

TABLEAU IV: PLANTES MEDICINALES FORESTIERES COURAMMENT UTILISEES A MWENDA					
N°	Nom scientifique	Organe utilisé	Maladie soignée	Nombre de citation	Lieu de Récolte
1	Piper guinense	Fr	Toux	18	P et J
2	Rauwolfia serpentina	Ec	Malaria	34	J
3	Voacanga sp.	Ec	Maux de ventre	117	J
4	Spathodea campanulata	Ec	Verminose, fièvre jaune	82	FC et J
5	Basella sp.	Fe	Maux de ventre	13	J
6	Trema orientalis	Ec,Fe	Zona	11	FC et J
7	Piptadeniastrum africana	Ec	Impuissance sexuelle	38	FC
8	Erythrina abyssinica	Ec	Rate	19	FC et J
9	Ficus sp.	Ec		1	FC et J
10	Kigellia africana	Fr	Toux	34	FC
11	Markhamia lutea	Ec	Fièvre jaune, toux	11	FC et J
12	Albizia gummifera	Ec	Maux de dent	7	FC et J
13	Canarium schweinfurthii	Résine	Dyspepsie	35	P
14	Ficus sp3	Fe	Fièvre jaune	5	FC et J
15	Dombeya goetzeni	Ec	Rate	13	FC
16	Alstonia boonei	Ec, Fe	Fièvre jaune	11	J
17	Vernonia amygdalia	Fe	Maux de ventre	11	FC et J
18	Prunus africana	Ec	Malaria, maux de ventre	58	FC et J
19	Erythrophleum guineense	Ec	Verminose	7	P et FC
20	Fagara inaequalis	Ec	Maladies abdominales	30	FC
21	Cynometra alexandrii	Ec	Impuissance sexuelle	10	P
TOTAL				565	
	Ec : écorce		FC : Forêt communautaire		
	Fe : feuille		P : Parc		
	Fr : fruit		J : Jachère		

* : Nom vernaculaire en langue pygmée

TABLEAU VI: SURFACES TERRIERES POUR DIFFERENTS BIOTOPES FORESTIERS A L'EST DE LA R.D.CONGO

Biotopes étudiés	Surface terrière (m² Ha⁻¹)	Auteur
1. Forêt de LENDA (Ituri)	38,9	MAKANA et al. 1997
2. Forêt d'EDORO (Ituri)	33,9	MAKANA et al. 1997
3. Forêt de BABAGULA (KISANGANI)	25,16	MADIDI 1999
4. Forêt de sols hydromorphes (KISANGANI)	29	KAMBALE 1999
5. Forêt de MWENDA (Versant Ouest de RUWENZORI)	31,49	SINDANI et al 2008 (la présente publication)

ANALYSE DIACHRONIQUE DU DEVELOPPEMENT DE LA VILLE DE BUTEMBO PAR COMPARAISON D'APPROCHES DE TELEDETECTION DELIMITANT SA TRAME URBAINE A L'ECHELLE D'UN DEMI-SIECLE (1957-2008)

Muhindo Sahani*

Résumé

Cité indigène créée depuis 1949, Butembo est un centre urbain qui connaît un développement impressionnant et une progression spectaculaire caractérisée par une forte anthropisation. La population est passée de 9653 habitants en 1957 à 581449 habitants en 2008, soit une multiplication par un facteur de 60,2 en 51 ans. Cet accroissement rapide de la population a provoqué une mutation profonde du paysage urbain. En effet, la zone urbanisée est passée de 2,15 km² en 1957 à 85,83 km² en 2008, soit un taux de variation de 3892% (c'est-à-dire une multiplication par un facteur de 40) en 51 ans. Il ressort de cette dynamique que sur 152 km² constituant la superficie de la ville de Butembo calculée sur base d'un SIG (Système d'Information Géographique) en utilisant Arcmap®, 56,47% d'étendue est effectivement urbanisée. L'objectif de cet article est de caractériser la dynamique de l'emprise urbaine de la ville de Butembo à l'échelle d'un demi-siècle (1957-2008) alliant photographies aériennes et imagerie satellitaire pour apporter une nouvelle image de la ville et permettre de décrypter les facteurs de l'organisation spatiale et le processus qui ont émaillés cette évolution. La classification par maximum de vraisemblance des aires d'entraînement du bâti a été réalisée pour décrypter la zone urbanisée, outre la démarche interactive qui a été facilitée par les images satellitaires de très haute résolution (QUICKBIRD de 2,4 m en multispectral et 0,61 m en panchromatique de 2005 et SPOT 5 de 2,5 m de résolution de 2004-2006 et 2008). Par souci de comparaison, une approche basée sur le calcul de l'indice de végétation normalisé (NDVI) a permis de localiser simultanément le bâti en 2004, 2006 et 2008, facilitant la comparaison visuelle et le repérage des endroits où un changement d'occupation du sol en terme d'urbanisation, synonyme d'augmentation du bâti et d'étalement urbain s'est manifesté. La densification du bâti au sein de la zone déjà urbanisée ainsi que celle qui s'effectue en périphérie est mise en évidence.

Mots-clés : Analyse diachronique, anthropisation, extension spatiale, télédétection, urbanisation

Summary

Native city created since 1949, Butembo is an urban center that is impressive growing and spectacular growth characterized by high human impact. The population increased from 9,653 inhabitants in 1957 to 581,449 inhabitants in 2008, a multiplication by a factor of 60,2 over 51 years. This rapid population growth has caused a profound change in urban area. Indeed, the urban area increased from 2.15 km² in 1957 to 85.83 km² in 2008, a great variation of 3892% (corresponding to multiplication by a factor of 40) over 51 years. It appears that this dynamic component of 152 km² area of the city of Butembo calculated on basis of a GIS (Geographic Information System) using Arcmap®, 56,47 % of extension is actually urbanized. The great aim of this paper is to characterize

* Faculté des sciences agronomiques, Université Catholique du Graben

the dynamics of the influence of the city of Butembo across half a century (1957-2008) combining aerial photographs and satellite imagery to make a new image of the city and allow decrypting the factors of spatial organization and processes that have raised that evolution. The maximum classification likelihood method was used to put in evidence to decipher the urbanized area, in addition to the interactive process which was facilitated by satellite images of very high resolution (QuickBird multispectral 2,4 m and 0,61 m panchromatic in 2005 and SPOT 5 at 2,5 m resolution in 2004-2006 and 2008). For comparison, an approach based on the calculation of Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) were located simultaneously housing in 2004, 2006 and 2008, facilitating visual comparison and identification of areas where a change of occupation ground in terms of urbanization, increased documentation of buildings and urban sprawl has manifested itself. Intensification of the housing within the already urbanized area and that which occurs in the periphery is highlighted.

Key words: diachronic analysis, human impact, spatial extension, remote sensing, urbanization

Introduction

1.1. Problématique de l'anthropisation et de l'expansion de la ville de Butembo

Le phénomène urbain est à l'heure actuelle un enjeu important à l'échelle planétaire (Weber *et al.*, 1997). L'urbanisation, tels un phénomène social et une transformation physique des paysages, est la plus puissante, irréversible et visible des transformations humaines sur la terre (Sánchez-Rodriguez *et al.*, 2005). L'urbanisation galopante dans le monde sera un des grands défis du bien-être humain et d'un cadre de vie sain (Redman et Jones, 2004). Dans les régions peu développées, cette urbanisation accroîtrait la pauvreté et serait à la base des diverses pollutions qui génèreraient des maladies tout en compromettant toute initiative de tentative de renforcement de la cohésion sociale.

Le Président de la République a signé le décret n° 042/2003 du 28 mars 2003 portant reconnaissance de Butembo comme ville et fixant ses limites. La ville est composée de quatre communes : Bulengera, Kimemi, Mususa et Vulamba. Les communes sont subdivisées en quartiers qui à leurs tours sont subdivisés en cellules. De 4.682 habitants en 1948, l'effectif de la population de Butembo a atteint respectivement 9653 habitants en 1957 et 79146 habitants en 1983 (Kasay, 1998). » Selon la mairie de Butembo, le dernier recensement réalisé par les chefs de quartiers indique que la population de la ville était de 581449 âmes en 2008.

