

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, R.D. Congo)

Y. Useni Sikuzani^{1,2*}, S. Cabala Kaleba¹, C. Nkuku Khonde^{2,3}, Y. Amisi Mwana⁴, F. Malaisse⁵, J. Bogaert⁵ & F. Munyemba Kankumbi^{1,2}

Keywords: Green space- Landscape metrics- Spatial process- Urbanization- DR Congo

Résumé

Cette étude a évalué la dynamique spatio-temporelle des espaces verts en réponse à la croissance spatiale urbaine au niveau des sept communes de la ville de Lubumbashi en République Démocratique du Congo, entre 1989 et 2014. L'approche cartographique couplée aux indices de structure spatiale a révélé que, depuis 1989, la proportion du bâti a progressivement augmenté dans les communes au détriment des espaces verts qui ont enregistré une dynamique régressive. En 25 ans, la superficie des espaces verts a régressé dans toutes les communes, conséquence d'une pression démographique rapide couplée à l'absence de programme approprié pour leur préservation. En termes de processus de transformation spatiale, leur dynamique a été dominée par la suppression, la fragmentation et la dissection; ceci par opposition à la création et l'agrégation qui ont caractérisé les zones bâties. Nos observations justifient le besoin d'une politique de gestion durable des espaces verts qui tient compte du contexte socio-économique de chaque commune.

Summary

Twenty-five Years of Monitoring of Green Space Pattern Dynamics in Response to Urbanization in the Municipalities of Lubumbashi City (Upper Katanga, DR Congo)

This study assessed the spatial-temporal dynamics of green spaces in response to urban growth for the seven municipalities of Lubumbashi city, Democratic Republic of the Congo between, 1989 and 2014. Pattern analysis revealed that since 1989, the built-up proportion has gradually increased in all municipalities at the expense of green space area as a result of rapid demographic pressure coupled with a lack of an appropriate program for their preservation. In terms of pattern dynamics, green space extent has been dominated by attrition, fragmentation and dissection processes. This is opposed to creation and aggregation which characterized built-up areas. Our observations emphasize the need for a sustainable management of green spaces that takes into account the socio- economic context of each municipality.

¹Université de Lubumbashi, Faculté des Sciences Agronomiques, Unité Ecologie, Restauration Ecologique et Paysage, Lubumbashi, R.D. Congo.

²Université de Lubumbashi, Centre de Compétences en Planification et Gestion Urbaine, Lubumbashi, R.D. Congo.

³Université de Lubumbashi, Faculté des Lettres et Sciences Humaines, Département des Sciences Historiques, Lubumbashi, R.D. Congo.

⁴Université de Lubumbashi, Faculté des Sciences, Département de Géographie, Lubumbashi, R.D. Congo.

⁵Université de Liège, Gembloux Agro-Bio Tech, Unité Biodiversité et Paysage, Gembloux, Belgique..

*Auteur correspondant: Email: yannickuseni@gmail.com

Reçu le 24.03.17 et accepté pour publication le 22.05.17

Introduction

Les espaces verts correspondent aux surfaces recouvertes de végétation (22) dont la présence en milieu urbain contribue à fournir des services écosystémiques divers comme la purification de l'air et de l'eau, la régulation du microclimat ou le traitement des déchets (11, 39). Leur présence offre également aux populations des plaisirs esthétiques, des possibilités de loisirs et un bien-être physique et psychologique (26). Toutefois, l'urbanisation croissante qui s'observe avec le développement dans la plupart des pays du Sud depuis la fin du 20^{ème} siècle (46), est accompagnée de la suppression des espaces verts et leur remplacement par des occupations du sol de nature anthropique (7, 22, 31), avec de nombreux effets néfastes sur l'environnement, notamment la perturbation des écosystèmes menant à la réduction de la biodiversité (16).

Environ 70% des villes de plus d'un million d'habitants sont localisées dans les pays du Sud, où l'on prévoit une augmentation de plus de 2 milliards de personnes au cours des 30 prochaines années (1), impliquant une potentielle augmentation de la pression anthropique sur les paysages naturels (8). Cette situation sera particulièrement inquiétante dans les pays africains qui présentent déjà des proportions plus élevées en termes de pression sur les ressources naturelles (12, 20).

La ville de Lubumbashi n'échappe pas à cette tendance. Fondée en 1910 sur les activités minières, cette ville se caractérise pour la période de 2010-2015 par une croissance démographique annuelle de près de 5% (46). Un tel phénomène a amplifié la pression anthropique sur ses ressources naturelles, matérialisée à travers la dégradation continue de sa couverture végétale (naturelle) en réponse à l'expansion spatiale urbaine rapide depuis l'indépendance du pays (13, 37, 38). En effet, la proportion de végétation naturelle qui était d'environ 86% en 1956 a été réduite à ~14% en 2009 (37). Bien qu'il soit clairement constaté que des changements spatiaux considérables ont été observés dans la ville de Lubumbashi au cours des cinquante dernières années, aucune information n'existe à ce jour sur la dynamique de l'occupation du sol au niveau de ses communes définies comme les subdivisions administratives de la ville. Pourtant, ces communes varient dans leurs caractéristiques socio-économiques (40), ces dernières ayant une large influence sur la dynamique des paysages (7).

De nombreuses études mettent en évidence la nécessité de comprendre l'impact local de l'expansion urbaine et du changement du couvert végétal sur la biodiversité (32). Elucider les différents patrons spatiaux qui pourraient émerger entre les communes de la ville de Lubumbashi est primordial pour assister les décideurs et aménageurs dans l'élaboration

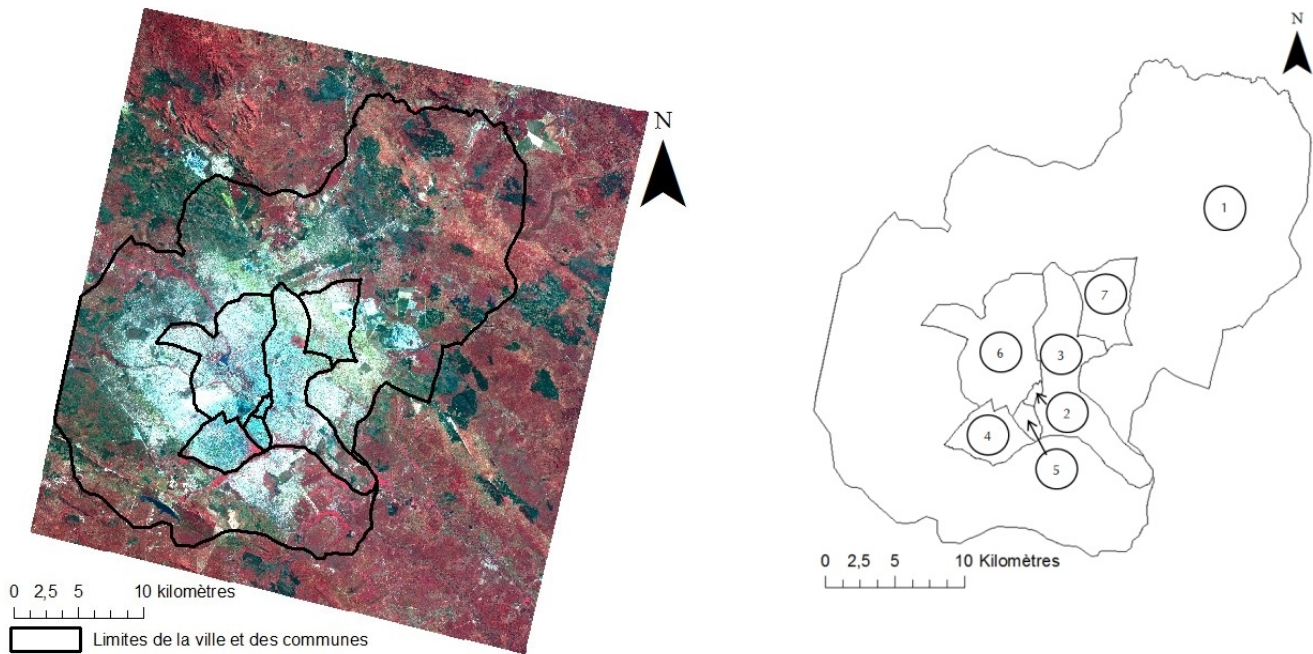
d'outils efficaces d'aménagement du territoire et de gestion des rares espaces verts qui subsistent à l'échelle de la ville (37).

