

# Study of land cover and gullies changes in the Lubudi-Basoko watershed in the Democratic Republic of Congo based on spatial data

## Etude des changements de l'occupation du sol et du ravinement au niveau du bassin versant de Lubudi-Basoko en République Démocratique du Congo à partir des données spatiales

PAUL LEMBHI KIDIADI<sup>1\*</sup>, TAOUFIK HERMASSI<sup>2</sup>, FATHIA JARRAY<sup>2</sup>, MOHAMED LASSAAD KOTTI<sup>2</sup>, MOHAMED MECHERGUI<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Institut national agronomique de Tunis, 43 avenue Charles Nicolle, Tunis 1082, Tunisie.

<sup>2</sup> Institut national de recherche en génie rural eaux et forêts, Rue Hedi Karray Ariana. 2080 Tunisie

\*Corresponding author: paulkidiadi@gmail.com

**Abstract** – Gully erosion occurs on hill slopes due to the high concentration of surface runoff, the development of drainage along the surface of roads and adjacent ditches as well as the high erodibility and fragility of soils in hilly areas of the Lubudi-Basoko watershed to the south-west of Kinshasa.

As a result, large amounts of sediment are uprooted and transported to surrounding valley systems, causing significant damage to water quality and riparian ecosystems. This study establishes the relationship between the evolution of land use and the extent of gully system and the sediment balance of the watershed over twenty years (between 2000 and 2020) based on a diachronic analysis of satellite images. The sediment volumes are estimated between 2000 and 2010 at around 837,117 tons of sediment, and between 2010 and 2020 a volume of 3,294,034 tons of sediment, i.e. a loss of land of around 30 tons/year/ha over the first period and 116 tons/year/ha over the second period. These gullies continue to cause damage to habitats, roads and other human settlements in areas of high population density, to the detriment of the semi-rural environment.

**Keywords:** land cover, gullies, remote sensing, Lubudi-Basoko, RDC

**Résumé** - L'érosion ravinante se produit sur les pentes des collines en raison de la forte concentration du ruissellement de surface, du réaménagement des voies de drainage le long de la surface des routes et des fossés de drainage adjacents ainsi que la forte érodibilité et fragilité des sols des zones collinaires du bassin versant de Lubudi-Basoko au sud-ouest de Kinshasa.

En conséquence, de grandes quantités de sédiments sont arrachées et transportées vers les réseaux de vallées environnantes, causant des dommages importants à la qualité de l'eau et aux écosystèmes riverains. Cette étude établit la relation entre l'évolution des occupations des sols et l'importance en ravinement et le bilan sédimentaire du bassin versant sur vingt ans (entre 2000 et 2020) en se basant sur une analyse diachronique d'images satellitaires. Les volumes sédimentaires sont évalués entre 2000 et 2010 à environ 837 117 tonnes de sédiments, et entre 2010 et 2020 un volume de 3 294 034 tonnes de sédiments, soit une perte en terres d'environ 30 tonnes/an/ha sur la première période et de 116 tonnes/an/ha sur la deuxième période. Ces ravins continuent de causer des dommages à l'habitat, aux routes et à d'autres installations humaines, dans les zones à forte densité démographique, au détriment du milieu semi-rural.

**Mots clés:** occupation des sols, ravinement, télédétection, Lubudi-Basoko, RDC

### 1. Introduction

Le monde est en voie d'urbanisation et les grandes villes subissent une périurbanisation suite à l'explosion démographique et la grande mobilité des populations défavorisées à la recherche d'une situation meilleure (Halleux, 2015). En effet, les mutations induites de l'étalement urbain, rendent de plus en plus problématique la gestion des villes de l'Afrique sub-saharienne en matière d'urbanisme et de gestion foncière (Messina Ndzomo, 2019).

Au cours de deux dernières décennies, l'expansion des villes n'a pas cessé d'augmenter en République Démocratique du Congo. Cet étalement urbain vers les zones jadis non aedificandi induit des changements



dans l'occupation des sols, notamment une artificialisation des sols qui se fait aux dépens des paysages naturels. Cette croissance urbaine pour le cas de la Ville de Kinshasa est la cause majeure de la dégradation par ravinement de la zone collinaire (Messina Ndzomo, 2019).

La croissance démographique avait des conséquences sur la morphologie de l'espace urbain surtout au niveau de la ville de Kinshasa et qui se manifeste soit par l'extension spatiale de la ville soit par la densification des quartiers existants.

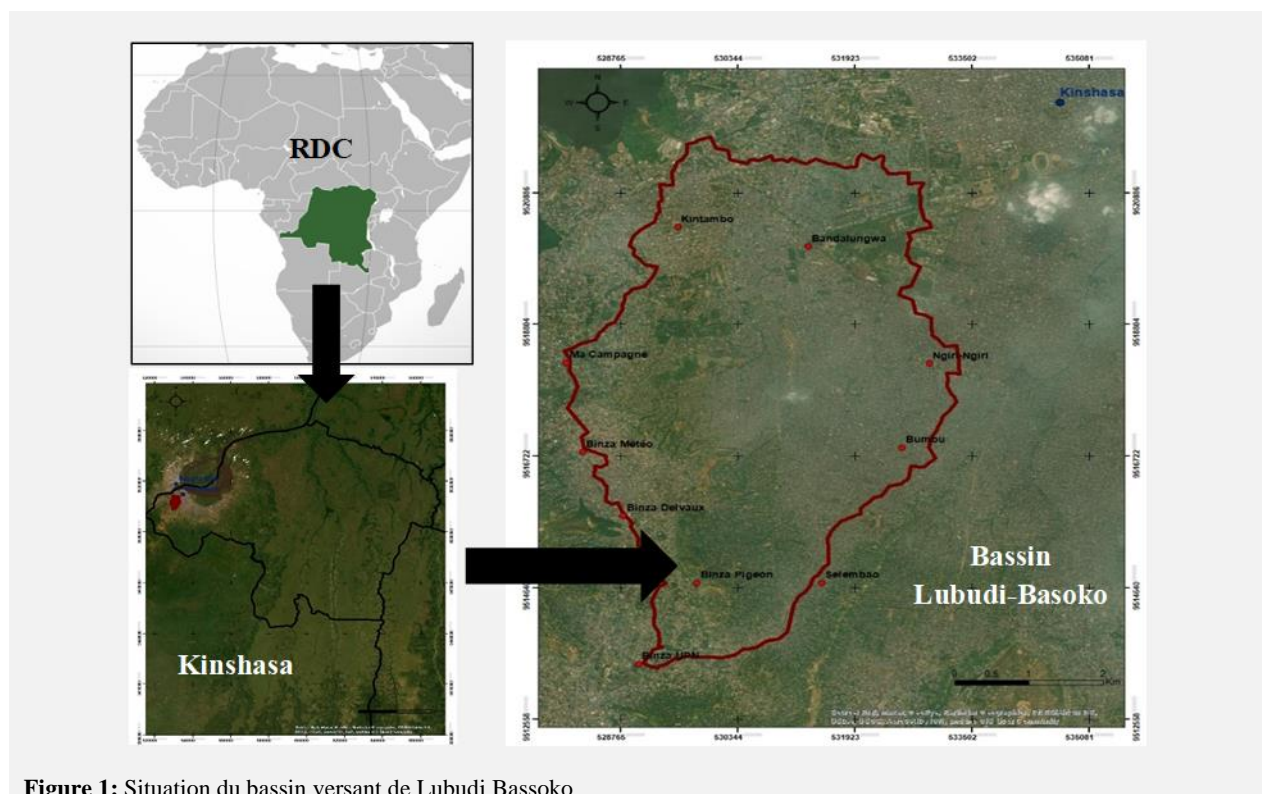
La cartographie de l'occupation des sols est considérée pour les gestionnaires territoriaux, comme un outil nécessaire leur permettant d'appréhender, d'analyser et de suivre les tendances de la couverture des sols pour mieux gérer les territoires. Pour ce faire, l'approche utilisée a mobilisé les techniques de la télédétection et de l'analyse spatiale. De plus, la disponibilité des données satellitaires qui ont l'avantage de couvrir les territoires à toutes les échelles, offrent la possibilité de réaliser cette cartographie. Cependant les méthodes de traitement sont nombreuses et inhérentes aux caractéristiques de l'image.

