



## EVOLUTION RECENTE DU BASSIN VERSANT DE LA LUBUDI ET SON IMPACT A KINSHASA ENTRE 1979 ET 2021

### RECENT EVOLUTION OF THE CATCHMENT AREA OF LUBUDI AND ITS IMPACT WITH KINSHASA BETWEEN 1979 AND 2021

Blaise Kalunga Mukuwa<sup>1</sup>, Olivier Lokango Okintambolo<sup>1</sup>, Daddy Patrick Ilito Lofongo<sup>1</sup>, Juvénal Matungila Juve<sup>1</sup>, Christian Samba Lokombe<sup>1</sup>, Felly Mandaya Limbeye<sup>3</sup>, Fils Makanzu Imwangana<sup>1,2\*</sup>

<sup>1</sup> Centre de Recherches Géologiques et Minières (CRGM), B.P.: 898 Kinshasa/Gombe, R.D. Congo

<sup>2</sup> Université de Kinshasa, Faculté des Sciences et Technologies, Département des Géosciences, B.P.: 190 Kinshasa XI, R.D. Congo, <https://orcid.org/0000-0002-0793-7969>

<sup>3</sup> Centre de Recherche en Sciences Humaines (CRESH) B.P.: 3474 Kinshasa/Gombe, R.D. Congo

**Abstract:** Our Lubudi river watershed has a Gravelus compactness index of 2.023, it has an elongated shape, its drainage density is 0.9509 km/km<sup>2</sup>, and this watershed is in a state of maturity, with a perimeter of 37.81 km and an area of 27.37 km<sup>2</sup>. Based on field survey observations, we clearly confirm that the Lubudi watershed is a relatively safe region regarding certain natural risks, particularly flooding. This phenomenon is observed when there is heavy rainfall. The results of land use in the Lubudi watershed show that there is significant urban activity growth to the detriment of vegetation. This implies numerous environmental problems including erosion, flooding, and sedimentation. Based on the results of our study, we can deduce that the average rate of vegetation disappearance from 1979 to 2021 (a period of 42 years) would be equal to 0.245683 km<sup>2</sup>/year. This inventory helped to know the loss of vegetation cover and to make maps of land use at different periods. This has allowed to have a reliable instrument that can help the decision makers and experts during the works of sustainable development of territory, which must take into consideration natural risks (floods) to which the populations are subjected in order to integrate it in the planning of their activities.

**Keywords:** Catchment, Lubudi, flood risk, Silting

**Resume:** Notre bassin versant de la rivière Lubudi a un indice de compacité de Gravelus de 2,023, elle a une forme allongée, sa densité de drainage est de 0,9509 km/Km<sup>2</sup>, et ce bassin versant est dans un état de maturité, avec un périmètre de 37,81km et d'une superficie de 27,37 Km<sup>2</sup>. Sur base des enquêtes observés sur terrain, nous confirmons nettement que le bassin versant de la Lubudi est une région sûre du point de vue de certains risques naturels notamment les inondations. Ce phénomène s'observe lorsqu'il y a la présence d'une pluie diluvienne. Les résultats de l'occupation des sols dans le bassin versant de la Lubudi montrent qu'il y a une forte croissance d'activité urbaine en défaveur de la végétation. Ceci implique de nombreux problèmes environnementaux entre autres l'érosion, les inondations et la sédimentation. Sur base des résultats de notre étude, nous pouvons déduire la vitesse moyenne de la disparition de la végétation entre 1979 à 2021 (soit 42 ans) serait égale à 0,245683 Km<sup>2</sup>/an. Cet inventaire nous a permis de connaître la perte du couvert végétal et de réaliser aussi les cartes d'occupations des sols à différentes période (1979, 2001, 2017 et 2021). Nous demanderons aux décideurs politico-administratif et experts de notre pays de bien vouloir prendre en compte de résolutions de notre recherche en utilisant de nouvelle approche (SIG et Télédétection) lors des travaux d'aménagement durable de territoire en tenant compte de risques naturelles (inondation) auxquelles les populations sont soumises afin d'intégrer dans le planning de leurs activités.

**Mots – clés :** Bassin versant, Lubudi, Risque d'inondation, Ensablement

**Digital Object Identifier (DOI):** <https://doi.org/10.5281/zenodo.15776927>

## 1 Introduction

Au cours de deux dernières décennies, les catastrophes d'origine naturelle ont entraîné la mort de plus d'un million trois cent mille personnes et affecté deux cent vingt millions d'individus dans le monde. A l'échelle mondiale, le coût annuel des catastrophes représente plus de 380 milliards de dollars américains (**Tchekpo, 2016**). Parmi ces catastrophes, les inondations sont les plus récurrentes à l'échelle mondiale, elles constituent un phénomène naturel se matérialisant par la submersion temporaire de superficie non habituellement submergée.

Par ailleurs, les villes africaines sont confrontées aux divers problèmes liés à l'urbanisme (**Chaline & Dubois, 1994**). Parmi ces derniers, figure celui d'inondation de plus en plus grandissante et menaçant l'environnement physique et humain. La ville province de Kinshasa n'échappe pas à ce phénomène. Actuellement, sa configuration est investie d'une culture urbaine atypique, si on la compare à d'autres grandes villes du monde. Cette culture unique démontre l'absence d'un projet urbanistique et d'une vision moderne pour la capitale, Kinshasa. Depuis les années 1960 jusqu'à ces jours, la ville province de Kinshasa connaît une croissance démographique liée à plusieurs facteurs. A ce sujet, les travaux de **Mufwaya et al. (2016)** estiment que Kinshasa exerce une forte attraction sur les populations de l'intérieur du pays en quête de meilleures conditions de vie. 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 Centre.

Cependant, selon ces auteurs, la ville de Kinshasa s'est développée de manière très rapide durant ces dernières années, au point de devenir l'une des principales mégapoles d'Afrique après Lagos (Nigeria) et le Caire (Egypte). A cet effet, les outils d'information spatiale peuvent aider à la gestion des problèmes qui se posent dans une telle ville. Des nombreux travaux menés aux cours de la dernière décennie dans le domaine de la Télédétection et des Systèmes d'information géographique (SIG) montrent que ces outils permettent d'obtenir des images d'un territoire en peu de temps et d'en suivre l'évolution dans le temps (**Anon., 2002**). Il sied de savoir que l'émergence ces dernières années de nouvelles technologies de traitement de l'information géographique constitue un tournant pour le Géographe et l'aménagement urbain (**Mouafo, 2000**). La connaissance géographique et physique détaillée de la ville est un atout pour la gestion des problèmes en milieu urbain. L'accès à cette connaissance est de plus en plus facilité grâce à la Géomatique, à travers les Systèmes d'Information Géographique (SIG), la Télédétection, la Cartographie, la Géodésie, etc. Dans un SIG, la combinaison des couches, telles que la carte d'occupation du sol, la carte d'utilisation du sol, la carte de la zone urbaine, le modèle numérique de terrain (MNT), la carte des zones inondables, les données hydrologiques et socioéconomiques, est une indication sur le degré de vulnérabilité d'une zone urbaine (**Beguec, 2006**). Un SIG permet de garder une mémoire du territoire destinée à la compréhension des phénomènes liés au territoire et permet l'établissement des cartes thématiques illustrant les différents enjeux territoriaux autour d'un projet (**Abram, 2006**).

Nous sommes interpellés par cette situation de crise urbaine qui caractérise nos villes congolaises et, notre attention a été focalisée sur la recrudescence des dégâts causés par les inondations et voir aussi comment les différentes communes de la ville province de Kinshasa sont touchées par celle-ci et cela nous permet d'étudier certains problèmes de gestion de l'espace urbain. Le choix de cette thématique est motivé par des préoccupations majeures de la population face aux problèmes liés à l'environnement dont le manque d'aménagement urbain adéquat qui cause des dégâts dans les sites à risque occupés très souvent sans parade des contraintes physiques par la population. Il est question d'établir la situation actuelle de l'occupation de sols à l'échelle du bassin versant afin de contribuer à leur gestion durable, sécuriser les habitats, et soutenir le développement des programmes de planification et d'assainissement de la ville province de Kinshasa en général et en particulier dans le bassin versant de la Lubudi.

