

# *Analyse De La Dynamique Du Paysage Urbain Et Des Mutations Dans L'Occupation Du Sol. Cas De La Ville De Bukavu 1986 A 2018, Sud-Kivu, République Démocratique Du Congo*

## *[Analysis Of The Dynamics Of The Urban Landscape And Changes In Land Use. Case Of The City Of Bukavu 1986 To 2018, South Kivu, Democratic Republic Of Congo]*

Bayumbasire Cléophas<sup>1\*</sup>, Mubalama Léonard<sup>2</sup>, Nduwimana André<sup>3</sup>, Bishikwabo Isaac<sup>4</sup>, Wand'arhasima Lucien<sup>5</sup> Bagalwa Léon<sup>6</sup>, Bakulikira Jean-Paul<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department de l'Environnement,  
Centre de Recherche en Sciences Naturelles de Lwiro,  
Sud-Kivu, République Démocratique du Congo

<sup>2</sup>Centre de Recherche en Sciences de productions animales végétales et environnementales (CRAVE),  
Université du Burundi,  
Bujumbura, République du Burundi

<sup>3</sup>Centre de Recherche en Gestion de la Biodiversité et Changement Climatique, ISDR Bukavu, République Démocratique du Congo

<sup>4</sup>Chercheur Indépendant, A0 en Phytotechnie,  
Université Evangélique,  
Bukavu, Sud-Kivu, République Démocratique du Congo

<sup>5</sup>Enseignant et Chercheur à l'ISDR Bukavu, Sud-Kivu, République Démocratique du Congo, Doctorant à l'Université de Yaoundé I au Camérout

<sup>6</sup>Faculté des Sciences,  
Université Officielle de Bukavu,  
Sud-Kivu, République Démocratique du Congo



**Abstract** – The study involved the city of Bukavu, the capital of South Kivu province, in the Democratic Republic of Congo. The objective of this study is to analyze the spatial-temporal dynamics of the landscape in this city. The methodology used took into account the analysis of Landsat multitemporal images (1986, 1996, 2006, and 2018) combined with field observations. The results of the analysis of the satellite images show that of the three land use classes considered by the study, urbanized areas have evolved very rapidly at the expense of woods and fields and villages. This increase in urbanized areas is observed acutely for the period 2006 to 2018 with a highlight of the occupation of unsuitable sites for construction in defiance of the 1957 development plan inherited from the colonial period. It can also be pointed out

that insecurity in rural areas played a major role in the anarchic occupation as the population of these environments fled the atrocities and settled in the city. Field observations show that the absence of vegetation cover creates eroded areas, landslides, subsidence, floods, etc. However, the land use in the city of Bukavu deserves a rigorous study before any parcel granting procedures, referring to the requirements of the development plan that is urgently needed.

**Keywords** – Dynamics, Landscape, Remote Sensing, Diachronic Analysis, Land Use.

**RESUME:** L'étude a concerné la ville de Bukavu, chef-lieu de la province du Sud-Kivu, en République Démocratique du Congo. L'objectif de cette étude est d'analyser la dynamique spatio-temporelle du paysage dans cette ville. La méthodologie utilisée a pris en compte l'analyse des images Landsat multitudes (1986, 1996, 2006, et 20018) combinée aux observations de terrain. Les résultats de l'analyse des images satellitaires montrent que sur les trois classes d'occupation du sol considérées par l'étude, les zones urbanisées ont évolué très rapidement au détriment des boisements et de champs et villages. Cet accroissement des zones urbanisées s'observe avec acuité pour la période de 2006 à 2018 avec un fait marquant de l'occupation des sites impropres à la construction au mépris du plan d'aménagement de 1957 hérité de la période coloniale. On peut également soulever le fait que l'insécurité dans les milieux ruraux a joué un rôle prépondérant dans l'occupation anarchique car la population de ces milieux a fui les atrocités pour s'installer en ville. Les observations de terrain montrent que l'absence de la couverture végétale crée des zones érodées, des glissements de terrains, affaissements, inondations, etc. Cela étant, l'occupation du sol dans la ville de Bukavu mérite une étude rigoureuse avant toutes procédures d'octroi des parcelles en se référant aux prescrits du plan d'aménagement qu'il est urgent de mettre en place.

**Mots-Clefs :** Dynamique, Paysage, Télédétection, Analyse Diachronique, Occupation Du Sol.

## I. INTRODUCTION

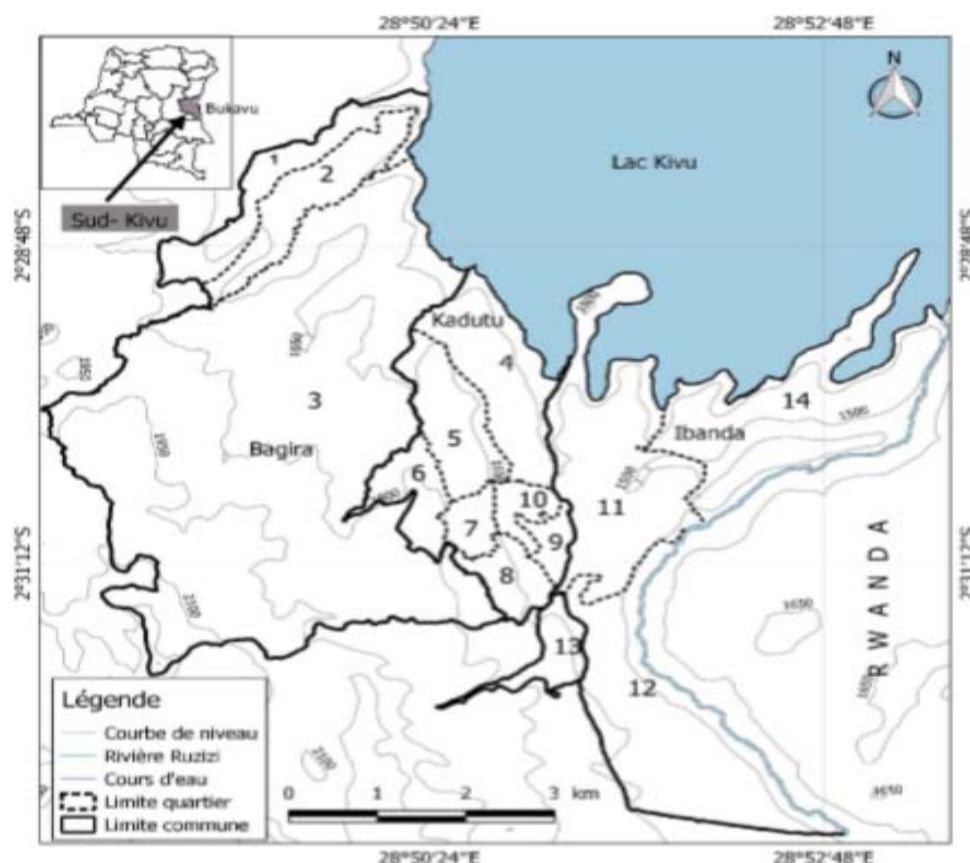
La notion de la dynamique du paysage se focalise sur la gestion de l'espace, en particulier pour la protection du patrimoine naturel et culturel [1]. Un paysage étant décrit par sa composition et sa configuration, ce qui détermine sa structure. La composition fait référence à l'abondance d'éléments du paysage comme la surface forestière. La configuration décrit quant à elle la forme et l'arrangement de ces éléments dans l'espace, tels que le nombre d'unités forestières et la distance moyenne entre elles. La dynamique du paysage est définie par la modification au cours du temps de sa structure. Elle résulte des processus naturels par exemple (les avalanches ou les successions écologiques) et/ou anthropiques tels que (la conversion de milieux naturels à l'agriculture ou l'urbanisation) [2]. L'écologie urbaine offre un cadre d'analyse et une lecture quantitative des espaces urbanisés et de leurs dynamiques spatio-temporelles. La ville est considérée comme un écosystème urbain [3], un paysage spatialement hétérogène composé de multiples taches qui interagissent entre elles à l'intérieur comme au-delà de ses limites [4]. Ces espaces urbanisés forment une mosaïque composée de structures fonctionnelles d'origine anthropique [5] et dont l'organisation spatiale est le résultat de divers processus anthropiques et naturels opérant et interagissant à différentes échelles [6]. D'après la référence [7], le phénomène de croissance urbaine peut être comparé à une oscillation temporelle et permanente entre la diffusion et la coalescence. La coalescence étant l'aboutissement d'une croissance par extension continue de l'urbain déjà existant, tandis qu'une conversion de nouveaux espaces lointains marque une phase de diffusion. La ville de Bukavu ne déroge pas à ce phénomène d'étalement urbain au travers la transformation de l'espace qualifié de périurbain ce qui induit une consommation d'espace naturel remettant en cause la durabilité des territoires et pose de nombreux enjeux pour l'aménagement du territoire. Ainsi, cette croissance urbaine est à l'origine de profonds changements paysagers qui ont des conséquences négatives sur la qualité écologique de l'environnement [8]. Parler du maintien de la biodiversité en ville peut paraître paradoxal portant si l'urbanisation est source de diminution de la biodiversité du fait des surfaces occupées par l'habitat, la voirie, etc., elle peut également l'entretenir, soit par la préservation d'habitats spécifiques (friches industrielles, zones humides comme le drainage des zones humides (exemple le terrain marécageux de Mukukwe, parcs et jardins...), rectification des lits des petits cours d'eau, leur donnant l'aspect de fossés rectilignes soit par l'importante mosaïque paysagère du milieu urbain et périurbain, soit par l'introduction, volontaire ou non, d'espèces exogènes [9]. L'étude des changements de la forme du paysage constitue une étape importante dans la compréhension des conséquences écologiques induites par ces processus, tant dans les fonctions que dans les processus écologiques eux-mêmes [10], ces changements perturbent l'ensemble des propriétés de l'écosystème et ses fonctions, telles que les cycles biogéochimiques et le maintien de la diversité des espèces. ONU Habitat dans son rapport intitulé « *pour un meilleur avenir urbain* », stipule que la RDC regorge un potentiel remarquable pour l'urbanisation de son territoire (ONU HABITAT, 2016) mais il s'observe en RDC, il s'observe