Cet article porte sur la cartographie de l'occupation du sol à partir d'images Landsat pour trois années 2000, 2010 et 2020 au niveau de la zone d'étude (figure 1). En fait, cette étude diachronique a pour objectifs de détecter les changements des éléments du paysage à fine échelle et de lever un coin du voile sur le sujet de la densification spatiale bassin versant de la Lubudi-Basoko, grâce à une analyse de l'évolution spatio-temporelle entre 2000 et 2020, et prédire ainsi le taux moyen annuel de perte de sol à l'échelle du bassin et déterminer les effets du changement d'occupation/utilisation des terres sur l'érosion des sols.

## 2. Matériel et méthodes

### 2.1. Zone d'étude

Le bassin de la Lubudi-Basoko ( $15^{\circ}15'11,4''$  et  $15^{\circ}23'54,6''$  de longitude Est et entre  $4^{\circ}19'20,9''$  et  $4^{\circ}23'54,6''$  de latitude Sud) est situé dans la région collinaire sud-ouest de Kinshasa, il couvre une superficie d'environ 28 km<sup>2</sup> (figure 1). Il présente deux domaines morphologiques ; il s'agit de la zone des collines et de la zone basse. La zone haute, d'altitude comprise entre 325 et 550 m, présente un relief accidenté. La zone basse, d'altitude comprise entre 275 et 325 m présente un relief de faible pente.



**Figure 1:** Situation du bassin versant de Lubudi Bassoko

Il se présente globalement à la fois comme un « système urbano-rural » au relief contraignant avec une occupation de sol sans aménagement préalable. Pareille occupation, en zone tropicale humide, se traduit par un écosystème fragile et vulnérable à cause de la sensibilité de son sol aux différentes manifestations érosives, avec les impacts importants sur l'habitat et les infrastructures. Le climat est un climat de savane tropicale humide à saison sèche de type (Aw4)s suivant la classification de Köppen (Crabbe, 1980), caractérisé par une longue saison des pluies de huit mois et une saison sèche marquée de quatre mois de juin à septembre. La pluviométrie moyenne annuelle à la station de Kinshasa-Binza est de l'ordre de 1520 mm (période 1961-

2019), le maximum mensuel atteignant 263,7 mm en moyenne en novembre. Pour cette station principale de référence, la variation des précipitations inter annuelles est très importante : pour l'année de 1978, la pluviométrie annuelle moyenne est de 978,7 mm seulement, alors que pour l'année de 2011, elle est de 2281,8 mm. La température annuelle moyenne est de 25,4°C et les températures journalières maximales oscillant entre 27,1 et 31,6°C.

Deux grands ensembles dominant le relief du bassin versant de la Lubudi-Basoko : la zone basse caractérisée par une faible vulnérabilité à l'érosion et la zone des collines dont les pentes sont supérieures à 20 %, sur lesquelles se sont développés les plus spectaculaires ravins. Les sols font partie du groupe des arénosols selon la classification pédologique WRB (World Référence Base for Soil Ressources), constitués principalement par des sables fins, avec une faible fraction limoneuse (Van Caillie 1977). La végétation naturelle est formée essentiellement de savanes parsemées d'arbustes, de steppes et de galeries forestières de faible densité (Pnud/Unops, 1998) et, est représentative en saison de pluie. Cette végétation est de plus en plus remplacée en milieu urbain par une strate arbustive avec une densité supérieure à la végétation naturelle.

## 2.2. Impact de l'évolution urbaine et démographique sur le paysage

Depuis les années 1950, la plupart des villes africaines ont connu des taux de croissance annuels exceptionnels (de 5 à 9 % pour la période de 1950 à 1990) soutenus par la forte croissance naturelle de la population urbaine et l'exode rural (Dubresson et Raison 1998). Cette croissance conduit à des transformations spatiales rapides de l'espace urbain. Les villes s'étendent sur les espaces périurbains, jadis voués à l'activité agricole, et se densifient dans les quartiers centraux où on observe un remplissage des espaces interstitiels ; Kinshasa n'échappe pas à ce constat (Wolff et Delbart 2002). Son emprise spatiale récente reste mal connue. La carte résultante de la comparaison des classifications des occupations des sols de 1995 et 2005 montre que les extensions du bâti se concentrent vers le sud-ouest et vers le nord-est de Kinshasa (Kayembe et al. 2009).