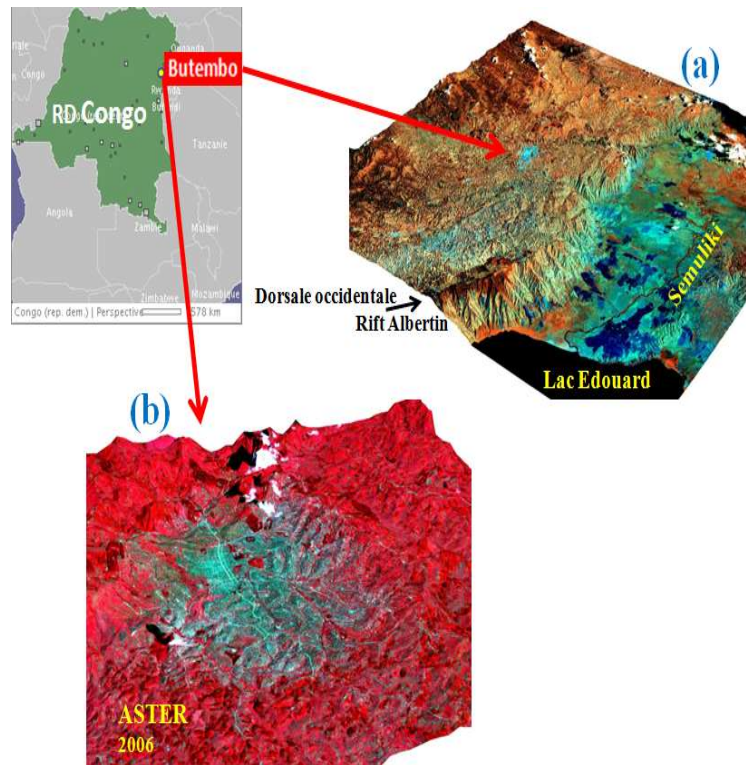


Figure 1. Localisation de la ville de Butembo :

(a) Topographie de la dorsale occidentale du Rift Albertin. (b) Extrait de l'Image ASTER en 3D de la ville de Butembo prise en 2006.

Cette croissance démographique sans précédent s'accompagne d'un exode rural des populations en provenance des zones périphériques et d'autres contrées et est accentuée par l'exiguïté et la faible productivité des terres. Le défi est d'assurer régulièrement le suivi de cette urbanisation. L'élaboration et la mise en œuvre des politiques urbaines pour le suivi régulier des phénomènes d'urbanisation nécessitent l'acquisition d'informations fiables et actualisées sur toutes les dynamiques en jeu (Azerzaq et al., 1997) et requièrent une connaissance précise des différents usages du sol urbain. De nombreuses études et recherches centrées sur la région ont été accomplies durant ces dernières années par des organismes et des chercheurs nationaux et internationaux. La dynamique de l'environnement alimente des débats scientifiques, politiques et sociaux. La compréhension des facteurs à la base de ces évolutions, la protection des écosystèmes jugés fragiles et la qualité du cadre de vie de l'homme sont désormais un souci partagé par tous. Tous ces acteurs dénoncent la surpopulation avec ses conséquences désastreuses sur les sols (Jones et Egli, 1984, Wils, Carael et Tondeur, 1986) et l'extension urbaine rapide (Kasay, 1988).

En dépit de l'importance majeure de la ville de Butembo pour l'avenir des écosystèmes de la région, les dynamiques de l'étalement urbain sont restées jusqu'alors peu étudiées. Des recherches combinant les analyses géographique, socio-économique et démographique en milieu urbain ont été développées, mais n'ont pas intégré, dans leur approche, l'analyse diachronique et spatiale, alliant les avantages qu'offrent la télédétection et les descentes sur terrain pour une gestion rationnelle des zones urbanisées. Les intervenants sont confrontés au manque des outils et d'approche méthodologique appropriée. Weber, (1995) stipule que la grande difficulté est de prendre en compte la ville, objet intrinsèquement dynamique, avec des outils nécessairement statiques, par besoin de stabilité et d'économie des moyens, alors que les processus de changement exigeraient une adaptation quasi-interactive. Cette démarche dynamique contribuerait à déterminer rapidement le changement dans l'occupation et l'utilisation du sol et permettrait de définir la typologie des quartiers alliant les aspects physiques urbanistiques et la composition socio-fonctionnelle pour améliorer le cadre de vie en ville de Butembo.

L'objectif de ce travail est de se rendre compte de l'évolution de l'emprise urbaine de la ville de Butembo, depuis sa création, alliant photographies aériennes et imagerie satellitaire. Le suivi de la dynamique de la gestion de la ville de Butembo par une analyse diachronique multi-source et, multi-échelle et multi-temporelle, s'avère aussi bien une nécessité et un défi pour les gestionnaires locaux étant donné que les outils cartographiques rares, obsolètes présentant des toponymies et légendes hétérogènes ne peuvent plus satisfaire les besoins en la matière.

Cette approche intégrant la télédétection et les campagnes sur le terrain apportera une nouvelle image de la ville et permettra de décrypter les facteurs de l'organisation spatiale et le processus de l'évolution. Elle a été utilisée efficacement par plusieurs auteurs à travers le monde qui ont aussi innové beaucoup d'autres approches cadrant avec la compréhension de la structure urbaine (Sietchiping, 2003 ; Xu, 2007, Xian et al., 2008 ; Vaguet et al., 1997 ; Guera et al., 1997 ; Skupinski et al., 2009 ; Assako Assako, 2000 ; Jacquin et al., 2008 ; Donnay et Lambinon, 2007).

Notons cependant que dans le cadre d'une recherche bibliographique sur l'étalement urbain, Tsayem Demaze, (2010) constate que la répartition géographique montre que la télédétection de l'étalement urbain porte essentiellement sur les villes des pays développés et des pays émergents. Ceci montre qu'il reste encore beaucoup à faire dans les villes des pays en voie de développement pourtant réellement confrontés à une explosion de l'étalement urbain. Il s'avère donc urgent de préconiser une approche méthodologique souple pour mieux appréhender le suivi et la gestion de la dynamique urbaine et ainsi améliorer les connaissances des récents scénarii de développement urbain à Butembo. Cette approche permettra de mettre en place des stratégies de gestion du terroir sur des bases scientifiques axées sur les réalités locales.

1.2. Spécificité et dynamisme du paysage urbain de Butembo

1.2.1. Historique

Avant 1924, le village de Lusando servait de résidence au Mwami des Bayora. Il était un centre dédié au commerce du sel en provenance de Katwe (Ouganda), du poisson et de « *milumba* », tissus d'écorces battues, en provenance des régions avoisinantes. Les années 1928 à 1930, la compagnie Minière des Grands-Lacs (MGL), installe le siège administratif de la direction Nord de ses exploitations à Butembo qui devient le centre de transit et d'acclimatation de la main d'œuvre situé au carrefour des routes. Dans les années 1930 à 1940, un noyau d'européens constitué essentiellement de commerçants et d'industriels s'installe à 1 km au sud du siège de la direction des MGL de part et d'autre de la route Congo-Nil, l'actuelle route Nationale N° 2. C'est la genèse d'une cité indigène entre la colline Kambali et l'avenue Ruwenzori (Muwiri K. et Kambalume K., 2002). Dans l'édition de 1943 des codes et lois du Congo-Belge, annotée par Léon STROUVENS avec Pierre PIRON, l'on trouvait déjà mentionné le nom de Butembo dans l'arrêté n° 47 du 19 août 1937, traitant des circonscriptions urbaines de la province de « Constermansville », le futur Kivu et ensuite morcelé en Nord-Kivu, Sud-Kivu et Maniema. Cet arrêté royal reconnaît Butembo comme grand village. Par la suite, en 1949 par l'arrêté n° 21/053 du 23 septembre 1949 conformément aux dispositions de l'ordonnance loi n° 170/AIMO du 20 juillet 1945 relative à la création des cités indigènes, Butembo a été reconnu comme cité indigène. De 1950 à 1959, Butembo a alors atteint l'avenue des écoles, le quartier Congo ya Sika avec respectivement 9653 habitants en 1957 et 11.189 habitants en 1959. L'année 1958 marqua la signature de l'ordonnance n° 97/138 du 15 mai 1956 soumettant Butembo au régime du décret du 21 février 1949 relative à l'urbanisme. Butembo a donc été reconnu comme centre extracoutumier par l'arrêté n° 221/180 du 12 septembre 1958. La décennie suivante, la cité s'étendra sur l'avenue Goma, cellule Vungi, Kimemi, Londo, Muhayirwa et Vihya. Avec une population de 26 065 habitants. En 1962, une loi est votée à l'assemblée du Kivu-Maniema pour relever Butembo au rang de commune (Muwiri K. et Kambalume K., 2002).

Butembo sera ensuite reconnue comme cité parmi les cités créées par les ordonnances présidentielles. Les années 1970 à 1979, la cité de Butembo est constituée de 6 quartiers nommés Kambali, Matanda, Vungi, Lumumba, Congo ya Sika et Président de la République. Plus tard, elle s'étend à l'est vers Kitulu, Kisingiri, au sud vers Kalimbute, Vutetse, Vulumbi, Vulema et Vuhika. La population se compte alors à 50921 en 1975 et 69 227 habitants en 1979. Vers les années 1987 quand la ville de Butembo comptait bien 92932 habitants et la période des années 1997, une agglomération voisine, celle de Makerere en collectivité-chefferie de Bashu se développa, tandis qu'à la chefferie de Baswagha, les différentes localités de Vohakatwa, Mukuna, Ivatama, Malera, Rughenda, Katsya et également Vutsundo connaissent fort une poussée démographique remarquable faisant donc passer la population à 141.707 âmes (Urbanisme, 2006). Le Président

de la République a signé le décret n° 042/2003 du 28 mars 2003 portant reconnaissance de Butembo comme ville. En fonction de cette évolution, nous constatons que Butembo a échappé à l'application des décrets sur l'urbanisme de 1949 et de 1957 ce qui se répercute sur sa trame urbaine.