La présente étude s'appuie sur la télédétection, les systèmes d'information géographiques et les indices de structure spatiale pour caractériser les interactions entre la croissance spatiale urbaine et la dynamique spatio-temporelle des espaces verts. Nous avons émis l'hypothèse selon laquelle le changement observé dans la structure spatiale des espaces verts serait la conséquence de la mauvaise gestion de la croissance spatiale urbaine qui se produit à vitesses variées à l'échelle des communes. A cet effet, les tendances évolutives de la dynamique paysagère urbaine ont été analysées dans chacune des sept communes de la ville de Lubumbashi et les processus de transformation spatiale qui sous-tendent ces changements ont été identifiés.

Méthodes

Milieu d'étude: la ville de Lubumbashi et ses sept communes

La ville de Lubumbashi (11°27'-11°47'S et 27°19'-27°40'E), chef-lieu de la province du Haut-Katanga en R.D. Congo, couvre près de 747 km² (40) et comprend sept communes (Figure 1) qui ont été étudiées séparément, mais dont une porte le même nom que la ville. Pour cette raison, nous parlerons de la "ville de Lubumbashi" pour désigner l'ensemble des communes et de "Lubumbashi" pour désigner l'entité communale. Avec une altitude oscillant entre 1200 et 1300 m, la ville de Lubumbashi présente un climat de type C_w du système de classification de Köppen (27). La plupart des auteurs reconnaissent une saison sèche (de mai à septembre), une saison des pluies (novembre à mars) et deux mois de transition (avril et octobre) (3). Cependant, il a été suggéré l'existence de 5 saisons définies à partir d'observations phénologiques portant sur la végétation (28): la saison sèche froide (mai-juillet), la saison sèche chaude (août-septembre), la saison des pluies précoces (octobre-novembre), la pleine saison des pluies (décembre-février) et la saison des pluies tardives (mars-avril). Ce schéma reste valable, même si des études récentes montrent une tendance à une modification, notamment un début des pluies plus tardif et des précipitations moyennes annuelles plus faibles (18), de l'ordre de 1047 mm pour la période 1970-2005 (34). Pour la seconde moitié du siècle dernier, la température moyenne annuelle était de l'ordre de 20,1 °C (27), mais un réchauffement en cours a été mis en évidence (19). Les sols dominants sont de type ferrallitique, majoritairement représentés par des sols jaunes et rouges (27).



La composition colorée a été réalisée à partir des bandes spectrales proche infra-rouge, rouge et vert. Les couleurs tendant au rouge caractérisent la végétation et celles tendant au blanc représentent le bâti et le sol nu. Les superficies de communes utilisées dans ce travail et issues du fichier vectoriel produit conjointement par le laboratoire de Cartographie de la Faculté des Sciences Agronomiques de l'Université de Lubumbashi et la Mairie de la ville de Lubumbashi, sont de 634,4 km² (Annexe), 1,3 km² (Kamalondo), 51,8 km² (Kampemba), 16,1 km² (Katuba), 3,5 km² (Kenya), 50,7 km² (Lubumbashi) et 29,5 km² (Ruashi).

Figure 1: Localisation de la ville de Lubumbashi et des communes Annexe (1), Kamalondo (2), Kampemba (3), Katuba (4), Kenya (5), Lubumbashi (6) et Ruashi (7) sur base de la classification supervisée des images SPOT de 2014.

La végétation naturelle boisée, actuellement dans un état fragmenté, se trouve à plusieurs kilomètres de la ville (3, 27, 37); il convient de noter que cette lecture de l'ampleur de la déforestation autour de la ville de Lubumbashi demeure contestée en termes méthodologiques (47). Une bande de marécages traverse la ville le long des rivières Kafubu et Lubumbashi, tandis qu'une ceinture de végétation anthropisée l'entoure (37, 48). L'agriculture, l'élevage résidentiel, les services, l'exploitation minière et le commerce sont les principales activités (40) d'une population qui a approché 2 millions d'habitants en 2014 (46).

Cartographie

Le choix des images SPOT utilisées a été dicté par leur disponibilité ainsi que leur haute résolution spatiale (10-20m) qui permet une meilleure identification des éléments du paysage (35). Six scènes prises en saison sèche sur la période de 1989-2014, avec un pas de temps variant entre 3-7 ans, et issues des capteurs HRV2 (du 12/07/1989 et 29/08/1996), HRG2 (du 16/07/2002, 18/06/2008 et 20/06/2014) et HRVIR2 du 13/08/2005, ont été utilisées. Les logiciels ENVI 4.5 et ArcGIS 10.1 ont servi pour le traitement des images.

En utilisant l'ellipsoïde de référence WGS-84, les six images SPOT ont été géoréférencées dans le référentiel UTM Zone 35S qui correspond à la ville de Lubumbashi. Les images SPOT de 1989, 1996, 2002, 2005 et 2014 ont été corrigées géométriquement en utilisant l'image SPOT de 2008 comme référence. Cette opération a été suivie du ré-échantillonnage cubique des pixels de résolution 20 m (HRV2 et HRVIR2) à 10m (HRG2), qui préserve les valeurs radiométriques (29, 30).

Classification

Une composition colorée a été réalisée à partir des bandes spectrales vert, rouge et proche infra-rouge, pour chacune des dates retenues, suivie d'une classification non supervisée (30). Les bandes rouge et proche infra-rouge sont les plus utilisées car elles permettent de discriminer au mieux la végétation (5). A l'issue de la classification non supervisée, un premier regroupement des classes a été réalisé sur base de l'image Google Earth de 2014, d'anciennes cartes d'occupation du sol de la zone d'étude, de nos connaissances du terrain et des caractéristiques radiométriques des classes d'occupation du sol.

Tableau 1
Précisions de la classification supervisée des images SPOT de 1989, 1996, 2002, 2005, 2008 et 2014 appuyée sur l'algorithme du maximum de vraisemblance.