C'est au courant des années 1950 que l'on constate que la ville s'est beaucoup plus étendue au sud et sud-ouest ; zone où les autorités coloniales interdisaient strictement les constructions sur les collines en l'absence d'un aménagement particulier. L'urbanisation s'étend sur les fortes pentes et abritent majoritairement des populations défavorisées ; ces dernières sont impropres à l'implantation humaine en l'absence d'un aménagement approprié. En effet, ces zones de fortes pentes sont soumises à un risque important d'érosion des sols dès qu'elles sont mises à nu (Van Caillie et al. 1977).

Les ruissellements deviennent abondants, et érodent facilement les sols sablonneux très perméables et fragiles, exploitent la topographie accidentée du site, caractérisée par des pentes qui dépassent les 4 % un peu partout, sur près 20 % de la superficie du bassin versant de la Lubudi-Basoko (Mufwaya et al. 2016). L'érosion hydrique constitue l'un des problèmes environnementaux le plus préoccupant en RD Congo ces 30 dernières années. Mais si certains bassins versants sud-ouest de la zone collinaire ont fait l'objet de plusieurs études sur l'érosion hydrique (Wouters 2010, Mfumu et al. 2012, Mufwaya et al. 2016), d'autres bassins par contre, n'ont pas encore été étudiées malgré la dynamique du phénomène.

C'est le cas du bassin versant de la Lubudi-Basoko, située dans la périphérie sud-ouest de Kinshasa, très affecté par une érosion hydrique qui dégrade son environnement. L'occupation des sols qui est l'une des premières causes de cette érosion est due à l'attractivité de la ville, par les populations de l'intérieur du pays en quête de meilleures conditions de vie et le désir de devenir propriétaire d'un lopin de terre. Ce qui lui vaut un exode rural qui s'est, du reste, accentué ces dernières années en raison notamment de la pauvreté particulièrement exacerbée en milieu rural et de la situation de guerre dans les régions troublées de l'Est et du Sud (SOSAK 2014). Les changements dans l'occupation et l'utilisation inappropriée de sols constituent un facteur clé à la base des problèmes environnementaux tels que l'érosion par ravinement observée sur les versants de la zone collinaire.

## 2.3. Données utilisées

Pour la présente étude, l'imagerie satellitaire Landsat a été utilisée pour la cartographie de l'évolution des occupations des sols. Ce type d'images assure d'une part, un niveau de détail suffisant pour repérer les caractéristiques de la couverture terrestre tout en offrant une couverture plus ou moins complète de la zone d'action, généralement à plusieurs dates.

D'autre part, les images Landsat sont caractérisées par leur vaste couverture, de leur résolution spatiale (30 m) compatible avec notre échelle de travail et de leur gratuité. Les images utilisées sont acquises pour trois dates différentes 2000, 2010 et 2020. Ces images sont prises pendant la période printanière avec une couverture végétale maximale. La résolution spatiale des images utilisées est de 30 m.

**Tableau 1** Caractéristiques des images satellitaires utilisées

Caractéristiques/année	2000	2010	2020
Type de l'image	Landsat 5	Landsat 7	Landsat 8
Date de l'acquisition	02 Mars 2000	25 Mars 2010	13 Mars 2020
Résolution	30 m	30 m	30 m

#### 2.4. Pré-traitement des données satellitaires

Lors de l'acquisition d'une image satellitaire optique, le capteur imageur mesure la quantité d'énergie réfléchie par la surface de la terre à l'aide d'un radiomètre. Malheureusement, l'information reçue par le radiomètre n'est pas une mesure précise et uniforme. En effet, le signal reçu est perturbé par la présence d'erreurs, d'artefacts, de déformation due au processus d'acquisition.

Les pré-traitements des données satellitaires permettent alors d'obtenir des valeurs de réflectance corrigées de ces effets perturbateurs. Ils sont généralement divisés en deux grandes catégories.

Les corrections géométriques sont utilisées pour rendre superposables les images de la série. Elles sont appliquées afin de réduire l'ensemble de ces déformations introduites lors de l'enregistrement des images. Elles servent également à orthorectifier les images, les rendre superposables, et à les géo-référencer et leur donner une localisation en latitude et longitude précise. D'autre part, les corrections radiométriques permettent d'obtenir des valeurs de réflectance comparables entre les images de la série. Ces corrections consistent alors à transformer le signal reçu par le capteur en une valeur radiométrique la plus proche possible de celle mesurée au sol. L'objectif de ces corrections est donc de convertir les valeurs brutes des images, appelées comptes numériques, en réflectance Top of Canopy.

#### 2.5. Les méthodes de classification

La classification a pour but de réaliser une représentation abstraite de la situation sur le terrain. Elle utilise des paramètres de diagnostic bien définis. Elle classe les pixels ou les objets issus de la segmentation de l'image dans une catégorie donnée d'objets. Le résultat d'une classification est une nouvelle image dont chaque pixel est identifié par une catégorie particulière d'objets (Defourny 2004).

Les procédures de classification tentent de réaliser une interprétation d'une image numérique et toute classification doit être indépendante de la source. Pour la classification des images, plusieurs approches sont disponibles. On distingue une classification basée sur l'objet et d'autres classifications basées sur le pixel telles que les classifications supervisées et les non-supervisées. Dans ce travail nous allons présenter la classification basée sur le pixel pour arriver finalement à choisir la méthode convenable pour réussir cette étude.

La classification supervisée se pratique si les domaines des classes sont connus à priori. Toutes les méthodes supervisées comprennent deux phases : la phase d'apprentissage et la phase de classification. Lors de la première phase, à l'aide d'échantillons de pixels dont la classe d'appartenance est connue, on établit des zones d'entraînement pour chaque classe.

Une zone d'entraînement, est une zone de l'image dont l'occupation du sol est connue de l'utilisateur. Dans la seconde phase, on classe les pixels de l'ensemble de l'image par comparaison de chaque pixel avec les domaines connus. La procédure assigne à chacun des pixels de l'image l'une des catégories d'occupation du sol.

Cette méthode présente un grand avantage, du fait que la classification peut alors être standardisée car elle est indépendante de la zone et de la méthode utilisée. Par contre le principal inconvénient est que cette méthode est rigide, c'est à dire qu'il est impossible de rajouter une classe, et que dans certains cas il n'est pas facile d'attribuer à une parcelle le nom d'une classe prédéfinie.