La télédétection et le SIG auxquels nous avons fait recours permettent de résoudre les questions posées par l'intervention humaine sur le milieu en aidant à comprendre comment celle-ci influence le paysage par des modifications de l'utilisation du sol, de la couverture végétale et de l'extension urbaine. Ces nouvelles

techniques ont permis de donner des informations numériques caractérisant le relief et la morphométrie du bassin. Elles sont appliquées dans les domaines très variés notamment pour la cartographie des risques naturels dont l'inondation. Les inondations représentent, par la gravité de leurs conséquences sur le plan humain et matériel, le risque naturel le plus important dans le monde. Pour faire face à ce risque, il est nécessaire de mettre en œuvre une prédétermination de la réponse du bassin versant à des éléments pluvieux, et ce, afin de caractériser son écoulement. Ainsi, à la suite des travaux de **Pangu (2010)**, nous voulons proposer une stratégie de gestion des zones inondables du bassin de la Lubudi.

Dans cette étude, la question que l'on se pose est celle de savoir comment peut-on gérer le risque d'inondations dans le bassin versant de la Lubudi ? Autrement dit, comment esquisser la résolution de problèmes rencontrés au sein du bassin de la Lubudi en vue d'élaborer un plan de gestion du risque inondation ? Il apparaît qu'au niveau du bassin versant de la Lubudi, les zones aménagées (Bandalungwa, Kintambo, Lingwala, Selembao, Bumbu, Ngaliema, Ngiri-Ngiri et Kasa-Vubu) n'ont pas pu être restructurées depuis l'accession du pays à l'indépendance, intervenue le 30 Juin 1960. Aussi, malgré l'inondation survenue en 1962 (**Mufwaya et al., 2016**), il s'est par la suite développé des zones d'auto-construction caractérisée par le non-respect des normes d'urbanisation existantes. La présente étude a comme objectif principal, le suivi de la dynamique de l'occupation du sol et de la gestion durable de l'espace urbain du bassin versant de la Lubudi. Pour y parvenir, il faut déterminer les paramètres physiques et hydro géomorphologiques du bassin versant de la Lubudi, déterminer les pertes du couvert végétal au profit de l'urbanisation non contrôlée en élaborant les cartes d'occupation des sols à différentes périodes, identifier les endroits les plus souvent touchés par les inondations, évaluer les dégâts causés par celle-ci dans l'environnement et élaborer un plan de gestion de risque de catastrophe due à l'inondation.

## 2 MATERIELS ET METHODE

### 2.1 Présentation de la zone d'étude

Le bassin versant de la rivière Lubudi est situé à l'ouest de la ville-province de Kinshasa, entre les longitudes Est 15°15'11,4'' et 15°23'54,6'' et les latitudes Sud 4°19'20,9'' et 4°23'54,6'' (Figure. 1). La rivière Lubudi draine 8 communes, notamment : Selembao, Bumbu, Ngaliema, Kintambo, Lingwala, Bandalungwa, Kasa-Vubu et Ngiri-Ngiri. Ce bassin est drainé par plusieurs rivières dont la principale est la « Lubudi ». Cette dernière prend sa source à 345 m d'altitude dans la commune de Selembao, plus précisément au quartier Kitokimosi et se jette dans le fleuve Congo à 272 m d'altitude. Selon la classification de **Peel et al. (2007)**, le bassin versant de la Lubudi jouit d'un climat tropical humide. Dans ce type climatique, la température moyenne du mois le plus froid est supérieure à 18°C et la hauteur annuelle des pluies, exprimées en cm est supérieure à deux fois cette température moyenne augmentée de 14°C. Il s'agit de la saison sèche établie en fonction de la pluviométrie et qui débute en moyenne le 28 mai et se termine en moyenne le 21 septembre soit 117 jours ou près de 4 mois (**Crabbe, 1975**). La saison des pluies débute vers fin septembre, elle est entrecoupée par une petite saison sèche fluctuant entre fin décembre et fin février avec quelques variabilités saisonnières dues au changement climatique dans la région. Cette petite saison sèche arrive quelques fois tardivement et dure moins longtemps que d'habitude.

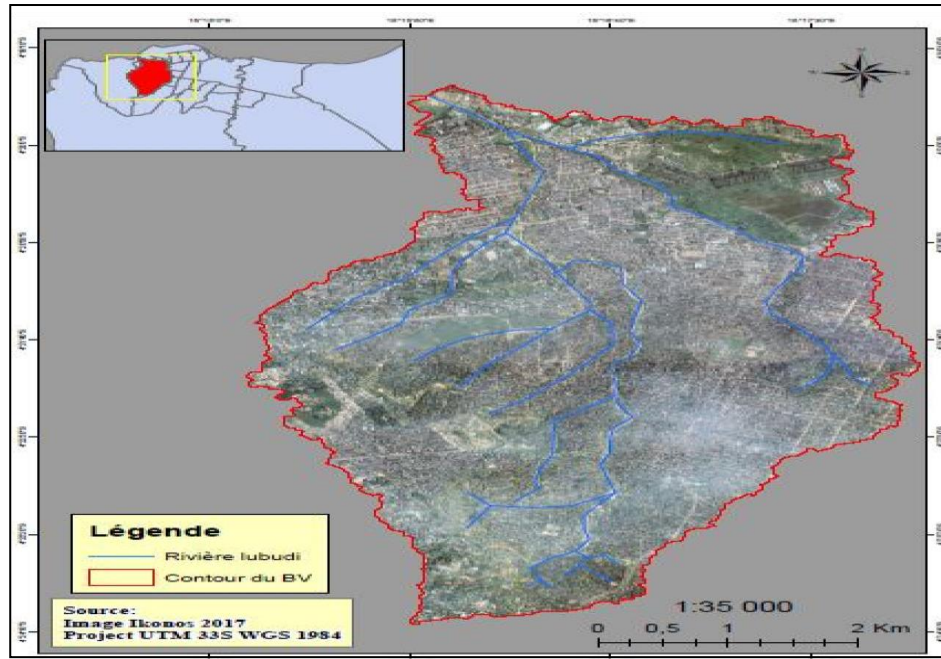


Figure 1: Localisation du bassin versant de Lubudi

La plus grande partie de la ville de Kinshasa est recouverte d'un manteau plus ou moins épais de matériaux sableux et sablo-argileux de teinte jaune, brun-clair et quelque fois rougeâtre. Dans les différents plateaux, le sable recouvre des roches solidifiées ou des grès polymorphes, tandis que dans la zone des collines et celle de plaine, le recouvrement sableux se retrouve sur du grès plus ou moins induré, ou sur un banc argileux (**Lelo, 2008**). D'une manière générale, le sol de la ville province de Kinshasa est plus ou moins sableux avec quelques diversités. Les sols qu'on retrouve dans les vallées et les dépressions marécageuses sont plus riches en argiles provenant de l'altération de grès feldspathique en milieu hydro morphe et de l'alluvionnement par les cours d'eau et par le ruissellement diffus.

## 2.2 Matériels

Pour la réalisation de cette étude, les matériels ci-après ont été utilisés : un capteur GPS pour prélever les coordonnées géographiques de différents sites, deux images DEM 5 m (2015) et SRTM 30 m (2017), des images Landsat TM, Landsat ETM+, Landsat ALI-8 de 1979, 2001, 2017 et 2021 pour réaliser les cartes d'occupation du sol et connaître l'évolution du milieu dans le temps et dans l'espace, un appareil photographique numérique pour les prises de vues sur le terrain, le logiciel ArcGis 10.3 avec l'extension Arc Hydro Tools 10.3, les modules HEC-Geohms et HEC-Georas.

## 2.3 Approche méthodologique

### 2.3.1 Traitement des données pluviométriques

Le logiciel Microsoft Excel a permis de traiter les données pluviométriques automatiquement depuis 1979 jusqu'à 2017. Afin de mener les analyses statistiques, ces analyses sont basées sur le calcul du total annuel, la moyenne annuelle et le moyen total de la pluviométrie. Pour y parvenir voilà la formule statistique qu'on avait utilisée pour calculer la moyenne annuelle de précipitation.

$$x = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \times 1 \dots\dots\dots(1)$$

Où x : la somme de chaque mois pluviométrique ;

n : nombre de mois de l'année c'est-à-dire de janvier à décembre.

