu. La période de 2008 à 2015 est plutôt marquée par la conversion de 9,0 % du bâti et de 20 % des surfaces végétalisées en sol nu. Par contre, entre 2015 et 2019, les surfaces de sol nu ont diminué de 14,1 % en faveur du bâti et de 14,3 % pour devenir des surfaces végétalisées. Il ressort de ce qui précède qu'entre 1986 et 2019, les changements de l'occupation de sol de la ville de Bujumbura sont caractérisés par une diminution des surfaces végétales parallèlement à une augmentation de la surface du bâti et une séquence de progression/régression de la surface de sol nu.

Tableau 2 : *Matrice de transition décrivant les changements d'occupation du sol dans la ville de Bujumbura. Les totaux des lignes et des colonnes font référence respectivement aux classes d'occupation du sol pour la première et la deuxième année d'étude. Les valeurs en gras représentent la fraction de l'empreinte urbaine qui n'a pas été transformée entre les deux années considérées. Les autres valeurs de la matrice renseignent sur le changement de l'occupation du sol. Les totaux ne correspondent pas à 100 % car la classe eau a été exclue des analyses*

		Année 1996			
	Classe	**Bâti**	**Sol nu**	**Végétation**	**Total**
Année 1986	Bâti	7,2	2,7	1,9	11,8
	Sol nu	3,3	5,8	3,0	12,1
	Végétation	12,9	14,1	46,7	73,7
	Total	23,4	22,6	51,6	
		Année 2001			
Année 1996	Bâti	15,5	2,0	6,1	23,6
	Sol nu	8,3	8,8	5,6	22,7
	Végétation	8,1	3,4	40,4	51,9
	Total	31,9	14,2	52,1	
		Année 2008			
Année 2001	Bâti	23,3	1,8	6,8	31,9
	Sol nu	4,3	6,2	3,8	14,3
	Végétation	7,2	2,8	42,2	52,2
	Total	34,8	10,8	52,8	
		Année 2015			
Année 2008	Bâti	24,4	9,0	1,3	34,7
	Sol nu	2,6	6,9	1,3	10,8
	Végétation	7,3	20,0	24,3	51,6
	Total	34,3	35,9	26,9	
		Année 2019			
Année 2015	Bâti	29,9	2,1	2,0	34,0
	Sol nu	14,1	6,8	14,3	35,2
	Végétation	4,5	3,5	19,0	27,0
	Total	48,5	12,4	35,3	

3-3. Dynamique structurale

Entre 1986 et 1996, il a été enregistré une création de taches de bâti et de sol nu suite à l'augmentation du nombre de taches et de leur aire totale. Le processus de transformation spatiale caractéristique de la végétation a été la dissection des taches d'autant plus que la diminution de l'aire totale est accompagnée de l'augmentation du nombre de taches, avec une valeur de t supérieure à 0,5. Sur la période de 1996 à 2001, l'agrégation des taches a été le processus de transformation spatiale caractéristique du bâti et de la végétation car l'augmentation de leur aire totale résulte de la diminution du nombre des taches. La suppression a été le processus caractéristique du sol nu car il est noté une diminution simultanée de l'aire totale et du nombre des taches. Entre 2001 et 2008, le bâti et la végétation ont connu la création de taches suite à l'augmentation du nombre de taches et de leur aire totale. Le processus de transformation spatiale caractéristique du sol nu a été la dissection car la diminution de l'aire totale de taches est accompagnée de l'augmentation du nombre de taches. La période de 2008 à 2015 a été caractérisée par l'agrégation des taches de sol nu. En effet ; la diminution du nombre de taches de sol nu est suivie par l'augmentation de leur aire totale. Inversement, la dissection a été le processus de transformation spatiale caractéristique de la végétation suite à une diminution de l'aire totale parallèlement à l'augmentation du nombre des taches

(t > 0,5). De manière surprenante, la suppression a été le processus de transformation spatiale caractéristique de bâti suite à la diminution simultanée de l'aire totale et du nombre des taches. Enfin, sur la période de 2015 à 2019, les taches de bâti et de végétation ont enregistré la création comme processus de transformation spatiale dominant suite à l'augmentation simultanée de l'aire totale et du nombre des taches tandis que la tendance inverse a été observée pour le sol nu à travers le processus de suppression des taches. Entre 1986 et 2019, les valeurs de la dominance de la végétation et du sol nu ont baissé ; ce qui démontre leur disparition progressive, conséquence d'une influence anthropique et aussi d'une suppression de certaines taches fragmentées. Inversement, les valeurs de dominance, faibles en 1986 pour le bâti, ont augmenté de façon remarquable en 2019 indiquant une tendance à la densification du bâti à certains endroits.