Par contre, la classification non supervisée se pratique si les domaines des classes sont inconnus. On cherche alors à établir des groupements de vecteurs de mesure dans l'espace de représentation en utilisant des critères mathématiques ou statistiques de ressemblance des valeurs considérées comme les domaines des classes.

Une fois l'attribution des pixels de l'image complétée, la signification réelle de chaque classe reste alors à établir. Elle utilise des algorithmes d'analyse par regroupement. Ces algorithmes déterminent automatiquement des signatures spectrales et les classifient (Bonn et Rochon 1992).

Les avantages de cette méthode sont sa flexibilité et son adaptabilité. Elle est bien adaptée pour des zones spécifiques. Elle est par contre inadaptée pour toute standardisation de classes.

Dans cette étude, on effectuera une classification non supervisée des images, en utilisant l'algorithme K-means. Cette méthode, appelée aussi classification par les Nuées Dynamiques.

Dans cette approche, le logiciel utilisé analyse l'ensemble des signatures spectrales de tous les pixels de l'image, et détermine des groupements naturels, c'est-à-dire regroupe les pixels sur la base de signatures spectrales similaires. La méthode des « K-means » est une méthode de classification géométrique bien

adaptée aux espaces vectoriels de grande et petite dimension. Elle est d'ailleurs régulièrement utilisée pour effectuer des classifications non-supervisées d'images multispectrales.

L'algorithme des K-means s'efforce de trouver les centroïdes les plus représentatifs de l'espace de données puis il groupe itérativement les pixels dans la classe la plus proche à l'aide d'une technique de distance minimale. Chaque itération recalcule des nouvelles moyennes de classes et reclasse les pixels par rapport ces nouvelles moyennes. Ce processus se poursuit jusqu'à ce que le nombre de pixels dans chaque classe varie moins par rapport au niveau du seuil de changement sélectionné ou le nombre maximum d'itérations soit atteint.

Pour chaque image, le résultat est un fichier raster mono-canal qui représente les différents groupements des pixels, ou bien les classes, dégagés par l'algorithme de classification automatique.

Le raster généré donne des noms par défaut aux classes (classe 1, classe 2,...). Dans cette étape, on va les identifier avec leurs « vrais noms ». Pour ce faire, des sources externes peuvent être utilisées pour la spatio-interprétation, nous utilisons dans cette étude les images très haute résolution de Google Earth.

L'identification des classes est basée sur la photo-interprétation. Après la superposition de la classification avec les images Google Earth, on procède au changement des noms des classes avec les vraies occupations du sol. On répète cette procédure pour toutes les images utilisées.

## 2.6. Détermination des surfaces d'érosion ravinaires

Dans le même but de caractériser le risque d'érosion hydrique dans le bassin versant de Lubudi Basoko, il a été utile de calculer et de cartographier les indicateurs radiométriques qui sont les plus adaptés au contexte de cette étude.

Parmi les indicateurs radiométriques d'état de surface les plus pertinents, fiables et les plus adaptés au contexte des zones à climat tropical, on a choisi l'albédo ou Indice de brillance (IB). En effet, pour les domaines du visible et du proche infrarouge, l'indice de brillance permet de dissocier les couvertures végétales des étendues minérales nues, et cela d'autant mieux que les sols sont clairs, ce qui est généralement le cas sur la région du bassin versant de Lubudi Basoko (sols sableux). Ainsi la végétation, qu'elle soit verte ou sèche, est souvent plus sombre que les sols sur lesquels elle se développe, et elle apporte en plus une certaine quantité d'ombre malgré ses faibles taux de recouvrement (Messedi et Delaître 2007). Le ravinement de la zone d'étude correspond parfaitement à un sol nu clair.

Cet indicateur radiométrique est calculé puis cartographié à partir des mêmes images utilisées pour la classification des occupations des sols (2000, 2010 et 2020). Ceci vise à tester son utilisation pour caractériser la dégradation des sols par érosion hydrique ravinatoire, vu qu'ils renseignent sur l'état des surfaces (sols clairs, sols faiblement couverts par la végétation, etc...).

L'indice de brillance est construit à partir des canaux rouge (R) et proche infra-rouge (PIR) selon l'équation suivante :

$$IB = \sqrt{R} \times R + PIR \times PIR \quad \text{Eq. 1}$$

L'indice de brillance représente la moyenne des brillances de l'image. Cet indice est donc sensible à la brillance des sols, reliée à son humidité et à la présence de sels en surface. Il caractérise surtout l'albédo. L'indice de brillance permet d'estimer si l'élément de surface observé est clair ou foncé.

La carte d'indice de brillance décrit la façon dont la surface d'un sol nu réfléchit la lumière solaire. La luminosité du sol comprend les effets combinés du type de sol (type de minéraux argileux), la teneur en matière organique et la teneur en humidité du sol au moment de l'acquisition de l'image. Alors que le type de sol et la teneur en matière organique sont très stables dans le temps, l'humidité du sol de la couche de surface est très variable.

**Tableau 2** Classes de l'indice de brillance

Classe de IB	Degrés de IB	Type de surface	Signe de/par rapport à l'érosion hydrique
<b>Classe 1</b> 25 - 45%	Très élevé	Affleurement gypseux ; croûte de battance ; chlorures ; Sable léger et sec ; sols très clairs	Sols très dégradés ou sols très susceptibles à l'érosion
<b>Classe 2</b> 15 - 25%	Elevé	Dolomites ; battance sur des sols clairs ; faible couvert végétal ou surface rugueuse	Sols dégradés ou sols moyennement sensibles à l'érosion
<b>Classe 3</b> 5 - 15%	Faible	Ombre ; végétation plus ou moins dense	Ombre ou sols plus protégés contre l'érosion
<b>Classe 4</b> 0 - 5%	Très faible	Surface de l'eau ou ombrage très fort (bad-land)	Surface de l'eau ou ombrage très fort

Cette méthode a été appuyé par des visites sur terrain pour rectifier les délimitations et en utilisant des points de références et des trajets par GPS. Nous avons aussi utilisé Google Earth comme outil de vérification.

### 3. Résultats et Discussion

#### 3.1 Classification des occupations des sols

Cette étude vise à déterminer les modifications de la couverture végétale à partir d'une analyse diachronique des types d'occupation du sol. Elle se base sur l'exploitation des données-images de Landsat d'Avril 2000, Avril 2010 et Avril 2020.