Indices	1989	1996	2002	2005	2008	2014
Précision globale (%)	89,2	89,5	88,9	92,4	93,7	98,2
Kappa (%)	87,5	87,7	87,1	91,1	92,7	97,9

Sur base des travaux de terrain et du fait de la connaissance du milieu et des valeurs spectrales des classes retenues, des zones d'entraînement représentatives de différentes classes d'occupation du sol ont été identifiées. Ensuite, une classification supervisée par l'algorithme du maximum de vraisemblance a été adoptée. Neuf classes d'occupation du sol (bâti, sol nu, terril-zone brûlée, champ, savane herbeuse, savane boisée, forêt, marécage et plan d'eau) ont été identifiées suite à cette classification supervisée et ont été reclassifiées en fonction de l'objectif de la présente étude. Afin de vérifier la fiabilité de la classification, 760 points de contrôle (≥ 60 points par classe d'occupation du sol avant reclassification) préalablement choisis et représentatifs de l'occupation du sol de la zone d'étude, ont été visités. Ainsi, la matrice de confusion a été élaborée à travers le calcul de la précision globale et du coefficient de Kappa (14). Pour réduire l'effet «sel et poivre», un filtre majoritaire de 8×8 a été appliqué aux images classifiées. Les images ont été vectorisées et les polygones relatifs aux différentes communes ont été extraits.

Analyse de la dynamique structurale dans les communes

Pour caractériser la structure spatiale dans les sept communes de la ville de Lubumbashi, trois indices de structure spatiale, incluant l'aire totale des taches de classes d'occupation du sol, le périmètre total des taches de classes et la densité de taches (nombre de taches divisé par l'aire de la commune), ont été calculés. Ces indices ont été jugés pertinents pour renseigner sur la fragmentation du paysage (8, 9, 25). Le rapport de l'aire totale des espaces verts par le nombre total de résidents de chaque commune a permis de déterminer l'aire des espaces verts pour 1000 résidents pour l'année 2014. Les processus de transformation spatiale qui sous-tendent les changements spatiaux observés (7, 29, 42) ont été identifiés grâce à l'arbre de décision (10) qui s'est appuyé principalement sur l'évolution, pour une classe donnée, des indices cités ci-dessus entre deux dates. La valeur de $t = 0,05$ a été utilisée pour dissocier le processus de fragmentation de la dissection, avec des valeurs supérieures à 0,5 suggérant une dissection, tandis que celles inférieures ou égales à 0,5 ont indiqué la prévalence de la fragmentation (5).

Résultats

Classification et cartographie

Trois classes d'occupation du sol ont été obtenues après la reclassification, en adéquation avec l'objectif de la présente étude. Il s'agit des classes relatives au développement urbain, à savoir le «bâti» (bâti et sol nu), les «espaces verts» (forêt, savane herbeuse, savane boisée, champ et marécage) et une classe regroupant les autres occupations du sol (terril-zone brûlée et plan d'eau). Les résultats de l'analyse de la matrice de confusion ont révélé des valeurs de précision globale de 89% à 98% et celles de l'indice Kappa oscillant entre 87% et 98% (Tableau 1). Ces valeurs suggèrent que toutes les classes d'occupation du sol étaient globalement bien discriminées (24). Les différentes classes d'occupation du sol dont la structure spatiale a fortement changé entre 1989 et 2014, sont présentées à la figure 2.

L'analyse visuelle révèle que le bâti s'est rapidement étendu dans les différentes communes, entraînant une importante régression des espaces verts et de la classe des autres occupations du sol. Les autres classes d'occupation du sol ont été exclues de la suite des analyses au regard de leur faible proportion dans la majorité des communes (toujours $<5\%$).

Dynamique de composition à l'échelle de la ville et des communes

Pour toutes les périodes étudiées entre 1989-2014, l'évolution de l'occupation du sol fait ressortir une régression de la proportion d'espaces verts à l'échelle de la ville de Lubumbashi et ceci dans toutes les communes, avec une mention spéciale pour la commune Kamalondo où les espaces verts tendent à disparaître totalement (Figure 3). À l'inverse, pour les mêmes périodes, une progression du bâti a été observée partout. C'est la commune Ruashi qui a enregistré l'augmentation la plus spectaculaire. Trois évolutions perceptibles ont été observées pour l'entièreté des périodes considérées entre 1989-2014: une prépondérance des espaces verts, bien qu'en régression, à l'échelle de la ville et au sein de la commune Annexe; une prépondérance des surfaces bâties dans les communes Kamalondo, Katuba, Kenya et Lubumbashi; et une transition matérialisée par le remplacement des espaces verts, la matrice dominante du paysage en 1989, par les surfaces bâties qui ont constitué la nouvelle matrice dominante du paysage dans les communes Kampemba et Ruashi en 2014.