1.2.2. Objectifs de l'article

Cet article a pour objectif de délimiter le périmètre urbain de Butembo sur base d'une couverture physique du sol. Elle permet de se rendre compte de l'évolution de l'emprise urbaine de la ville de Butembo à l'échelle d'un demi-siècle (1957-2008) alliant photographies aériennes et imagerie satellitaire. Cette approche intégrant les campagnes sur terrain et la télédétection apporte une nouvelle image de la ville et permet de décrypter les facteurs de l'organisation spatiale ainsi que le processus de l'évolution.

Le suivi de la dynamique de la gestion de la ville de Butembo par une analyse diachronique multisource, multiéchelles et multi-temporelle s'avère aussi bien une nécessité et un défi pour les gestionnaires locaux étant donné que les outils cartographiques rares, obsolètes présentant des toponymies et légendes hétérogènes ne peuvent plus satisfaire les besoins dans les conditions de croissance rapide de la ville. Le but est de palier au problème lié à l'obsolescence des cartes et de revisiter les chiffres relatifs à la superficie de la ville de Butembo repris dans la littérature. Notre motivation pour le choix des périodes 1957, 1975, 1987, 2004 ; 2005 ; 2006 et 2008 se justifie par la disponibilité simultanée des informations spatiales et démographiques pour la ville de Butembo.

2. Matériel et Méthode

2.1. Cadre physique de la ville de Butembo et contexte de la gestion foncière en territoire urbain

2.1.1. Cadre physique de la ville de Butembo

Butembo est situé dans la partie septentrionale de la province du Nord-Kivu au nord-est de la République Démocratique du Congo entre 0°05' et 0°10' de latitude nord et 29°17' et 29°18' de longitude Est. Il se trouve à environ 15 km au nord de l'équateur à proximité de la dorsale occidentale du Rift Albertin à la latitude du lac Edouard (Fig. 1). La zone urbaine est bâtie sur un terrain à relief accidenté avec des altitudes variant entre 1463 m, au confluent des rivières Kinzedeu et Mususa, et 2030 m au sommet de la colline Buyonga-Marundu. La zone urbanisée occupe une dépression avec une altitude moyenne de 1750 m qui s'arrête en aval du Grand séminaire de Vulindi et au marché Bwanandeke à Biasa à la côte de 1680 m. Cette dépression serait probablement une extension de l'aplanissement local qui a été décrit par Lepersonne (1949), mais qui s'est développé essentiellement dans le complexe orthogneissique.

Le substrat géologique est très fragile et sensible à l'érosion (Jongen, 1970; Kasay, 1988 ; Vyakuno, 2006). Les soubassements des roches du socle précambrien ont subi de plissement au cours du Paléozoïque (Asselberghs, 1939), et les intrusions récentes des granites seraient influencées par des mouvements orogéniques (Asselberghs, 1939). Autour de Mubunge, se trouve le complexe basique de la Luhule-Mobisio. Il est composé de metabasaltes, dolérites, diorites et de blocs de quartzite (Département des Mines, 1981a). Les schistes du Burundien inférieur et moyen se trouvent dans le nord-ouest et l'extrême sud-est de la ville (BRGM, sd). Ces schistes de couleur sombre et facilement débitables en plaquette sont par endroit sains sur les interfluves et parfois dans un état d'altération très avancée au bas des collines avec des intercalations d'importants bancs quartziques. A l'est et au sud-ouest de la ville un complexe orthogneissique s'étend dans une direction NE-SW. Ce complexe appartient à la période de l'Antékibalien ou Kibalien inférieur qui date d'environ 2 800 Ma (Cahen, 1954 et le BRGM, sd). Il est constitué de granites et de granodiorites laminés et retromorphosés. On sait y reconnaître aussi des orthogneiss, des gneiss, migmatite, pegmatite, des amphibolites et de dolérites (Département des Mines, 1981a). Le démantèlement et l'ablation de toutes ces roches produisent un matériau détritique qui se dépose dans les anciens dambos où la stratification au sein des alluviaux est bien nette et où un drainage déficient serait à la base du processus de glyfification rencontrée dans les vallées. Ces sols sont pour la plupart des kaolisols parce qu'ils sont formés par un matériau kaolinitique caractérisé par une fraction argileuse à dominance de kaolinite et d'oxydes libres.

Le réseau hydrographique est très dense et les sources témoignent de la prédominance des nappes phréatiques perchées. Butembo est adjacent au Rift Albertin, qui fait partie d'un immense système de dépressions du Graben (Fig. 1), bordé par des failles normales radiales (Heinzelin, 1955). Ces montagnes sont une surface d'aplanissement ancienne déplacée vers l'ouest dans l'orogénèse du Tertiaire (Moeyersons, 1975). Le rift forme une région montagneuse active (Joly, 1997), qui est réaffirmé par des mouvements tectoniques récurrents au cours des dernières décennies, avec des dommages considérables aux infrastructures dans la région et qui sont encore bien marqués par endroit.

Butembo jouit d'un climat subtropical humide (*Afi*) tempéré par les montagnes (Kasay, 1988 ; Vyakuno, 2006). La température moyenne oscille autour de 18°C, avec deux saisons des pluies, de Mars à Avril et Août à Novembre influencé par le passage de la zone de convergence intertropicale (ZCIT). Les deux saisons relativement sèches vont de Juin à Juillet et de Janvier à Février. La précipitation moyenne (1365 mm) dans la région est typique à la zone équatoriale (Bultot, 1950) étant donné que la contrée jouxte la forêt de cette zone.

2.1.2. Données spatiales utilisées dans le cadre de ce travail

Les données de télédétection multidates, multisources et multiéchelles utilisées. Sont : 1) les photos aériennes de 1957 à l'échelle de 1/40.000, noir et blanc; (2) Une image LandSat MSS du 12 mars 1975 multispectrale à 30 m de résolution; (3) Une image Landsat TM du 7 août 1987 multispectrale à 30 m de résolution; (4) Une image Landsat ETM+ du 14 mars 2001 en multispectral à 30 m de résolution; (5) une image Quickbird du 18 avril 2005 ; (2,4 m de résolution en multispectral et 60 cm de résolution en panchromatique); (6) une image Orbview (1 m de résolution en panchromatique) du 3 juillet 2005 ; (7) Une image ASTER à 30 m de résolution du 23 mai 2006 ; (8) une SPOT de 1987 ; (9) une image SPOT de 2004 ; (10) une image SPOT du 23 mai 2006 ; (11) une image SPOT du 11 mai 2008 ; (12) une image Orbview du 03 juillet 2005. En totalité, 12 données spatiales différentes en échelle, en date et en source ont été utilisées. Nous avons généré une pancharp vraie couleur (321) intégrant l'intensité de l'image panchromatique et la couleur de la multispectrale pour la Quickbird très remarquable. Des traitements préalables avant toute utilisation ont été effectués.

2.2. Approches utilisées pour déterminer la limite et matérialiser l'évolution de la trame urbaine de la ville de Butembo

2.2.1. Démarche interactive appliquée dans le cadre de ce travail

La première approche a consisté à déterminer l'entité urbaine existant pour chaque image en fonction de l'approche développée par Pumain *et al.* (1991). Ces auteurs affirment que l'entité urbaine est définie par le domaine de la construction continue autour d'un centre qui bénéficie d'interactions idéal et entre les personnes et les différentes activités possibles, et estiment que cette zone est caractérisée par une densité de population d'au moins 50 à 1000 personnes, selon les pays. L'utilisation de ces principes ont facilité la délimitation de l'entité urbaine de Butembo pour les images de très haute résolution. Des descentes sur terrain très fréquentes ont permis d'attester certaines observations sur les images.

2.2.2. Décryptage du bâti urbain de Butembo par la méthode de classification basé sur l'algorithme du maximum de vraisemblance

Pour décrypter objectivement l'emprise urbaine, il s'est avéré utile d'identifier les différentes caractéristiques des matériaux couvrant les toitures de la ville de Butembo. Il s'agissait ainsi, d'extraire les informations spectrales permettant d'aboutir à un partitionnement de l'image sur l'étendu de la ville. Cette approche a permis de faire correspondre à un ensemble de caractéristiques radiométriques, observées sur l'image, une réalité thématique. Quatre classes identifiées en fonction des aires d'entraînement du bâti ont ainsi été constituées : toit en tôle éclairage normal-toit en tôle brillant-toit en tôle ombre-toit en tuile.

