

# Caractérisation de la croissance spatiale urbaine de la ville de Lubumbashi (Haut-Katanga, R.D. Congo) entre 1989 et 2014

Y. Useni Sikuzani<sup>1,2\*</sup>, S. Cabala Kaleba<sup>1</sup>, J.-M. Halleux<sup>3</sup>, J. Bogaert<sup>4</sup> & F. Munyemba Kankumbi<sup>1,2</sup>

**Keywords:** Landscape pattern- Urban-rural gradient- Urban growth modes- Urbanization- Lubumbashi- DR Congo

## Résumé

*Une quantification de la dynamique spatio-temporelle de l'urbanisation est nécessaire pour appréhender la morphologie urbaine et ses effets écologiques de manière à fournir des informations détaillées en vue d'une planification urbaine durable. Ce travail a pour objectif de caractériser la croissance spatiale urbaine de la ville de Lubumbashi à partir de l'analyse de six images satellitaires SPOT. Excepté pour la période de 1996 à 2002, la ville de Lubumbashi a enregistré un taux moyen annuel de croissance urbaine élevé par rapport à celui enregistré dans d'autres villes d'Afrique sub-saharienne. Entre 1989 et 2014, la proportion du bâti a triplé dans le paysage en passant de 6% à 20%. Nos résultats indiquent que l'urbanisation à Lubumbashi a présenté un modèle complexe de diffusion-coalescence. Une des principales causes de cette perturbation est la croissance démographique rapide couplée à la gestion inappropriée de l'expansion urbaine.*

## Summary

### Characterization of the Spatial Urban Growth of Lubumbashi City (Upper Katanga, D.R. Congo) between 1989 and 2014

*A quantification of the spatio-temporal dynamics of urbanization is crucial to apprehend urban morphology and its ecological effects, in order to support sustainable urban planning. This study aimed at understanding the spatial urban growth of Lubumbashi city based on the analysis of six SPOT satellites images. With the exception of the 1996-2002 period, Lubumbashi city underwent a high average annual growth rate exceeding that observed for other cities in sub-Saharan Africa. Between 1989 and 2014, the built-up percentage increased from 6% to 20%. Our results suggest that the urbanization of Lubumbashi city followed a complex diffusion-coalescence model. The main reason of this perturbation is the combination of the rapid demographic growth with an inappropriate urban growth management.*

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

<sup>2</sup>Centre de Compétences en Planification et Gestion Urbaine, Lubumbashi, R.D. Congo

<sup>3</sup>Université de Liège, Institut de géographie économique, Liège, Belgique

<sup>4</sup>Université de Liège, Gembloux Agro-Bio Tech, Gembloux, Belgique

\*Auteur correspondant: Email: yannickuseni@gmail.com

Reçu le 27.03.17 et accepté pour publication le 06.09.17

## Introduction

Depuis 2014, la population urbaine représente 54% de la population mondiale totale (46) et pourrait augmenter d'environ 3 milliards d'individus entre 2000 et 2050 (5). Ainsi, 90% de cette croissance sera localisée en Afrique et en Asie où les taux d'urbanisation avoisineraient 56 et 64% respectivement (46). L'expansion spatiale rapide des zones urbaines qui en résulte est susceptible d'induire une série d'impacts socio-économiques et environnementaux défavorables, telle que la perte des terres arables, l'insécurité foncière persistante, l'insuffisance d'équipements ainsi que la dégradation des services écosystémiques (15, 16).

Dans le contexte des villes africaines, les changements rapides de l'occupation du sol constituent une manifestation de l'absence de planification (47) qui contribue à la détérioration de la qualité de l'environnement urbain (3). Cette situation se pose avec acuité en Afrique subsaharienne où l'étendue des terres urbanisées est attendue d'être multipliée par 12 dans la période de 2000 à 2050, pendant que la population urbaine sera multipliée par 5 (5). Ainsi, un des impacts les plus critiques de cette situation pourra être la suppression de la couverture végétale originelle dont dépendent beaucoup des populations majoritairement pauvres (9, 15).

La compréhension des effets de la croissance spatiale urbaine sur les structures paysagères et les processus écologiques implique une connaissance des dynamiques de l'occupation du sol (16). Avec le développement de la télédétection, des systèmes d'information géographiques et de l'écologie du paysage, la croissance spatiale urbaine peut être cartographiée et quantifiée (19, 26, 49). Par ailleurs, il a été émis l'hypothèse que la croissance spatiale urbaine présente deux phases alternantes, à savoir une phase de diffusion (expansion des zones urbaines à partir des centres existants) suivie d'une phase de coalescence (le remplissage des espaces interstitiels). Des outils d'analyse de l'écologie du paysage sont utilisés pour mettre en évidence ce développement séquentiel (14).

La ville de Lubumbashi a enregistré une expansion spatiale urbaine rapide et non planifiée, provoquée par une croissance rapide de sa population liée à l'exode rural (17, 25, 33). Cela a amplifié la pression anthropique sur les ressources naturelles (forêts, marécages) et pose de nombreux défis socio-économiques que les planificateurs et les décideurs résolvent avec difficultés (17). En dépit d'une telle situation alarmante qui devrait recevoir une attention particulière, des recherches orientées vers la quantification de la dynamique de l'occupation du sol à Lubumbashi sont cependant limitées (31, 32). Ainsi, des informations détaillées sur la vitesse, les modes et la structure spatiale de l'urbanisation s'avèrent indispensables en vue de permettre l'élaboration des

outils efficaces d'aménagement du territoire et de gestion rationnelle des ressources naturelles. La présente étude cherche à tester l'hypothèse selon laquelle la ville de Lubumbashi enregistre une périurbanisation qui s'accélère avec le temps. Dans ce contexte, il sera également question d'analyser si le mode de croissance urbaine y observé serait conforme à l'hypothèse de la diffusion-coalescence.