l'inadaptation de l'urbanisme moderniste et l'impossibilité de répondre aux besoins en logement par la seule offre foncière formelle ce qui conduit au développement des marchés fonciers informels, avec des transactions qui ne sont pas reconnues par la loi mais qui sont cependant socialement acceptées [11]. La dynamique de l'habitat et le développement de la ville de Bukavu sont fonction de l'exode rural et de l'accroissement naturel de la population au sein de la ville. Il s'est observé à Bukavu une évolution assez rapide du point de vue densité démographique sans que la planification urbaine ne suive cette tendance [12]. Cette évolution a connu un mouvement exponentiel soit 168836 habitants en 1986 contre 1037645 habitants en 2018 (INS, 2019), et le fait le plus marquant est l'occupation anarchique et spontanée de l'espace connaissant que le plan d'urbanisme de 1959 qui reconnaît Ibanda cité européenne au bord du lac Kivu et les camps des travailleurs à Kadutu et Bagira, avait consacré au sein de ces communes des zones jugées impropres à la construction mais en 2001 on constate une concentration de la population dans ces zones à l'instar des escarpements de faille et le rivage du lac Kivu avec toutes les conséquences que cela induit sur le plan environnemental [13]. De fait, avec l'amplification du phénomène urbain et son extension dans les sociétés post-révolution industrielle des 17- 18<sup>ème</sup> siècles (Afrique, Asie), les techniques et méthodes classiques de production des informations se sont avérées inaptes à suivre la tendance. Dès lors, la télédétection et les systèmes d'information et de communication géographique se sont présentés comme étant des outils avancés par excellence pour l'analyse spatiale des milieux humains. Dans les environnements urbains notamment, le recours aux SIG s'est intéressé aux différentes composantes ressortant de la dynamique de ces types d'espace [14]. Cette étude vise à analyser la dynamique spatio-temporelle du paysage de la ville de Bukavu en se servant de la télédétection et du SIG. Les images satellitaires Landsat de 1986 à 2018 sont utilisées pour appréhender cette dynamique. Il sied de préciser que de par la recherche documentaire effectuée, la ville de Bukavu n'est pas assez documentée en ce qui concerne la dynamique du paysage raison pour laquelle cette présente étude va contribuer à combler cette lacune.

## **II. MATERIEL ET METHODES**

Repérée géographiquement par les coordonnées 2°3'S et 28°5'E, la ville de Bukavu, la capitale de la province du Sud-Kivu en RDC, est située à l'extrémité sud-ouest du lac Kivu qui la confine contre les hautes terres du massif montagneux du Kivu. Elle est limitée au nord par le lac Kivu, à l'ouest par la rivière Nyamuhinga qui constitue sa frontière avec le territoire de Kabare, et au sud par le groupement de Mudusa en territoire de Kabare et à l'est par la rivière Ruzizi. La ville est séparée du Rwanda par le lac Kivu, ainsi que par la rivière Ruzizi [15] cité par Lina en 2016. D'après la référence [16], elle possède une superficie de 63 km<sup>2</sup> dont 43 km<sup>2</sup> de terre ferme et 20 km<sup>2</sup> occupés par le lac.

La ville de Bukavu (Figure 1), chef-lieu de la province du Sud-kivu, existe depuis déjà cent ans et comprend 3 communes, notamment la commune de Bagira formée de 3 quartiers (Nyakavogo, Lumumba et Kasha; celle de Kadutu qui comprend 7 quartiers (Nkafu, Nyakaliba, Kajangu, Cimpunda, Mosala, Nyamugo et Kasali) et celle d'Ibanda composée de 4 quartiers (Ndendere, Panzi, Cahi et Nyalukemba), [17].



**Figure 1: Localisation de la ville de Bukavu et délimitation des communes et quartiers qui la composent. Noms des quartiers.**  
 1: Nyakavogo, 2: Lumumba, 3: Kasha, 4: Nkafu, 5: Nyakaliba, 6: Kajangu, 7: Cimpunda, 8: Mosala, 9: Nyamugo, 10: Kasali, 11: Ndendere, 12: Panzi, 13: Cahi, 14: Nyalukemba [17].

## 2.1. Analyse de la dynamique de l'occupation du sol

Nous avons recouru aux observations de terrain et les images satellitaires multi-temporelles Landsat des années 1986, 1996, 2006, et 2018. Nous avons considéré un pas de temps de plus ou moins dix ans pour détecter les changements.

### 2.1.1. Collecte et source de données

Le matériel utilisé comprend:

- ✓ Un récepteur GPS GARMIN High Sensitivity de 3 m de précision pour localiser la position de différents points sur notre zone d'étude. Tous les waypoints récoltés sont représentés par les coordonnées géographiques en longitudes et latitudes pris dans le système de projection UTM 35 S.
- ✓ un appareil photo de marque canon-powershot.

Les données utilisées pour l'analyse de la dynamique d'occupation du sol concernent les images satellitaires Landsat que nous avons téléchargées gratuitement sur le site <http://earthexplorer.usgs.gov>.

**Tableau 1. Caractéristiques des images téléchargées**

| N° | Année | Satellite et capteur                                        | Résolution spatiale |
|----|-------|-------------------------------------------------------------|---------------------|
| 1  | 1986  | Landsat 5 Thematic Mapper (TM), du 19/07/1986, scène 173-62 | Générale : 30m      |

|   |      |                                                                                                    |                |
|---|------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|
| 2 | 1996 | Landsat 5 Thematic Mapper (TM), du 30/07/1996, scène 173-62                                        | Générale : 30m |
| 3 | 2006 | Landsat 7 Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+), du 18/08/2006, scène 173-62                        | Générale : 30m |
| 4 | 2018 | Landsat 8 OLI-TIRS (Operational Land Imager ; Thermal Infrared Sensor), du 15/08/2018 scène 173-62 | Générale : 30m |

Les logiciels utilisés sont :

- Envi 5.3 a été utilisé pour la classification des images satellitaires et l'analyse des changements survenus entre les différentes périodes à travers la production des matrices de transition et des diagrammes de changement d'occupation du sol ont été produits par le logiciel TerrSet;
- ArcGIS 10.4.1. a été utilisé pour la production des cartes d'occupation du sol ;

Tableur Excel pour la finalisation des matrices de transition qui montrent les différentes tendances de changement

## **2.1.2. Méthodes**

### **2.1.2.1 Classification multi spectrale des images Landsat de 1986 à 2018**

La classification supervisée a été faite à l'aide du logiciel Envi 5.3 en utilisant l'algorithme « Maximum de vraisemblance », qui a permis de distinguer trois classes d'occupation du sol : les boisements, les zones urbanisées ainsi que les champs et villages. Cette classification est un procédé qui consiste à regrouper les pixels d'une image en un nombre limité de classes. Cet algorithme est très couramment utilisé car généralement le plus performant [18].