La méthodologie choisie a priori dans ce cas pour mettre en évidence la trame urbaine exploite l'algorithme du maximum de vraisemblance qui découle de la théorie de la probabilité du théorème de Bayes. Le principe de la classification bayésienne étant de segmenter une image par les calculs de probabilités d'appartenance à une région donnée pour chaque pixel de l'image, il est alors question de calculer l'appartenance d'un pixel à une classe définie par des zones d'apprentissage, par estimation du maximum de vraisemblance (Robin, 1995). Cette règle du maximum de vraisemblance a été utilisée pour les classifications. Plusieurs réitérations ont permis d'améliorer les résultats. Les aires d'entraînement du bâti ont été modifiées lors des itérations, de manière à obtenir un seuil de satisfaction suffisant (90% de bonne classification et un coefficient de Kappa supérieur ou égal à 0,8). En calculant pour chaque classe, la moyenne et la variance, on procède à l'estimation de la probabilité d'appartenance de chacun de pixel. Le choix est alors porté à la classe qui a la probabilité la plus forte en supposant l'hypothèse d'une distribution gaussienne. En termes clairs, l'ensemble des résultats est une image de la somme des probabilités d'appartenance illustrant le bâti de la ville de Butembo (fig. 6). Mais pour y arriver, des conditions ont été établies. Il s'agissait de (1) l'élimination des toits à tuiles étant donné que leurs réflectances sont trop proches de celles des sols nus et qu'ils sont trop peu présents sur l'image et de (2) la non prise en compte des réflectances trop fortes de la panchromatique qui représente les nuages et qui offusque certaines informations. La figure 6 illustre la méthodologie appliquée pour extraire le bâti de la ville de Butembo.

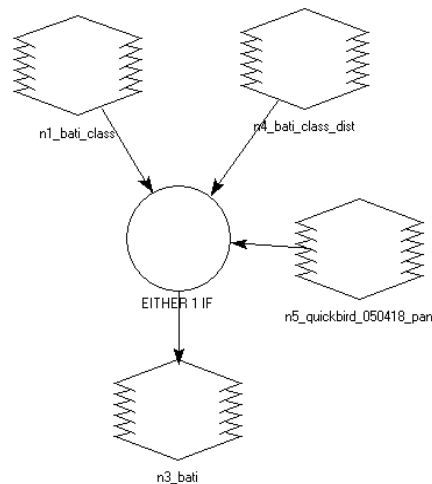


Fig. 6. Méthodologie appliquée sur l'image pour extraire le bâti de la ville de Butembo

D'autres méthodes (binarisation, NDVI) ont été testées pour consolider l'interprétation et la validation des résultats des classifications et ont servi à la description qualitative et quantitative de l'étalement urbain à différentes échelles d'espace (trame urbaine) et de temps (1987 ; 2004 et 2006).

2.2.3. Méthode de l'indice de végétation

Le calcul de l'indice de végétation est l'un des moyens les plus utilisés en télédétection satellitaire pour distinguer les espaces végétalisés de ceux qui ne le sont pas. Cet indice est soit calculé à partir des mesures de réflectance sur terrain, soit à partir des comptes numériques fournis par des données satellitaires. Il se calcule suivant plusieurs formules qui sont basées essentiellement sur le principe selon lequel la végétation chlorophyllienne absorbe le rouge et réfléchit le proche infrarouge, alors que le sol nu réfléchit surtout le rouge (Tricart et al., 1996). Dans le cadre de la présente étude, l'utilisation de l'indice de végétation normalisé a été préférée. Ce calcul a été fait sur base du logiciel ENVI 4.6. Cette urbanisation se traduit dans ce cas par la dégradation de la végétation dans les limites administratives actuelles de la ville. Il est donc déduit du rapport $\text{PIR-R}/\text{PIR+R}$. Un seuillage radiométrique (de -0,1) a été appliqué à la bande spectrale du proche infrarouge (bande 3) des trois fragments d'images représentant la trame urbaine de Butembo. Sur base de cette approche le bâti a été extrait et l'image binaire a été élaborée, ce qui facilitait la comparaison des surfaces bâties dans l'agglomération urbaine. Pour localiser simultanément le bâti de 1987 ; 2004 et 2006, une fusion de ces trois trames urbaines a été faite. Elle permettait de comparer visuellement et de repérer des endroits où des changements se sont manifestés en rapport avec l'occupation du sol en termes d'urbanisation traduisant l'augmentation du bâti. L'étalement urbain qui en résulte est mis en évidence à l'aide de l'image de 2006 par comparaison rétrospective avec les images 2004 et 1987. Cette approche est intéressante car elle permet aussi de se rendre compte de la densification du bâti au sein même de l'agglomération urbaine, outre l'étalement dans les périphéries.

3. Résultat

3.1. Analyse comparée de l'évolution de la trame urbaine et de la croissance démographique en zone urbaine de Butembo

3.1.1. Carte de la ville de Butembo

La carte de la ville de Butembo est issue d'un traitement SIG (Système d'Information Géographique) que nous avons faite sur base des coordonnées GPS prélevées au mois de septembre 2010 le long de la limite administrative de la Ville de Butembo avec le Chef de service d'Urbanisme et Habitat, Jérémie Mundama sous couvert de la Mairie conformément à l'article 2 du Décret Présidentiel N°042/2003 du 28 mars 2003, portant création de la ville de Butembo et fixant ses limites.

La superficie de la ville de Butembo calculée sur base de cette démarche est de 152 km². Elle est différente de celle que l'on peut retrouver dans la quasi-totalité des littératures estimant que la ville de Butembo s'étend sur 190,34 km². La différence équivaut à 38,34 km². La figure 7 présente la carte de la ville de Butembo. Les coordonnées sont projetées dans la projection Transverse Mercator dans le système GCS_WGS_1984 ; le DATUM D_WGS_1984 et le sphéroïde WGS_1984.

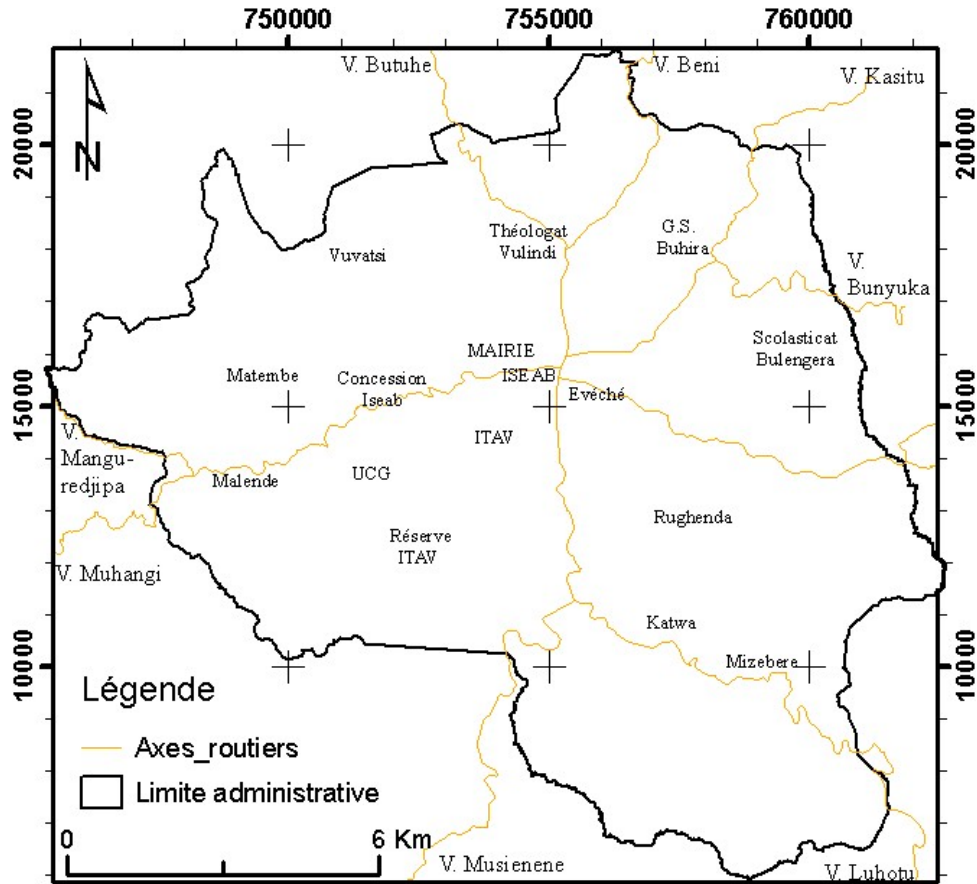


Figure 7. Carte de la ville de Butembo

Source : Traitement SIG de Muhindo Sahani sur base des coordonnées GPS prélevées le long de la limite administrative de la Ville de Butembo avec le Chef de service d'Urbanisme et Habitat, Jérémie Mundama.

3.1.2. Dynamique du développement urbain à Butembo

3.1.2.1. Population et zone urbanisée

Cité indigène créée depuis 1949, Butembo est une agglomération urbaine qui connaît un développement impressionnant et une progression spectaculaire caractérisée par une forte anthropisation. La population est passée de 9653 en 1957 à 581449 habitants en 2008, soit un taux de variation de 5923% (c'est-à-dire une multiplication par un facteur de 60,2) en 51 ans.

Le tableau 1 récapitule les données chiffrées relatives à la dynamique du développement urbain en relation avec l'accroissement de la population en ville de Butembo de 1957 à 2008.