Tableau 3 : *Valeurs des paramètres permettant l'identification des processus de transformation spatiale qui sous-tendent les changements observés sur la base de l'arbre de décision utilisé*

	Bâti	Sol nu	Végétation
1986			
n	278	503	12
a_t	1725,0	1769,0	10771,0
D	37,0	35,0	99,8
1996			
n	2736	1800	1102
a_t	3436,0	3291,0	7524,0
D	39,0	19,0	88,0
2001			
n	1445	1564	867
a_t	4668,0	2073,0	7611,0
D	83,0	38,0	81,0
2008			
n	1458	2166	903
a_t	5045,0	1580,0	7698,0
D	77,0	37,0	82,0
2015			
n	1085	1791	1319
a_t	4984,0	5234,0	3976,0
D	64,0	60,5	80,8
2019			
n	1159	1649	1547
a_t	7059,0	1833,0	5252,0
D	91,0	32,6	38,5

n : nombre de taches, a_t : aire totale (ha). Ces données sont issues de l'analyse des images Landsat de 1986 à 2019 de la ville de Bujumbura.

Tableau 4 : *Processus de transformation spatiale observé après application de la typologie de l'arbre de décision utilisé pour chacune des classes d'occupation du sol de 1986 à 2019 dans la ville de Bujumbura*

Occupation du sol	1986 - 1996	1996 - 2001	2001 - 2008	2008 - 2015	2015 - 2019
Bâti	Création	Agrégation	Création	Suppression	Création
Sol nu	Création	Agrégation	Dissection	Agrégation	Suppression
Végétation	Dissection	Suppression	Création	Dissection	Création

4. Discussion

4-1. Approche méthodologique

Les images Landsat, bien que peu adaptées pour des études des paysages urbanisés où la surface d'un pixel unique peut couvrir différentes occupations du sol, ont permis de répondre à l'objectif fixé par cette étude grâce au regroupement des classes de l'occupation du sol. Il est à noter que ces images sont largement utilisées pour cartographier et quantifier la dynamique spatio-temporelle de quelques paysages urbains d'Afrique subsaharienne [25]. Aucune approche de classification des images satellitaires ne se suffit si elle n'est pas appuyée sur la connaissance de la réalité des observations du terrain, qui contribue par ailleurs à atténuer le degré de confusion entre pixels rapprochés thématiquement [26]. Grâce aux missions de terrain, des valeurs de Kappa comprises dans la gamme des classifications excellentes [26] sont notées dans la présente étude. Par ailleurs, à l'échelle des paysages, l'anthropisation est souvent marquée par des changements dans la structure spatiale [24] dont la quantification nécessite le calcul des indices de structure spatiale. Les indices retenus dans cette étude, le nombre et l'aire des taches sont considérés comme compromis idéal dans la caractérisation de la configuration des paysages [26]. Dans le cadre de cette étude, peu d'indices ont été utilisés car la plupart était fortement corrélés [23].

4-2. Dynamique paysagère au sein de la zone urbaine et périurbaine de Bujumbura

L'urbanisation de la ville de Bujumbura a entraîné la conversion des terres agricoles au profit des constructions des nouveaux quartiers [10]. Cela est une conséquence directe des migrations et de la guerre civile qu'a connues le pays depuis 1993 sans ignorer l'accroissement naturel de la démographie. En effet, la rareté et l'infertilité des terres agricoles dans un contexte de démographie galopante ont poussé la population qualifiée de jeunes adultes à migrer en ville à la recherche d'un lendemain supposé meilleur [11, 28]. Cette croissance urbaine due à l'exode rural a été décrite comme élevée dans les pays où la proportion de la population rurale dépasse 50 % [28] comme c'est le cas au Burundi où elle est de près de 87 % [2]. En outre, la guerre civile que le pays a connue depuis 1993 a contribué drastiquement à l'urbanisation de la ville de Bujumbura comme cela a été noté au Mozambique [30] et au Soudan [31]. En effet, pendant qu'il y avait des destructions massives des habitations dues à la guerre, certaines constructions destinées à accueillir les réfugiés à la recherche d'un abri sûr ont été érigées. Inversement, dans les quartiers détruits, les espaces antérieurement occupées par le bâti ont été colonisés par la végétation. Depuis les années 2001, en plus des quartiers informels, des lotissements ont été planifiés et de nouveaux quartiers créés [10] ; ce qui explique l'évolution croissante du bâti. Au cours de la même période, il a été noté une occupation des sols nus par le bâti étant donné qu'ils constituent des terrains faciles à aménager [29]. Par ailleurs, il est noté une évolution séquentielle entre les sols nus et la végétation. D'une part, les lotissements des nouveaux quartiers contribuent à la conversion de la végétation en sol nu. D'autre part, quand les permis de construire tardent à être délivrés, ces sols nus sont colonisés par des espèces exotiques invasives dans la plupart des cas [16]. La réduction des terres agricoles