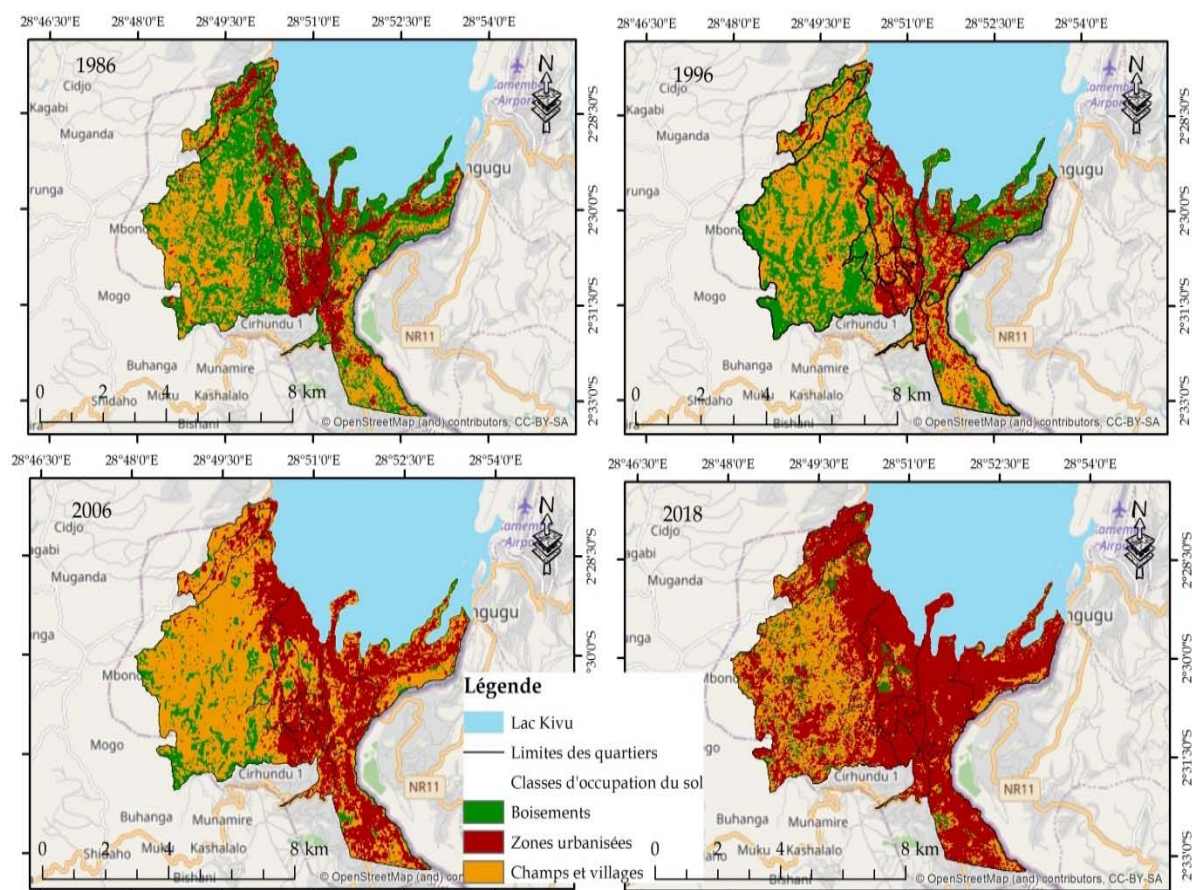
#### **2.1.2.2. Evaluation de la classification**

Selon la référence [10], une classification n'est pas complète sans l'évaluation de son exactitude. En effet, on ne peut pas utiliser des données obtenues par télédétection avec certitude si on ne sait pas quel est statistiquement, le niveau de l'erreur qui lui est associé. Et selon la référence [20], il ne suffit pas de présenter un pourcentage de pixels classés correctement, comme c'est souvent le cas dans de nombreuses études, parce que cette statistique ignore la précision locale, seule la quantité totale d'une classe est considérée sans tenir compte de sa localisation. L'évaluation des résultats d'une classification se fait grâce à la comparaison de l'image classée avec des données de référence (photographies aériennes, cartes ou relevé de terrain), pour notre cas nous avons vérifié la classification par le relevé de terrain de 130 point GPS que nous avons confronté avec les valeurs de l'image classée de 2018 dans un tableau à double entrée appelé couramment matrice de confusion. Nous nous sommes beaucoup intéressé à l'indice de Kappa pour valider la classification, indice qui caractérise le rapport entre les pixels bien classés et le total des pixels sondés [21]. Selon la référence [22], une étude portant sur l'occupation des terres peut être validée si l'indice de Kappa est compris entre 50% et 75%. Pour notre étude, l'indice de Kappa est de 0.8083 soit 80.8 % ce qui signifie que notre classification est significative.

## **III. RESULTATS**

### **3.1. Carte d'occupation du sol de la ville de Bukavu**

La figure 2 présente la cartographie de l'occupation du sol dans la ville de Bukavu. Sur cette carte, on voit nettement trois classes d'occupation du sol dont les zones urbanisées, les champs et villages et les boisements. Les zones urbanisées constituent toute la surface bâtie tandis que les champs et villages correspondent aux champs de cultures et sols nus et les boisements aux espaces végétalisés. La présentation du jeu de 4 supports cartographiques (Figure 2) ci-dessous fait ressortir visuellement une nette évolution de l'occupation du sol entre 1986 et 2018 sur la ville de Bukavu, avec notamment une progression des espaces urbanisés au détriment des espaces boisés et les champs et villages. Cette progression est prononcée au fur et à mesure qu'on avance années dans le temps.



**Figure 2. Carte d'occupation du sol de Bukavu pour la période allant de 1986 à 2018**

La présentation de ces 4 cartes ci-dessous renseigne visuellement l'évolution de la population selon les quartiers au cours de ces quatre décennies. En analysant ces cartes, on se rend compte qu'au fur et à mesure que les années passent, les quartiers ont tendance à passer de dizaines de milliers d'habitants aux centaines de milliers d'habitants ce qui est normal avec l'exode rural. On trouve des zones autres fois moins peuplées pour les décennies 1986-1996, très peuplées pour les décennies 2006-2018. Ce qui laisse entendre que l'exode rural s'est prononcé au courant de ces deux récentes décennies. Ainsi, on peut établir un rapport entre la carte d'occupation du sol et celle de l'évolution démographique dans les quartiers en ce sens que cette population croissante a besoin de la terre pour le logement ce qui produit un impact négatif sur les boisements et les champs et villages, d'où la primauté des zones urbanisées sur ces deux autres classes.

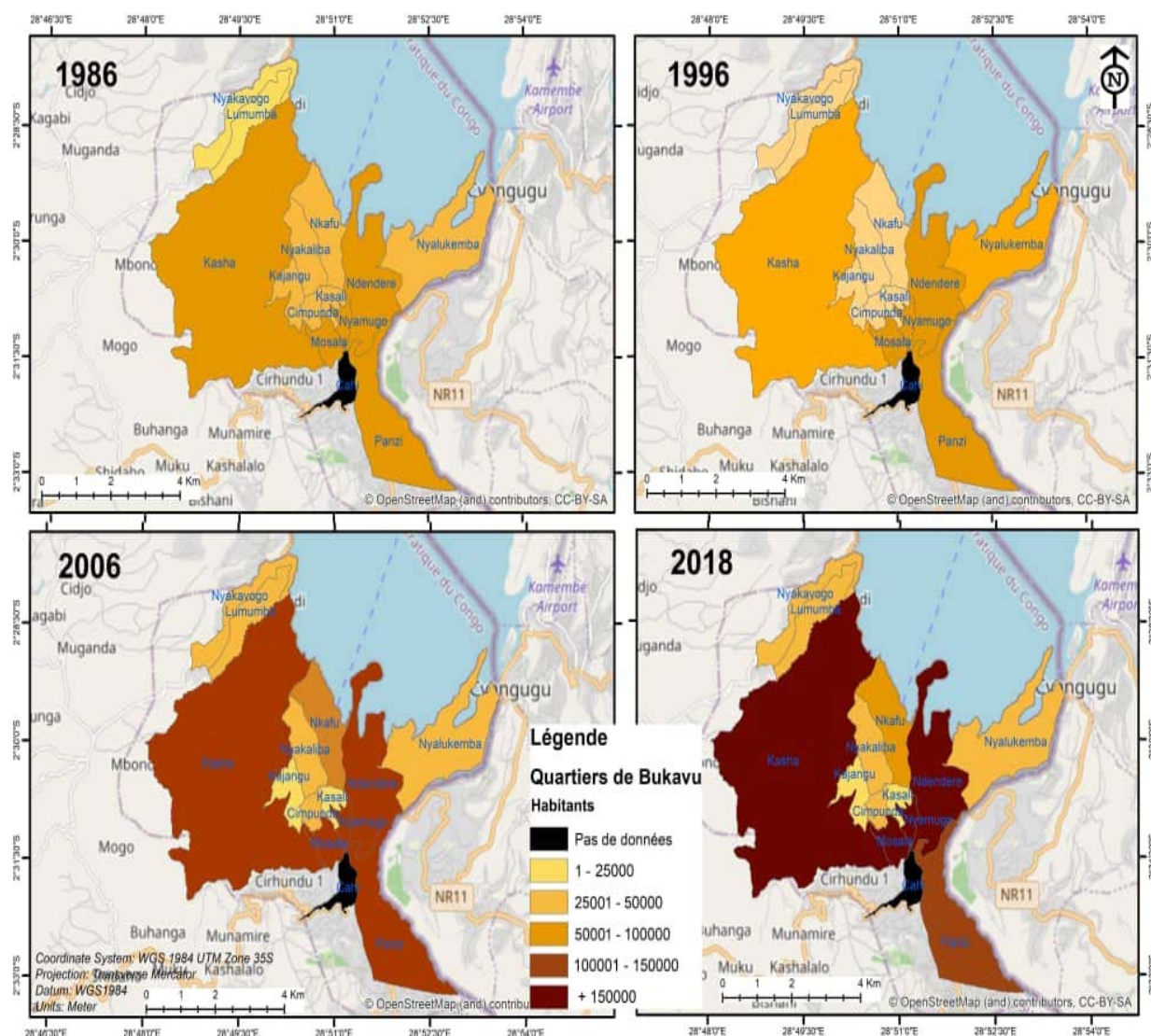


Figure 3. Carte présentant l'évolution démographique par quartiers de la ville de Bukavu de 1986 à 2018