Pendant l'année 2000, la zone d'étude est caractérisée par la dominance d'une zone urbaine qui occupe 53% de la zone totale avec la présence d'une zone mixte dont la superficie est de l'ordre de 28%. En 2000, la forêt occupe 15% de la zone étudiée et le sol nu ne dépasse pas le 4%. D'autre part, l'étude faite en 2010 montre un changement appréciable dans l'occupation du sol de notre bassin versant avec la conservation de la dominance de la zone urbaine.

Une étude approfondie de ces résultats trouvés pour l'année 2010 montre la propagation de la zone urbaine dense qui occupe plus de trois quarts de la zone d'étude avec une superficie de 4 Km<sup>2</sup> occupée par la forêt. Le changement a concerné aussi les zones mixtes qui sont transformées en zone dense.

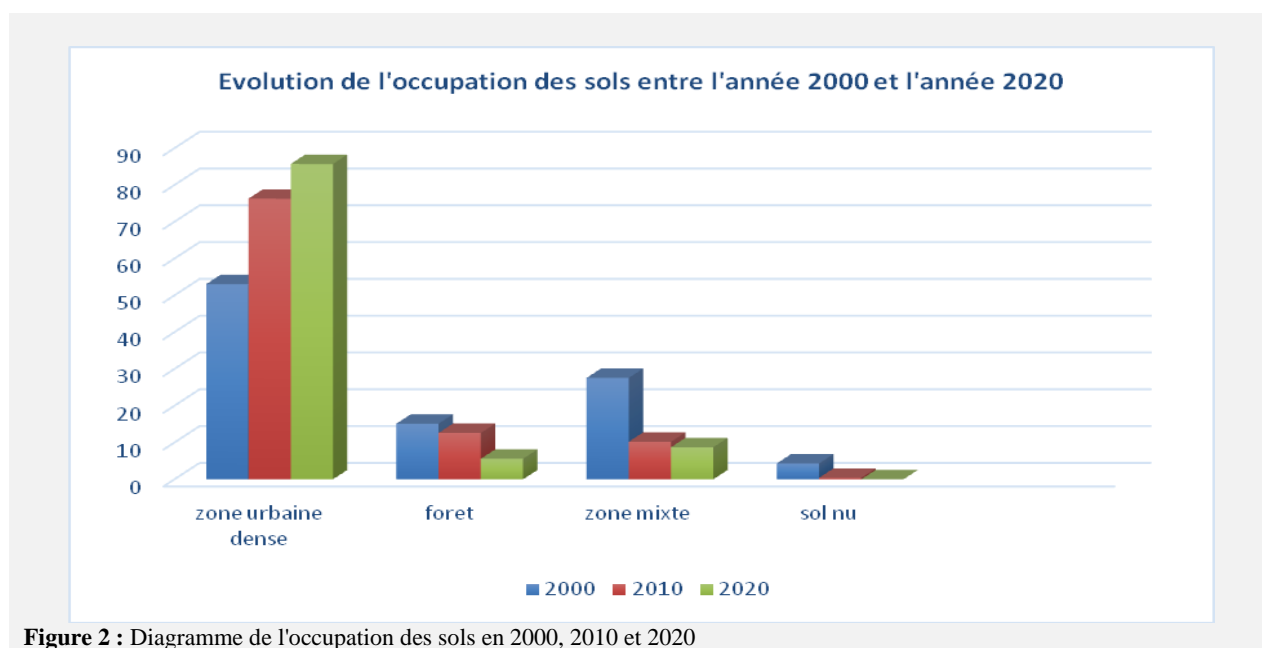
Pour l'année 2020, la cartographie a montré que la majorité de la zone d'étude est occupée par des zones urbaines denses, ce pourcentage est égal à 85,7% accompagné par la régression des superficies occupées par la forêt et la zone mixte, soient 14% et la disparition du sol nu.

Les résultats obtenus de l'étude diachronique montrent une évolution très importante du tissu urbain entre 2000 et 2020 (Figure 2). Cette croissance et cette redistribution de la population de notre zone d'étude vont probablement affecter les systèmes naturels et les interactions entre les environnements urbains et les populations. Ces interactions sont traduites par la dégradation remarquable de forêt, passant de 15,1% de la superficie totale étudiée en 2000 à 6% en 2020. La diminution de ce système est accompagnée également par une chute de la zone mixte qui est sous la forme d'un mélange des maisons (à peu près 5%) et de la forêt (à peu près 95%). Cette chute est estimée à 72,6% pendant les vingt ans d'étude avec la disparition successive du sol nu durant la même période.

**Tableau 3 :** Evolution des occupations des sols en 2000, 2010 et 2020

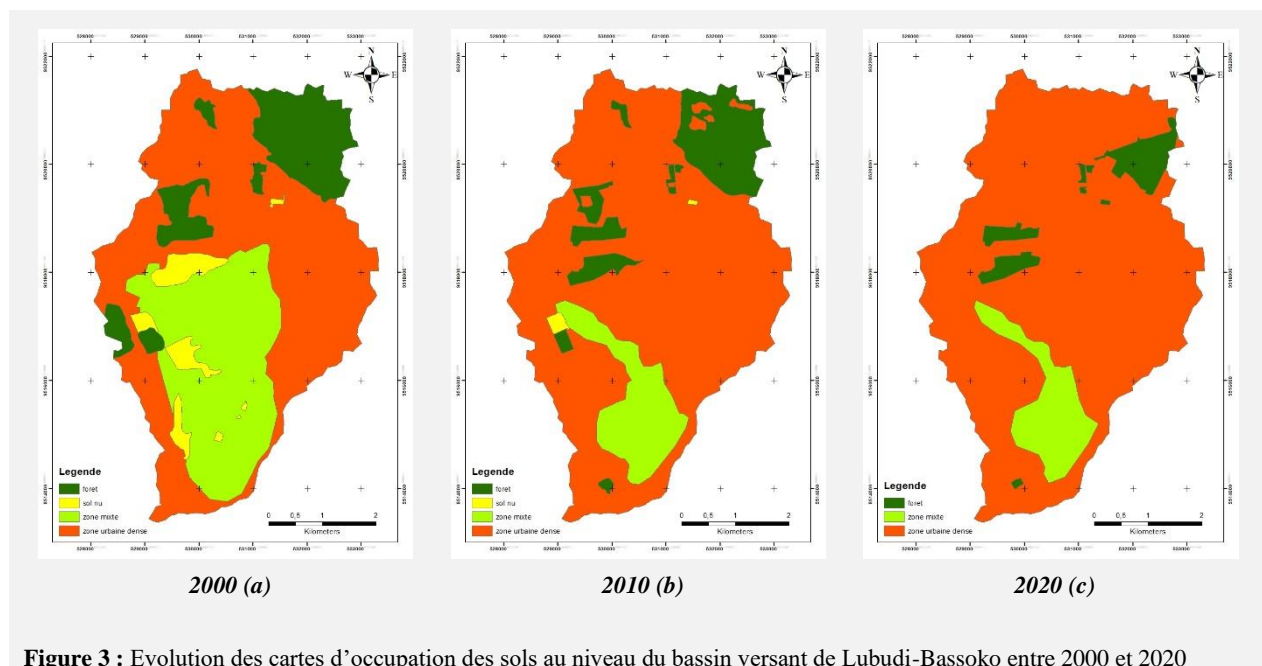
Occupation (%) / Année	2000	2010	2020
Zone urbaine dense	53,05	76,27	85,71
Forêt	15,12	12,6	5,58
Zone mixte	27,56	10,21	8,72
Sol nu	4,3	0,39	0