due à l'urbanisation de la ville de Bujumbura a eu comme résultante directe la disparition totale de l'agriculture urbaine dans un contexte de recherche constante de l'espace pour le logement et les infrastructures socio-économique de base. Cette situation a contribué à l'insécurité alimentaire à Bujumbura, à la suppression des emplois dans le secteur rizicole et cotonnier ainsi que l'accentuation des inondations des quartiers Nord et Sud de la ville. Au niveau africain, l'exemple de Freetown où, en réponse à une croissance démographique rapide, environ 882 ha des terres agricoles en 1986 ont été convertis en résidences en 2000, en particulier dans la zone périurbaine, reste le plus frappant [32]. Par ailleurs, la nature dysfonctionnelle des règlements d'urbanisme, liée à la nature obsolète de ces derniers est un facteur à la base de la régression et de la dégradation de la végétation dans les villes africaines [33]. Au Burundi, la période 2000-2015 a été marquée par une urbanisation dépourvue d'outils de planification et de gestion urbaine et les documents qui existaient étaient tombés en désuétude. Ainsi, durant cette période, le développement urbain s'est réalisé à travers un pilotage à vue, avec parfois des conséquences néfastes sur l'extension des villes. Cette situation a entraîné la disparition des champs de cultures, de certains espaces verts et des pâturages des hippopotames le long du littoral du lac Tanganyika. Dans le contexte de Bujumbura, les espaces verts sont remplacés par des bâtiments administratifs ou commerciaux compromettant ainsi leur espoir de régénération. La régression des espaces verts consécutive à la croissance spatiale urbaine rapide et peu contrôlée a été également notée à Lubumbashi en RDC [7], à Abuja au Nigeria [34] et au centre-Togo [35]. Pourtant, la présence de la végétation en milieux urbanisés est une source non négligeable de divers services écosystémiques tels que la purification de l'air et de l'eau, la régulation du microclimat ou le traitement des déchets, etc. [33].

5. Conclusion

La présente étude a mis en évidence la dynamique paysagère du phénomène d'urbanisation de la ville de Bujumbura. Les résultats ont révélé une diminution de la surface de la végétation parallèlement à une augmentation de la surface du bâti et une séquence de progression/régression de la surface de sol nu. En 33 ans (entre 1986 et 2019), les valeurs de dominance, faibles en 1986 pour le bâti, ont augmenté de façon remarquable en 2019 indiquant une tendance à la densification du bâti. Sur la même période, les valeurs d'aire totale de la végétation ont chuté, suivie d'une augmentation du nombre de taches, confirmant ainsi l'existence de la dissection comme processus de transformation spatiale dominant. En raison des facilités d'aménagement, le sol nu est apparu comme pourvoyeur d'espace pour le bâti et est parfois colonisé par la végétation lorsque les terrains trainent à être construits. Nos résultats mettent en évidence la nécessité de la prise en compte de la conservation de la biodiversité dans le processus de développement urbain, dans une zone où les populations dépendent fortement des ressources végétales.

Remerciements

Nous remercions l'ARES-CCD (programme PSRCI-UB) pour son appui financier, l'Université du Burundi et l'Université de Liège au sein desquelles cette étude a été menée.