Tableau 1. Caractéristique de la croissance spatiale et démographique par période considérée

Année	Superficie de la zone urbanisée	Population de Butembo	Proportion zone urbanisée/zone administrative	Taux de variation zone urbanisée	Densité de population en zone urbanisée	Taux de variation densité de population en zone urbanisée	Densité de la population/zone administrative	Taux de variation population/zone adttive
1957	2,15	9653	1,4		4489,77		63,51	
1975	7,38	50921	4,9	243	6899,86	53,68	335,01	427,51
1987	19,00	92932	12,5	155,1	4891,16	29,11	611,39	82,50
2001	39,51	424850	26,0	108,0	10752,97	119,85	2795,07	357,16
2005	56,64	527684	37,3	43,5	9316,45	13,35	3471,61	24,20
2006	80,18	539277	52,8	41,6	6725,83	27,80	3547,88	2,19
2008	85,83	581449	56,5	7,0	6774,43	0,72	3825,32	7,82

On constate que ces accroissements varient différemment selon les époques, certaines ayant été fort marquées par cette anthropisation. De 1957 à 1975, la population est passée de 9653 à 50921, soit un taux de variation de 427,51% (Tab. 1) soit une multiplication à un facteur de 5,2 en 18 ans. Entre 1975 et 1987, la population n'a que faiblement augmentée. Avec un taux de variation de 82,5%, soit une multiplication par un facteur de 0,06 en 12 ans. En revanche, entre 1987 et 2001, le taux de variation s'élève à 357,16% (tab. 1) soit une multiplication par un facteur de 4,57 en 14 ans.

Lorsqu'on veut se rendre compte de la concentration de la population à l'intérieur même de la zone urbanisée, il sied de souligner que le taux de variation de la population au sein celle-ci est très spectaculaire en 2001. En effet, ce taux de variation s'élève à 129,16%, soit une multiplication par un facteur de 4,76 en 14 ans entre 1987 et 2001 alors que les autres périodes sont caractérisées par de faibles taux de variation pour ce qui est de la zone urbanisée. Il y a lieu d'évoquer la conjonction de deux événements quasi diamétralement opposés, mais concourant tous deux à l'afflux des populations vers la ville de Butembo. Les premières périodes des années 90 sont largement marquées par un grandiose boom de l'essor économique de la ville Butembo (Kitakya P., 2007) et donc bien florissant, le milieu urbain attirera davantage vers lui des masses des populations, les unes attirées par le mirage urbain, les autres pour se frayer des ouvertures vis-à-vis de l'emploi en ville. Paradoxalement, la dernière moitié des années 90 voit cet engouement s'amplifier suite à l'insécurité infligée à la région par une succession des guerres dites de libération.

Notons en guise d'illustration qu'en 2001, les constructions des maisons ne pouvant plus suivre le rythme de l'afflux massif des populations vers le centre urbain, les concentrations des populations dans les ménages d'accueil ont atteint un niveau jamais connu au sein de la ville. Intuitivement, des sensations d'une surpopulation dans la ville faisaient l'objet des conversations. Disposant de l'image ETM+ de LANDSAT de 2001 et de la population en cette année, nous avons calculé la densité de population de 11208,55 habitants/km² en nous référant seulement à la zone urbanisée qui est de 39,51 km² pour une population de 442850 habitants. Cette valeur reste offusquée par la valeur moyenne de la densité de la population de la ville de Butembo en 2001, qui est de 2913,5 habitants au km² en prenant en compte toute la circonscription administrative dont la superficie calculée est de 152 km².

Cette croissance rapide de la population a induit une transformation profonde du paysage à des vitesses et selon des formes d'évolution allant probablement au delà des prévisions possibles. Il est donc quasi-impossible, dans ce contexte, que les moyens conventionnels d'analyse puissent permettre un suivi pour rendre compte efficacement de ce rythme d'évolution et d'avoir une vue actualisée de l'organisation de l'espace urbain. C'est pourquoi, nous avons recouru à l'imagerie satellitaire, un outil incontournable, qui nous a permis de mettre en évidence, sur base d'une analyse diachronique échelonnée sur un demi-siècle, la caractérisation de l'occupation de l'espace en zone urbaine de Butembo. La figure 9 illustre cette dynamique au fil du temps depuis 1957 jusqu'à 2008 alors que la figure 8 présente la mise en échelle commune pour faciliter la comparaison visuelle de l'emprise urbaine de la ville de Butembo de 1957 à 2005. Cette augmentation de la population a eu une incidence sur l'expansion spatiale dans le temps d'une superficie successive de 2,58 km² en 1957 ; 8,65 km² en 1975 ; 20,36 km² en 1987. L'espace urbain a atteint 45,65 km² en 2001 et 53 km² en 2005 (fig.9 et fig. 8).

Avec cet accroissement rapide de la population, la trame urbaine n'a fait que subir l'effet de l'anthropisation. Ainsi, l'espace urbanisé est passé de 2,15 km² en 1957 à 85,83 Km² en 2008 (fig. 12), soit un taux de variation de 3892% (c'est-à-dire une multiplication par un facteur de 40) en 51 ans. De même à ce niveau, les époques sont différemment affectées par cet accroissement rapide de l'espace urbanisé. D'abord spectaculaire en 1975, soit un taux de variation de superficie urbanisée de 243% (Tab. 1) équivalent à une multiplication par un facteur de 3,4 en 18 ans, cet élan est gardé jusqu'aux années 2001 avant de voir l'urbanisation se stabiliser en 2005 et 2006 et finalement réduire très sensiblement son rythme de croissance en 2008 (Tab. 1).

Il faut précisément noter que le contexte des élections a fortement marqué la région pendant cette période. Le vote était fait davantage dans sa circonscription d'origine essentiellement et le retour de l'accalmie, bien qu'éphémère malgré l'effort consenti par les gouvernants, aurait joué un rôle prépondérant dans cette volonté de toujours occuper l'espace.

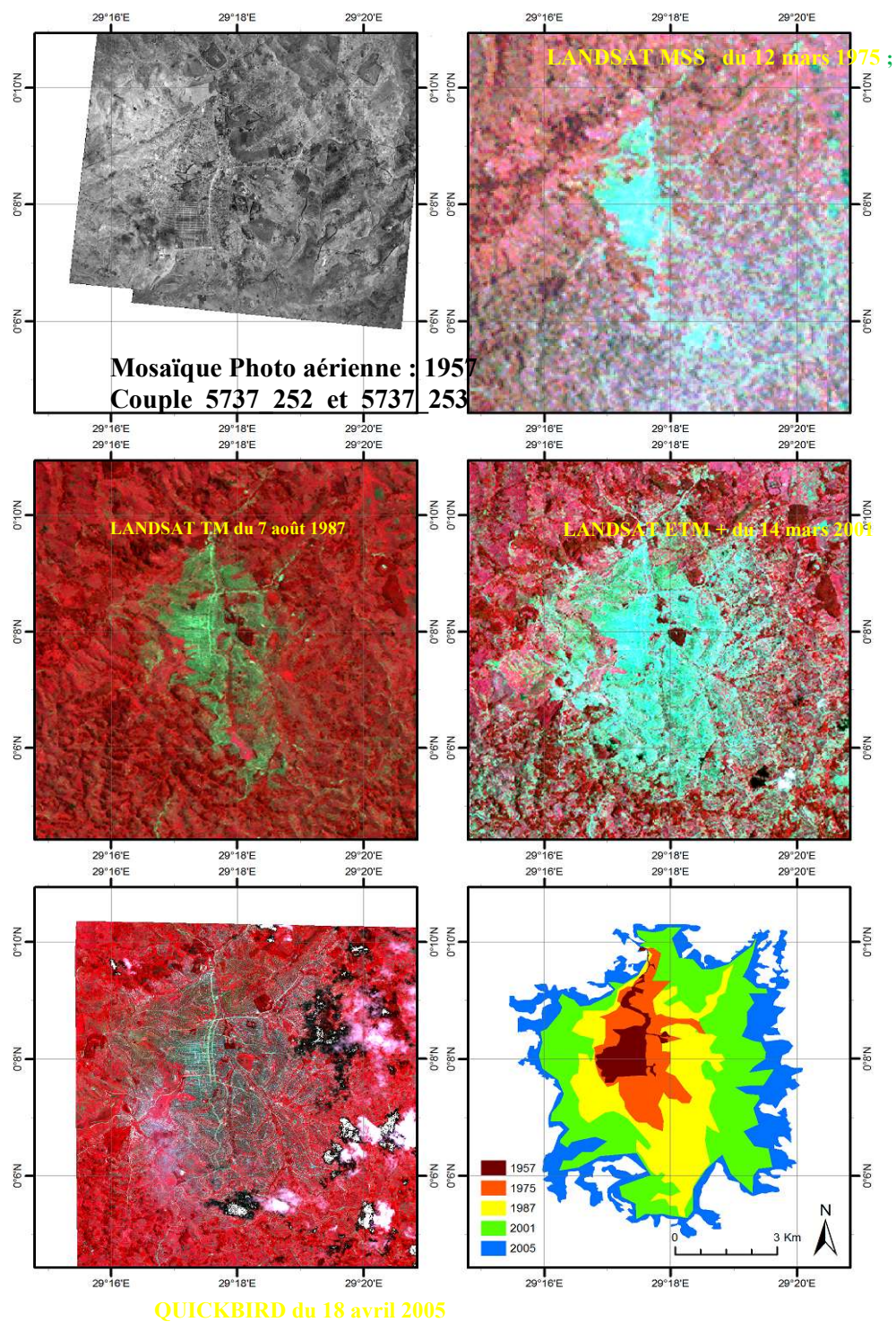


Figure 8. Evolution de l'emprise urbaine de la ville de Butembo de 1957 à 2005.