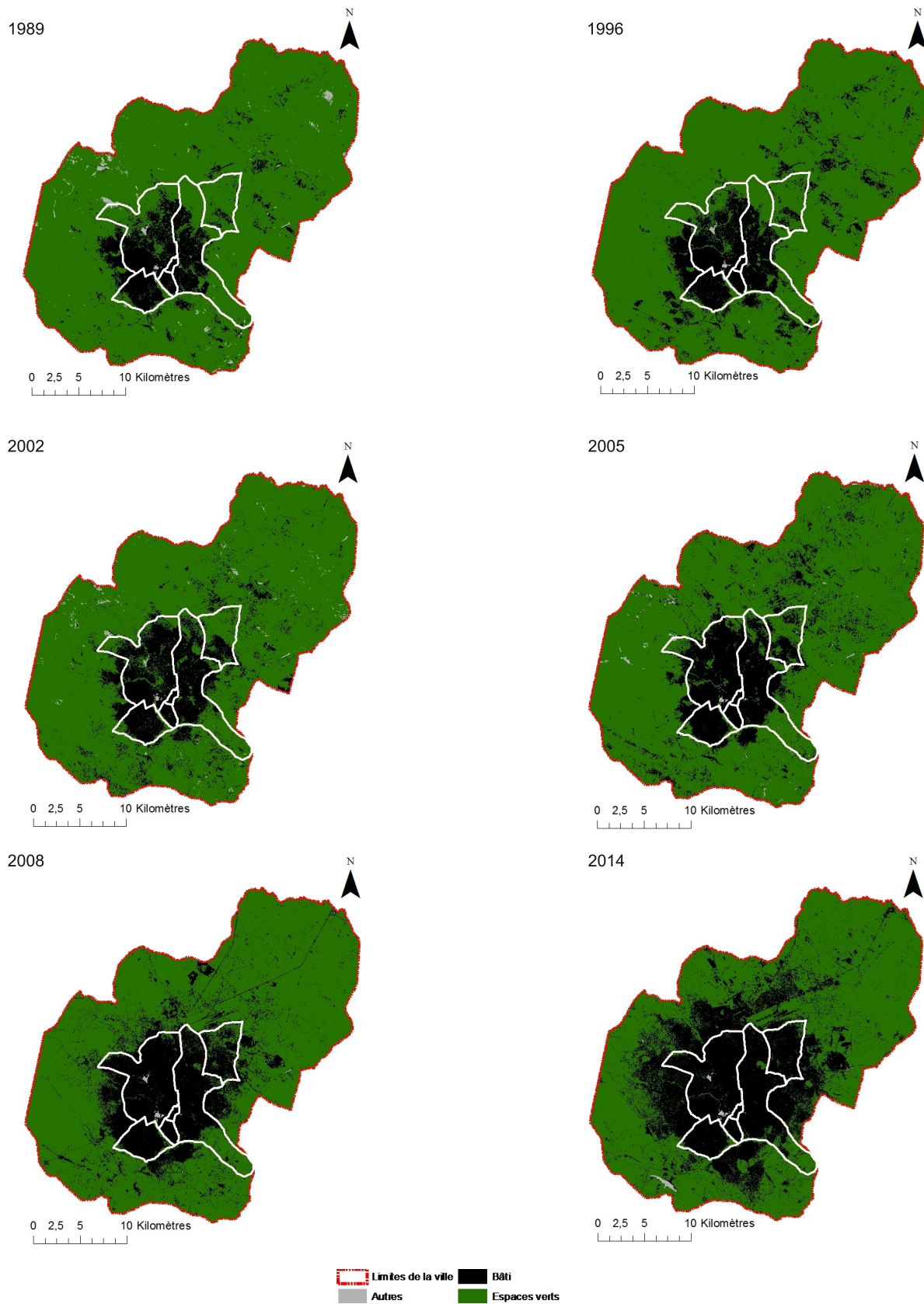


Figure 2: Cartes de l'occupation du sol dans les communes de la ville de Lubumbashi en 1989, 1996, 2002, 2005, 2008 et 2014 sur base de la classification supervisée des images SPOT par l'algorithme du maximum de vraisemblance. Les limites des communes sont données par les lignes blanches.

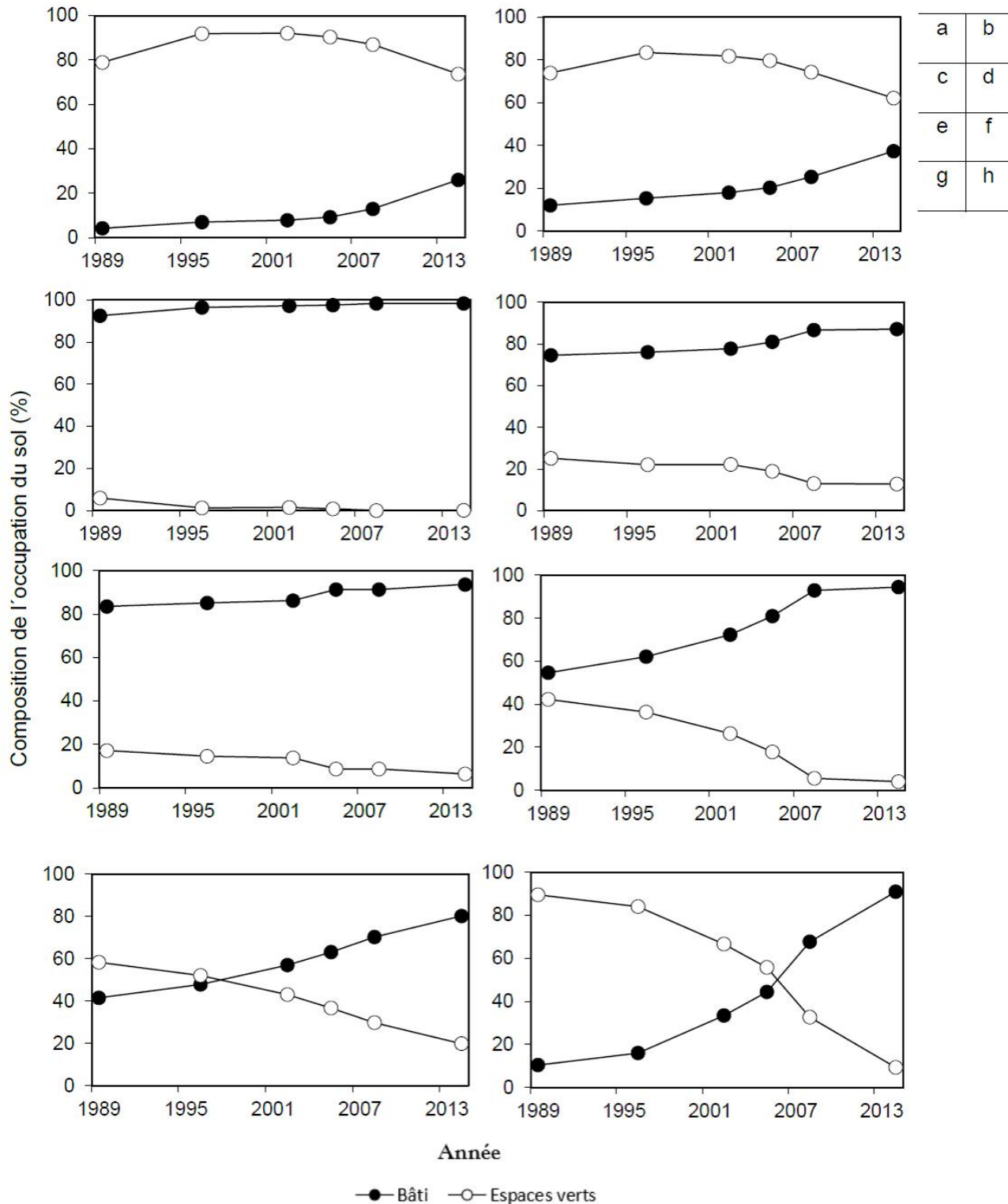


Figure 3: Composition de l'occupation du sol en 1989, 1996, 2002, 2005, 2008 et 2014 dans la commune Annexe (a), la ville de Lubumbashi (b), les communes Kamalondo (c), Katuba (d), Kenya (e), Lubumbashi (f), Kampemba (g) et Ruashi (h). La somme des proportions des classes ne correspond pas à 100% car les autres occupations du sol ont été exclues des analyses au regard de leur faible proportion dans la majorité des communes (toujours <5%).

Tableau 2

Evolution de l'aire totale (a_t) en km² et de la densité de taches (D) du bâti en 1989, 1996, 2002, 2005, 2008 et 2014 dans les sept communes et à l'échelle de la ville de Lubumbashi.