### 3.2. Changements d'occupation du sol entre 1986 et 2018

Pour détecter les changements d'occupation du sol dans notre zone d'étude, il a été question de superposer deux cartes. Ainsi, nous avons considéré les cartes de 1986 et 1996, 1996 et 2006 et enfin 2006 et 2018 (Figure 4).

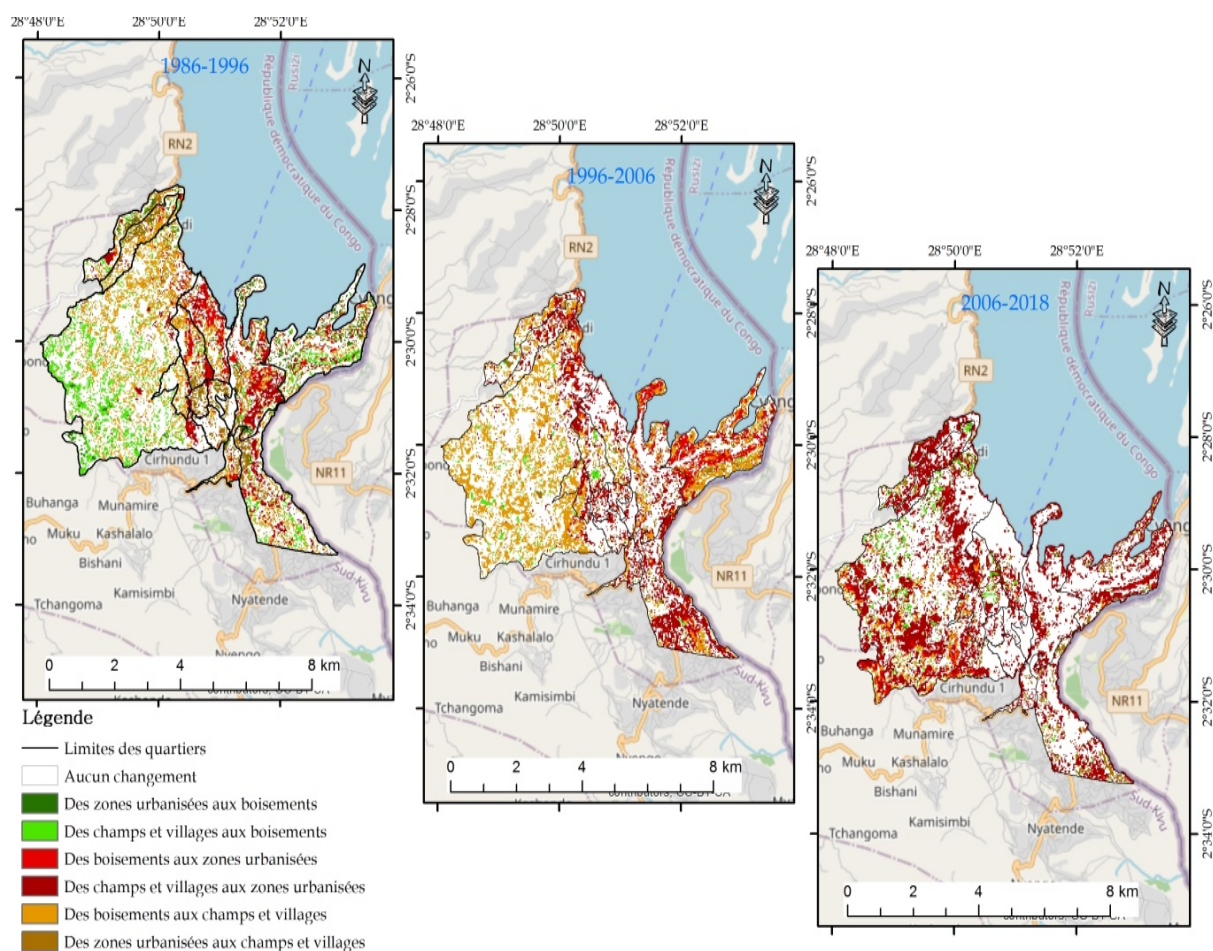


Figure 4. Carte de changement d'occupation du sol de 1986 à 2018

### 3.3. Matrice de transition entre 1986 et 2018

Les matrices de transition de l'occupation du sol ont été réalisées pour les périodes 1986-1996, 1996-2006 et 2006-2018. Ces matrices indiquent le nombre et les fréquences de toutes les transitions entre les différents types d'occupation du sol pendant une période donnée. Les valeurs en diagonale indiquent la part de chaque classe qui n'a pas changé. Les autres chiffres correspondent au pourcentage des surfaces modifiées entre les deux pas temporels par rapport à la surface originelle de la classe.

Ainsi, nous avons présenté les matrices pour le pourcentage et pour la superficie dans le but de dégager d'éventuelles différences temporelles au niveau de la vitesse des transitions. En plus, des graphiques ont été générés pour dégager les proportions en Km<sup>2</sup> des changements nets entre les classes et la contribution de chaque classe dans le changement net.

Tableau 2. Matrice de transition (en pourcentage) des classes d'occupation du sol de la ville de Bukavu 1986 à 1996

| Etat final 1996 | Etat initial 1986  |            |                  |                    |
|-----------------|--------------------|------------|------------------|--------------------|
|                 |                    | Boisements | Zones urbanisées | Champs et villages |
|                 | Boisements         | 56.400     | 12.950           | 23.871             |
|                 | Zones urbanisées   | 8.837      | 57.393           | 15.764             |
|                 | Champs et villages | 34.763     | 29.657           | 60.365             |
|                 | Total              | 100        | 100              | 100                |

Entre 1986 et 1996 (Tableau 2) : 34.7% de boisement ont été convertis en champs et villages et 8.8% de boisement ont été convertis en zones urbanisée et 15.76% des champs et villages ont été convertis en zones urbanisées.

Tableau 3. Matrice de transition (en Km<sup>2</sup>) des classes d'occupation du sol de la ville de Bukavu 1986 à 1996

| Etat final 1996 | Etat initial 1986  |            |                  |                    |       |
|-----------------|--------------------|------------|------------------|--------------------|-------|
|                 |                    | Boisements | Zones urbanisées | Champs et villages | Total |
|                 | Boisements         | 10.72      | 1.09             | 4.06               | 15.87 |
|                 | Zones urbanisées   | 1.68       | 4.81             | 2.68               | 9.17  |
|                 | Champs et villages | 6.61       | 2.49             | 10.26              | 19.36 |
|                 | Total              | 19.01      | 8.38             | 17.00              |       |

Entre 1986 et 1996 (Tableau 3) : 6.6 km<sup>2</sup> de boisement se sont convertis en champs et villages tandis que 1.68 Km<sup>2</sup> de boisement se sont convertis en zones urbanisées. Dans l'entre temps, 2.68 Km<sup>2</sup> des champs et villages se sont convertis en zones urbanisées.

### 3.3.1. Changements d'occupation du sol entre 1986 et 1996

Les figures 5, 6, 7, 8 présentent les résultats ci-après pour la période de 1986 à 1996 : 2.5 Km<sup>2</sup> des boisements ont progressé en champs et villages, plus ou moins 3 Km<sup>2</sup> de régression pour les boisements et 0.6 Km<sup>2</sup> de progression pour les zones urbanisées.

- 2.5 Km<sup>2</sup> des boisements se sont convertis en champs et villages et 0.6 Km<sup>2</sup> des boisements converti en zones urbanisées ;
- 0.2 Km<sup>2</sup> des champs et villages converti en zones urbaines.