Source : Photo aérienne et Landsat : Tervuren ; Quickbird : Liège, Labo de Géomorphologie et Télédétection de l'Ulg.

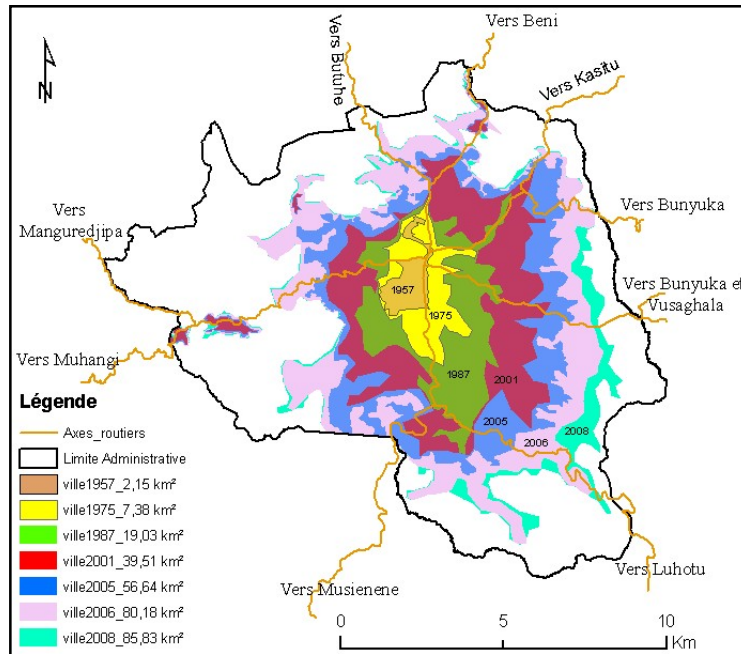


Figure 9. Evolution de l'emprise urbaine de la ville de Butembo de 1957 à 2008

3.1.2.2. Le bâti urbain

La classification par maximum de vraisemblance des aires d'entraînement du bâti qui a été réalisée à partir de la somme des probabilités d'appartenance illustre *in fine* le bâti de la ville de Butembo (fig. 10).

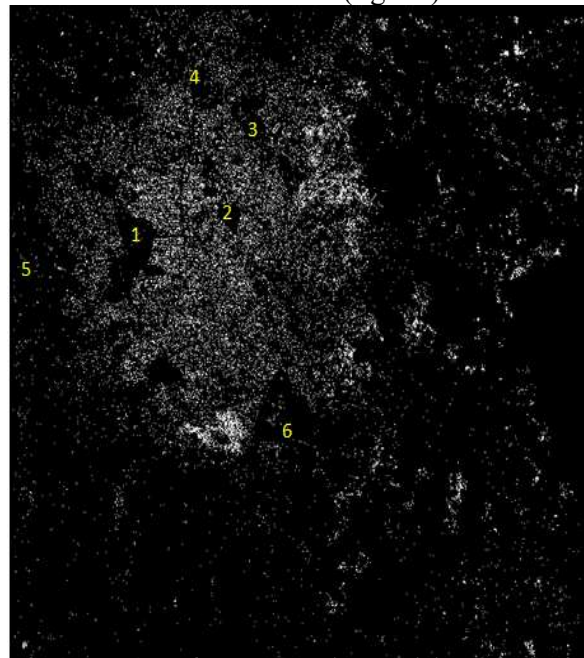


Figure 10. Bâti urbain de la ville de Butembo en 2005.

On sait reconnaître sur la figure : 1). La concession de l'ITAV ; 2). Le boisement de Kitambala connu sous le nom de Dada ; 3). Le boisement de Cafékit vers Muchanga ; 4). Le boisement de Vulindi au Théologat ; 5). La concession de l'UCG et 6). La concession de Katwa

3.1.2.2. Relation entre la population urbaine et la surface urbanisée

La figure 11 retrace la relation entre l'évolution de la population et de l'emprise urbaine.

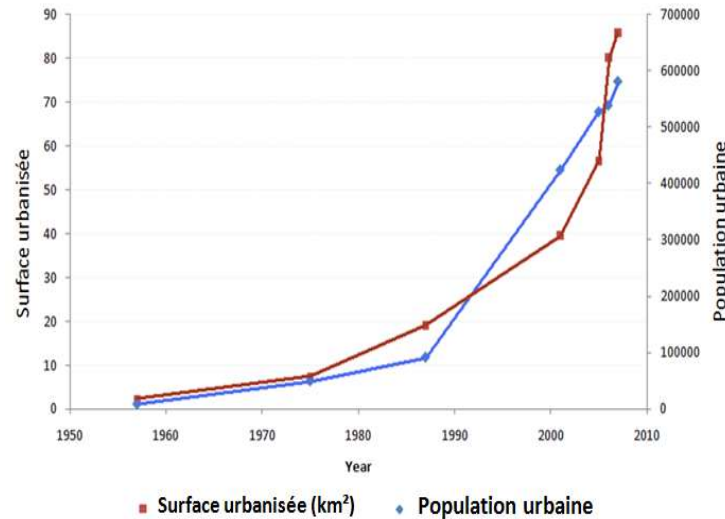


Figure 11. Relation entre l'évolution de la population et l'emprise urbaine de la ville de Butembo

Depuis les années 1957 jusqu'en 1975, il s'établissait un équilibre dynamique entre l'accroissement de la population et la surface urbanisée (fig. 11). A partir de cette période, la surface urbanisée s'est accrue très sensiblement probablement suite à la demande des terres. La population a continué à s'accroître tout en restant relativement inférieure au taux d'accroissement de la trame urbaine jusqu'à vers les années 1994. Après cette époque, l'anthropisation s'est fort manifestée avec une concentration de la population dans les zones habitées. Ceci corrobore, l'afflux massif des populations rurales vers la ville et le souci de profiter du boom de l'essor économique qui a caractérisé la ville vers les années 1990 (Kitakya P., 2007). Une situation malheureuse, liée aux multiples conflits qui n'ont cessé d'endeuiller la région, n'a fait qu'accélérer cet afflux massif de population vers les années 96, suite aux premières guerres dites de libération. Ensuite, les années 98 et 2000 caractérisant une période dont les deuxièmes guerres de libérations auront exacerbé la situation, ont vu cette croissance progresser rapidement avec une multitude des réfugiés qui étaient bien largement accueillis dans beaucoup de ménages d'accueil et des associations humanitaires conduisant à une densification spectaculaire à l'intérieur de la zone urbanisée. Les années 2006, après les élections, une accalmie a poussée plus certaines personnes de

regagner les milieux d'origine, ce qui a permis la ville de se déconcentrer de la masse populaire qui venait d'ériger domicile à l'intérieur ainsi qu'aux extrémités de la ville.

3.1.2.3. Analyse de l'urbanisation sur base des calculs de NDVI

Le lotissement de la ville de Butembo, quels que soient les acteurs (étatiques ou non) qui interviennent, se fait par individu à qui l'on octroie des parcelles de forme géométrique régulière ou irrégulière (rectangle, carré, triangle, trapèze...) selon la disponibilité et l'emplacement et donnant un aspect particulier à la trame urbaine de Butembo. Ce mode de lotissement, tout en n'étant pas mauvais en soi, semble être consommateur de l'espace. Le plus souvent ce sont les champs entiers qui sont lotis. Les propriétaires entretiennent ces champs ou bâtissent des maisons en dégradant la végétation. L'étalement urbain se traduit dans ce contexte aussi bien par l'augmentation de la surface du bâti ou des champs complètement dénudés de leur végétation. Nous avons pour ce faire, appliqué un seuillage radiométrique à la bande spectrale du proche infrarouge (bande 3) de trois extraits d'images représentant l'agglomération urbaine. Cette approche a permis d'extraire le bâti et de procéder à l'élaboration d'une image binaire (fig. 12) qui permet de comparer les surfaces bâties au sein de la ville en 1987 ; 2004 et 2006 (fig.12). Les résultats font donc état d'une surface urbanisée en progression. Sur base de ce traitement, l'espace urbain est passé de 19,55 km² en 1987 à 55,29 km² en 2006, soit un taux de variation de 182,81% (c'est-à-dire une multiplication par un facteur de 2,83) en 19 ans. Entre les périodes différentes, notamment celle allant de 1987 à 2004, l'espace urbanisé est passé respectivement de 19,55 Km² à 35,27 Km², soit un taux de variation de 80,4% (c'est-à-dire, une multiplication par un facteur de 1,8) en 17 ans. De même, l'espace urbain est passé de 35,27 Km² en 2004 à 55,29 Km² en 2006, soit un taux de variation de 56,76% (c'est-à-dire une multiplication par un facteur de 1,56) en 2 ans.