Pour le calcul du total annuel, nous avons fait la sommation des valeurs du mois de janvier jusqu'au mois de décembre de 1979 à 2017.

### 2.3.2 Approche de télédétection et SIG

Pour le cas de notre étude, les images satellitaires utilisées étaient pour certaines dans un dossier sous format zip, alors la première de chose était de les dézipper en utilisant le logiciel WINRAR de compression et la décompression de fichier.

Voici les différentes étapes utilisées pour le traitement des images satellitaires :

- Remplissage de la dépression (Fillsinks) c'est-à-dire si les pixels avec l'élévation supérieure entourent un pixel d'élévation inférieure, l'eau est piégée dans cette cellule et ne peut pas circuler, alors il faut remplir cette cellule ;
- Direction de l'écoulement (flow direction) : cette commande permet de calculer pour chaque cellule, la quantité d'eau amassée dans la cellule du fait des écoulements en amont. L'écoulement du flux s'opère dans la direction de plus forte pente. Les valeurs dans les cellules de la grille de direction de l'écoulement indiquent la direction de la descente la plus raide à partir de cette cellule. L'accumulation de l'écoulement (flow accumulation) c'est-à-dire la fonction qui permet de calculer la grille d'accumulation de flux qui contient le nombre de cellules remplies en amont d'une cellule pour chaque cellule de la grille d'entrée ;
- Détermination du réseau fluvial (Stream definition) : la commande permet de produire une couche correspondant au réseau hydrographique, ici on calcule un courant de grilles qui contient une valeur de 1 pour toutes les cellules de la grille d'accumulation. Il s'opère des flux d'entrée qui ont une valeur supérieure au seuil donnée, toutes les autres cellules dans la grille ne contiennent pas des données. Cette valeur représente 1% de l'accumulation de débit maximal ;
- Segmentation du réseau (stream segmentation) : cette technique permet de créer une grille de segment de cours d'eau qui ont une identification unique, un segment de tête ou de jonction, dans ce segment particulier. Toutes les cellules ont le même code du réseau qui est spécifique à ce segment ;
- Délimitation du bassin versant (catchment grid delineation), ici chaque cellule porte une valeur qui indique à quel bassin versant elle appartient. Cette valeur correspond à la valeur portée par le segment de flux qui draine ce domaine ;
- Détermination des polygones du bassin versant (catchment polygon preprocessing) : la fonction change le raster du bassin, qui est un ensemble de polygones représentant le sous- bassin en amont de chaque segment de tête ou de jonction du réseau ;
- Définition des lignes de drainage (drainage line processing) : on écrit le réseau hydrographique en convertissant les rasters en élément de drainage en manière de ligne, chaque ligne porte l'identifiant du bassin versant dans lequel il réside ;
- Délimitation du bassin versant voisin (adjoint catchment processing) : on produit les bassins versants de la tête du cours d'eau, un polygone représentant toute la région en amont de vidage à son point d'entrée est construit et stocké dans une classe entité qui possède une étiquette.

Le traitement d'images a servi tout d'abord pour faire une étude comparative de différentes images satellitaires utilisées en vue de suivre l'évolution du couvert végétal du bassin versant de la Lubudi, de déterminer les paramètres hydromorphométriques du bassin versant, d'élaborer les cartes d'occupation du sol ainsi que de suivre l'évolution du milieu dans le temps et dans l'espace, c'est à-dire les zones susceptibles à l'inondation et les périodes les plus récurrentes. Pour l'évolution du couvert végétal dans le bassin versant de la Lubudi, on a adopté une méthodologie qui s'appuie sur la classification supervisée qui est une méthode qui utilise des zones



dites « d'entraînement ». Ce sont des zones dont on connaît la nature réelle des objets et qui permettent de générer des signatures spectrales caractéristiques de chacune des classes d'occupation du sol et d'affecter à chaque classe des règles de sélection des pixels. Cette méthodologie est la plus utilisée dans la réalisation des études spatiotemporelles. La figure II présente les étapes de la méthodologie.

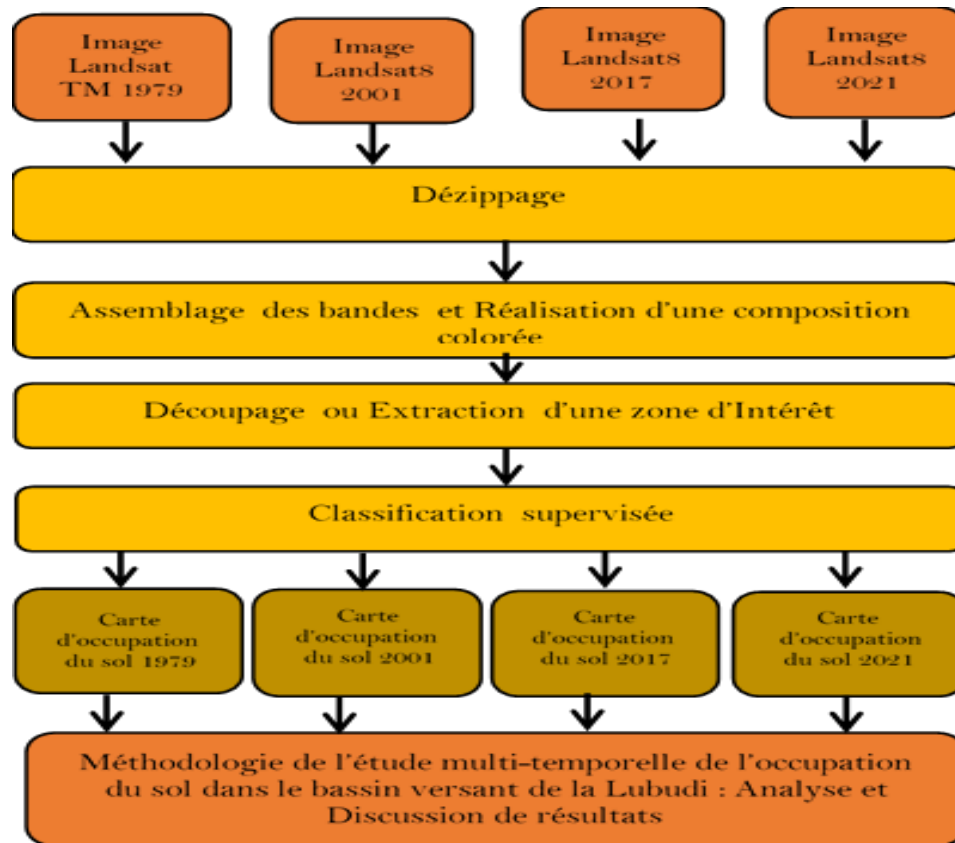


Figure 2 : Schéma méthodologique de l'étude multi-temporelle de l'occupation du sol dans le bassin versant de la Lubudi

### 2.3.3 Evaluation statistique de la classification

Pour évaluer la fiabilité de la classification, on a recouru à la méthode basée sur les résultats statistiques de la classification. Cette dernière est effectuée sous le logiciel Arc Gis 10.5, le principe consiste à prélever aléatoirement des points puis les comparer avec les points de référence. Le résultat est donné sous forme d'une matrice, dite matrice de confusion qui contient deux indices, qui seront par la suite utilisés pour la validation finale :

- La précision globale qui est égale au nombre total de pixels correctement classifiés (diagonale de la matrice de confusion) divisé par le nombre total de pixels de vérification.

$$\text{Exactitude} = \frac{\text{Nbre total des pixels correctement classifiés}}{\text{Nbre total des pixel de référence}} \times 100 \dots\dots\dots (2)$$

- L'indice de Kappa, qui indique comment les données à classer s'accordent aux données de référence, constitue une mesure fiable dans l'évaluation de la classification thématique car il examine tous les éléments dans la matrice de confusion et prend en compte à la fois des erreurs d'omission et de commissions.

$$\text{Kappa coefficient} = \frac{(TS^2 \times TCS) = \sum(\text{colonne total} \times \text{Raw total})}{TS^2 = \sum(\text{colonne total} - \text{Row total})} \times 100 \dots\dots\dots (3)$$

### 2.3.4 Vérification de la fiabilité de la classification

Nous avons vérifié l'exactitude et la fiabilité de nos résultats de classification à partir d'une matrice appelée matrice de confusion. Cette dernière est basée sur une comparaison entre les zones d'entraînement classées par l'utilisateur grâce à sa connaissance du terrain et entre cette même zone reclassée par le logiciel. Les résultats de ces comparaisons sont exprimés en pourcentage. Une classification est fiable et exploitable si, et seulement si les pourcentages sont supérieurs à 80%. Dans ce cas d'espèce, le pourcentage de la précision globale et le coefficient de Kappa dépassent largement 80% (Tableau 1), ce qui permet de dire que notre classification est fiable et exploitable.