## Matériels et méthodes

### Description de la zone d'étude

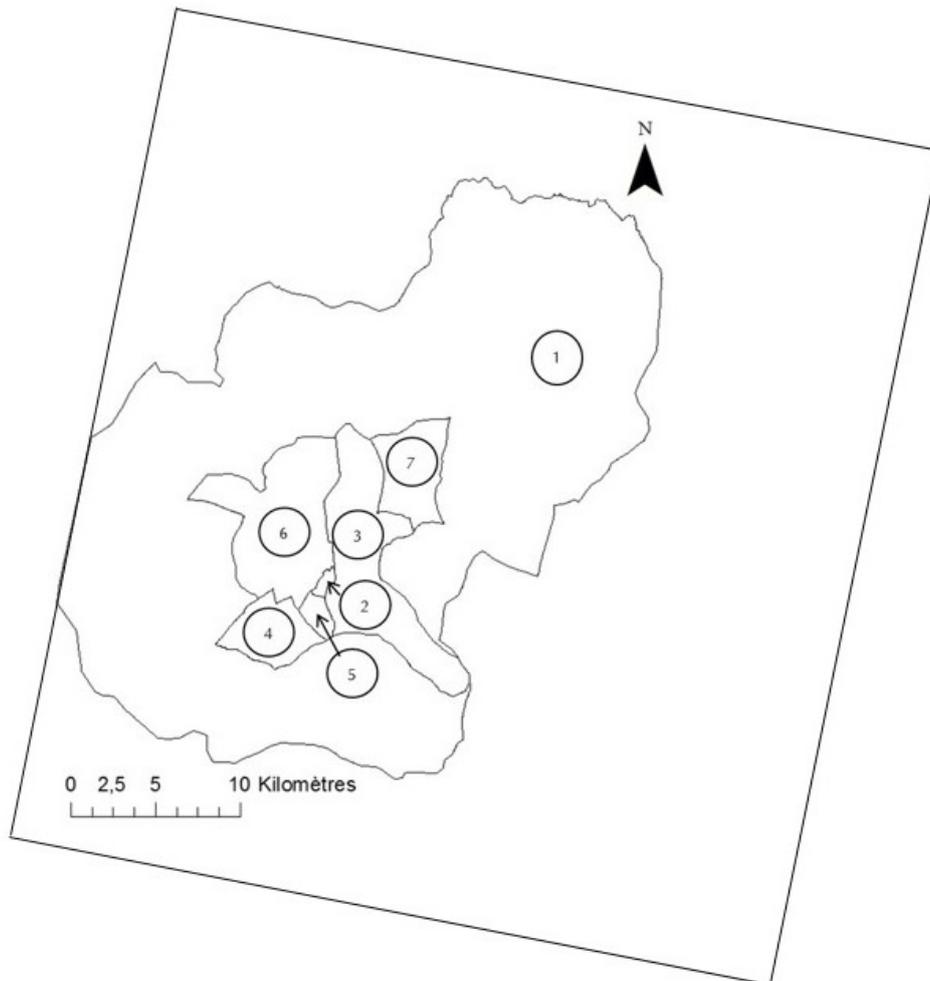
La zone d'étude, d'une superficie de 1632,4 km<sup>2</sup>, comprend 7 communes (Figure 1) couvrant la ville de Lubumbashi et une partie du territoire de Kipushi au sud-est de la RD Congo (11°27'-11°47'S et 27°19'-27°40' E). La population est passée de 0,6 million d'habitants en 1984 à 1 million en 2001 (33), 2 millions en 2015 et devrait atteindre 2,5 millions d'habitants d'ici 2025 (46). Avec le développement économique rapide connu au cours des dernières décennies, plusieurs nouveaux sites ont été lotis et il n'y a aucun signe que cette situation ralentirait dans un futur proche (17, 33).

Le climat de Lubumbashi est de type Cw selon la classification de Köppen. Il est caractérisé par cinq mois de saison des pluies (de novembre à mars) et cinq mois de saison sèche (mai à septembre) séparés par deux mois de transition (octobre et avril) (25). Les précipitations annuelles sont de l'ordre de 1300 mm tandis que la température annuelle moyenne avoisine 20°C (25). Le paysage de la ville de Lubumbashi comprend principalement un noyau urbanisé, séparé des lambeaux de forêts par des sols nus, des cultures et de la végétation anthropisée (31).

### Pré-traitement d'images

Une approche cartographique a été adoptée pour évaluer la croissance spatiale urbaine à partir de six scènes d'images SPOT issues des capteurs HRV2 (12 juillet 1989 et 29 août 1996; 3 bandes, 20 m de résolution), HRG2 (16 juillet 2002, 18 juin 2008 et 20 juin 2014; 4 bandes, 10 m de résolution) et HRVIR2 (13 août 2005, 4 bandes, 20 m de résolution). Un géoréférencement, selon le système de projection UTM Zone 35S, et basée sur l'ellipsoïde de référence WGS 84, a été effectué. La correction géométrique des images SPOT à partir de 40 points de contrôle de terrain, et utilisant l'image SPOT 2008 comme référence, a été appliquée. Afin d'homogénéiser la résolution spatiale, les pixels des images SPOT HRV2 et HRVIR2 ont été ramenés à 10 m de résolution par la méthode de ré-échantillonnage cubique, reconnue pour son aptitude à améliorer la netteté des images sans affecter leur radiométrie (28).

### Classifications



1: commune Annexe; 2: commune Kamalondo; 3: commune Kampemba; 4: commune Katuba; 5: commune Kenya; 6: commune Lubumbashi; 7: commune Ruashi. Le cadre noir correspond aux limites du paysage étudié.