Références

[1] - M. ANDRE, G. MAHY, P. LEJEUNE et J BOGAERT, Vers une synthèse de la conception et une définition des zones dans le gradient urbain-rural, *Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement*, 18 (1) (2014) 61 - 74

[2] - UNITED NATIONS, Department of Economic and Social Affairs, Population Division (UNDESA), World Urbanization Prospects : The 2018 Revision, (2018)

[3] - S. O. TURAN, A. I. KADIO ULLARI and A. GUNLU, Spatial and temporal dynamics of land use pattern response to urbanization in Kastumonou, *African Journal of Biotechnology*, 9 (5) (2010) 640 - 647

[4] - A. ATTOUMANI, R. VICTOR, C. RANDRIAMAMPANDRY et R. ANDRIANIRINA, La croissance de la ville d'Antananarivo et ses conséquences, *Madamines*, Vol. 1, (2019) 25 p.

[5] - S. ANGEL, J. PARENT, D. L. CIVCO and A. M. BLEI, *Making room for a small planet of cities.Cambridge,* MA, USA, Lincoln Institute of Land Policy, (2011) 77 p.

[6] - K. VERMEIREN, A. VAN ROMPAERY, M. LOOPMANS, E. SERWAJJA and P MUKWAYA, Urban growth of Kampala, Uganda : pattern analysis and scenario development, *Landscape and Urban Planning*, 106 (2012) 199 - 206

[7] - S. Y. USENI, K. S. CABALA, K. C. NKUKU, M. Y. AMISI, F. MALAISSE, J. BOGAERT et K. F MUNYEMBA, Vingt-cinq ans de monitoring de la dynamique spatiale des espaces verts en réponse à l'urbanisation dans les communes de la ville de Lubumbashi (Haut-Katanga, RDC), *Tropicultura*, 35 (4) (2017) 300 - 311

[8] - K. R. SAMBIENI, M. A. BILOSO, R. OCCHIUTO, J BOGAERT et B. DOSSOU, La végétation arborée domestique dans le paysage urbain et périurbain de la ville de Kinshasa, République Démocratique du Congo, *Afrique Science: Revue Internationale des Sciences et Technologie*, 14 (2) (2018) 197 - 208

[9] - J. BOGAERT, I. BAMBA, K. J. KOFFI, C. DE CANNIÈRE, M. VISSER and S. SIBOMANA, Fragmentation of forest landscapes in Central Africa: causes, consequences and management, in "*Patterns and processes in forest landscapes*", Springer, Dordrecht, (2008) 67 - 87

[10] - O. TOYI, Crises de la démocratisation et politiques publiques urbaines de l'habitat dans la ville de Bujumbura de 1962 à 2009, Thèse de doctorat, Université de Pau et des Pays de l'Adour (France), (2012) 430 p.

[11] - REPUBLIQUE DU BURUNDI, Institut de statistiques et d'études économiques du Burundi, Projections démographiques 2010-2050 niveau national et provincial, ProService des Etudes et Statistiques Démographiques, Bujumbura, (2017) 181 p.

[12] - PFNPRGC/BURUNDI, Evaluation rapide conjointe suite à la catastrophe des 9-10 février 2014 aux alentours de Bujumbura, Bujumbura, (2014) 94 p.

[13] - A. M. SENE, L'étalement urbain au détriment des espaces agricoles périurbains à Bignona (Sénégal), *Espace Géographique et Société Marocaine*, (2018) 23

[14] - S. Y. USENI, K. R. SAMBIÉNI, J. MARÉCHAL, E. ILUNGA WA ILUNGA, F. MALAISSE, J. BOGAERT, and K. F. MUNYEMBA, Changes in the Spatial Pattern and Ecological Functionalities of Green Spaces in Lubumbashi (the Democratic Republic of Congo) in Relation with the Degree of Urbanization, *Tropical Conservation Science*, 11 (2018) 1 - 17

[15] - REPUBLIQUE DU BURUNDI, Ministère de l'Aménagement du territoire, du Tourisme et de l'Environnement, Plan National d'Adaptation aux changements climatiques (PANA), Bujumbura, (2007) 88 p.

[16] - J. BIGIRIMANA, Urban plant diversity patterns, processes and conservation value in Sub-Saharan Africa : case of Bujumbura in Burundi, Thèse de doctorat, Université Libre de Bruxelles (Belgique), (2012) 197 p.