**Tableau 1 : Résultats de l'évaluation de la classification**

| Années            | 1979 | 2001 | 2017 | 2021 |
|-------------------|------|------|------|------|
| Classe            |      |      |      |      |
| Végétation        | 100% | 100% | 100% | 100% |
| Zone urbaine      | 100% | 100% | 100% | 100% |
| Précision globale | 100% | 100% | 100% | 100% |
| Indice de kappa   | 100% | 100% | 100% | 100% |

### 2.3.5 Calculs des paramètres physiques, morpho métriques et hydrométriques du bassin versant de la Lubudi

Le bassin versant étant l'aire de réception des précipitations et d'alimentation des cours d'eau, les débits vont être en partie reliés à sa surface. La surface du bassin versant peut-être mesurée par superposition d'une grille dessinée sur un papier transparent, par la méthode de triangulation, soit par l'utilisation d'un planimètre ou, mieux, par de technique de digitalisation. Dans le cadre de notre étude nous avons utilisé la technique des SIG.

Le périmètre utilisé est la longueur du contour du bassin versant en épousant aussi bien que possible la sinuosité des crêtes. Il se calcule en assimilant le bassin à une forme géométrique régulière (**Jabri, 2015**).

L'indice admis par les hydrologues pour caractériser la forme d'un bassin versant d'une part et d'autre de renseigner sur la rapidité de la concentration des écoulements est l'indice de Gravelus. C'est le rapport du périmètre du bassin à celui d'un cercle de surface de même périmètre (**Jabri, 2015**).

$$KG = \frac{P}{2\sqrt{\pi \times A}} \sim 0,28 \cdot \frac{P}{\sqrt{A}} \dots\dots\dots (4)$$

Avec : KG : Indice de compacité de Gravelus

A : Surface du bassin versant [Km<sup>2</sup>]

P : Périmètre du bassin [Km]

Cet indice peut être déterminé à partir d'une carte topographique en mesurant le périmètre du bassin versant (P) et sa surface (A). Si sa valeur est proche de 1, le bassin versant est de forme circulaire et donc compact ; mais supérieure à 1 (KG>1), lorsque le bassin est de forme allongée (**Bentekhici, 2006**).

### 2.3.6 Observations directes et enquêtes sur le terrain

La méthode d'interview basée sur un questionnaire conçu à l'avance, a permis de collecter les données essentielles sur les inondations et les dégâts environnementaux occasionnés par ces dernières. Ce questionnaire comprend quatre thèmes principaux ; à savoir :

- La vie de la population dans le milieu à risque ;

- Les comportements de la population face aux inondations et à la gestion des déchets ménagers ;
- Les dégâts causés par les inondations pendant la période de pluies ;
- Les techniques utilisées par la population pour lutter contre ces inondations.

### 3 RESULTATS & DISCUSSION

#### 3.1 Effet des précipitations sur l'occupation du sol

L'étude des précipitations au niveau du bassin versant de la Lubudi révèle une grande variation de la pluie entre les années 1985, 2011 et 2013 (Figure. 3). Parmi les trois années citées, l'année 2011 est l'une ayant une forte pluviométrie avec une moyenne mensuelle allant jusqu'à 178,2 mm, suivie de l'année 2013 ayant aussi comme moyenne mensuelle de 173,0 mm et en enfin 1985 avec une moyenne mensuelle de 161,6 mm. Les mois pluviométriques sont : octobre, novembre, décembre, mars et avril. Sur les 38 ans d'observation, le mois de novembre vient en tête avec comme moyenne mensuelle de 272,7 mm, suivi du mois d'avril avec 233,4 mm, puis le mois de décembre (208,1 mm), le mois de Mars (189,1 mm), enfin le mois d'octobre (158,8 mm). Pour ce qui est de la dangerosité des pluies, les mois de Mars et Décembre sont les plus dangereux avec des pluies H24H supérieures à 99 mm.

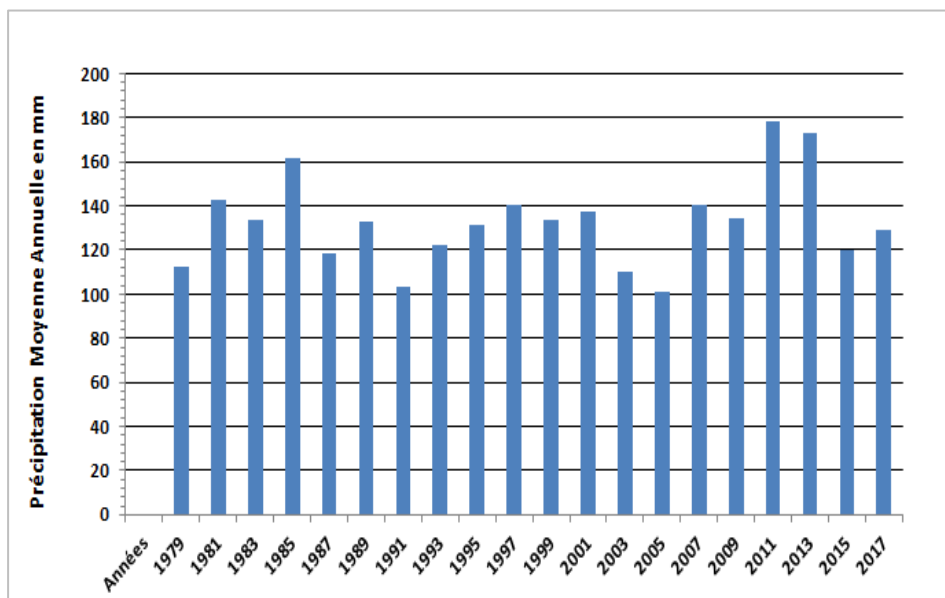


Figure 3 : Hauteur moyenne mensuelle des pluies dans la ville de Kinshasa de 1979 à 2017

#### 3.2 Relief et hydrographie

L'altitude la plus élevée est de 547 m et la plus basse est de 267 m, au niveau de l'exutoire. De la carte topographique, il se dégage que le bassin versant de la Lubudi est constitué de deux parties bien distinctes comme délimitées dans les travaux de **Caillie (1983)**, la plaine comprise entre 267 et 317 m d'altitude, et la zone des collines qui est située entre 350 et 675 m d'altitude. La zone de plaine est une zone susceptible aux inondations et aux dépôts des matériaux arrachés de versants. Elle comprend les anciennes cités, les nouvelles cités, les cités planifiées et les zones résidentielles. Cette zone aménagée à l'époque coloniale, jouissait de toutes les infrastructures indispensables (**Mufwya et al., 2016**). En effet, la zone des collines est une zone d'érosion et comprend aussi les zones résidentielles et d'habitat informel. La carte des pentes traduit le relief du bassin versant (Figure. 4).