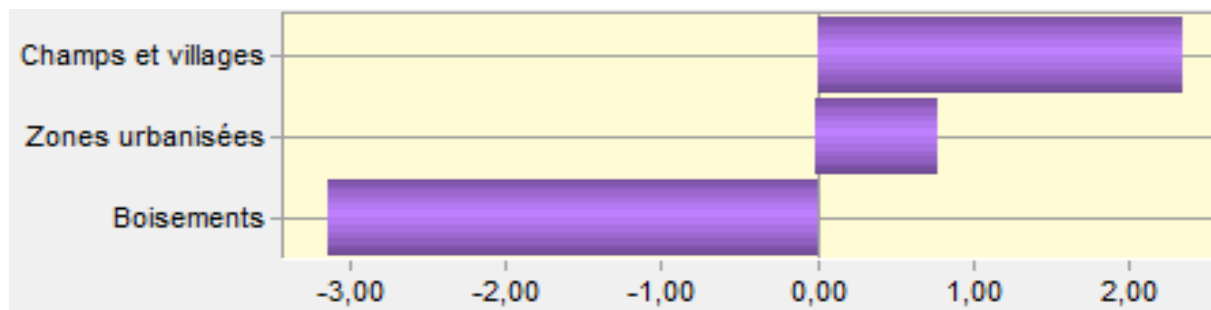


Figure 5. Changements nets de l'occupation du sol entre 1986 et 1996

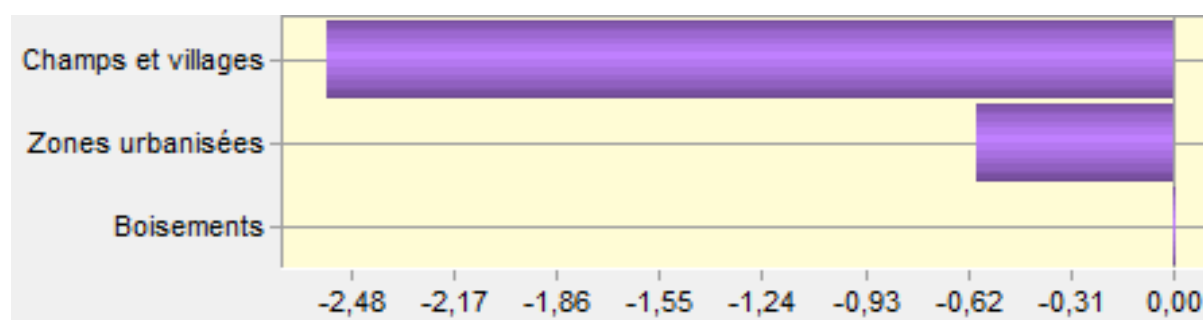


Figure 6. Contributions des boisements aux changements nets entre 1986 et 1996

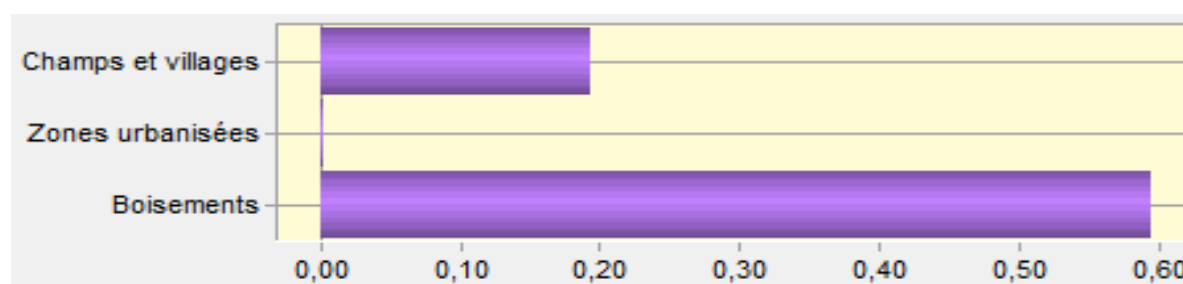


Figure 7. Contribution des zones urbaines aux changements nets entre 1986 et 1996

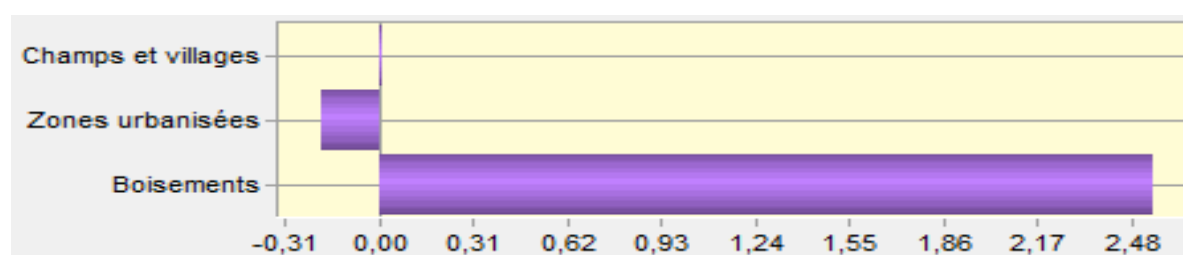


Figure 8. Contribution des champs et villages aux changements nets entre 1986 et 1996

Tableau 4. Matrice de transition (en pourcentage) des classes d'occupation du sol de la ville de Bukavu entre 1996 à 2006

| Etat final 2006 | Etat initial 1996  |            |                  |                    |
|-----------------|--------------------|------------|------------------|--------------------|
|                 |                    | Boisements | Zones urbanisées | Champs et villages |
|                 | Boisements         | 27.131     | 0.157            | 3.194              |
|                 | Zones urbanisées   | 14.090     | 87.457           | 29.359             |
|                 | Champs et villages | 58.778     | 12.386           | 67.446             |
|                 | Class Total        | 100        | 100              | 100                |

Le tableau 4 présente la transition de 1996 à 2006 comme suit : 58.7% des boisements ont été convertis en champs et villages, 14% des boisements convertis en zones urbanisées et 29.3% des champs et villages ont été convertis en zones urbanisées.

Tableau 5. Matrice de transition (en km<sup>2</sup>) des classes d'occupation du sol de la ville de Bukavu entre 1996 à 2006

| Etat final 2006 | Etat initial 1996  |            |                  |                    |       |
|-----------------|--------------------|------------|------------------|--------------------|-------|
|                 |                    | Boisements | Zones urbanisées | Champs et villages | Total |
|                 | Boisements         | 4.30       | 0.01             | 0.62               | 4.94  |
|                 | Zones urbanisées   | 2.24       | 8.02             | 5.68               | 15.94 |
|                 | Champs et villages | 9.33       | 1.14             | 13.05              | 23.52 |
|                 | Total              | 15.87      | 9.17             | 19.36              |       |

Le tableau 5 présente la transition entre 1996 et 2006 de la manière suivante : 9.3 Km<sup>2</sup> des boisements convertis en champs et villages et 2.2 Km<sup>2</sup> des boisements convertis en zones urbanisées tandis que 5.6 Km<sup>2</sup> des champs et villages sont convertis en zones urbanisées.

### 3.3.2. Changements de l'occupation du sol de 1996 et 2006

Les figures 9, 10, 11, 12 représentent les résultats comme suit: les zones urbanisées ont progressé de plus de 6 Km<sup>2</sup>, les champs et villages de 4 Km<sup>2</sup> tandis que les boisements ont régressé d'à peu près 11 Km<sup>2</sup>.

- 9 Km<sup>2</sup> des boisements se sont convertis en champs et villages et 2 Km<sup>2</sup> des boisements convertis en zones urbanisées ;
- 4 Km<sup>2</sup> des champs et villages se sont convertis en zones urbanisées.