**Figure 1:** La zone d'étude: la ville de Lubumbashi et ses sept communes.

La composition colorée des images, réalisée à travers la combinaison des bandes spectrales dans l'ordre 4 (proche infra-rouge) - 3 (rouge) - 2 (vert), a été suivie d'une classification automatique sur base de laquelle a été réalisée une interprétation visuelle et l'identification des zones d'entraînement. Lors des missions de terrain, 760 points de contrôle au sol, représentatifs de l'occupation des sols de la zone d'étude et préalablement choisis, ont été collectés. L'algorithme du maximum de vraisemblance (29) a été utilisé durant la classification supervisée des images et 9 classes d'occupation du sol ont été retenues (bâti, sol nu, terril et zone brûlée, champ, savanes herbeuses, savanes boisées/ arbustives/ arborées, marécage, forêt, plan d'eau). Pour comprendre la dynamique spatiale de l'urbanisation, une reclassification a permis de regrouper les 9 classes en deux classes plus pertinentes: le «bâti» (occupations du sol associées au développement urbain, à savoir les constructions et le sol nu) et le «non-bâti» (des zones non

développées pour le logement, le commerce, l'industrie, etc.). Les images classifiées ont été ensuite filtrées, avec une taille de fenêtre de 8 x 8 pixels, pour résorber les pixels isolés. La validation de la classification a été réalisée à partir de l'indice de Kappa et de la précision globale, issus de la matrice de confusion et appropriés pour la validation des classifications thématiques (26, 29). Il convient de signaler que les logiciels ENVI 4.5 et ArcGIS 10.1 ont été utilisés pour les traitements d'images.

#### Analyses spatiales

Quatre indices de structure spatiale ont été calculés pour caractériser la structure spatiale de l'urbanisation: le nombre de taches, l'aire totale des taches, la densité de taches (le rapport du nombre de taches par l'aire totale de la zone tampon considérée) et la proportion du bâti dans le paysage (rapport de l'aire totale du bâti par l'aire totale du paysage). Ces indices sont souvent un indicateur de l'impact humain sur la morphologie du paysage (9).

La dynamique structurale de l'urbanisation a été

caractérisée à l'aide des processus de transformation spatiale. Cette méthode est basée sur la comparaison de l'aire totale, du périmètre et du nombre de taches avant et après la transformation (8, 9, 28, 40, 48). A partir de l'aire totale du bâti, le taux moyen annuel de croissance a été calculé (24). Pour identifier les modes de croissance urbaine le long d'un gradient urbain-rural, à partir de la densité de taches et de la proportion du bâti, des zones tampons concentriques (27) distantes de 4 km ont été appliquées jusqu'à 20 km du centre-ville géométrique (centroïde). Cette distance est censée couvrir le noyau urbain et la zone périurbaine dans le milieu d'étude sur base des critères morphologiques établis par l'organigramme d'André *et al.* (4). Pour tester la possibilité d'existence d'un effet de distances et années sur la densité de taches et la proportion du bâti, une ANOVA unifactorielle avec test post hoc de Tukey a été effectuée avec l'aide du logiciel R © (version 2.15.0).

## Résultats

### Classifications et cartographie

Le tableau 1 montre les résultats de la matrice de confusion des images SPOT classifiées, pour lesquelles les valeurs de la précision globale et de l'indice Kappa se rangent respectivement entre 88,9% - 98,2% et 87,1% - 97,9%. Cela suggère une discrimination statistiquement fiable entre les différentes classes d'occupation du sol (38). De manière globale, l'analyse visuelle révèle une conversion importante entre classes d'occupation du sol. Il est évident que le bâti était en constante progression entre 1989 et 2014, spécialement vers le Nord-ouest, Nord-est et Sud-est. De plus, la classe « bâti » est entourée d'une ceinture de non-bâti qui a enregistré une dynamique régressive (Figures 2 et 3).

### Dynamique spatiale de l'urbanisation

**Tableau 1**

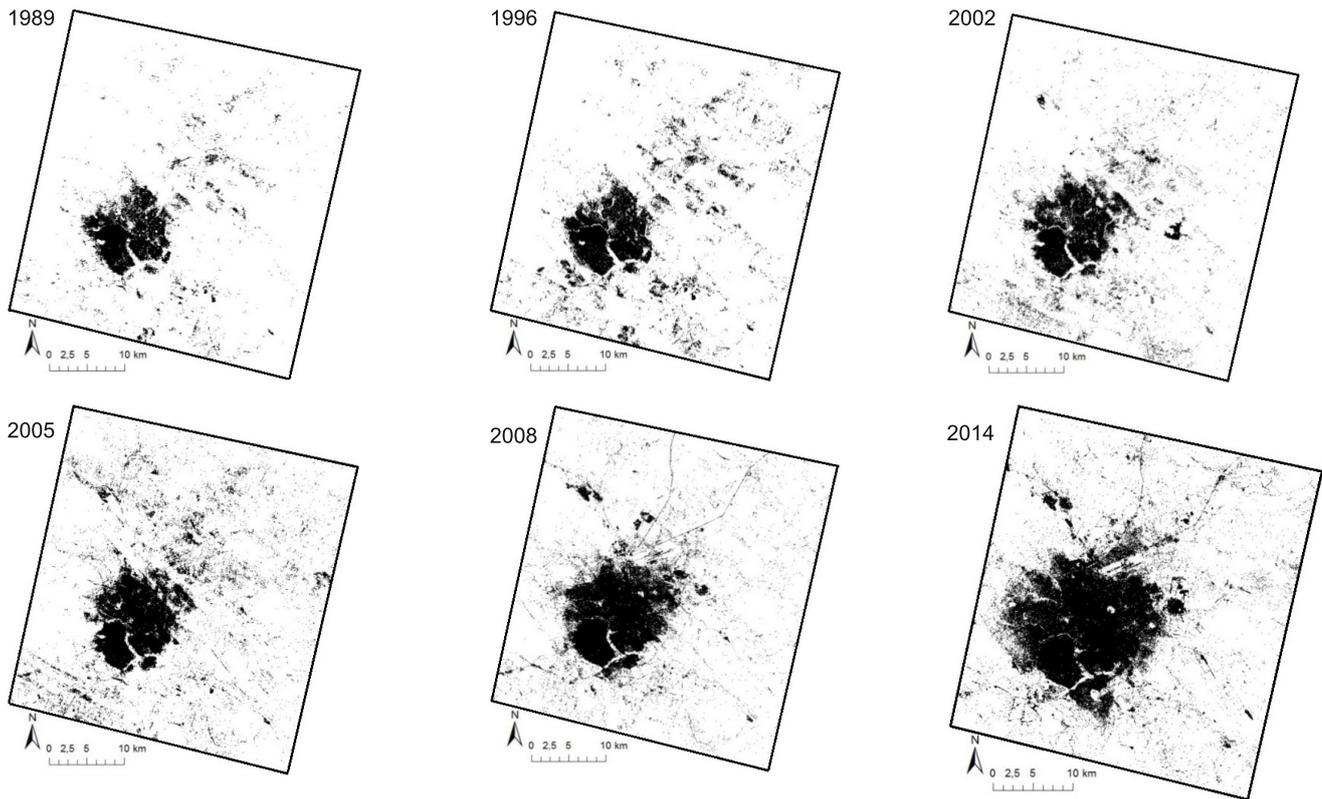
Précisions des classifications supervisées des images SPOT de 1989, 1996, 2002, 2005, 2008 et 2014 appuyées sur l'algorithme de maximum de vraisemblance.