Le facteur dominant est marqué par l'évolution continue de la zone urbaine dense en dépend des autres catégories d'occupation des sols au niveau de notre bassin versant d'étude.



**Figure 2 :** Diagramme de l'occupation des sols en 2000, 2010 et 2020

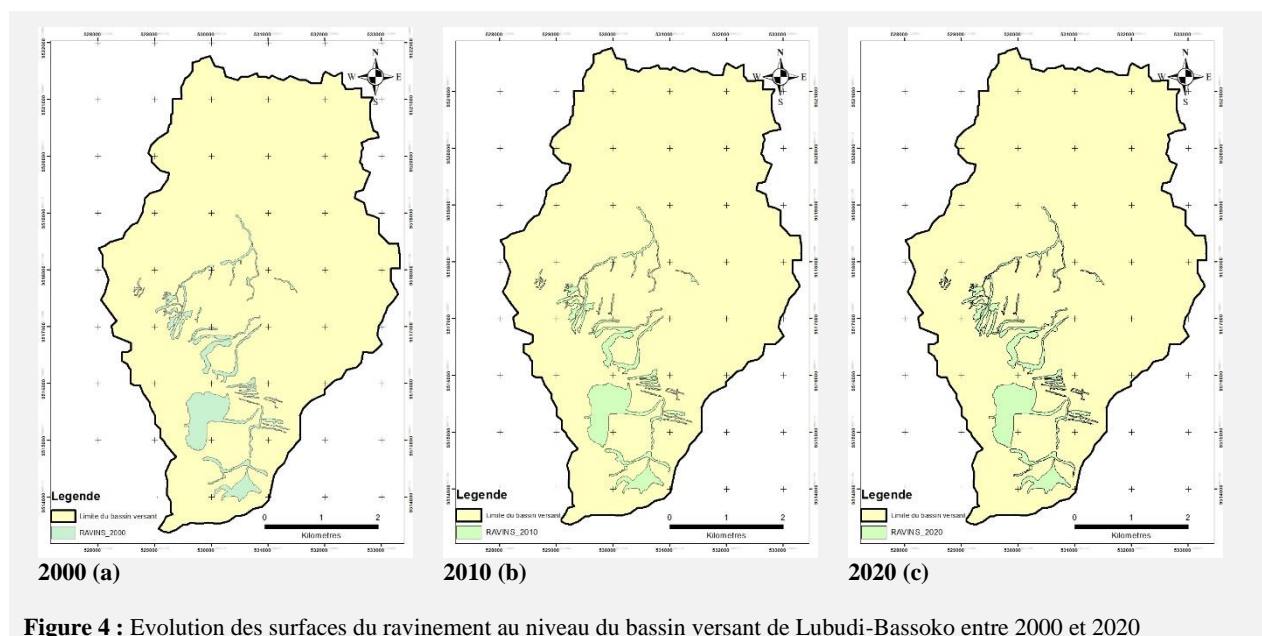
Dans une dernière étape, les résultats obtenus sont cartographiés. Ces trois cartes, pour les dates 2000 (a), 2010 (b) et 2020 (c), sont présentées ci-dessous.



**Figure 3 :** Evolution des cartes d'occupation des sols au niveau du bassin versant de Lubudi-Bassoko entre 2000 et 2020

### 3.2 Résultats de l'évolution du ravinement au niveau du bassin versant de Lubudi Basoko

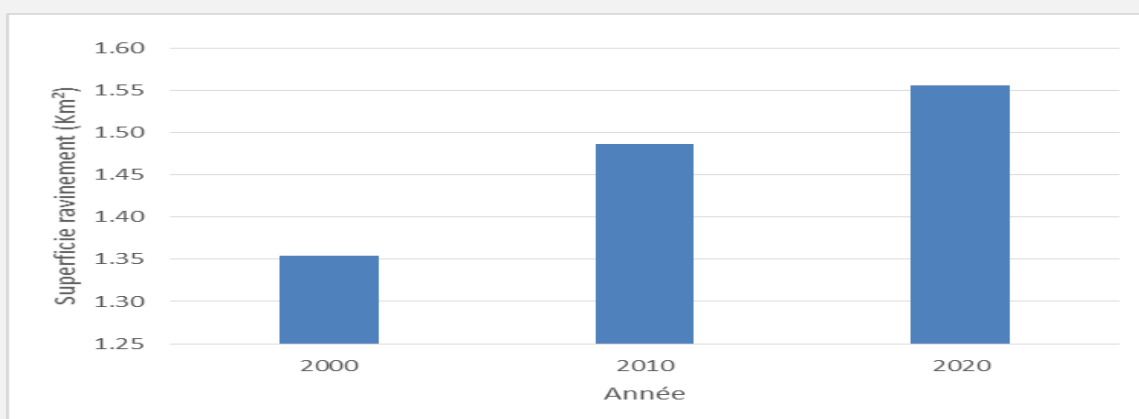
Le bassin versant étudié est caractérisé par des phénomènes importants qui sont la croissance urbaine et la propagation des ravins qui présentent des structures d'érosion permanentes. Cette formation géomorphologique naturelle est une forme élémentaire d'érosion créée par le ruissellement concentré au niveau des versants. Au total, 41 grands ravins représentatifs ont été dénombrés au niveau de la zone d'étude. Une étude diachronique de ravinement est faite pour trois années 2000 (Fig 4. a), 2010 (Fig 4. b) et 2020 (Fig 4. c) montrent que la superficie des ravins est augmentée d'une période à une autre.