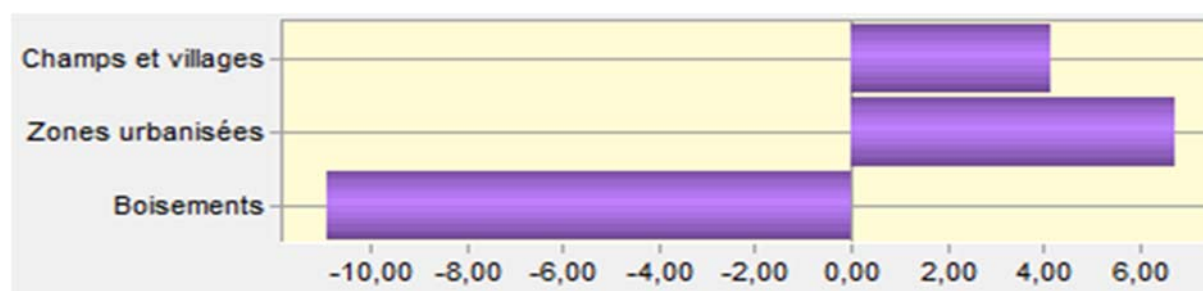


Figure 9. Changements nets d'occupation du sol entre 1996 et 2006

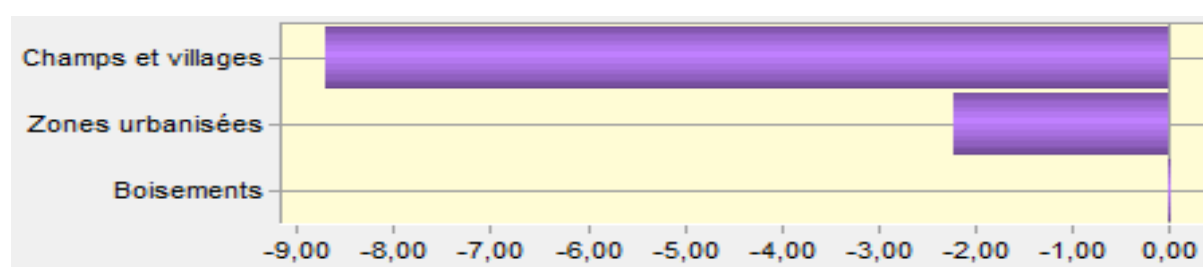


Figure 10. Contributions des boisements aux changements nets entre 1986 et 2006

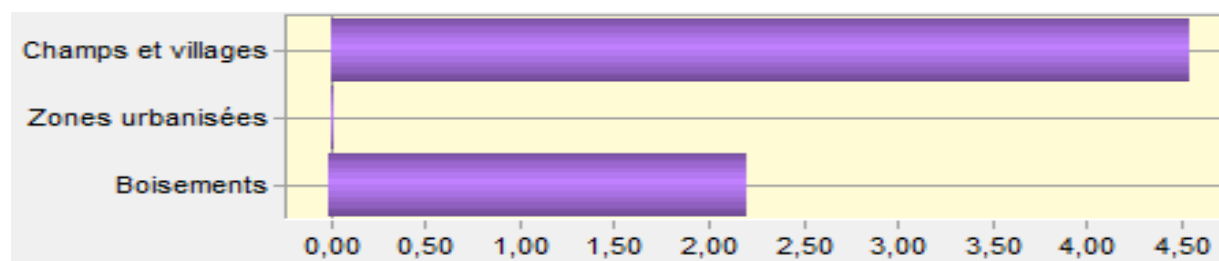


Figure 11. Contributions des zones urbanisées aux changements nets entre 1996 et 2006

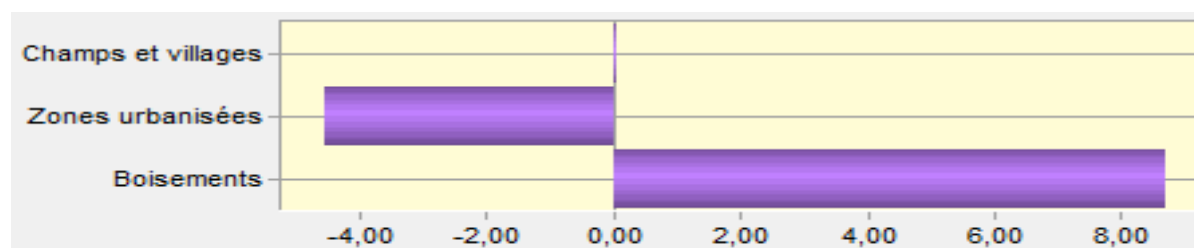


Figure 12. Contributions des champs et villages aux changements nets entre 1996 et 2006

Tableau 6. Matrices de transition (en pourcentage) des classes d'occupation du sol dans la ville de Bukavu de 2006 à 2018

| Etat final 2018 | Etat initial 2006  |                  |            |                    |       |
|-----------------|--------------------|------------------|------------|--------------------|-------|
|                 |                    | Zones urbanisées | Boisements | Champs et villages | Total |
|                 | Zones urbanisées   | 92.495           | 45.097     | 52.715             | 100   |
|                 | Boisements         | 0.226            | 23.660     | 5.718              | 100   |
|                 | Champs et villages | 7.279            | 31.243     | 41.567             | 100   |
|                 | Total              | 100              | 100        | 100                |       |

Ce tableau 6 montre pour cette période une conversion des boisements en zones urbanisées à hauteur de 45% et des champs et villages vers les zones urbanisées à hauteur de 52.7% tandis que 31% des boisements ont été convertis en champs et villages.

Tableau 7. Matrice de transition (en km<sup>2</sup>) des classes d'occupation du sol dans la ville de Bukavu de 2006 à 2018

| Etat final 2018 | Etat initial 2006  |                  |            |                    |       |
|-----------------|--------------------|------------------|------------|--------------------|-------|
|                 |                    | Zones urbanisées | Boisements | Champs et villages | Total |
|                 | Zones urbanisées   | 14.74            | 2.23       | 12.40              | 29.37 |
|                 | Boisements         | 0.04             | 1.17       | 1.34               | 2.55  |
|                 | Champs et villages | 1.16             | 1.54       | 9.77               | 12.48 |
|                 | Total              | 15.94            | 4.94       | 23.52              |       |

Le tableau 7 montre la tendance de conversion en Km<sup>2</sup> de la manière suivante : 2.2 Km<sup>2</sup> des boisements se sont convertis en zones urbaines et 12.4 Km<sup>2</sup> des champs et villages en zones urbanisées et la conversion de boisement aux champs et villages la valeur est de 1.5 Km<sup>2</sup>.

### 3.3.3. Changements d'occupation du sol entre 2006 et 2018

Les figures 13, 14, 15, 16 présentent les changements comme suit : les champs et villages ont régressé de près de 11 Km<sup>2</sup>, les zones urbanisées ont progressé d'au moins 13 Km<sup>2</sup> et les boisements ont régressé de 2 Km<sup>2</sup>.

- Les boisements se sont convertis en zones urbanisées à hauteur de 2 Km<sup>2</sup> et de près de 0.2 Km<sup>2</sup> convertis en champs et villages ;
- 11 Km<sup>2</sup> des champs et villages se sont convertis en zones urbanisées.

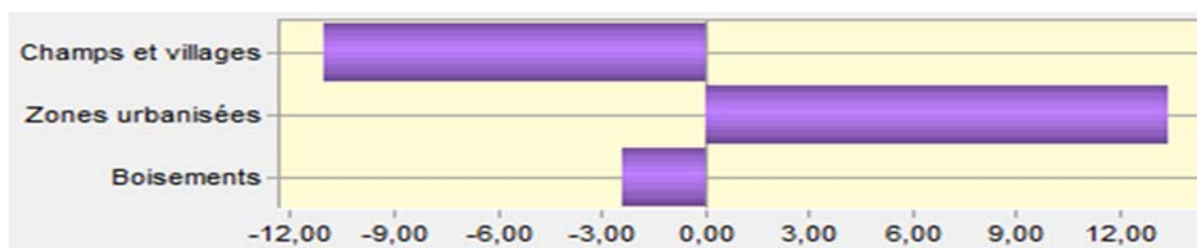


Figure 13. Changements nets entre les classes d'occupation du sol de 2006 à 2018

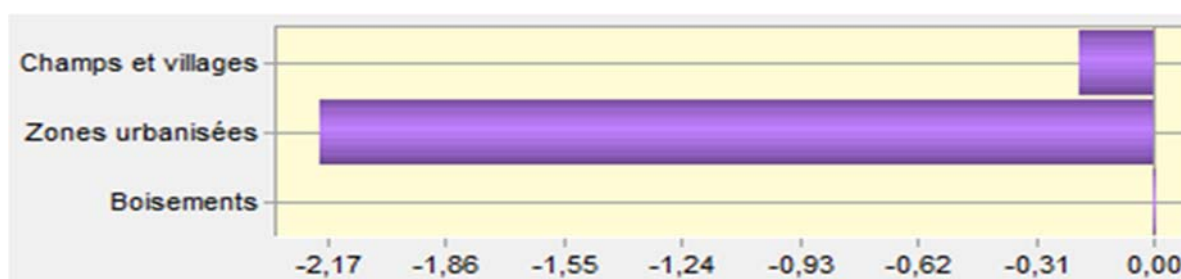


Figure 14. Contributions des boisements aux changements nets de 2006 à 2018

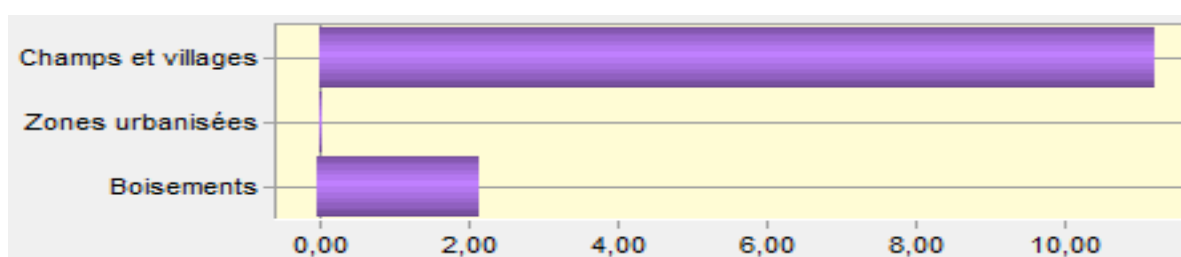


Figure 15. Contribution des zones urbanisées aux changements nets entre 2006 et 2018