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

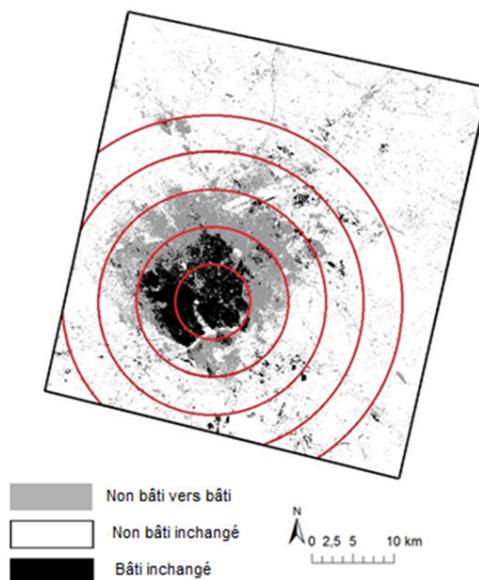
Comme l'urbanisation a progressé entre 1989 et 2014, la structure spatiale du paysage a été sensiblement affectée. L'application de l'arbre de décision de Bogaert *et al.* (8) a permis d'identifier le processus de création de taches entre 1989-1996, 1996-2002, 2002-2005, 2005-2008 et 2008-2014. L'augmentation du nombre de taches s'est accompagnée en effet d'une augmentation de leur aire totale (Figure 4A). Ceci semble suggérer que l'urbanisation a été caractérisée par la diffusion comme mode de croissance à l'échelle globale de la ville.

Par ailleurs, des différences évidentes dans la proportion du bâti ont été notées en ce qui concerne les distances des zones tampons au centre-ville ( $P < 0,05$ ). La proportion du bâti est la plus élevée jusqu'à 4 km du centre-ville pendant que les valeurs les plus faibles ont été observées entre 12 et 20 km (Figure 4B). Cependant, aucune différence significative n'a pu être détectée dans la proportion du bâti à travers les années ( $P > 0,05$ ). Par contre, l'analyse de la densité de taches de bâti a montré des différences significatives entre les années et les distances ( $P < 0,05$ ). Pendant que la densité de taches diminue pour la distance de 0-8 km entre 1989 et 2014, la zone comprise entre 8-20 km affiche un patron inverse (Figure 4C). Ce constat est une indication d'une agrégation des taches de bâti dans le noyau urbain et de leur création au de-là de celui-ci, suggérant ainsi une coexistence de ces deux phénomènes apparemment contradictoires. Cela illustre l'existence simultanée de la diffusion (dans le noyau urbain) et de la coalescence (au de-là du noyau urbain) comme modes de croissance urbaine. Le taux moyen annuel de croissance spatiale urbaine observé sur la période de 1989-2014 pour Lubumbashi (8,7%) est nettement plus élevé par rapport aux autres villes, notamment Nairobi, Harare, Chingola, Kinshasa etc. Il convient de souligner cependant que ce taux est sensiblement inférieur à celui observé dans certaines autres villes africaines, notamment Lusaka, Kampala ou Abuja (Tableau 2).