**Figure 4 :** Evolution des surfaces du ravinement au niveau du bassin versant de Lubudi-Bassoko entre 2000 et 2020

En fait, la superposition de ces trois cartes montre que les ravins se propagent dans les zones déforestées et dans lesquelles il y a une extension urbaine importante. D'ailleurs depuis l'indépendance du pays, les jeunes Etats ont prolongé un modèle d'urbanisation basé sur celui de la ville blanche en continuant la construction des cités.

En 2020, la superficie attaquée par cette forme d'érosion est de l'ordre de 1,55 Km<sup>2</sup>, soit 5% de la superficie totale du bassin versant (figure 5).



**Figure 5 :** Superficie des ravins en 2000, 2010 et 2020

Ce graphe (figure 5) est obtenu suite à l’élaboration des cartes des ravins pour les trois dates 2000, 2010 et 2020. Néanmoins, dès la crise des années 1980, les Etats manquent de moyens. La très forte croissance urbaine (croissance naturelle et exode rural) est de moins en moins accompagnée par l’Etat. Dans ce contexte, l’urbanisation spontanée prend le relai et par la suite une absence des infrastructures et d’équipements urbains.

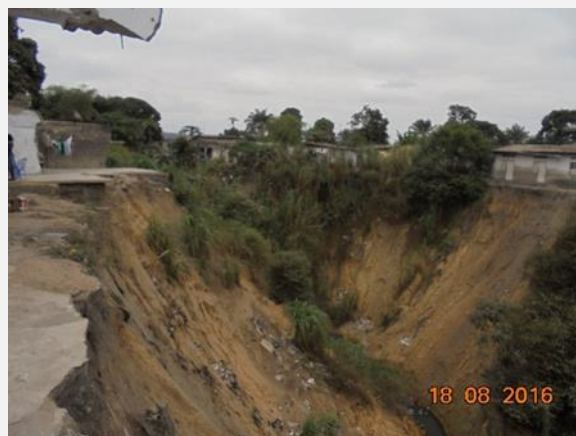
Pour conclure, on peut dire que l’apparition des mécanismes de dégradation des sols accompagnés par cette propagation importante des superficies des ravins est causée par l’urbanisation qui était un phénomène non planifié, rapide et souvent incontrôlée.

### 3.3 Quantification et cartographie des ravins actifs

Le travail de quantification a consisté à évaluer le volume des ravins les plus représentatifs, dans le but d’évaluer les périmètres qu’ils occupent, les volumes du vide laissés par les grands ravins et la quantité des terres perdues. Mais à cause de la grandeur des excavations, il nous a été difficile de mesurer leurs longueurs, leurs largeurs ainsi que leurs profondeurs. A cet effet, nous avons utilisé Google Earth comme outil de mesure. Ce logiciel libre a permis d’évaluer directement, avec l’outil « Afficher règle », les périmètres, les surfaces et les longueurs des ravins.



**Photo 1 :** Ravine située dans la région de Ndangi



**Photo 2 :** Ravine située dans la région de Binza

De ces données chiffrées, la formule empirique de la perte en terre a été appliquée, en tenant compte du coefficient  $\beta=0,5$  du modèle de (Katz and al. 2013) relative à la morphologie des ravins en triangle (photo1 et photo2).

$$Pt = \rho \times V \quad \text{Eq.2}$$

$$V = \beta \times S \times Ht \quad \text{Eq.3}$$

Pt: quantité des terres perdues (tonnes),  $\rho$  : densité apparente ( $1,6 \text{ g/cm}^3 = 1,6 \text{ tonne/m}^3$  pour les sols sablonneux), S : Surface d’un ravin ( $\text{m}^2$ ), Ht : hauteur moyenne d’un ravin (m).

Mais la quantité des terres perdues (Pt) évaluée est globale pour chaque ravin, c’est-à-dire qu’elle concerne la totalité des terres perdues pendant la période de calcul. Il s’agit de la période allant de 2000 à 2020 correspondant à l’âge moyen des ravins.



Il était impérieux d'évaluer la quantité des terres perdues (Ps) en tonnes par année et par hectare (tonnes/an/ha), car elle exprime la vitesse de ravinement de façon temporelle et spatiale dans le bassin versant de de Lubudi-Basoko. Les formules empiriques utilisées sont les suivantes :

$$Ps = Pt / Sbv/10 \quad \text{Eq.4}$$

Ps: quantité des terres perdues en tonnes//ha/an au niveau de notre bassin versant d'étude.

En effet, sur la période 2000-2010, la moyenne des terres perdues par érosion hydrique est estimée à 30 tonnes/ha/an alors que pour la période 2010-2020, cette moyenne a été accentuée pour atteindre une moyenne de 116 tonnes/ha/an. Toutefois, il faut mentionner qu'il y a des ravins qui sont plus actifs que d'autres essentiellement lorsque la dénivelée est assez importante et le couvert végétal est assez faible.

#### 4. Conclusion

Notre étude s'est appuyée sur l'utilisation d'un jeu d'images Landsat, à partir desquelles nous avons opéré une classification non supervisée pour caractériser les occupations du sol. Cette approche s'est avérée opérante pour produire une cartographie évolutive de notre bassin entre les années 2000 et 2020. Les données issues de la télédétection ont été intégrées dans une démarche méthodologique ayant conjugué une analyse de l'occupation du sol du bassin versant étudié.

Au terme de cette étude, il est à noter que l'exploitation des cartes topographiques et le traitement des images ont permis, dans un premier temps d'obtenir les cartes d'occupation et d'utilisation du sol des années 2000, 2010 et 2020 et ensuite d'analyser l'évolution du paysage entre ces années. L'étude de la dynamique de l'occupation du sol a montré que le paysage est en mutation dans ce bassin versant. L'augmentation de la population a fortement perturbé la configuration spatiale du milieu naturel.

Nos analyses sur la quantification des changements survenus au cours du temps confirment que le bassin versant a fait l'objet d'une densification et d'une croissance interne très rapide de la zone d'habitat dense, en particulier dans les espaces végétalisés et nus. Sur la base de l'étendue étudiée, il apparaît clairement que les espaces végétalisés au sein du bassin ont régressé de plus de 9,54 % au profit de l'habitat qui se densifie.