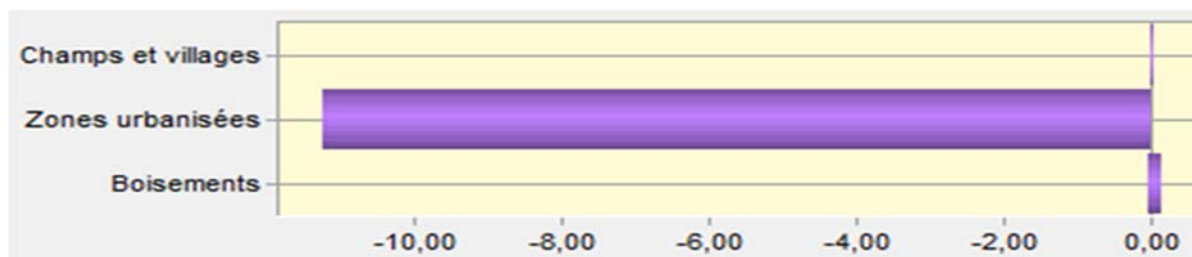


Figure 16. Contribution des champs et villages aux changements nets entre 2006 et 2018

#### IV. DISCUSSION

La détection du changement dans l'occupation des sols est un processus qui permet l'identification des différences dans l'état d'un objet ou phénomène à travers son observation à des périodes différentes [23]. L'occupation des sols est une variable fondamentale pour la planification régionale ainsi que pour l'étude et la compréhension de l'environnement.

Cette thématique est devenue incontournable dans la plupart des inventaires cartographiques et de suivi des phénomènes environnementaux [24]. En comparant les observations faites sur terrain avec les résultats de l'analyse d'images Landsat, nous trouvons que la dynamique de l'occupation du sol va en s'accroissant au fil du temps. La confrontation de la carte d'occupation du sol et celle de la répartition par quartier de la population pour les périodes de 1986 à 2018 montrent que l'insécurité serait à la base de l'exode rural qui est venu amplifier l'occupation anarchique du sol, car les quartiers commencent à enregistrer plus de 100000 habitants à partir des années 2006 ce par l'amplification des conflits sociaux dans les territoires contrairement aux périodes précédentes.

De par les figures 5 jusqu'à 16, les résultats de l'analyse des changements donnent les tendances selon lesquelles pendant la période de 1986 à 1996, les champs et villages ont constitué la classe qui a gagné de superficie soit 2.5 Km<sup>2</sup> au détriment de boisement ; idem pour la période de 1996 à 2006 où les champs et villages augmentent en superficie soit 9 Km<sup>2</sup> au détriment des boisements mais pendant cette période, les zones urbanisées augmentent aussi en superficie soit 6 Km<sup>2</sup> d'augmentation dont 4 Km<sup>2</sup> au détriment des champs et villages et 2 Km<sup>2</sup> au détriment des boisements. Pour la période de 2006 à 2018, la tendance s'inverse, on remarque que les zones urbanisées s'accroissent soit 13 Km<sup>2</sup> de progression au détriment de deux autres classes où une régression de près de 11 Km<sup>2</sup> s'observe pour les champs et villages et 2 Km<sup>2</sup> de régression pour les boisements. A partir de ces résultats, le constat est qu'il n'y a pas de conversion significative des zones urbanisées en d'autres classes d'occupation du sol pour toute la période d'étude et celles-ci ont évolué dans le temps jusqu'au point de dominer tout le paysage de la ville. Les moindres conversions qu'on peut observer pour les zones urbanisées vers d'autres classes d'occupation du sol peuvent se justifier la plupart de fois par des sites où des maisons ont été emportées soit par les éboulements et/ou inondations soit par les incendies mais il faut tout de même signaler que ces parcelles ne restent pas vides pour longtemps puisque après ces catastrophes, lesdites parcelles sont reconstruites. Cette situation a été aussi évoquée par cette référence [25] où ils font remarquer que dans un paysage anthropisé, il est très peu probable qu'une zone construite se transforme en zone agricole ou en boisement et cette pression sur les boisements et les zones agricoles n'est pas sans conséquence. Et la référence [26] de renchérir qu'au fur et à mesure qu'on progresse des campagnes vers le centre d'une ville, on observe un resserrement du dessin parcellaire, une convergence et une densification des réseaux de communication et un changement dans les affectations dont la plus spectaculaire est indubitablement la densification du Bâti. La référence [27] quant à elle montre que cette pression entraîne une perte considérable de la biodiversité en raison de la destruction de nombreux habitats naturels ce qui implique un suivi régulier de l'occupation du sol pour la gestion de l'environnement et la compréhension de son fonctionnement.

Les résultats de télédétection à travers les cartes d'occupation du sol présentent au fil des temps une régression des espaces verts sur l'ensemble de la zone d'étude et cela est dû en grande partie à la progression des espaces urbanisés au détriment des boisements et champs et villages. Ces cartes montrent que les tendances d'occupation du sol vont dans le sens d'étalement urbain. Un autre constat c'est que l'insécurité dans les milieux ruraux, source de l'exode rural est la cause première de l'occupation anarchique du sol dans la ville de Bukavu bien que l'absence d'une politique de gestion de terre et la croissance naturelle sont aussi des facteurs de la croissance urbaine. Cette absence d'une politique efficace de gestion de la terre se justifie par l'absence du plan directeur d'aménagement de la ville de Bukavu et la violation de celui hérité des colons belges en 1957 qui n'avait jamais connu de révision.

Pour analyser la dynamique du paysage, nous nous sommes heurté à pas mal des difficultés notamment le problème de connexion internet pour le téléchargement des images satellitaires qui nécessitait une connexion haut débit, des coupures intempestives de l'électricité, le manque du matériel nécessaire pour réaliser le travail en toute quiétude, le risque d'accident lors de la collecte des données GPS sur des sites accidentés, etc

## **V. CONCLUSION**

La présente étude sur l'analyse diachronique de l'évolution du paysage urbain de la ville de Bukavu montre que la ville de Bukavu a connu une occupation anarchique du sol au fil du temps. Cette occupation anarchique s'observe visiblement sur les cartes d'occupation du sol et a commencé à se manifester juste après l'indépendance de la RDC où on observe une absence de la politique d'aménagement du territoire. Cela se justifie par le fait que le plan d'aménagement de la ville hérité des Belges n'a jamais été révisé et les dispositions contenues dans ce plan d'aménagement ont été foulées au pied. Cependant, cette occupation anarchique s'est exacerbée avec l'avènement des guerres en répétition dans presque tous les territoires du Sud-Kivu. On peut citer à titre d'exemple la guerre de libération du Congo de l'Alliance des Forces Démocratiques pour la Libération du Congo (AFDL) de Laurent Désiré Kabila en 1997, la rébellion du Rassemblement Congolais pour la Démocratie (RCD) à partir des années 1998, les Forces Démocratiques pour la Libération du Rwanda (FDLR) qui ont occupé toutes les forêts de la province du Sud-Kivu. Toutes ces péripéties de guerres ont occasionné une insécurité grandissante (pillage, viols, mutilation, tueries, etc) dans les territoires de la province du Sud-Kivu causant ainsi le déplacement de la population vers la ville où il y a moins d'atrocités. C'est dans cette optique que les résultats sur l'interprétation des cartes d'occupation du sol ont permis de confirmer que l'insécurité dans les territoires du Sud-Kivu a contribué de manière significative à l'occupation anarchique du sol dans la ville de Bukavu. L'analyse de l'évolution d'occupation du sol que nous avons faite sur base des images satellitaires montre la tendance selon laquelle, au fil du temps, les zones urbanisées ont colonisé le reste des classes dont (les champs et villages et boisements). C'est ainsi qu'on observe l'occupation des sites impropres dans cette ville, le non-respect de la superficie de la parcelle et les normes d'occupation des parcelles pour le lotissement tel que le prévoyait le plan d'aménagement de la ville de Bukavu de 1957. Cet état de chose n'est pas sans impact et les impacts qu'on peut enregistrer sont d'ordre environnemental et social. Du point de vue environnemental, cette occupation anarchique a eu des conséquences néfastes sur la biodiversité et le fonctionnement écologique des écosystèmes. Ces impacts sont fréquemment les glissements des terrains, les érosions catastrophiques, les inondations, effondrements des maisons, incendies, pollutions des rivières qui occasionnent à leur tour la pollution du lac Kivu, prolifération des épidémies, etc. Il y a lieu de signaler que la ville est quasiment dépourvue d'espaces verts pourtant baptisée dans le temps « Bukavu la verte ». Cette carence d'espaces verts entraîne à son tour la disparition de la biodiversité animale. Les quelques espaces verts qu'on rencontre dans la ville sont essentiellement dans les sites des institutions universitaires, ecclésiastiques et certains sites des institutions étatiques qui ont échappé à la spoliation par les autorités administratives mal intentionnées. Eu égard à ce qui précède, dans le contexte de la gestion urbaine dans les trois communes préexistantes, il est impérieux d'intégrer la question de l'occupation du sol au centre des préoccupations des autorités municipales ayant en charge l'aménagement du territoire afin de limiter les impacts de cette dynamique croissante tels que les résultats de cette étude l'ont mis en évidence. Cette action des autorités devrait être suivie d'une sensibilisation de la population sur les dangers qu'elle court en occupant anarchiquement le sol. Dans le contexte du désengorgement de la ville de Bukavu, les autorités devraient instaurer une politique rigoureuse d'occupation du sol pour ne pas se retrouver dans la situation actuelle. Cela passe par d'une étude d'impact environnemental mais également l'élaboration et la mise en application stricte du plan d'aménagement des sites choisis pour le désengorgement.