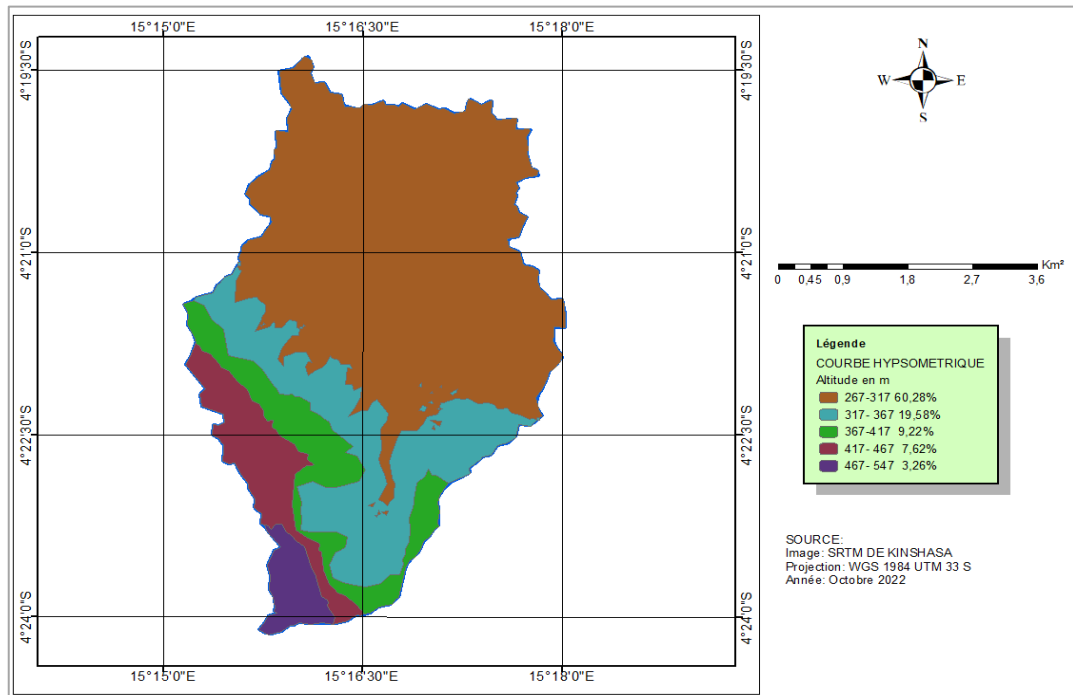


Figure 4. Carte hypsométrique du bassin versant de la Lubudi

Environ 4% de la superficie du bassin sont situés dans les zones à fortes pentes (19,29 – 35,2%) et présente un risque élevé à l'érosion. Les zones des pentes supérieures à 35,2% couvrent environ 1% de la superficie totale et les zones de faibles pentes correspondent à la plaine couvrant environ 85% de la superficie du bassin. L'aspect physique du bassin présente un risque à l'érosion des différentes classes des pentes ainsi que les superficies couvertes par chacune d'elle ; cet aspect est une modification de celui présenté dans les travaux de **Fournier (1967)**.

### 3.3 Calculs de quelques paramètres morpho métriques et hydrométriques du bassin versant de la Lubudi

- Superficie du bassin A : La superficie A de ce bassin est de 27,37832 Km<sup>2</sup> soit environ 27,4 km<sup>2</sup>.
- Périmètre du bassin P : Le périmètre P du bassin versant est de 37,81Km soit 37,8 Km.
- Indice de compacité KG : L'indice pour le cadre du bassin versant de la Lubudi vaut de 2,023 ; c'est-à-dire le bassin a une forme allongée.

### 3.4 Direction des écoulements

La direction des écoulements des eaux de surface sur le bassin versant de la Lubudi est prédominée par la direction Nord et Nord-Est vers le fleuve Congo (Figure. 5). Les sens des écoulements sont déterminés par le réseau de drainage. Le bassin de la Lubudi comprend 17 cours d'eau, dont le principal est la rivière Lubudi. Selon la classification de Strehler, la rivière Lubudi est d'ordre trois avec la densité de drainage de 0,89 Km/Km<sup>2</sup>. Cet indice indique un temps de concentration des eaux plus long, qui est dû à la forme allongée du bassin versant et le rend ainsi susceptible à l'érosion et à l'inondation.

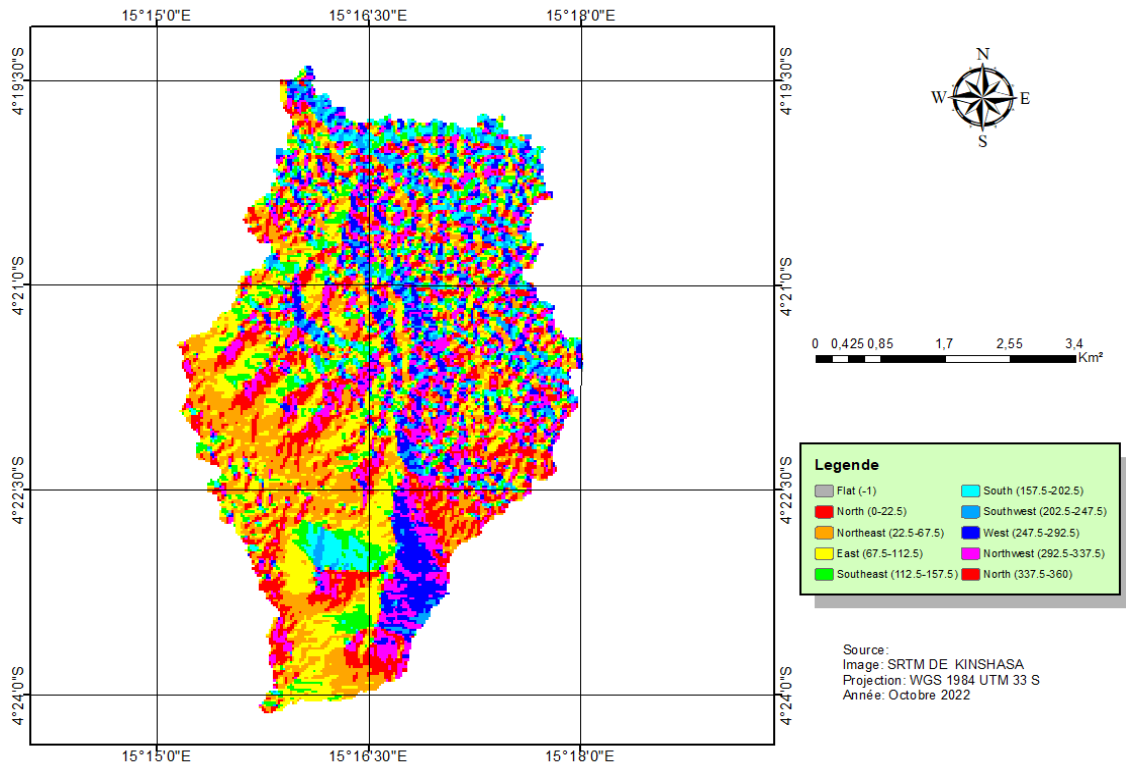


Figure 5 : Sens de l'écoulement du bassin versant de la Lubudi

### 3.5 Résultats d'observations de terrain et enquêtes

Nous avons constaté pendant la période des pluies, la population des communes vivant au bord de la rivière Lubudi (Makelele) est souvent envahie par les inondations et celle-ci détruit des maisons, des routes, des périmètres maraichers, etc.

#### 3.5.1 La vie de la population dans le milieu à risque

La population de Kintambo, Ngaliema, Bandalungwa, Bumbu et Selembao qui vit le long de la rivière Lubudi connaît de sérieux problèmes d'inondations qui menacent leur vie quotidienne. Quand il pleut, la population ne voit pas où trouver refuge, car il y a des débordements des eaux de pluie qui occupent le lit majeur de la rivière. Nous avons constaté qu'une partie de la population de Kasa-Vubu et Ngiri-Ngiri est aussi envahie par les inondations pendant la période des pluies. Mais cette population ne vit pas au bord de la rivière Lubudi. Cette population est souvent inondée faute d'un système de canalisations approprié. Ces canalisations sont sous dimensionnées et non curées régulièrement. L'eau de pluie, provenant des quartiers de la commune de Selembao, se déverse dans les caniveaux qui ne sont pas entretenus ; par conséquent, il y a la destruction des maisons, des routes, des périmètres maraichers inondés et ensablés, etc. Ce résultat s'accorde avec ceux de **Ebengo, B. et al., (2023)** ; **Simbu, A. et al., (2023)** et **Gelambe, S. et al. (2024)**.