## Discussion

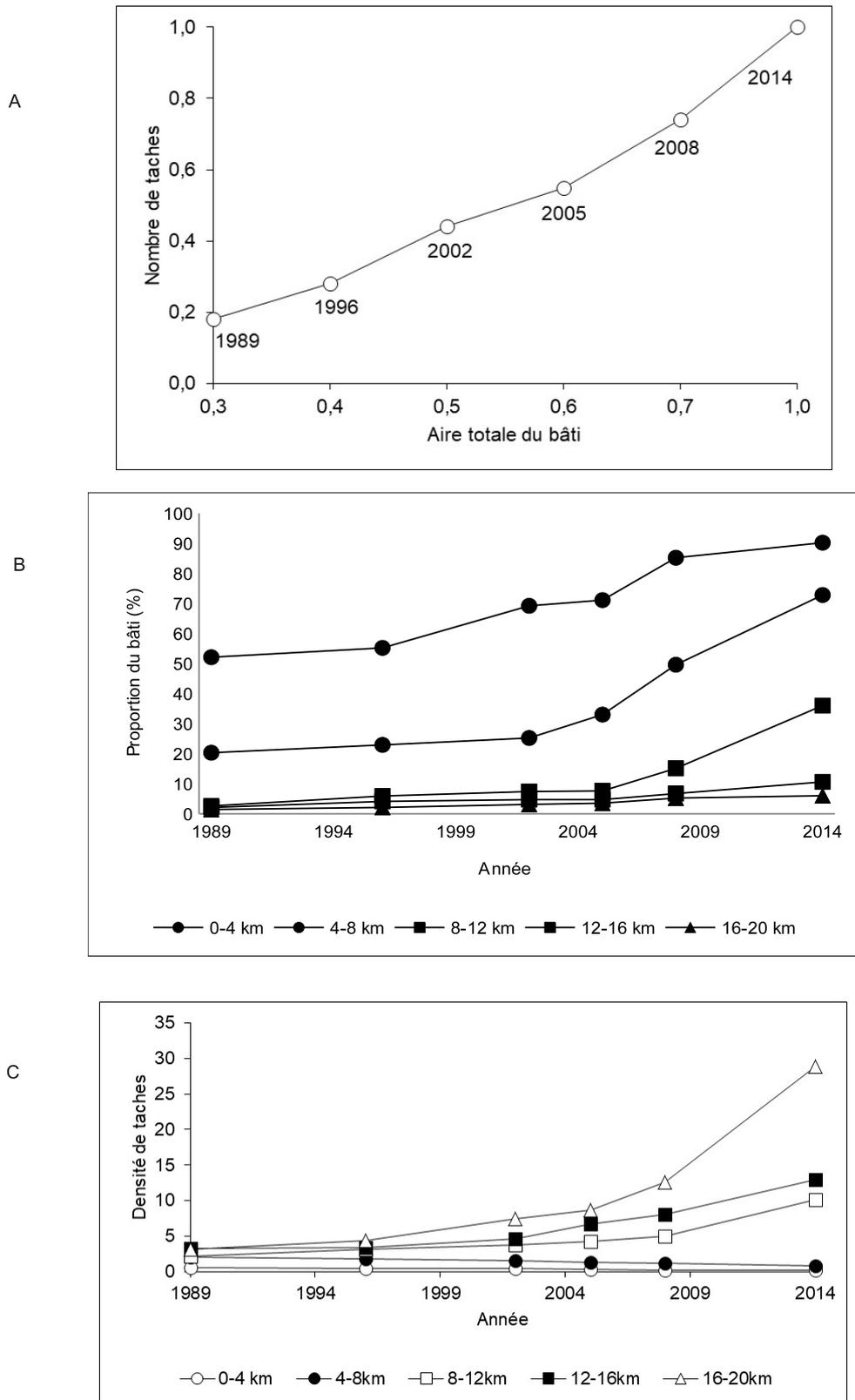


**Figure 2:** Cartes d'occupation du sol de la ville de Lubumbashi et sa zone périphérique issues des classifications supervisées des images SPOT de 1989, 1996, 2002, 2005, 2008 et 2014 appuyées sur l'algorithme de maximum de vraisemblance.



Les zones concentriques rouges sont distantes du centre géométrique de la ville (centroïde) de 4 km, 8 km, 12 km, 16 km et 20 km respectivement. Le cadre noir correspond aux limites de la zone étudiée.

**Figure 3:** Cartographie des changements majeurs de l'occupation du sol de la ville de Lubumbashi entre 1989 et 2014 à partir des classifications supervisées des images SPOT appuyées sur l'algorithme de maximum de vraisemblance.



**Figure 4:** (A) Evolution des valeurs relatives du nombre (valeur maximale = 88971) et de l'aire totale (valeur maximale=322,4 km<sup>2</sup>) des taches du bâti dans la zone d'étude entre 1989 et 2014. Les processus de transformation qui sous-tendent la dynamique spatio-temporelle du bâti ont été identifiés sur base de l'arbre de décision de Bogaert *et al.* (8). Evolution de la proportion (B) et de la densité de taches du bâti (C) à différentes distances du centre-ville géométrique.

**Tableau 2**

Comparaison entre le taux moyen annuel de croissance urbaine de la ville de Lubumbashi et celui des autres villes d'Afrique subsaharienne.

Villes	Pays	Localisation	Périodes	Temps (années)	$\alpha_i$	T	Références
Abuja	Nigeria	9°06' N 7°27' E	1987-2007	20	7,9-41,6	21,4	(2)
Addis Ababa	Ethiopie	8°59' N 38°42' E	1986-2000	14	77,2-114,6	3,5	(7)
Asmara	Erythrée	15°22' N 38°55' E	1989-2009	20	14,6-59,1	15,2	(42)
Bahir Dar	Ethiopie	11°38' N 37°10' E	1984-2009	25	11,6-48,3	12,3	(18)
Bamako	Mali	12°40' N 8°03' O	1986-2006	20	41,3-102,5	7,4	(13)
Benin City	Nigeria	6°20' N 5°36' E	1987-2013	26	220,0-358,9	2,4	(36)
Chingola	Zambie	12°32' S 27°51' E	1972-2002	30	59,7-106,8	2,6	(32)
Dar-Es-Salaam	Tanzanie	6°46' S 39°12' E	2002-2011	9	16,5-38,5	14,8	(12)
Gaborone	Botswana	24°40' S 25°59' E	1989-2006	17	17,5-45,0	9,2	(41)
Harare	Zimbabwe	17°49' S 31°03' E	1984-2013	29	118,6-302,7	5,4	(22)
Kampala	Uganda	0°21' N 32°31' E	1989-2010	21	71,0-386,0	21,1	(47)
Kinshasa	RD Congo	4°17' S 15°20' E	1995-2005	10	310,1-434,1	4,0	(23)
Lubumbashi	RD Congo	11°39' S 27°28' E	1989-2014	25	101,4-322,4	8,7	Cette étude
Lusaka	Zambie	15°24' S 28°16' E	1986-2014	28	14,5-17,1	38,6	(37)
Nairobi	Kenya	1°18' S 36°49' E	1986-2010	24	35,2-79,4	5,2	(30)
Niamey	Niger	13°31' N 2°02' E	1975-2013	38	3,7-14,8	7,8	(20)
Port Elizabeth	Afrique du Sud	33°57' S 25°36' E	1990-2000	10	235,8-373,7	5,8	(35)

T: Taux moyens annuels de croissance (spatiale) urbaine (%);  $\alpha_i$ : aire totale (km<sup>2</sup>).

### Approche méthodologique

Selon les échelles proposées par Pontius (38), les valeurs de Kappa obtenues dans notre étude (>80%) montrent que les classifications réalisées ont été fiables (27, 28). La caractérisation de la structure spatiale du paysage à travers une classification binaire (bâti et non bâti) aurait fait immerger certains détails écologiques (par exemple une augmentation de l'aire d'une sous-classe pendant que la grande classe non bâti régresse) (27), mais l'analyse réalisée dans notre étude n'a pas entaché les résultats obtenus. La structure spatiale de l'urbanisation a été évaluée à travers différents indices, considérés par ailleurs comme un compromis idéal dans la caractérisation de la structure spatiale des paysages (34). Aucun indice unique ne peut renseigner toute la complexité de la configuration paysagère (10). L'arbre de décision de Bogaert *et al.* (8) pourrait être critiqué à cause de l'importance accordée à la comparaison du nombre de taches entre différentes périodes, cela ayant conduit à l'identification d'un processus unique de création de taches de bâti à l'échelle du paysage. Pourtant, une tendance à l'agrégation des taches individuelles de bâti, notamment dans le noyau urbain, a été mise en évidence grâce au calcul de la proportion du bâti.