Indices	Communes							Ville
	Annexe	Kamalondo	Kampemba	Katuba	Kenya	Lubumbashi	Ruashi	
a_{t1989}	26,74	1,2	21,47	12,01	2,92	27,69	2,11	94,14
D_{1989}	10,82	33,08	35,15	42,98	40,29	46,82	29,86	136,16
a_{t1996}	44,42	1,25	24,79	12,23	2,98	31,49	3,23	120,38
D_{1996}	17,93	40	38,28	35,34	56,86	45,11	34,14	145,13
a_{t2002}	50,71	1,26	29,39	12,52	3,02	36,68	6,74	140,33
D_{2002}	29,48	19,23	69,27	37,76	15,71	67,87	53,49	199,53
a_{t2005}	58,43	1,27	32,72	13,04	3,19	41,02	8,94	158,61
D_{2005}	33,26	23,85	46,47	31,68	26	46,27	42,71	174,92
a_{t2008}	82,34	1,28	36,41	13,97	3,19	47,11	13,67	197,97
D_{2008}	54,94	7,69	60,02	20,62	26	40,49	89,93	217,73
a_{t2014}	165	1,29	41,53	14,02	3,28	47,84	18,37	291,31
D_{2014}	74,84	0,77	43,71	16,21	8,29	23,94	26,03	178,56

Tableau 3

Identification des processus de transformation spatiale de la classe «bâti» entre 1989-1996, 1996-2002, 2002-2005, 2005-2008 et 2008-2014 dans les communes Annexe, Kamalondo, Kampemba, Katuba, Kenya, Lubumbashi et Ruashi dans la ville de Lubumbashi à partir de l'arbre de décision (10).

	1989-1996	1996-2002	2002-2005	2005-2008	2008-2014
Annexe	C	C	C	C	C
Kamalondo	C	A	C	A	A
Kampemba	C	C	A	C	A
Katuba	A	C	A	A	A
Kenya	C	A	C	De	A
Lubumbashi	A	C	A	A	A
Ruashi	C	C	A	C	A
Ville	C	C	A	C	A

A: agrégation; C: création; De: déformation.

Tableau 4

Evolution de l'aire totale (a_t) en km² et de la densité de taches (D) des espaces verts en 1989, 1996, 2002, 2005, 2008 et 2014 dans les sept communes et à l'échelle de la ville de Lubumbashi.

Indices	Communes							Ville
	Annexe	Kamalondo	Kampemba	Katuba	Kenya	Lubumbashi	Ruashi	
a_{t1989}	500,75	0,08	30,2	4,06	0,6	21,49	18,09	575,27
D_{1989}	39,74	46,15	75,81	69,2	92,57	87,61	43,08	63,18
a_{t1996}	583,46	0,02	27	3,56	0,51	18,47	16,97	649,99
D_{1996}	40,04	34,62	70,88	74,04	46,29	93,254	46,98	56,29
a_{t2002}	584,19	0,03	22,35	3,57	0,48	13,36	13,45	637,43
D_{2002}	90,2	47,69	98,46	89,32	68,29	120,81	76,98	113,67
a_{t2005}	573,27	0,01	18,99	3,06	0,31	9,06	11,27	615,97
D_{2005}	60,07	4,62	41	33,6	20,57	29,9	48,03	71,08
a_{t2008}	551,79	0	15,39	2,09	0,31	2,82	6,58	578,99
D_{2008}	103,77	0	69,36	36,77	20,57	60,16	160,75	134,51
a_{t2014}	468,11	0,001	10,28	2,06	0,22	2,09	1,89	484,64
D_{2014}	24,3	3,07	118,89	65,22	27,43	64,77	99,32	59,66

Tableau 5

Identification des processus de transformation spatiale de la classe «espaces verts» entre 1989-1996, 1996-2002, 2002-2005, 2005-2008 et 2008-2014 dans les communes Annexe, Kamalondo, Kampemba, Katuba, Kenya, Lubumbashi et Ruashi dans la ville de Lubumbashi à partir de l'arbre de décision (10).

	1989-1996	1996-2002	2002-2005	2005-2008	2008-2014
Annexe	C	C	S	Di	S
Kamalondo	S	C	S	S	C
Kampemba	S	Di	S	Di	Di
Katuba	Di	C	S	Di	Di
Kenya	S	Di	S	De	Di
Lubumbashi	Di	Di	S	F	Di
Ruashi	Di	Di	S	Di	S
Ville	A	Di	S	Di	S

A: agrégation; C: création; De: déformation; Di: dissection; F: fragmentation; S: suppression.

Tableau 6

L'aire totale des espaces verts pour 1000 résidents (a_{t1000}) dans la ville de Lubumbashi et ses sept communes en 2014 comparée au seuil de 0,009 km² (50) a_t : aire totale d'espaces verts. Les données démographiques proviennent de la mairie de la ville de Lubumbashi.

Indices	Communes							Ville
	Annexe	Kamalondo	Kampemba	Katuba	Kenya	Lubumbashi	Ruashi	
a_t	468,11	0,001	10,28	2,06	0,22	2,09	1,89	484,64
Population	395377	35961	383686	316863	109409	311098	211223	1763617
a_{t1000}	1,184	0,00003	0,027	0,007	0,002	0,007	0,008	0,0003

Dynamique structurale dans les communes

Dynamique spatio-temporelle de l'urbanisation

La commune Annexe a enregistré le processus de création de taches de bâti, matérialisé par l'augmentation de la densité et de l'aire totale des taches (Tableaux 2 et 3), pour toutes les périodes considérées entre 1989 et 2014. En revanche, au cours des mêmes périodes, l'augmentation de l'aire totale de taches de bâti a été accompagnée d'une réduction ou augmentation de la densité de taches dans les communes Kamalondo, Kampemba, Katuba, Kenya, Lubumbashi et Ruashi; ce qui est une indication claire de l'agrégation et de la création de taches de bâti dans ces communes. Le processus de transformation de type déformation a été observé dans la commune Kenya (2005-2008) car l'aire totale et le nombre de taches de bâti sont restés inchangés pendant que le périmètre total de 2008 (51,1 km) a été supérieur à celui de 2005 (50,8 km). A l'échelle de la ville, la création et l'agrégation de taches de bâti ont été les processus de transformation dominants (Tableaux 2 et 3).

Dynamique spatio-temporelle des espaces verts

Dans toutes les communes, la diminution de la densité et de l'aire totale de taches entre 2002 et 2005 est révélatrice du processus de suppression, conséquence d'une influence anthropique (Tableaux 4 et 5). Une diminution de l'aire totale a été aussi enregistrée parallèlement à l'augmentation de la densité de taches. Les processus identifiés étaient la dissection pour les communes Annexe, Kampemba, Katuba, Kenya, Lubumbashi et Ruashi; et la fragmentation dans la commune Lubumbashi (2005-2008). De même, le changement de forme des taches d'espaces verts (périmètre de 5,57 km en 2008 contre 5,55 km en 2005), mais pas de leur superficie et densité, suggère un processus de déformation dans la commune Kenya. Par contre, la création des taches d'espaces verts dans les communes Annexe, Kamalondo et Katuba, matérialisée par l'augmentation de l'aire totale mais aussi de la densité de taches, n'a pas compensé les pertes de végétation enregistrées sur toute les périodes d'étude. Au niveau de la ville, les processus dominants ont été l'agrégation entre 1989-1996, suivie d'une alternance séquentielle de la dissection et de la suppression des taches des espaces verts (Tableaux 4 et 5). En conséquence de cela, l'aire totale des espaces verts pour 1000 résidents est restée relativement faible dans les différentes communes en 2014, exceptée dans les commune Annexe et Kampemba, par rapport à la norme établie à 0,009 km² (Tableau 6).