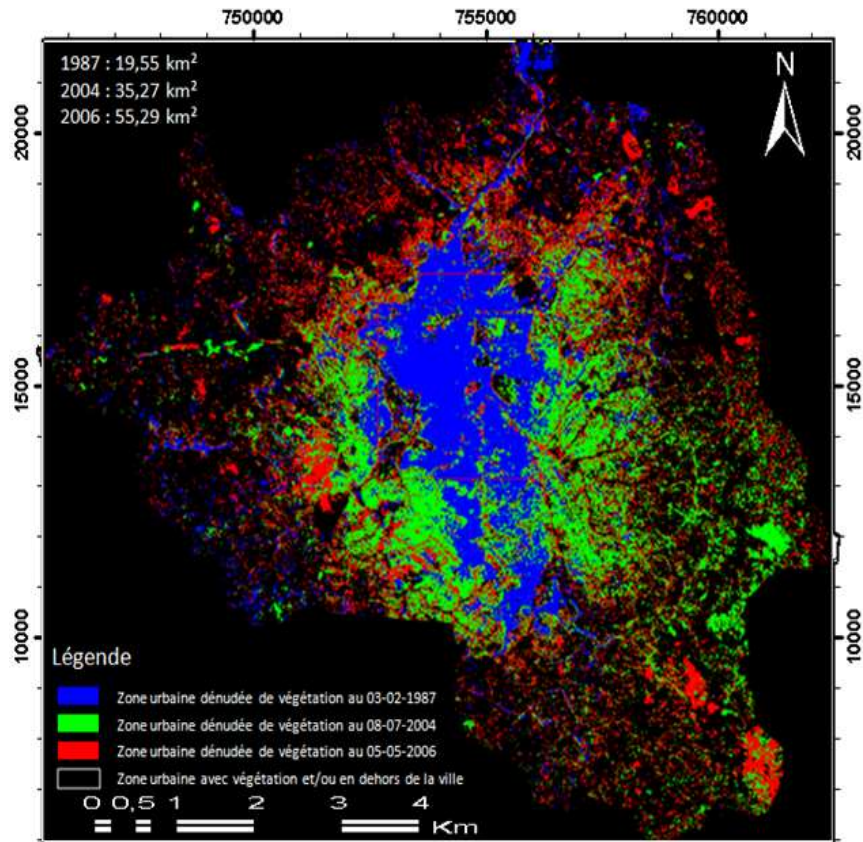


Figure 12. Évolution de la zone urbaine de Butembo en utilisant la méthode de NDVI avec une valeur seuil de -0,1.

Comme on pouvait le remarquer à la figure 11, l'allure de la croissance aussi bien de la population et de la surface urbanisée était dans un équilibre dynamique et progressait presque simultanément sans que l'une puisse prédominer sur l'autre entre la période allant de 1975 à 1987. Cette situation se confirme dans le cadre de calcul basé sur le NDVI. En effet, les deux aires d'entraînement du bâti urbain sont presque identiques. Pour la même année 1987, les deux espaces urbains, 19,00 km² et 19,55 km² respectivement calculés sur base d'une approche interactive et du mode de calcul du NDVI au seuil de -0,1 sont quasi-égaux. Le seuillage bien qu'ayant fait preuve des bons résultats pour la première période, a pourtant sous-estimé l'aire d'entraînement du bâti. Étant donné que cette sous-estimation s'applique aux images prises dans des conditions bioclimatiques comparables, du moins si l'on se rappelle que le mois de mai et de juillet, à Butembo sont caractérisés globalement par des faibles précipitations, il ya lieu pour des raisons d'évaluations de faire une comparaison dont l'image fait preuve d'une augmentation de la surface urbanisée. Les trois espaces urbains combinés permettent davantage de circonscrire plus conjointement le bâti de l'an 1987 ; 2004 et 2006. Dans cette perspective, la comparaison visuelle des zones sollicitées par

le bâti et d'autres effets relatifs à l'anthropisation est rendue aisée. Elle permet in fine de se rendre compte du changement d'occupation du sol à l'aide de l'image 2006 par comparaison rétrospective avec l'image de 2004, puis 1987. La densification des bâtiments aussi bien à l'intérieur qu'à l'extérieur de la ville est facilement repérable.

Conclusion et perspectives

La croissance urbaine est un phénomène permanent et une réalité qui ne va pas disparaître dans les décennies à venir. C'est pourquoi, les nouvelles configurations urbaines exigent des nouvelles modalités de gestion urbaine et la mise en place des institutions qui sont adaptées à la nature polynucléaire de ces régions urbaines. Si ces réformes ne sont pas rapidement adoptées et mises en œuvre, les grandes villes finiront par se fragmenter, deviendront dysfonctionnelles et de plus en plus difficiles à vivre, et peuvent se transformer en foyers critiques de risque environnemental, social et politique. A défaut d'une gestion rationnelle et effective, des très fortes concentrations de population peuvent facilement devenir des facteurs d'instabilité et constituer un risque pour la continuité du système urbain et devenir, en fin de compte, un facteur de risque pour la pérennité politique, économique sociale de toute une nation (ONU HABITAT, 2010). Même si les réformes dans le domaine de gestion urbaine pourraient s'avérer difficiles, pénibles et coûteuses, il est de notre devoir de prévenir les acteurs locaux de développement, des actions sociales ainsi que les agents des municipalités que les conséquences de l'inaction pourraient être bien pires.

Notre contribution est donc une anticipation pour contourner ce fléau susceptible d'amplifier la vulnérabilité de la population de Butembo. Etant donné que la ville subit déjà des répercussions graves liées à sa forte anthropisation et qu'elle se trouve dans un contexte de gouvernance et de gestion urbaines dont les normes sont loin d'être à la hauteur des défis sous-jacents, nous estimons que les méthodologies alliant télédétection et visites sur terrain en s'appuyant sur une approche globale et systémique et privilégiant les actions concertées pourraient s'avérer salubre pour le cas de la ville de Butembo. Les traitements effectués sur différentes images satellitaires (QUICKBIRD, SPOT, ASTER, LANDSAT, ORBVUE) couvrant la ville de Butembo ont montré que ces types d'images apportent des informations intéressantes et à court laps de temps. Toutes les démarches dénotent d'une forte anthropisation de la ville de Butembo induisant une transformation profonde de son paysage nettement perceptible et différent selon les époques. L'armature urbaine particulière de Butembo permet de décrypter le plan urbanistique qui traduit son originalité.

Pour l'instant, nous avons mis en place, pour la ville de Butembo un Projet SIG sur base de Arcmap© mais, largement compatibles avec une multitude d'autres outils de gestion, dans lequel pourrait s'intégrer ainsi une panoplie d'autres différentes interventions qui cadrent bien avec l'amélioration de la bonne gouvernance urbaine. Les différents résultats de cette étude pourraient davantage être intégrés dans une base des données sur l'environnement urbain et pourraient

être utilisés dans le processus de modélisation et de suivis de dynamiques environnementales urbaines de Butembo. Nous avons pu générer la nouvelle carte de la ville de Butembo et sur base d'une analyse diachronique, nous avons élucidé rétrospectivement les formes urbaines acquises lors du développement de cette ville à l'échelle d'un demi-siècle (1957-2008). Ces cartes pourraient orienter les investigations de terrain qui concourent à une analyse minutieuse qui ne cesse de motiver l'étalement urbain.

Dans un avenir proche et dans le souci de canaliser un développement urbain durable à Butembo, les recherches qui suivront cette étude focaliseront l'attention, sur la localisation des sites propices à l'étalement urbain et aux futurs aménagements. En intégrant toutes ces approches, les intervenants prendront conscience en profondeur des situations dans lesquelles se trouvent les communautés urbaines de Butembo et ainsi apprécieront objectivement, sur des bases scientifiques les motivations de l'occupation du sol et son impact sur l'environnement. La bonne gouvernance urbaine et l'inclusion sociale sont les conditions d'un nouveau pacte urbain en ville de Butembo. Elles seront à base des rencontres, des dialogues, des co-constructions des savoirs, de co-gestion de services et tiendront compte des logiques de tous les acteurs *in situ* dans un souci de renforcement de la cohésion sociale. Elles permettront de remodeler l'espace urbain en environnement sain. Elles pourront ainsi permettre, suite à des formations continues, de minimiser la vulnérabilité de la population par le biais d'une meilleure gestion du territoire urbain.