### Dynamique spatiale de l'urbanisation

La population africaine préfère généralement l'habitat non planifié et informel pour la fourniture en logements en raison de la pauvreté galopante notamment (47).

L'expansion spatiale urbaine rapide que cela entraîne

pourrait être le principal facteur induisant des changements dans la composition et la configuration du paysage (16) notamment au sein et autour de la ville de Lubumbashi. Cette tendance est typique pour la plupart des villes congolaises (6, 39, 48). Toutefois, l'expansion de Lubumbashi vers la zone péri-urbaine, où les prix des parcelles sont relativement abordables par rapport au centre-ville, suggère que cette zone serait considérée comme la réserve foncière pour la fourniture en logements. Cela a entraîné de nombreux problèmes socio-économiques et physiques (insuffisance d'équipements et infrastructures de base, présence des tourbillons de poussières en saison sèche...) (17) qui se répercutent sur les modes de croissance urbaine.

Au niveau de la ville, il a été observé que la diffusion et la coalescence n'alternent pas au fil du temps, ce qui n'est pas en accord avec l'hypothèse selon laquelle la croissance spatiale des villes est caractérisée par l'alternance de la diffusion et de la coalescence (14). Par contre, ce résultat est en accord avec les récentes conclusions de plusieurs auteurs selon lesquelles les deux phases opèrent simultanément (21, 26, 27, 43, 49, 50). Cela pourrait être expliqué par la différence dans la vitesse de la croissance spatiale entre villes, mais beaucoup plus par la différence dans la résolution temporelle des images utilisées. Pour certains auteurs, la dichotomie de diffusion-coalescence représente des extrémités plutôt que des états alternatifs de croissance urbaine (43). Cette hypothèse est également confirmée par les observations réalisées le long du gradient d'urbanisation à Lubumbashi.

Dans la caractérisation du processus d'urbanisation,

nos observations révèlent une correspondance entre les processus de transformation spatiale définis par Bogaert *et al.* (8) et les hypothèses de Dietzel *et al.* (14). La diffusion correspond en effet au processus de création de taches de bâti tandis que la coalescence est liée aux processus d'agrégation/agrandissement des taches de bâti. En revanche, la correspondance entre l'arbre de décision (8), les modes de croissance urbaine (14) avec la théorie de (dé)densification d'Angel *et al.* (5) reste moins claire à établir. En effet, cette dernière théorie est basée sur la densité des parcelles et non celle des taches qui pourraient être constituées d'un ensemble des parcelles.

Le morcellement des parcelles, de même que l'invasion des espaces interstitiels, amplifie la coalescence du bâti dans le noyau urbain et suggère d'une tendance à la saturation foncière qui devrait conduire à une anthropisation complète (40).

L'urbanisation entraîne une homogénéisation de la structure du paysage dans le noyau urbain, ce qui s'apparente à l'hypothèse d'une homogénéisation biotique par l'urbanisation (21). Par conséquent, les paysages les plus fragmentés seraient situés en zone périurbaine où l'un des impacts humains les plus remarquables est la suppression de la couverture végétale suivie de la création de nombreuses taches de bâti (5, 11). Cette dernière tendance est en désaccord avec la conclusion d'Acioly et Forbes (1) selon laquelle les villes des pays en développement tendent à devenir plus compactes; mais s'apparente tout de même aux récentes conclusions sur la ville de Tripoli en Lybie (3). Il importe de souligner que plusieurs auteurs reconnaissent que les formations végétales autour de Lubumbashi sont parmi les plus perturbées dans la zone de l'arc cuprifère Katangais (32, 39, 48).

La croissance démographique demeure le principal moteur de l'expansion spatiale urbaine à l'échelle mondiale (5), de même qu'à Lubumbashi où le taux de croissance démographique reste supérieur à celui enregistré au niveau national (environ 4%) (45). Toutefois, d'autres facteurs notamment le contexte politico-économique, pourraient également affecter la croissance spatiale urbaine. La tendance observée entre 1996 et 2002 à Lubumbashi pourrait être attribuée à la crise économique et socio-politique qui y a prévalu (33). Cette hypothèse est fondée sur le fait que les villes des pays en développement sont dans une phase où les conditions démographiques et économiques influent sensiblement sur la structure et les taux d'expansion urbaine (24).

Ce phénomène a été également observé à Niamey et

à Kampala (20, 47). A Lubumbashi, la vitesse de l'expansion urbaine serait également liée à l'inefficacité des services administratifs et techniques, suite à l'insuffisance des financements accordés à la gestion foncière (17).

Sous l'influence de la croissance démographique rapide, la configuration et la composition de l'occupation du sol ont changé dans la zone d'étude. Les résultats obtenus concordent bien avec la réalité des tendances de la dynamique paysagère à Lubumbashi (31). La forte pression anthropique liée à l'inhérente croissance spatiale urbaine non planifiée a entraîné la dégradation du paysage (44). Sans mesures appropriées, la situation susmentionnée pourrait avoir un impact négatif au point de vue environnemental et socio-économique.