Discussion

Approche méthodologique

Les classifications supervisées des images SPOT multidates, appuyées sur l'algorithme du maximum de vraisemblance, ont permis d'obtenir des résultats statistiquement fiables et acceptables, suggérant que les données classifiées s'accordent aux données de référence de terrain (24). Elles confirment ainsi l'importance de la connaissance du milieu d'étude. La compréhension approfondie des dynamiques d'occupation du sol à l'échelle des communes découle du *Pattern/process paradigm* selon lequel les processus paysagers et écologiques dépendent des patrons spatiaux et vice versa (2, 8, 10). Pour cette raison, les dynamiques d'anthropisation paysagères ont été mises en évidence dans la présente étude à travers les indices de structure spatiale reconnus pour leur aptitude d'aborder des paysages complexes et de les rendre quantifiables (2, 9, 25).

Dynamique de l'occupation du sol dans les communes

Les différentes crises sociopolitiques qui se sont succédées à l'Est de la R.D. Congo ont entraîné des afflux massifs de populations vers la ville de Lubumbashi. A cela s'ajoute la rapide augmentation démographique interne (40, 46). A cause des besoins élevés en logements, la ville de Lubumbashi a connu une expansion spatiale rapide (17) qui a provoqué de profondes transformations paysagères (10). Cela s'est manifesté par l'expansion anarchique du bâti sur les terres réservées aux espaces verts (comme les forêts urbaines, les parcs, les jardins et les aires de jeu) pour absorber les fortes demandes de logements dans les communes du noyau urbain, à savoir Kamalondo, Kampemba, Katuba, Kenya, Lubumbashi et Ruashi, en réduisant leur surface. Mensah (33) confirme que les espaces verts urbains sont parmi les écosystèmes les plus dégradés dans les villes africaines et leur perte excessive a été également signalée ailleurs (15, 22, 25, 31). Actuellement, il s'avère qu'il n'existe plus de terrains appartenant à l'Etat sur lesquels il serait possible de créer de nouveaux lotissements dans les communes du noyau urbain à Lubumbashi (17). Cette situation a été amplifiée par le fait que la loi d'urbanisme en vigueur dans le pays n'est plus adaptée aux défis actuels associés au développement urbain (17). Etant donné le caractère limité de l'espace géographique selon la chorologie (6), les nouvelles demandes de logements sont déversées dans la commune Annexe où l'absence de planification soulève de nombreux questionnements (45). L'aménagement des terrains se produit souvent au-delà de leurs demandes réelles, pour alimenter le marché spéculatif d'autant plus que l'achat de plusieurs parcelles est considéré comme un investissement à faible risque (17, 45).

Cette urbanisation anarchique est responsable de la régression régulière de la couverture végétale (37) quoique importante pour le développement durable (12, 49). Déjà, il y a quelques années, cette commune était rurale avec comme principale activité l'agriculture de subsistance (40); la plupart de ses anciens villages se trouvant sur la trajectoire de l'expansion urbaine sont régulièrement englobés dans la ville ou entourés de nouveaux logements à différents stades de construction (43).

La gestion de la croissance spatiale urbaine a dépassé les capacités de gestion et financières des aménageurs et décideurs (33). Les conséquences de cela sont potentiellement défavorables pour l'environnement, lorsqu'il s'agit de la régression des espaces verts (41). Cette situation, gouvernée par la croissance démographique rapide, est due au manque de sensibilisation sur l'importance des espaces verts au niveau de la population locale, le manque de budget et de programme approprié pour leur préservation. En effet, la croissance démographique, en modifiant la structure du paysage à l'échelle des communes, favorise la dégradation des espaces verts à travers les activités humaines et les besoins en espace (4, 22). En revanche, ces dynamiques paysagères provoquent des bouleversements socio-économiques tels que la saturation de l'espace dans la commune Kamalondo, ou les conflits entre acteurs (42).

Les tendances actuelles d'urbanisation ne révèlent aucun signe de ralentissement, ce qui conduit à une dynamique paysagère urbaine plus profonde à l'échelle des communes et de la ville. L'augmentation de la densité des taches d'espaces verts dans les différentes communes corrobore cela et pourrait être interprétée comme une prévalence de plusieurs petites taches, probablement associée à un isolement spatial plus important qui pourrait finalement menacer la viabilité des populations végétales et animales (16). Même si la proportion d'espaces verts a augmenté à certaines périodes (44), leur suppression a été notée au cours des périodes suivantes car ils n'ont jamais fait l'objet d'une quelconque planification en vue d'être conservés. Cela rend la ville plus vulnérable aux aléas naturels tels que les inondations (36) et une répartition défavorable de la quantité de pluies (3, 18), ce qui contribue à altérer la qualité de vie pour les résidents (21). Même si certaines communes gardent plus de 9000 m² d'espaces verts pour 1000 résidents (50), cela reste plus concentré dans les endroits non encore bâtis, laissant les résidents des zones bâties sous-desservis. En outre, le pouvoir public et quelques privés intensifient les activités de végétalisation de certains sites pour compenser les pertes de végétation dans la zone d'étude. Toutefois, les taches introduites d'espaces verts, et fréquemment plantées d'espèces exotiques, ne pourraient pas fournir les fonctions écologiques identiques à celles des taches (semi-) naturelles (23).

Implications pour la planification et la gestion des espaces verts

L'importance des espaces verts ne devrait pas être ignorée et une planification appropriée devrait être conçue urgemment à l'échelle des communes de la ville de Lubumbashi, qui ne présentent pas un même contexte d'anthropisation en raison de leur différence de surface et position géographique dans la ville, mais aussi de la taille de leurs populations. La commune Kamalondo enregistre une tendance à la saturation foncière qui pourrait mener à une anthropisation complète illustrée par l'absence des espaces verts. Il est impératif d'y créer des espaces verts d'accompagnement du bâti et de la voirie. Les autres communes sont en cours d'anthropisation et pourraient être placées dans un même contexte. Il est important d'associer la population aux efforts de préservation et de gestion participative des fragments d'espaces verts qui subsistent, mais aussi d'accroître leur connectivité spatiale à travers la création des corridors végétalisés (les espaces verts d'accompagnement de la voirie) plantés d'espèces indigènes.

Conclusion

La présente étude a mis en exergue la pertinence de l'approche cartographique couplée aux outils d'analyse de l'écologie du paysage à l'évaluation de la dynamique paysagère urbaine. Les résultats ont révélé une extension rapide des zones bâties à l'échelle des communes et de la ville. Pour cette raison, la création de nouvelles taches de bâti et leur agrégation ont révélé une modification de la structure spatiale du paysage urbain à Lubumbashi. En revanche, les espaces verts sont sérieusement menacés dans la zone d'étude et les pressions anthropiques actuelles sur ceux-ci sont en rupture avec leur capacité de régénération. En 25 ans (entre 1989 et 2014), les valeurs d'aire totale ont chuté, suivie d'une augmentation ou réduction de la densité de taches dans la classe des espaces verts, confirmant ainsi l'existence de la dissection, la fragmentation et la suppression comme des processus de transformation dominants.

Suite à la gestion inappropriée de la croissance spatiale urbaine, les espaces verts se sont retrouvés en 2014 à l'état des fragments piégés dans une matrice de bâti dans la plupart des communes, excepté dans la commune Annexe et à l'échelle de la ville où ils constituaient encore la matrice du paysage. Cela questionne la durabilité des processus écologiques, économiques et sociaux dans une zone où les populations dépendent fortement des ressources végétales.