### 3.5.2 Comportement de la population face aux inondations et la gestion de déchets ménagers

La population est toujours mécontente de la façon dont les autorités municipales et/ou urbaines gèrent les problèmes de catastrophes d'origine naturelle. Car ces dernières occasionnent souvent des divers dégâts. Elle pense que leurs problèmes ne sont pas pris en considération. Quand il pleut ces populations riveraines ont souvent tendance à jeter de déchets (immondices) dans la rivière Lubudi soit tout autour du lit de la rivière. Elle dit que leur comportement n'influence à rien sur la gestion de déchets ménagers, alors il faut que l'Etat congolais puisse prendre de précaution adéquate pendant la saison de pluie pour préserver la vie de la population. Ce résultat est similaire avec l'étude menée par **Ebengo, B. et al., (2023)** ; **Simbu, A. et al., (2023)** et **Gelambe, S. et al. (2024)**. Il faut que les autorités urbaines puissent avoir la conscience de bien gérer les risques d'inondation et chercher des endroits propices pour mettre de dépotoirs publics en vue de préserver l'environnement. Les personnes victimes interrogées manifestent leur indignation et mécontentement face aux autorités et nous demandent d'être leurs rapporteurs. Elles sont conscientes du fait qu'elles ont érigé leurs maisons dans des zones à risques mais incombent toujours la faute à l'Etat congolais qui devrait avoir des mesures d'encadrement par rapport à l'aménagement de la ville.

### 3.5.3 Techniques utilisées pour lutter contre les inondations

La population de différentes communes citées ci-haut n'a pas vraiment de techniques appropriées pour lutter contre les inondations. Elles appliquent diverses méthodes mais qui s'avèrent non efficaces. La population recourt souvent aux digues des sacs remplis de sables et ces sacs sont déposés autour des parcelles pour empêcher la pénétration des eaux. D'autres personnes jettent des ordures ménagères le long des berges de la rivière, dans des caniveaux pour étouffer la circulation des eaux. Pour certains habitants, ils plantent au bord de la rivière des arbres, des bambous de chine pour lutter contre l'érosion des berges. Ce résultat se marie avec l'étude menée par **Ebengo, B. et al., (2023)** ; **Simbu, A. et al., (2023)** et **Gelambe, S. et al. (2024)**. Toutes ces méthodes donnent que des solutions temporaires et ne font qu'aggraver la situation d'inondation car elles ne sont pas intégrées dans un système global de gestion de ce bassin versant. Quand il pleut, l'eau remonte toujours vers les habitations alors le ruissellement ne suit pas le lit de la rivière par conséquent le phénomène demeure là et prend de l'ampleur chaque année. D'où l'intérêt d'étudier le bassin versant comme un système global pour mieux lutter contre ce phénomène d'inondation.

### 3.6 Evolution de l'occupation du sol de 1979 à 2021

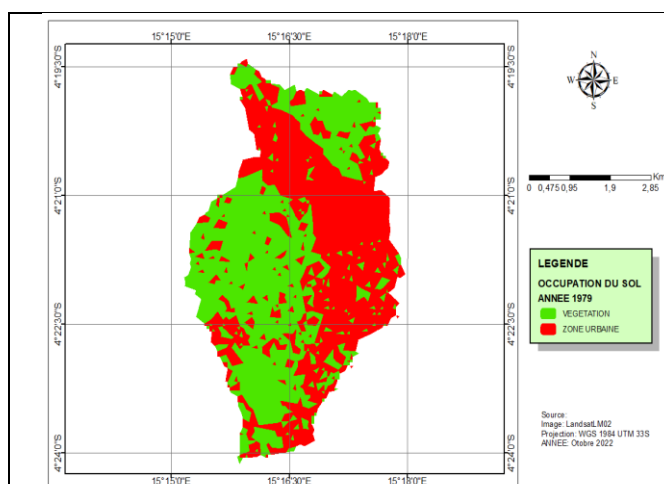


Figure 6: Carte d'occupation du sol du bassin versant de Lubudi en 1979

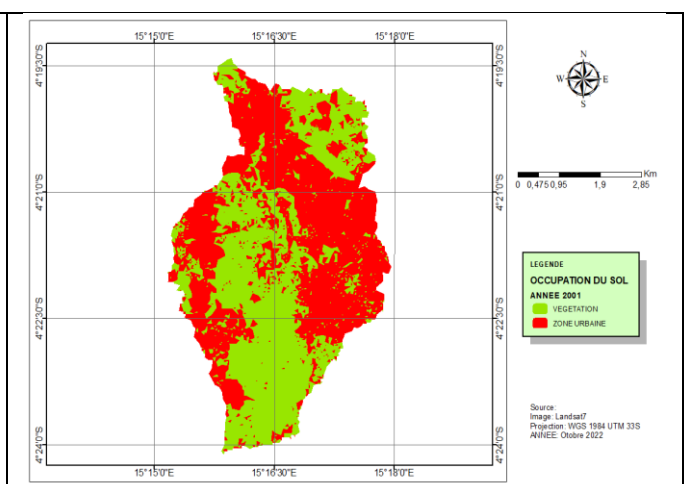
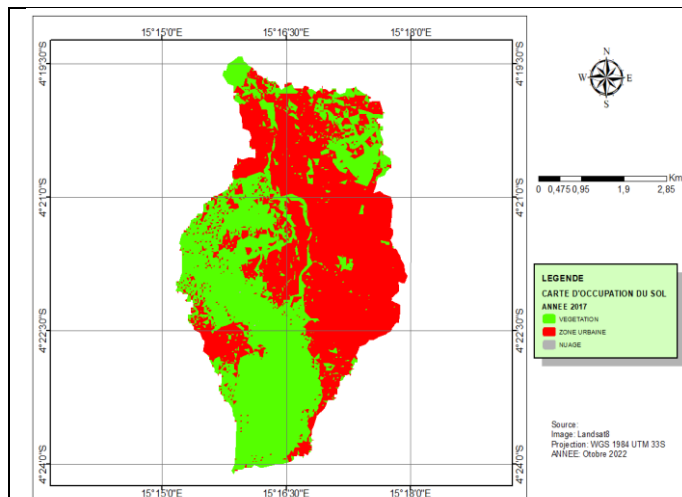
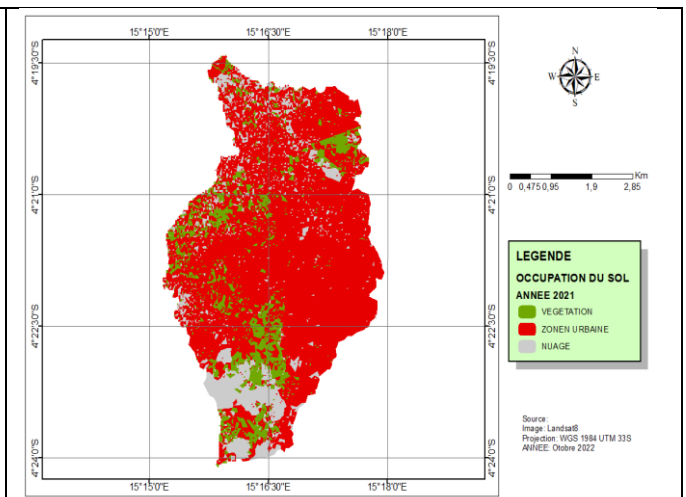