## Conclusion

L'usage combiné de la télédétection, des systèmes d'informations géographiques et de l'écologie du paysage a permis de démontrer que la ville de Lubumbashi a connu une expansion spatiale rapide. La proportion du bâti ayant été multipliée par trois entre 1989 et 2014, cela représente un rythme de croissance très élevé comparativement à celui observé dans la plupart des villes africaines. Il ressort de l'augmentation simultanée de l'aire totale et du nombre de taches de bâti que le processus de création de taches a prédominé pendant la période d'étude. Cela pourrait suggérer une fragmentation accrue du paysage environnant à moyen terme et une plus grande complexité en termes de composition du paysage. Les modes de croissance urbaine observés à Lubumbashi, la diffusion et la coalescence, sont complexes dans l'espace. L'étude a démontré une accélération de la régression du non bâti composé majoritairement de la végétation comme corolaire de l'expansion urbaine. Des lois plus efficaces, couplées à une meilleure compréhension de la dynamique spatio-temporelle de la croissance urbaine, s'avèrent indispensables pour une meilleure planification du développement futur de la ville de Lubumbashi.

## Remerciements

Les auteurs remercient l'ARES-CCD (PRD Création d'un Centre de Compétences en Planification et Gestion Urbaine à l'Université Lubumbashi) pour l'appui financier.

## Références bibliographiques

1. Acioly C. & Forbes D., 1996, *Density in Urban Development*, Building Issues, 3, 8, Lund Centre for Habitat Studies, Lund University, Sweden.
2. Ade M.A. & Afolabi Y.D., 2013, Monitoring urban sprawl in the federal capital territory of Nigeria using remote sensing and GIS techniques, *Ethiop. J. Environ. Stud. Manage.*, **6**, 1, 82-95.
3. Al Sharif A.A.A. & Pradhan B., 2014, Monitoring and predicting land use change in Tripoli Metropolitan area city using an integrated Markov Chain and Cellular automata models in GIS, *Arabian J. Geosci.*, **7**, 4291-4301.
4. André M., Mahy G., Lejeune P. & Bogaert J., 2014, Vers une synthèse de la conception et d'une définition des zones dans le gradient urbain-rural, *Biotechnol. Agron., Soc. Environ.*, **18**, 1, 61-74.
5. 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. Plan.*, **75**, 2, 53-107.
6. Bamba I., Yedmel M.S. & Bogaert J., 2010, Effets des routes et des villes sur la forêt dense dans la province orientale de la République Démocratique du Congo, *Eur. J. Sci. Res.*, **43**, 3, 417-429.
7. Bekalo M.T., 2009, *Spatial metrics and Landsat data for urban land use change detection in Addis Ababa, Ethiopia*. Master thesis: Universitat Jaume I, Castellon (Spain).
8. 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.
9. Bogaert J., Bamba I., Koffi K.J., Sibomana S., Djibu K.J-P., Champluvier D., Robbrecht E., De Cannière C. & Visser M., 2008, *Fragmentation of forest landscapes in Central Africa: causes, consequences and management*. In: Laforteza R., Chen J., Sanesi G. & Crow T.R. (Eds). *Pattern and processes in forest landscapes. Multiple use and sustainable management*. Springer, New York, pp 67-87.
10. Bogaert J. & Mahamane A., 2005, Ecologie du paysage: cibler la configuration et l'échelle spatiale, *Ann. Sci. Agron. Bénin*, **7**, 1, 39-68.
11. Bogaert J., Biloso A., Vranken I. & André M., 2015, Periurban dynamics: landscape ecology perspectives. In: Bogaert J. & Halleux J-M. (Eds). *Territoires périurbains: développement, enjeux et perspectives dans les pays du sud*. Les Presses Agronomiques de Gembloux, Gembloux, Belgique, pp 63-73..
12. Congedo L. & Munafo M., 2014, *Urban sprawl as a factor of vulnerability to climate change: monitoring land cover change in Dar-Es-Salaam*. In: Macchi S., Tiepolo M. (Eds). *Climate change vulnerability in southern Africa cities*. Springer International Publishing, Switzerland, pp 73-88.
13. Diallo B.A. & Bao Z., 2010, Land cover change assessment using remote sensing: case study of Bamako, Mali. *Res.*, **2**, 4, 7-17.
14. Dietzel C., Oguz H., Hemphill J.J., Clarke K.C. & Gazulis N., 2005, Diffusion and coalescence of the Houston Metropolitan Area: evidence supporting a new urban theory, *Environ. Plan. B: Plan. Design*, **32**, 2, 231-246.
15. Egho B.N., O'Farrell P.J., Charef A., Gurney L.J., Koellner T., Abi H.N., Egho M. & Willemen L., 2012, An African account of ecosystem service provision: Use, threats and policy options for sustainable livelihoods, *Ecosyst. Serv.*, **2**, 71-81.
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, BEAU, Ministère infrastructures, travaux publics et reconstruction, RD Congo.
18. Haregeweyn N., Fikadu G., Tsunekawa A., Tsubo M. & Meshesha D.T., 2012, The dynamics of urban expansion and its impacts on land use/land cover change and small-scale farmers living near the urban fringe: a case study of Bahir Dar, Ethiopia, *Landscape Urban Plan.*, **106**, 149-157.
19. Herold M., Scepán J. & Clarke K.C., 2002, The use of remote sensing and landscape metrics to describe structures and changes in urban land uses, *Environ. Plan. A*, **34**, 8, 1443-1458.
20. Illiassou S.A., Diouf A., Mamadou B.M., Sadda A.-S., Mahamane A. & Saadou M., 2015, Dynamics of a third world city: case of Niamey, Niger, *J. Geogr. Reg. Plan.*, **8**, 5, 120-130.
21. Jenerette D.G. & Potere D., 2010, Global analysis and simulation of land-use change associated with urbanization, *Landscape Ecol.*, **25**, 5, 657-670.
22. Kamusoko C., Gamba J. & Murakami H., 2013, Monitoring urban spatial growth in Harare metropolitan province, Zimbabwe, *Adv. in Remote Sens.*, **2**, 322-331.
23. Kayembe K.M., De Maeyer M. & Wolff E., 2009, Cartographie de la croissance urbaine de Kinshasa (R.D. Congo) entre 1995 et 2005 par télédétection satellitaire à haute résolution, *Belgeo*, **3-4**, 439-455.
24. Kuang W., Chi W., Lu D. & Dou Y., 2014, A comparative analysis of megacity expansion in China and U.S.: Patterns, rates and driving forces, *Landscape Urban Plan.*, **132**, 121-135.
25. Leblanc M. & Malaisse F., 1978, *Lubumbashi, un écosystème urbain tropical*. Centre international de sémiologie. Université nationale du Zaïre.
26. Li C., Li J. & Wu J., 2013, Quantifying the speed, growth modes and landscape pattern change of urbanization: a hierarchical patch dynamics approach, *Landscape Ecol.*, **28**, 1875-1888.
27. Li X., Li C., Zhu F., Song C. & Wu J., 2013b, Spatio-temporal pattern of urbanization in Shanghai, China between 1989 and 2005, *Landscape Ecol.*, **28**, 1545-1565.
28. Mama A., Sinsin B., De Cannière C. & Bogaert J., 2013, Anthropisation et dynamique des paysages en zone soudanienne au Nord du Bénin, *Tropicultura*, **31**, 1, 82-92.
29. Mas J.F., 2000, Une revue des méthodes et des techniques de télédétection du changement, *Can. J. Remote Sens.*, **26**, 349-362.
30. Mubea K.W., Goetzeke R. & Menz G., 2014, Applying cellular automata for simulating and assessing urban growth scenario based in Nairobi, Kenya, *Int. J. dv. Computer Sci. Appl.*, **5**, 2, 1-13.