Il semble donc urgent de développer une stratégie de gestion sélective, intégrée et participative aussi bien à l'échelle des communes que de la ville afin de préserver de façon durable les espaces verts qui subsistent.

Références bibliographiques

1. Angel S., Civco D. L., Blei A. & Potere D., 2011, The dimensions of global urban expansion: estimates and projections for all countries, 2000-2050, *Prog. Plann.*, **75**, 2, 53–107.
2. Antrop M. & Van Eetvelde V., 2000, Holistic aspects of suburban landscapes: visual image interpretation and landscape metrics, *Landscape Urban Plan*, **50**, 1-3, 43-58.
3. Assani A.A., 1999, Analyse de la variabilité temporelle des précipitations (1916-1996) à Lubumbashi (Congo-Kinshasa) en relation avec certains indicateurs de la circulation atmosphériques (oscillation australe) et océanique (El Niño/La Niña), *Sécheresse*, **10**, 4, 245-252.
4. Bamba I., Barima Y.S.S. & Bogaert J., 2010, Influence de la densité de la population sur la structure spatiale d'un paysage forestier dans le bassin du Congo en R.D. Congo, *Trop. Conserv. Sci.*, **3**, 1, 31-44.
5. Barima Y.S.S., Barbier N., Bamba I., Traore D., Lejoly J. & Bogaert J., 2009, Dynamique paysagère en milieu de transition forêt-savane ivoirienne, *Bois For. Trop.*, **299**, 1, 15-25.
6. Bogaert J., Biloso A., Vranken I. & André M., 2015, *Peri-urban dynamics: landscape ecology perspectives*. In: Bogaert J. & Halleux J.M. (Eds). *Territoires périurbains: développement, enjeux et perspectives dans les pays du sud*, pp 63-73. Les presses agronomiques de Gembloux, Gembloux, Belgique.
7. Bogaert J., Bamba I., Koffi K. J., Sibomana S., Kabulu D. J-P., Champluvier D., Robbrecht E., De Cannière C. & Visser M.N., 2008, *Fragmentation of forest landscapes in central Africa: causes, consequences and management*. In: Laforteza R., Chen R., Sanesi G. & Crow Th.R. (Eds). *Patterns and processes in forest landscapes: multiple use and sustainable management*, pp 67-87, Eds Verlag, New York: Springer.
8. Bogaert J., Farina A. & Ceulemans R., 2005, Entropy increase of fragmented habitats: a sign of human impact ? *Ecol. Indic.*, **5**, 207-212.
9. Bogaert J. & Mahamane A., 2005, Ecologie du paysage: cibler la configuration et l'échelle spatiale, *Ann. Sci. Agron. Bénin*, **7**, 39-68.
10. Bogaert J., Ceulemans R. & Salvador-van Eysenrode D., 2004, Decision tree algorithm for detection of spatial processes in landscape transformation, *Environ. Manage.*, **33**, 1, 62-73.
11. Bolund P. & Hunhammar S., 1999, Ecosystem services in urban areas, *Ecol. Econ.*, **29**, 293-301.
12. Egoh, B.N., O'Farrell P.J., Charef A., Gurney L.J., Koellner T., Abi H.N., Egoh M. & Willems L., 2012, An African account of ecosystem service provision: use, threats and policy options for sustainable livelihoods, *Ecosyst. Serv.*, **2**, 71–81.
13. Frauman E., 2004, *L'agriculture périurbaine*. In: Petit P. (Ed). *Byakula, Approche socio-anthropologique de l'alimentation à Lubumbashi*, pp 55-63, Académie Royale des Sciences d'Outre-Mer (Belgique).
14. Foody M.G., 2002, Status of land cover classification accuracy assessment, *Remote Sens. Environ.*, **80**, 185-201.
15. Fuller R.A. & Gaston K.J., 2009, The scaling of green spaces coverage in European cities, *Biol. Lett.*, **5**, 352-355.
16. Grimm N.B., Faeth S.H., Golubiewski N.E., Redman C.L., Wu J., Bai X. & Briggs J.M., 2008, Global change and the ecology of cities, *Sci.*, **319**, 756-760.
17. GROUPE HUIT, 2009, *Elaboration du plan urbain de référence de Lubumbashi*. Rapport final GROUPE HUIT, BEAU, Ministère des ITR, RD Congo, 62 p.
18. Kalombo K.D., 2015, *Caractérisation de la répartition temporelle des précipitations à Lubumbashi (Sud-Est de la RDC) sur la période 1970-2014*. XXIII Colloque de l'Association Internationale de Climatologie, Liège, pp 531-536.
19. Kalombo K.D., 2016, *Evaluation des éléments du climat en R.D.C.* Editions Universitaires Européennes, Saarbrücken (Allemagne), 220 p.
20. Kestemont B., Frendo L. & Zaccā E., 2011, Indicators of the impacts of development on environment: A comparison of Africa and Europe, *Ecol. Indic.*, **11**, 3, 848-856.
21. Kong F., Yin H., James P., Hutyrá L. & He H.S., 2014, Effects of spatial pattern of greenspaces on urban cooling in a large metropolitan area of eastern China, *Landscape Urban Plan.*, **128**, 35-47.
22. Kong F. & Nakagoshi N., 2006, Spatial-temporal gradient analysis of urban green spaces in Jinan, China, *Landscape Urban Plan.*, **78**, 3, 147–164.
23. Kowarik I., 2011, Novel urban ecosystems, biodiversity, and conservation, *Environ. Pollut.*, **159**, 8, 1974-1983.
24. Landis J.R. & Koch G.G., 1977, The measurement of observer agreement for categorical data, *Biometrics*, **33**, 159-174.
25. Li J., Li C., Zhu F., Song C. & Wu J., 2013, Spatiotemporal pattern of urbanization in Shanghai, China between 1989 and 2005, *Landscape Ecol.*, **28**, 8, 1545-1565.
26. Maas J., Verheij R.A., Groenewegen P.P., De Vries S. & Spreeuwenberg P., 2006, Green space, urbanity, and health: how strong is the relation? *J. Epidemiol. Community Health*, **60**, 7, 587-592.
27. Malaisse F., 2010, How to live and survive in Zambezian open forest (miombo ecoregion). *Les Presses agronomiques de Gembloux*. Gembloux (Belgique), 422 p.
28. Malaisse F., 1974, Phenology of the Zambezian woodland area with emphasis on the miombo ecosystem. In Lieth (Ed.). *Phenology and seasonality modeling*. Springer Verlag, Berlin-Heidelberg, New York, *Ecol. Stud.*, **8**, pp 269-286.
29. Mama A., Sinsin B., De Cannière C. & Bogaert J., 2013, Anthropisation et dynamique des paysages en zone soudanienne au nord du Bénin, *Tropicicultura*, **31**, 1, 78-88.
30. Mas J.F., 2000, Une revue des méthodes et des techniques de télédétection du changement, *Can. J. Remote Sens.*, **26**, 4, 349-362.