Figure 7 : Carte d'occupation du sol du bassin versant de la Lubudi en 2001



**Figure 8 : Carte d'occupation de sol du bassin versant de la Lubudi en 2017**

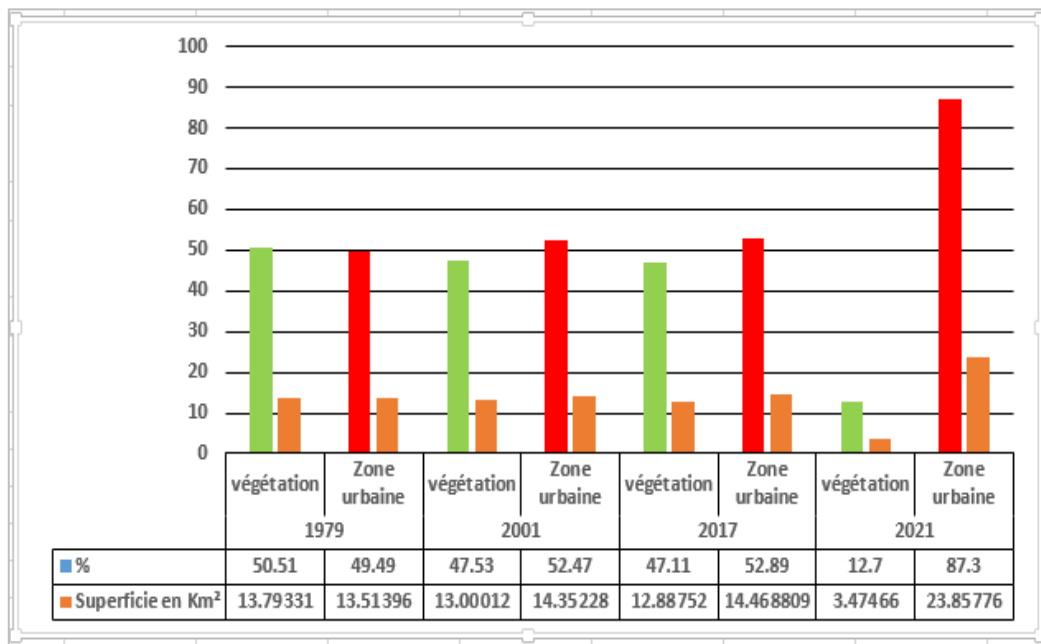


**Figure 9 : Carte d'occupation de sol du bassin versant de la Lubudi en 2021**

Si nous considérons le pourcentage de la végétation obtenu en 1979 comme étant notre point de départ ou le total représentant 100 %, nous pourrions procéder de la manière suivante pour calculer le taux de dégradation : Figure. 10 représente la répartition probable des affectations de l'occupation de sols durant les quatre différentes années.

**Tableau 2 : Répartition probable des affectations de l'occupation de sols en 1979, 2001, 2017 et 2021**

| Années      | Zone d'étude | %    | Superficie en (Km <sup>2</sup> ) |
|-------------|--------------|------|----------------------------------|
| <b>1979</b> | Végétation   | 50,5 | 13,8                             |
|             | Zone Urbaine | 49,5 | 13,5                             |
| <b>2001</b> | Végétation   | 47,5 | 13,0                             |
|             | Zone Urbaine | 52,5 | 14,3                             |
| <b>2017</b> | Végétation   | 47,1 | 12,9                             |
|             | Zone Urbaine | 52,9 | 14,5                             |
| <b>2021</b> | Végétation   | 12,7 | 3,5                              |
|             | Zone Urbaine | 87,3 | 23,9                             |



**Figure 10 : Dégradation du couvert végétal au profit des activités anthropiques**

Il ressort de l'examen du tableau 2 et la figure 6, ce qui suit : La végétation et la zone urbaine sur la carte d'occupation du sol en 1979 (Figure. 6) ont donné respectivement  $\approx 13,8 \text{ km}^2$  (soit 50,5%) et  $\approx 13,5 \text{ km}^2$  (soit 49,5%), qui illustrent le début de l'activité urbaine dans le bassin versant de la Lubudi au détriment de la végétation. La zone urbaine en 2001 (Figure. 7, Tableau 2) a des valeurs qui montrent la forte pression anthropique exercée sur la végétation du bassin versant de la Lubudi. Cela corrobore largement avec les recherches menées par **Dubresson et al. (1998)** et **Delbart et al. (2002)** qui parlent d'une transformation spatiale rapide de l'espace urbain et un déploiement des villes sur les espaces périurbains, soutenue par la forte croissance naturelle de la population urbaine et de l'exode rural dans la ville-province de Kinshasa vers les années 2000. En plus de cela, ces résultats sont en parfait accord avec l'étude menée par **Mufwaya et al. (2016)**. Il s'est avéré qu'entre 1974 et 2014, le taux d'occupation de l'habitat a évolué de 62,3 % à 88 % par rapport à la superficie totale du bassin versant Figure. 8, Tableau 2. Par ailleurs, ce taux a évolué de 37,7 % à 11,6 % pour l'espace vert. De ce qui précède, il ressort que la population a occupé 26,1 % de la superficie occupée jadis par l'espace vert, principalement la végétation qui couvrait les zones à risque d'érosion de manière directe et d'inondation de façon indirecte.

Les résultats de 2021 Figure. 9, Tableau 2 matérialisent la forte pression anthropique continue de l'urbanisation dans le bassin versant de la Lubudi. A Lukunga, les travaux de **Ntombi & Tumwaka (2004)** parlent d'une situation de rhexistasie sectorielle et d'un élan régressif du tapis végétal. Cela se conforte nettement avec l'affirmation de la première table-ronde tenue en octobre 2012 à Kinshasa sur l'urbanisme et l'habitat en RDC qui stipule que les villes congolaises sont confrontées à un déficit en logement. Ce déficit constaté, a pour conséquence, la prolifération des bidonvilles caractérisées par l'auto-construction même sur les sites inappropriés suivi d'une dégradation d'espace du milieu rural et périurbain fragilisant ainsi le milieu de vie.

Le calcul du taux de dégradation de 1979 à 2001 montre que la superficie occupée par le couvert végétal en 1979 dans le bassin de la Lubudi est d'environ  $13,8 \text{ km}^2$  tandis que celle occupée en 2001 est de presque  $13 \text{ km}^2$ . Cela signifie que sur 22 ans qui séparent les deux années, la perte du couvert végétal a été d'environ  $0,80 \text{ km}^2$ . Par conséquent, durant la période allant de 2001 à 2021 soit 20 ans, le bassin versant a connu des pertes énormes de couvert végétal de plus de  $9,5 \text{ Km}^2$ . Le reste du couvert végétal dans le bassin versant en 2021 est d'environ  $3,5 \text{ Km}^2$  (voir tableau 2). Sur base de ces résultats, nous pouvons déduire la vitesse moyenne de la disparition de la

végétation entre 1979 à 2021 (soit 42 ans) qui serait environ égale à  $0,245683 \text{ Km}^2/\text{an}$  résultant du rapport  $(0,79319 + 9,52546 / 42)$  soit environ  $0,25 \text{ Km}^2/\text{an}$ .

Les résultats de l'occupation de sols dans le bassin versant de la Lubudi montrent qu'il y a une forte croissance d'activité urbaine en défaveur de la végétation. Ceci implique de nombreux problèmes environnementaux entre autres l'érosion des sols, la sédimentation et les inondations. Pour ce faire, ceci nécessite une attention particulière pour une gestion durable du bassin versant et une mise en place des outils permettant d'atténuer les divers risques et catastrophes d'origine naturelle et environnementale.

#### 4 CONCLUSION

Pour clore notre étude, nous pouvons dire que depuis 1962, la ville de Kinshasa était frappée par le phénomène d'inondation, le courbe hydrologique montre que la hauteur d'eau atteint au niveau de station de limnométrique du port public était de 6.20 m et la cote d'alerte étant fixée de 5.20m et ce phénomène a connu une recrudescence depuis 1979 jusqu' au 2021. Pendant toutes ces années, la ville province de Kinshasa a connu des fortes précipitations preuves de changement de son microclimat. Situé à l'Ouest de la ville province de Kinshasa, le bassin versant de la Lubudi englobe huit communes à savoir : Selembao, Bumbu, Lingwala, Ngiri-Ngiri, Kasavubu, Bandalungwa, Kintambo et Ngaliema. Les écoulements des eaux de surface sur le bassin versant de la Lubudi s'orientent en direction Nord et Nord-Est vers le fleuve Congo. Les sens des écoulements sont déterminés par le réseau de drainage. Le bassin de la Lubudi comprend 17 cours d'eau, dont le principal est la rivière Lubudi. Les rivières Makelele et Basoko sont ses principaux affluents. Le périmètre (P) du bassin versant de la Lubudi est de 37,8 Km et sa superficie (A) est de  $27,4 \text{ Km}^2$  ce qui donne un indice de Compacité de Gravelius (KG) égale à 2,023 ( $\text{KG} > 1$ ) qui correspond à la forme du bassin versant qui est allongé.