Cette croissance est caractérisée par la densification des quartiers existant à travers l'occupation des interstices jusque-là inoccupés. La densification spatiale interne de ces années est également alimentée par l'arrivée de populations externes à la ville, en raison notamment des conflits qui ont marqué le pays pendant ces dernières décennies.

Le bassin versant de Lubudi Basoko fait actuellement l'objet d'une dégradation accélérée de l'environnement par les ravins causant entre 2000 et 2010 environ 837 117 tonnes de sédiments, et entre 2010 et 2020 un volume de 3 294 034 tonnes de sédiments, soit une perte en terres d'environ de 30 tonnes/an/ha sur la première période et de 116 tonnes/an/ha sur la deuxième période. Ces ravins continuent de causer des dommages à l'habitat, aux routes et à d'autres installations humaines, dans les zones à forte occupation humaine, au détriment du milieu semi-rural.

Face aux défis environnementaux imposés par les pressions humaines, il est nécessaire de surveiller les ressources naturelles disponibles en vue de leur gestion rationnelle et durable. Dans ce contexte, le suivi de l'évolution du milieu à travers des analyses diachroniques basées sur l'utilisation des données multisources et multitudes permettent de saisir l'ensemble des changements environnementaux.

#### 5. Références

- Bonn F, Rochon G (1992)** Précis de télédétection – vol 1 : Principes et méthodes, Presses de l'Université du Québec, Canada, 485p.
- Crabbe M (1980)** Le Climat de Kinshasa, Bruxelles : Service de l'administration Belge de la coopération et développement, 1980.
- Defourny P (2004)** Géomatique appliquée à l'environnement, Notes de cours, Faculté des Sciences Agronomiques, UCL, Louvain-La-Neuve.
- Dubresson A, Raison JP (1998)** L'Afrique subsaharienne : une géographie du changement, Armand Colin, Paris, 248 p.
- Halleux JM (2005)** Structuration spatiale des marchés fonciers et production de l'urbanisation. Application à la Belgique et à ses nouveaux espaces résidentiels. Unpublished doctoral thesis, Université de Liège, Belgique. <http://hdl.handle.net/2268/63714>
- Katz HA, Daniels JM, Ryan S (2013)** Slope-area thresholds of road-induced gully erosion and consequent hillslope-channel interactions. *Earth Surf. Process. Landforms* 39, 285–295 (2014) John Wiley & Sons, Ltd. Published online 10 July 2013 in Wiley Online Library (wileyonlinelibrary.com) DOI: 10.1002/esp.3443

- Kayembe wa Kayembe M, De Maeyer M, Wolff E (2009)** Cartographie de la croissance urbaine de Kinshasa (R.D. Congo) entre 1995 et 2005 par télédétection satellitaire à haute résolution», *Belgeo* [Online], 3-4 | 2009, Online op 17 mars 2013, geraadpleegd op 15 février 2022. URL: <http://journals.openedition.org/belgeo/7349>; DOI: <https://doi.org/10.4000/belgeo.7349>
- Kayembe wa Kayembe M, Wolff E (2015)** Contribution de l'approche géographique à l'étude des facteurs humains de l'érosion ravinante intra-urbaine à Kinshasa (R.D. Congo). *GEO-ECO-TROP*, 39(1), 119-138.
- Messedi AG, et Delaître E (2007)** Les états de surface en zone aride à partir des indices radiométriques et de classifications multitemporelles d'images Landsat TM prises sur la région de Menzel Habib (Tunisie méridionale). *Science et changements planétaires/Sécheresse*. Volume 18, numéro 4, 2007 ; Doi: 10.1684/séc.2007.0094. Pages 305-313.
- Messedi GA, Delaitre E (2007)** Les états de surface en zone aride à partir d'indices radiométriques et de classifications multitemporelles d'images Landsat TM prises sur la région de Menzel Habib (Tunisie méridionale). *Revue Sécheresse*, 18, 305-313.
- Messina Ndzomo JP, Sambieni Kouagou R, Mbevo Fendoung Ps, Mate Mweru JP, Bogaert J, Halleux JM (2019)** La croissance de l'urbanisation morphologique à Kinshasa entre 1979 et 2015 : analyse densimétrique et de la fragmentation du bâti. *BSGLg [En ligne]*, 73 (2019/2) - Varia, 85-103 URL : <https://popups.uliege.be/0770-7576/index.php?id=5937>.
- Mfumu KA, Ndembo LJ, Lukanda MV, Nlandu WJ, Kombele DG, Bola BG (2012)** Analyse spatiale du risque d'érosion sur le bassin versant de la rivière KEMI et impacts potentiel sur la sureté des installations nucléaires de KINSHASA. *Revue Congolaise des Sciences Nucléaires*, Volume 26 N° 2 – Décembre 2012.
- Mufwaya KC, Ndembo LJ, Mfumu KA (2016)** Contribution à l'analyse géospatiale et gestion intégrée des bassins versants : cas du bassin versant de la rivière Lubudi à Kinshasa (R.D. Congo). *Journal en Ligne de l'ACASTI et du CEDESURK ACASTI and CEDESURK Online Journal* ; ISSN: 2410-4299, an *International Journal* (2016).
- PNUD/UNOPS (1998)** Monography Bas Congo. *Physical Description XXI*, 361p.
- UN-Habitat (2010)** Rapport annuel 2010. <https://unhabitat.org/sites/default/files/download-manager-files/Rapport%20Annuel%202010.pdf>
- Van Caillie X, Wenzi Sukama, Mergaux JF, Richemont N (1977)** Carte géomorphologique et géotechnique de Kinshasa. IV, géotechnique. Département des travaux publics et de l'aménagement du territoire.
- Wolff E, Delbart V (2002)**. Extension urbaine et densité de la population à Kinshasa : contribution de la télédétection satellitaire, *Belgeo* [En ligne], 1 | 2002, mis en ligne le 31 mars 2002, consulté le 15 février 2022. URL : <http://journals.openedition.org/belgeo/15451> ; DOI : <https://doi.org/10.4000/belgeo.15451>
- Wouters T (2010)** Contribution à l'analyse de l'érosion intra-urbaine à Kinshasa (R.D.C.). Paru dans *Belgeo*, 3 | 2010.