31. McDonald R.I., Forman R.T.T. & Kareiva P., 2010, Open spaces loss and inequality in United States' cities, 1990-2000, *PLoS ONE*, **5**, 3, e9509.
32. McDonald R.I. Kareiva P. & Forman R.T.T., 2008, The implications of current and future urbanization for global areas and biodiversity conservation, *Biol. Conserv.*, **141**, 1695-1703.
33. Mensah C.A., 2014, Urban green spaces in Africa: nature and challenges, *Int. J. Ecosyst.*, **4**, 1, 1-11.
34. Mpundu M.M., 2010, *Contaminations des sols en éléments traces métalliques à Lubumbashi Katanga/RD Congo. Evaluation des risques de contamination de la chaîne alimentaire et choix de solutions de remédiation*. Thèse de doctorat: Université de Lubumbashi (RD Congo).
35. Mudau N., Mhangara P. & Gebreslasie M., 2014, Monitoring urban growth around Rustenburg, South Africa, using SPOT 5, *South Afri. J. Geomatics*, **3**, 2, 185-196.
36. Mulongo S., Ngoy N.K., Lunda J-M.I., Toto F.L.R. & Kipata M.L., 2014, L'urbanisation et l'environnement géologique de la ville de Lubumbashi (Katanga, RD Congo), *E-revue UNILU*, **1**, 1, 24-39.
37. Munyemba K.F. & Bogaert J., 2014, Anthropisation et dynamique de l'occupation du sol dans la région de Lubumbashi de 1956 à 2009, *E-revue UNILU*, **1**, 1, 3-23.
38. Mwitwa J., German L., Muimba-Kankolongo A. & Puntedewo A., 2012, Governance and sustainability challenges in landscape shaped by mining: mining-forestry linkages and impacts in the Copper Belt of Zambia and the DR Congo, *For. Pol. Econ.*, **25**, 19-30.
39. Niemelä J., Saarela S-R., Söderman T., Kopperoinen L., Yli-Pelkonen V., Väre S. & Kotze D.J., 2010, Using the ecosystem approach for better planning and conservation of urban green spaces: a Finland case study, *Biodivers. Conserv.*, **19**, 3225-3243.
40. Nkuku K.C. & Rémon M., 2006, *Stratégies de survie à Lubumbashi (R-D Congo). Enquête sur 14000 ménages urbains*. Archive congolaise, l'Harmattan (Paris), 130 p.
41. Osseni A.A., Toko Mouhamadou I., Tohozin B.A.C. & Sinsin B., 2015, SIG et gestion des espaces verts dans la ville de Porto-Novu au Bénin, *Tropicicultura*, **33**, 2, 146-156.
42. Sadda A-S., Diouf A., Lawali S., Ouedraogo M., Bogaert J. & Mahamane A., 2016, Pression anthropique et dynamique paysagère en zone rurale semi-aride: cas de la commune de Tibiri, région de Maradi (Niger), *Tropicicultura*, **34**, 2, 127-139.
43. Tambwe N.A., 2015, *Urban agriculture, land sustainability. The case of Lubumbashi*. In: Bogaert J. & Halleux J.M. (Eds). *Territoires périurbains: développement, enjeux et perspectives dans les pays du sud*, pp 153-162, Les presses agronomiques de Gembloux, Gembloux, Belgique.
44. Toyi M.S., Barima S., Mama A., André M., Bastin J.F., De Cannière C., Sinsin B. & Bogaert J., 2013, Tree plantation will not compensate natural woody vegetation cover loss in the Atlantic Department of Southern Benin, *Tropicicultura*, **31**, 1, 62-70.
45. Trefon T. & Cogels S., 2007, *Espaces périurbains d'Afrique centrale et gouvernance environnementale*. Publication de l'Université Libre de Bruxelles, Belgique.
46. UN-Habitat, 2014, *The state of African cities 2014. Re-imagining sustainable urban transition*. United Nations, Human Settlements programs, 273 p.
47. Useni S.Y., Malaisse F., Cabala K.S., Munyemba K.F. & Bogaert J., 2017, Le rayon de déforestation autour de la ville de Lubumbashi (Haut-Katanga, R.D. Congo): synthèse, *Tropicicultura*, **35**, 3, 215-221.
48. Useni S.Y., André M., Mahy G., Cabala K.S., Malaisse F., Munyemba K.F. & Bogaert J., sous presse, *Interprétation paysagère du processus d'urbanisation à Lubumbashi: dynamique de la structure spatiale et suivi des indicateurs écologiques entre 2002 et 2008*. In: Bogaert J., Colinet G. & Mahy G. (Eds.). *Anthropisation au Katanga*. Gembloux: Presses Universitaires de Gembloux.
<http://hdl.handle.net/2268/194483>
49. Vermeulen C., Dubiez E., Procs P., Mukumary S.D., Yamba Yamba T., Mutambwe S., Peltier R., Marien J-N. & Doucet J-L., 2011, Enjeux fonciers, exploitation des ressources naturelles et forêts des communautés locales en périphérie de Kinshasa, RDC, *Biotechnol. Agron. Soci. Environ.*, **15**, 4, 535-544.
50. World Health Organization, 2010, Urban planning, environment and health: from evidence to policy action. Disponible en ligne sur http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0004/114448/E93987.pdf?ua=1, consulté le 25 novembre 2016.

Y. Useni Sikuzani, Congolais, PhD, Professeur Associé, Université de Lubumbashi, Faculté des Sciences Agronomiques, Unité Ecologie, Restauration Ecologique et Paysage, Lubumbashi, R.D. Congo; Université de Lubumbashi, Centre de Compétences en Planification et Gestion Urbaine, Lubumbashi, R.D. Congo.

S. Cabala Kaleba, Congolais, PhD, Professeur Associé, Université de Lubumbashi, Faculté des Sciences Agronomiques, Unité Ecologie, Restauration Ecologique et Paysage, Lubumbashi, R.D. Congo.

C. Nkuku Khonde, Congolais, PhD, Professeur Ordinaire, Université de Lubumbashi, Faculté des Lettres et Sciences Humaines, Département des Sciences Historiques, Campus Universitaire, Lubumbashi; Université de Lubumbashi, Centre de Compétences en Planification et Gestion Urbaine, Lubumbashi, R.D. Congo.

Y. Amisi Mwana, Congolais, PhD, Professeur Associé, Université de Lubumbashi, Faculté des Sciences, Lubumbashi, R.D. Congo.

F. Malaisse, Belge, PhD, Professeur honoraire, Université de Liège, Gembloux Agro-Bio Tech, Unité Biodiversité et Paysage, Gembloux, Belgique.

J. Bogaert, Belge, PhD, Professeur ordinaire, Université de Liège, Gembloux Agro-Bio Tech, Unité Biodiversité et Paysage, Gembloux, Belgique, Professeur ERAIFT, Kinshasa, R.D. Congo.; Membre ARSOM.

F. Munyemba Kankumbi, Congolais, PhD, Professeur, Université de Lubumbashi, Faculté des Sciences Agronomiques, Unité Ecologie, Restauration Ecologique et Paysage; Lubumbashi, R.D. Congo ; Université de Lubumbashi, Centre de Compétences en Planification et Gestion Urbaine, Lubumbashi, R.D. Congo.