Selon la classification de Strehler, la rivière Lubudi est d'ordre trois avec la densité de drainage de  $0,9509 \text{ Km/Km}^2$ . Cet indice indique un temps de concentration des eaux plus long, qui est dû à la forme allongée du bassin versant et le rend ainsi susceptible à l'érosion et à l'inondation. La densité de drainage de la rivière Lubudi est de  $0,9509 \text{ Km/Km}^2$ , ceci traduit une formation géologique perméable, dont l'écoulement est plutôt limité et centralisé ce qui occasionne l'infiltration. Une faible densité est hydrographique, c'est-à-dire notre bassin d'étude présente une région à substratum perméable et à relief peu accidenté. Ce bassin versant a 67 % des aires occupées de pente allant de 0 à 20%. La partie Sud est celle qui compte assez des collines sableuses qui s'érodent suite à la perte de couvert végétal enregistrée dans le bassin. Ce qui favorise le ruissellement au détriment de l'infiltration d'où le phénomène d'érosion récurrente qui aboutit à la sédimentation dans la partie Nord du bassin versant.

Quant au recul ou le taux de dégradation de la végétation dans le bassin versant de la Lubudi, le résultat montre une vitesse moyenne de  $0,24 \text{ Km}^2/\text{an}$  de 1979 à 2021 soit 42 ans. En effet y a une forte croissance de l'activité anthropique et un développement ou l'occupation du sol est en défaveur du couvert végétal. Ceci implique de nombreux problèmes environnementaux entre autres l'érosion des sols sur les versants, la sédimentation et les inondations sur la plaine et la vallée. D'où l'intérêt et l'attention particulière que l'on doit porter pour une gestion durable de ce bassin. La mise en place des mesures d'atténuation de ces divers risques naturels et catastrophes qui en découlent est une nécessité.

Les initiatives privées de lutte contre les inondations ne donnent que des solutions temporaires et aggravent par la suite la situation car elles n'intègrent pas la situation dans un système global de gestion de ce bassin versant. Pour ce faire la meilleure gestion du risque d'inondation dans notre secteur d'étude passe par l'implication de l'Etat congolais qui doit choisir et s'appuyer sur les actions nationale et territoriale (communale). Les différents paramètres calculés sont utiles pour comprendre les mobiles (naturel et anthropique) de ce phénomène afin de fournir aux ingénieurs, décideurs et autorités politico-administratives un outil de travail efficace pour l'aménagement et la gestion de notre ville.



## REFERENCES

- Abram, A. (2006). L'étude de la réouverture de la ligne de chemin de fer Belfort- dell dans un contexte transfrontalier. Analyse socio-économique et des flux de déplacement par système d'information géographique [Mémoire de 3<sup>ème</sup> cycle, Certificat complémentaire de Géomatique, CUEH : Université de Genève(Suisse)], 75p.
- Anon. (2002). Phénomène de déboisement, évaluation par télédétection entre le début des années 1990, 1999-2000, régions le- centre- du Québec, Ministère de l'agriculture de la pêche et d'alimentation du Québec, Québec, 24p.
- Beguec, J. (2006). Diffusion et tatouage des données géographiques [Mémoire de Master 2 Système d'information géographique (SIG) : Université de Marne de la ville (France)], 54p.
- Bentekhici & Nadjla. (2006). Utilisation d'un SIG pour l'évaluation des caractéristiques physique d'un bassin versant et leurs influences sur l'écoulement des eaux (Bassin versant d'ouest El Maleh, Nord-Ouest d'Algérie). Centre national des techniques spatiales, Laboratoire de Télédétection Arzew, Algérie, 4.
- Chaline, C., Dubois & Maury, J. (1994). La ville et ses dangers, prévention et gestion des risques naturels sociaux et technologique. Collection « Pratique de la géographie », éd. Masson, Paris (France).
- Crabbe, M. (1975). Le climat de Kinshasa : d'après les observations centrées sur les périodes 1931-1970. [Service météorologique, Dpt. des transports et communications, Kinshasa (République Démocratique du Congo)], 120p.
- Ebengo, B.C.; Kakese K.C.; Losembe K.M.; Masivi T.M.; Mafuta M.M.; et al (2023). Inondation et vulnérabilité de la population dans la commune de Kintambo, Kinshasa: Diagnostic et Perspectives d'aménagement durable. Journal of Geography, Environment and Earth Science International, A paraître. fffal-04280970. <https://hal.science/hal-04280970>.
- Fournier, Fr. (1967). La recherche en érosion et conservation des sols dans le continent africain. *Sols africains*, 12, 53-96.
- Gelambe, S.J.; Lokango, O.O.; Luboya, M.A.; Samba, L.C.; Opey, A.J.A.; Lutumba L.J.M.; Kalonji, W.K.; Tshefu L.L.; Mutambayi, M.D.; Bangama, K.A.; Mufuta, Wa M.J, Jimy M.B.; Ngudjolo, T.C.; & Mbata, M.A.; (2024). Analyse environnementale et sociale de l'état de lieu des inondations a kinshasa. Cas des quartiers Yolo-Nord et Kimbangu 1 dans la commune de Kalamu. *Revue Internationale de la Recherche Scientifique* (Revue-IRS), 2(5), 2598–2614. <https://doi.org/10.5281/zenodo.13899889>.
- Jabri. (2015). Utilisation d'arc-hydro et d'hec-géoHMS dans l'extraction des données pour la modélisation hydrologique spécialisées du bassin du Haut Sebout [Mémoire de Master en Sciences et Techniques : Université Sidi Mohammed ben Abdellah de Fès (Maroc)]. 66p.
- Lelo, F. (2008). Kinshasa : ville et environnement. Ed. L'Harmattan, Paris, France, 282p.
- Mouafo. (2000). Perspectives/development geographic information system for regional and urban prospect. Douala (Cameroun), 213-239.
- Mufwaya, K.C.; Ndembo, L.J.; Mfumu, K.A. (2016). Contribution à l'analyse géo spatiale 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*,
- Ntombi, K. & Tumwaka, N. (2004). Influence du bassin hydrologique de la Lukunga à Kinshasa sur le fonctionnement de l'usine de captage d'eaux de la REGIDESO. *Bulletin du CRGM*, 5 (1), n.s., 22-27.
- Pangu, S. (2010). Simulation des écoulements et détection des zones inondables avec le logiciel ILWIS. Application pour la gestion du drainage des eaux de pluies dans le bassin de la Lubudi (Basoko) à Kinshasa (RDC) [Mémoire de DEA, Dpt. des Sciences de la Terre : Université de Kinshasa (République Démocratique du Congo)], 136 p.
- Peel et al. (2007). Updaded world map of the Koppen – Geiger climate. *Hydrology and Earth system sciences*, 11, 1633-1644.

- Tcheckpo, T. (2016). Gestion des risques hydro pluviométriques dans la vallée du Niger au Bénin : cas des inondations des 2010, 2012- 2013 dans les communes de Manlanville et de Karimama [Thèse de doctorat : Université d'Abomey-Calavi (Bénin)], 288p.
- Van Caillie, X. (1983). Hydrologie et érosion dans la région de Kinshasa : analyse des interactions entre les conditions du milieu, les érosions et le bilan hydrologique [Thèse de doctorat, Département de Géographie-Géologie : KULeuven (Belgique)], 554p.
- Simbu, A.V.; Kisangala, M.M.; Puela, P.F.; Lelo, N.F.; Koy, K.R.; Malaisse F.; Aloni K.J.; et Nzau U.D.M.C., (2023). Contrat de rivière et résilience de la population face à la mauvaise gestion de l'environnement et aux risques des inondations dans le bassin versant de la Kalamu à Boma (Kongo Central, R.D. Congo). *Geo-Eco-Trop*, 46 (2) : pp. 203-216.