[17] - M. SALMON, A. OZER et A. PISSART, Les images satellitaires prises en période de sécheresse, outil utile pour la cartographie géologique de la Belgique, *Bulletin de la Société géographique de Liège*, 49 (2007) 67 - 74

[18] - J. F MAS, Une revue des méthodes et des techniques de télédétection du changement, *Canadian Journal of Remote Sensing*, 26 (4) (2000) 349 - 362

[19] - C. SONG, C. E. WOODCOCK, K. C. SETO, M. P LENNEY and S. A. MACOMBER, Classification and change detection using Landsat TM data : when and how to correct atmospheric effects? *Remote sensing of Environment*, 75 (2) (2001) 230 - 244

[20] - Y. S. S. BARIMA, N. BARBIER, I. BAMBA, D. TRAORE, J. LEJOLY et J. BOGAERT, Dynamique paysagère en milieu de transition forêt-savane ivoirienne, *Bois &Forets des Tropiques*, 299 (2009) 15 - 25

[21] - F. HAVYARIMANA, I. BAMBA, Y. S. S. BARIMA, T. MASHARABU, D. NDUWARUGIRA, M. J. BIGENDAKO et J BOGAERT, La contribution des camps de déplacés à la dynamique paysagère au sud et au sud-est du Burundi, *Tropicultura*, 36 (2) (2018) 243 - 257

[22] - M.-C. GIRARD et C. GIRARD, *Traitement des données de télédétection. Environnement et ressources naturelles*, Dunod, 2ème édition, Paris, (2010) 553 p.

[23] - J BOGAERT, I. VRANKEN and M. ANDRÉ, Anthropogenic effects in landscapes: historical context and spatial pattern, *Biocultural landscapes,* Springer, Dordrecht, (2014) 89 - 112

[24] - J. BOGAERT, R. CEULEMANS and D. SALVADOR-VAN EYSENRODE, Decision tree algorithm for detection of spatial processes in landscape transformation. *Environmental Management*, 33 (2004) 62 - 73

[25] - J. P. N. MESSINA, K. R. SAMBIENI, P. M. FENDOUNG, J. P. M. MWERU, J. BOGAERT et J. M. HALLEUX, La croissance de l'urbanisation morphologique à Kinshasa entre 1979 et 2015: analyse densimétrique et de la fragmentation du bâti, *Bulletin de la Société Géographique de Liège*, 73 (2019) 85 - 103

[26] - G. M. FOODY, Assessing the accuracy of land cover change with imperfect ground reference data, *Remote Sensing of Environment*, 114 (10) (2010) 2271 - 2285

[27] - R. G. PONTIUS, Quantification error versus location error in comparison of categorical maps, *Photogrammetric engineering and remote sensing*, 66 (8) (2000) 1011 - 1016

[28] - G. F. DUMONT, L'urbanisation dans le monde: un processus diversifié, *Accomex*, (2012) 5 - 8

[29] - S. Y. USENI, S. BOISSON, K. CABALA, K. C. NKUKU, F. MALAISSE, J. M. HALLEUX, K. F MUNYEMBA et J. BOGAERT, Dynamique de l'occupation du sol autour des sites miniers le long du gradient urbain-rural de la ville de Lubumbashi, RD Congo, *Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement*, 44 (1) (2020) 1 - 14

[30] - J. VIVET, Déplacés de guerre et dynamiques territoriales post conflit au Mozambique, *Hérodote*, 3 (2015) 160 - 181

[31] - M. LAVERGNE, De la cuvette du Haut-Nil aux faubourgs de Khartoum : les déplacés du Sud-Soudan, (1999) 109 - 135

[32] - G. FORKUOR and O. COFIE, Dynamics of land-use and land-cover change in Freetown, Sierra Leone and its effects on urban and peri-urban agriculture: a remote sensing approach, *International Journal of Remote Sensing*, 32 (2011) 1017 - 1037

[33] - S. Y. USENI, F. MALAISSE, K. S. CABALA, M. A. KALUMBA, M. Y. AMISI, K. C. NKUKU, J. BOGAERT and K. F. MUNYEMBA, Tree diversity and structure on green space of urban and peri-urban zone : the case of Lubumbashi city in the Democratic Republic of Congo, *Urban Forestry and Urban Greening*, 4 (2019) 67 - 74

[34] - U. FANAN, K. I. DLAMA, and I. O. OLUSEYI, Urban expansion and vegetal cover loss in and around Nigerias Federal Capital City, *Journal of Ecology and the Natural Environment*, 3 (1) (2011) 1 - 10

[35] - Z. KOUMOI, A. ALASSANE, M. DJANGBEDJA, T. BOUKPESSI et A. EDIKOUYA, Dynamique spatio-temporelle de l'occupation du sol dans le centre-Togo, Ahoho, *Revue de Géographie du Lardymes*, Université de Lomé, 7 (10) (2013) 163 - 172