Références

1. ASSAKO ASSAKO, R.J., 2000. Méthode navette image-terrain pour la réalisation des cartes d'occupation du sol en milieu urbain africain : le cas de Yaoundé (Cameroun). *TELEDETECTION*, vol. 1, p. 285-303.
2. ASSELBERGHS, E., 1939. Notice explicative de la carte géologique de la région du Kivu au 500 000°. In ASSELBERGHS E. (éd.). 1939. Résultats scientifiques de la mission géologique du Comité National du Kivu. Louvain : Institut géologique de l'Université et Librairie universitaire, 1939. P.281-306. *Mémoires de l'Institut Géologique de l'Université de Louvain*, Tome IX, Fascicule 1.
3. AZERZAG, M., ASSAFI, M. ET FAHSI, A., 1997. Utilisation des images HRV de SPOT pour la détection du changement périurbain à Casablanca (Maroc). In J.-M.M. Dubois, J.P. Donnay, A. Ozer, F. Boivin et A. Lavoie (dir.) *Téledétection des milieux urbains et périurbains. Collection Universités francophones, AUPELF*, Montréal, 362 p.
4. B.R.G.M. s.d. *Carte géologique du Haut-Zaïre méridional et de Beni-Lubero*. Echelle : 1/ 500 000. Paris : Imprimerie Maquet.

5. BULTOT, F., 1950. *Régimes normaux et cartes des précipitations dans l'Est du Congo Belge (Longitude : 26° à 31° Est, latitude : 4° Nord à 5° Sud). Pour la période 1930 à 1946.* Bruxelles, INEAC. 1950.
6. CAHEN, L., 1954. *Géologie du Congo belge.* Paris et Liège : Masson et Cie et Vaillant-Carmanne, 577p.
7. DEPARTEMENT DES MINES. 1981a. *Carte géologique de reconnaissance. Lubero SI/ 29.* Echelle : 1/ 200 000. Kinshasa : Bureau des Arts graphiques du Service géologique.
8. DONNAY, J.P. & LAMBINON, M., 2007. Détermination des limites d'agglomération par télédétection : discussion méthodologique et application au cas de Huy (Belgique). In J.-M.M. Dubois, J.P. Donnay, A. Ozer, F. Boivin et A. Lavoie (dir.) *Télédétection des milieux urbains et périurbains.* Collection Universités francophones, AUPELF, Montréal, 362 p.
9. GUERRA, F., TORRES, W., PEREZ, W. ET MARTINEZ, A., M., 1997. Apport de deux images MSS et TM de Landsat au suivi cartographique des dynamiques spatiales récentes des milieux périurbains dans le bassin du lac de Valencia (Venezuela). In J.-M.M. Dubois, J.P. Donnay, Ozer, A., Boivin, F. et Lavoie, A. (dir.) *Télédétection des milieux urbains et périurbains.* Collection Universités francophones, AUPELF, Montréal, 362 p.
10. HEINZELIN, J. de. 1955. *Le fossé tectonique sous le parallèle d'Ishango (Parc National Albert, Congo belge).* Thèse Doctorat : Sciences naturelles : Université de Paris, 1955. 150 p.
11. JACQUIN, A., MISAKOVA, L., GAY, M., 2008. A hybrid object-based classification approach for mapping urban sprawl in periurban environment. *Landscape and Urban Planning*, n° 84, p.152-165.
12. JOLY, F., 1997. *Glossaire de géomorphologie. Base de données sémiologiques pour la cartographie.* Paris : Armand Colin et Masson, 1997. 325 p.
13. JONES, W.I. ET EGLI, R. 1984. *Systèmes de culture en Afrique. Les hautes terres du Zaïre, Rwanda et Burundi.* Washington : Banque mondiale, 1984. 117 p. Document technique de la Banque mondiale n° 27F.
14. JONGEN, P. 1970. *Carte des sols et de la végétation du Congo, du Rwanda et du Burundi. 26. Nord-Kivu et région du lac Edouard. A. Notice explicative de la carte des sols.* Bruxelles : INEAC, 1970. 78 p.
15. KASAY, K., 1988. *Dynamisme Démo-Géographique et mise en valeur de l'Espace en milieu équatorial d'altitude : Cas du Pays Nande au Kivu Septentrional, Zaïre.* Thèse Doctorat : Géographie : Université de Lubumbashi. 404 p

16. KITAKYA P., 2007. Interactions entre la gestion foncière et l'économie locale en région de Butembo, Nord-Kivu, République Démocratique du Congo, thèse, Université Catholique de Louvain, 291 p.
17. LEPERSONNE, J., 1949. Le fossé tectonique Lac Albert-Semliki-Lac Edouard. Résumé des observations géologiques effectuées en 1938-1939-1940. Société Géologique de Belgique. 1949, tome LXXII, fasc. 1, p. M3-M88.
18. MOEYERSONS, J., 1975. Les surfaces d'aplanissement et les cycles géographiques dans le nord du Zaïre. *Annales de la Société Géologique de Belgique*. 1975, tome 98, fasc. II, p. 439-448.
19. MUWIRI K. ET KAMBALUME K., (2002) *Identité culturelle dans la dynamique du développement*, Academia Bruyillant, Louvain-la-Neuve.
20. ONUHABITAT, 2010. L'état des villes Africaines 2010. Gouvernance, inégalité et marches fonciers urbains. <http://www.cursus.edu/?module=directory&subMod=PROD&action=get&pclass=2&uid=14455> consulté le 12 février 2011.
21. PUMAIN, D., SAINT-JULIEN, T., CATTAN, N ET ROSENBLAT, C., 1991. Le concept statistique de la ville en Europe. EUROSTAT, office des publications officielles des communautés européennes, Luxembourg, thème 3, série E, 89 p.
22. REDMAN, C.L., JONES, N. S., 2004; The environmental, social and health dimensions of urban expansion. *Produced for Population-Environment research Network cyberseminar*, 29 nov.-15 déc. 2004, 12 p.
23. ROBIN, M., 1995. La télédétection : des satellites aux systèmes d'information géographique. Éditions Nathan Université, 320 p.
24. SANCHEZ-RODRIGUEZ, R., SETOK, K.C., SIMON, D., SOLECKI, W.D., KRASS, F. , LAUMAN, G. , 2005. Science Plan. Urbanization and global environmental change. IHDP, Report, 15, Bonn, 64 p.
25. SIETCHIPING, R., 2003. Evolution de l'espace urbain de Yaoundé, au Cameroun, entre 1973 et 1988 par télédétection. *TELEDETECTION*, vol. 3, n° 2-3-4, p. 229-236.
26. SKUPINSKI, G., BINH TRAN, D., WEBER, C., 2009. Les images satellites Spot multi-dates et la métrique spatiale dans l'étude du changement urbain et suburbain – Le cas de la basse vallée de la Bruche (Bas-Rhin, France). *Cybergéo, revue Européenne de Géographie*, n° 439, 22 p
27. TRICART, J. TRAUTMAN, J. ET BONN, F., 1996. La télédétection appliquée à la géomorphologie continentale et aux systèmes écogéographiques. In Bonn, F. (réd.) Précis de télédétection : volume 2 – Applications thématiques, Presses de l'Université du Québec/AUPELF, Ste-Foy et Montréal, pp.57-90.
28. TSAYEM DEMAIZE, M., 2010. Un panorama de la télédétection sur l'étalement urbain. http://halshs.archives-ouvertes.fr/docs/00/50/89/74/PDF/panorama_teledetection_etalement_urbain.pdf consulté le 16 février 2011.

29. URBANISME ET HABITAT, 2006. Rapport annuel du service de l'Urbanisme et Habitat de la ville de Butembo. Inédit.
30. VAGUET, O., VAGUET, A. ET BOURCUER, A., 1997. Processus d'urbanisation et imagerie satellitaire : deux exemples indiens. In J.-M.M. Dubois, J.P. Donnay, A. Ozer, F. Boivin et A. Lavoie (dir.) Télédétection des milieux urbains et périurbains. Collection Universités francophones, AUPELF, Montréal, 362 p.
31. VYAKUNO, K., 2006. Pression anthropique et aménagement rationnel des hautes terres de Lubero en RDC. Rapports entre société et milieu physique dans une montagne équatoriale, Tome I, Thèse, Université de Toulouse II, Département de géographie et aménagement, p.144
32. WEBER, C., 1995. Images satellitaires urbain. Éditions Hermès, Paris, 185 p.
33. WEBER, C., DONNAY, J.-P. ET COLLET, C., 1997. Reconnaissance des formes urbaines : transfert méthodologique Nord-Sud. In J.-M.M. Dubois, J.P. Donnay, A. Ozer, F. Boivin et A. Lavoie (dir.) Télédétection des milieux urbains et périurbains. Collection Universités francophones, AUPELF, Montréal, 362 p.
34. WILLS, W., CARAËL, M. ET TONDEUR, G. 1986. *Le Kivu montagneux. Surpopulation - Sous-nutrition – Erosion du sol (Etude prospective par simulations mathématiques)*. Bruxelles : ARSOM, 1986. 201 p. Classe des Sciences naturelles et médicales. Mémoires in-8°, Nouvelle Série, Tome 21, fasc. 3.
35. XIANG, G., CRANE, M., MCMAHON, C., 2008. Quantifying multi-temporal urban development characteristics in Las Vegas from LandSat and ASTER data. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, vol. 74, n° 4, p.473-481.
36. XU, H., 2007. Extraction of urban built-up land features from Landsat imagery using a thematic-oriented index combination technique. *Photogrammetric Engineering and Remote sensing*, vol. 73, n°12, p. 1381-1391.