## **REMERCIEMENTS**

Nos remerciements vont tout droit aux autorités municipales qui nous ont autorisé de réaliser notre étude dans leurs juridictions et également à tous nos collaborateurs qui nous ont accompagné pendant la réalisation de cette étude que ça soit pour la collecte de données, leur analyse ou pour toute sorte d'apport qui ayant guidé ce travail.

## **REFERENCES**

- [1] Forman, R. T. T. & M. Godron, Landscape ecology. John Wiley, New York cité par Flavio Zanini, 1986.
- [2] Flavio Zanini, Elodie Zanini, Christine Weber & Rodolphe Schlaepfer, Analyse de la dynamique du paysage de la plaine du Rhône de 1850 à 2003 sur la base de cartes topographiques, *Bull. Murithienne* 124: 89-98, 2006.

- [3] Clergeau P., Une écologie du paysage urbain, *Editions Apogée*, cité par Rahim Aguejdad et Laurence Hubert-Moy, 2007.
- [4] Wu J., « Making the case for landscape ecology: an effective approach to urban sustainability », *Landscape Journal*, vol. 27, No.1, 41-50. DOI : 10.3368/lj.27.1.41\_2008.
- [5] Germaine S.-S., Wakeling B.-F., « Lizard species distributions and habitat occupation along an urban gradient in Tucson, Arizona, USA », *Biological Conservation*, vol. 97, No.2, 229-237. DOI : [10.1016/S0006-3207\(00\)00115-4](https://doi.org/10.1016/S0006-3207(00)00115-4) , 2001.
- [6] Cosinschi M. & Racine J.-B., « Géographie urbaine », in : Bailly A. (dir.), *Les Concepts de la géographie urbaine*, Paris, *Armand Colin*, 1998.
- [7] Dietzel C., Orguz H., Hemphill J.-J., Clarke K.-C., Gazulis N., « Diffusion and coalescence of the Houston metropolitan area: evidence supporting a new urban theory », *Environment and Planning-B*, vol. 32, No.2, 231-236, 2005.
- [8] Balmford, A., & W. Bond, Trends in the state of nature and their implications for human well-being. *Ecology Letters* 8:1218-1234, 2005.
- [9] Desailly, B., Philippe Beringuier, Gerard Briane, Jean-Francois Dejoux, *Les impacts environnementaux de l'étalement urbain*. Perspectives Ville.4 p. <halshs-00914585>, 2009.
- [10] Weng Y.C., "Spatiotemporal changes of landscape pattern in response to urbanization", *Landscape and urban planning*, Vol.81, 341-353. DOI : [10.1016/j.landurbplan.2007.01.009](https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2007.01.009), 2007.
- [11] Savard J.L., Clergeau P., Mennechez G., "Biodiversity concepts and urban ecosystems", *Landscape and urban planning*, Vol.48, No.3-4, 131-142., DOI : [10.1016/S0169-2046\(00\)00037-2](https://doi.org/10.1016/S0169-2046(00)00037-2), 2000.
- [12] Beeckmans L., French planning in a former Belgian colony. A critical analysis of French urban planning missions in post-independence Kinshasa, *OASE*, 82, 56-76, 2010.
- [13] Nzunzi, F.L., Kinshasa ville et environnement, éd. *Harmattan*, Paris. 281p, 2008
- [14] Sadiki Ndyababo , Ine Vandecasteele , Jan Moeyersons , André Ozer, Pierre Ozer, Kalegamire Dunia, Bahati Cishugi, Développement de la ville de Bukavu et cartographie des vulnérabilités, R.D. Congo, *Annales Sci. \_ Sci. Appl. U.O.B. Vol. 2*, 2010.
- [15] Boffet, A., « Analyse multi niveaux des espaces urbains ». *European Journal of GIS and spatial Analysis*, 12: 215-260, 2002.
- [16] Chamaa M.S. ; Bidou J.E. ; Boureau P.Y. ; Lambert A. ; Ndagiriyehe A. ; Gakinahe G. ; Muzalia W. & Sebakunzi N., Atlas de la ville de Bukavu. *Cahier de CERUKI, Bukavu*, 59p, 1981.
- [17] Ilunga L., Problèmes géologiques d'aménagement dans la zone de Kadutu (ville de Bukavu, Zaïre). *Cahiers du CERUKI*, nouvelle série, n° 24, pp 40-51, 1989.
- [18] Kalikone C. et al., Impact des déformations du sol sur la vulnérabilité des réseaux de distribution d'eau et d'électricité à Bukavu (RD Congo). *Geo-Eco-Trop.*, 2017, 41, 2, n.s.: 279-292. Numéro spécial, 2017.
- [19] Lillesand, T.M. and Kiefer, R.W., Remote Sensing and Photo Interpretation, 3rd. ed. *John Wiley & Sons: New York*. 750p, 1994.
- [20] Toko Mouhamadou, I., Facteurs déterminants de la fragmentation des écosystèmes forestiers: cas des îlots de forêts denses de la Forêt classée des Monts Kouffé et de sa périphérie au Bénin. Thèse de Doctorat Unique, EDP/FLASH. Université d'Abomey Calavi, Bénin. 221p, 2014.
- [21] Toko Mouhamadou, I., Land Use/Land Cover Changes in Monts Kouffé Forest Reserve and its Southern Surrounding (1986-2006) *European Scientific Journal edition* Vol.15, No.9 ISSN: 1857 – 7881 (Print) e - ISSN 1857- 7431, 2019.
- [22] Touré, F., Contribution de la Télédétection et des SIG dans l'étude de la dynamique des îlots de forêt dense dans la Forêt classée des Monts Kouffé et sa périphérie au Bénin entre (1986-2006). Mémoire de DESS en Production et gestion de l'information géographique. RECTAS. Campus Universitaire Obafemi Awolowo. Ilé-Ife, Nigéria, 69p, 2010.

- [23] Skupinski G., Binhtran D., Weber C., 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). *Cybergeo : European Journal of Geography* [En ligne], Systèmes, Modélisation, Géostatistiques, article 439, mis en ligne le 12 mars 2009, consulté le 30 octobre 2012. URL: <http://cybergeo.revues.org/21995>; DOI: 10.4000/cybergeo.21995., 2009.
- [24] Pontius R.G.Jr., Quantification error versus location in comparison of categorical maps. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. Vol66 (8).pp.1011-1016, 2000.
- [25] Singh, A., Review article: Digital change detection techniques using remotely sensed data. *International Journal of Remote Sensing*, vol. 10, n o 6, p.989-1003, 1989.
- [26] Yves Baudot, Télédétection Aérospatiale et Analyse Géographique de la Population des Villes dans les Pays en Développement. Thèse de Doctorat, Louvain-la-Neuve, Faculté des sciences, Université Catholique de Louvain, p233, 1994.
- [27] Leroux Louise, Analyse diachronique de la dynamique paysagère sur le bassin supérieur de l'Ouémé (Bénin) à partir de l'imagerie Landsat et MODIS-Cas d'étude du communal de Djougou, Hydrosiences Montpellier, ANR ESCAPE, 2012.