31. 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, 1-23.
32. Mwitwa J., German L., Mwimba-Kankolongo A. & Puntodewo 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.
33. Nkuku, K.C. & M. Rémon, 2006, *Stratégies de survie à Lubumbashi (R.D. Congo)*. Enquête sur 14000 ménages urbains. Mémoires lieux de savoir : Archive congolaise, l'Harmattan, Paris.
34. O'Neill R.V., Krummel J.R., Gardner R.H., Sugihara G., Jackson B., DeAngelis D.L., Milne B.T., Turner M.G., Zygmunt B., Christensen S.W., Dale V.H. & Graham R.L., 1988, Indices of landscape ecology, *Landscape Ecol.*, **1**, 3, 153-162.
35. Odindi J., Mhangara P., Kakembo V., 2012, Remote sensing land-cover change in Port Elizabeth during South Africa's democratic transition, *South Afr. J. Sci.*, **108**, 5-6, 7. doi:10.4102/sajs.v108i5/6.886
36. Odjugo P.A.O., Enaruvbe G.O. & Isibor H.O., 2015, Geospatial approach to spatio-temporal pattern of urban growth in Benin City, Nigeria, *Afr. J. Environ. Sci. Technol.*, **9**, 3, 166-175.
37. Phiri L. & Nyirenda E., 2015, *Urban growth analysis for Lusaka city using remote sensing and GIS*. DII-2015 Conference.
38. Pontius R.G.Jr., 2000, Quantification error versus location in comparison of categorical maps, *Photogram. Eng. Remote Sens.*, **66**, 1011-1016.
39. Potapov P.V., Turubanova S.A., Hansen M.C., Adusei B., Broich M., Altstatt A., Mane L. & Justice C.O., 2012, Quantifying forest cover loss in Democratic Republic of the Congo, 2000-2010, with Landsat ETM+ data, *Remote Sens. Environ.*, **122**, 106-116.
40. Satta A.-S., Diouf A., Lawali S., Ouedraogo M., Bogaert J. & Mahamane A., 2016, Pressions anthropiques et dynamique paysagère en zone rurale semi-aride: cas de la commune de Tibiri, région de Maradi (Niger), *Tropicultura*, **34**, 2, 127-139.
41. Sebege R.J. & Gwebu T.D., 2013, Patterns, determinants, impacts and policy implications of the spatial expansion of an African capital city: the greater Gaborone example, *Int. J. Sust. Built Environ.*, **2**, 193-208.
42. Tewolde M.G. & Cabral P., 2011, Urban sprawl analysis and modeling in Asmara, Eritrea, *Remote Sens.*, **3**, 2148-2165.
43. Tian G., Jiang J., Yang Z. & Zhang Y., 2011, The urban growth, size distribution and spatio-temporal dynamic pattern of the Yangtze River Delta megalopolitan region, China, *Ecol. Model.*, **222**, 3, 865-878.
44. Trefon T. & Kabuyaya N., 2015, Les espaces périurbains en Afrique centrale. In: Bogaert J. & Halleux J.-M. (Eds). *Territoires périurbains: développement, enjeux et perspectives dans les pays du sud*. Les Presses Agronomiques de Gembloux, Gembloux, Belgique, pp 33-42.
45. UN-Habitat, 2014, *The state of African cities 2014. Re-imagining sustainable urban transition*. United Nations, Human Settlements programs, 273p.
46. *United Nations*, 2014, *World Urbanization Prospects: The 2014 Revision*, New York: Department of Economic and social Affairs, Population Division.
47. Vermeiren K., Van Rompaey A., Loopmans M., Serwajja E. & Mukwaya P., 2012, Urban growth of Kampala, Uganda: Pattern analysis and scenario development, *Landscape Urban Plan.*, **160**, 199-206.
48. Vranken I., Djibu K.J-P., Munyemba K.F., Mama A., Iyongo W.M.L., Bamba I., Laghmouch M. & Bogaert J., 2011, Ecological impact of habitat loss on African landscapes and biodiversity. In: Daniels J.A. (Ed). *Advances in environmental research*. Nova Science Publishers, New York, pp 365-388.
49. Wu J.G., Jenerette G.D., Buyantuyev A. & Redman C.L., 2011, Quantifying spatiotemporal patterns of urbanization: the case of the two fastest growing metropolitan regions in the United States, *Ecol. Complexity*, **8**, 1, 1-8.
50. Yu X.J. & Ng C.N., 2007, Spatial and temporal dynamics of urban sprawl along two urban-rural transects: a case study of Guangzhou, China, *Landscape Urban Plan.*, **79**, 96-109.

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

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

J.-M. Halleux, Belge, PhD, Professeur, Université de Liège, Institut de Géographie Economique, Liège, Belgique

J. Bogaert, Belge, PhD, Professeur ordinaire, Université de Liège, Gembloux Agro-Bio Tech, Gembloux, Belgique.

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