



ARTICLE DE RECHERCHE

Article Info.:

Reçu : le 02/09/2026

Accepté : le 17/09/2026

Publié : le 19/09/2026

ANALYSE HYDROMORPHOMÉTRIQUE ET ÉVALUATION DES RISQUES HYDROLOGIQUES DANS LE BASSIN VERSANT DE LA LUKEMI (KIKWIT, RDC)

Joseph Ndongela Mbo *, Moïse Losembe Konga, Abel Ntombi mwen Mutsindu, David Tshibangu Kabemba, Juvénal Nganga, Didier Yina Ngunga, Fils Makanzu Imwangana, Modeste Kisangala Muke

<https://doi.org/10.70237/jafrisci.2026.v3.i10.12>

Résumé

Cette étude analyse les paramètres hydromorphométriques du bassin versant de la rivière Lukemi (Kikwit, République Démocratique du Congo) afin d'évaluer leur rôle dans le déclenchement et l'amplification des risques hydrologiques. Dans un contexte d'urbanisation rapide, de dégradation du couvert végétal et de variabilité pluviométrique, la connaissance des caractéristiques physiques du bassin est essentielle à la prévention des inondations et de l'érosion. La méthodologie repose sur un Modèle Numérique de Terrain (MNT) ALOS PALSAR de 12,5 m de résolution, traité sous ArcGIS Pro afin d'extraire les paramètres morphométriques et hydrographiques. D'une superficie de 42,2 km² et d'un périmètre de 33,9 km, le bassin présente un indice de compacité de Gravelius de 1,47 (forme allongée), un relief modéré et une densité de drainage de 0,66 km/km², d'où un temps de concentration d'environ 4 h 52'. Les cartes du SPI (0 à 556) et du TWI (0,53 à 17,26) révèlent une distribution hétérogène de l'énergie érosive et des zones d'accumulation. La classification de l'occupation du sol et l'indice normalisé de bâti (NDBI) issus d'une image Sentinel-2 de 2025 montrent une emprise urbaine continue sur le tiers aval du bassin, où les valeurs positives du NDBI (jusqu'à 0,27) attestent une imperméabilisation effective des surfaces, alors que la végétation ne subsiste qu'en corridors riverains étroits. Les pressions anthropiques modifient le fonctionnement hydrologique et accroissent la vulnérabilité aux inondations et à l'érosion. L'étude conclut à la nécessité d'intégrer ces paramètres dans la planification urbaine et la gestion des eaux pluviales.

Mots-clés: hydromorphométrie, bassin versant, inondation, ruissellement, érosion, occupation du sol, NDBI, Kikwit

Abstract

This study analyzes the hydromorphometric parameters of the Lukemi River watershed (Kikwit, Democratic Republic of the Congo) in order to assess their role in triggering and amplifying hydrological hazards. In a context of rapid urbanization, degradation of vegetation cover, and rainfall variability, knowledge of the watershed's physical characteristics is essential to preventing flooding and erosion. The approach is based on an ALOS PALSAR Digital Elevation Model (DEM) with a 12.5 m resolution, processed in ArcGIS Pro to extract morphometric and hydrographic parameters. With an area of 42.2 km² and a perimeter of 33.9 km, the watershed shows a Gravelius compactness index of 1.47 (elongated shape), moderate relief, and a low drainage density (0.66 km/km²), giving a concentration time of approximately 4 h 52 min. The SPI (0 to 556) and TWI (0.53 to 17.26) maps reveal a heterogeneous distribution of erosive energy and water accumulation zones. The 2025 land-cover classification and the Normalized Difference Built-up Index (NDBI) derived from a 2025 Sentinel-2 image show continuous urban coverage over the lower third of the watershed, where positive NDBI values (up to 0.27) confirm effective surface sealing, while vegetation survives only in narrow riparian corridors. Anthropogenic pressures alter the watershed's hydrological functioning and increase its vulnerability to flooding and erosion. The study concludes on the need to integrate these parameters into urban planning and stormwater management.

Keywords: hydromorphometry, watershed, runoff, erosion, land cover, NDBI, GIS, Kikwit

1. Introduction

L'analyse hydro morphométrique des bassins versants

constitue un cadre scientifique essentiel pour comprendre les mécanismes de ruissellement, d'infiltration, de concentration des écoulements et d'érosion hydrique. Dans

Correspondant : joseph.ndongela@unikin.ac.cd (J. N. Mbo)

Copyright : © The Author(s) Published under a Creative Commons Attribution 4.0 International Licence (CC BY 4.0)

Mention Géosciences, Faculté des Sciences et Technologies, Université de Kinshasa, République Démocratique du Congo

3. Méthodes

3.1. Données utilisées

L'étude repose sur un Modèle Numérique de Terrain (MNT) issu de la mission ALOS PALSAR, d'une résolution spatiale de 12,5 m, téléchargé à partir du portail EarthData de la NASA/ASF. Les traitements spatiaux ont été réalisés sous ArcGIS Pro. Ils ont permis la délimitation du bassin versant, l'extraction du réseau hydrographique, le calcul des paramètres morphométriques et hydrologiques, ainsi que la production des cartes thématiques nécessaires à l'analyse des dynamiques de ruissellement et d'érosion.

Le MNT a fait l'objet d'un prétraitement systématique avant toute extraction. Nous avons d'abord comblé les dépressions artificielles (outil Fill), puis calculé les directions d'écoulement selon l'algorithme D8 (Flow Direction) et l'accumulation des flux (Flow Accumulation). Le réseau hydrographique a ensuite été extrait en appliquant un seuil d'accumulation de flux de 6 096 cellules, soit une aire drainée minimale de 0,95 km² (95,3 ha) pour une taille de pixel de 12,5 m. L'accumulation maximale du raster, atteinte au pixel exutoire, s'élève à 266 528 cellules et restitue une superficie drainée de 41,6 km², soit un écart de 1,3 % par rapport aux 42,2 km² planimétrés, ce qui atteste la cohérence de la chaîne d'extraction. Ce seuil commande directement le nombre de talwegs identifiés et, par conséquent, l'ensemble des paramètres du réseau hydrographique présentés à la section 4.2 (densité de drainage, ordres de Strahler, rapports de confluence, fréquence des flux, coefficient de torrentialité). Nous avons confronté le réseau extrait au fond topographique de Kikwit afin de vérifier la position de la rivière Lukemi et de ses principaux affluents. Cette validation demeure qualitative, faute de levés hydrographiques de terrain. La résolution de 12,5 m du MNT ALOS PALSAR introduit en outre une incertitude sur les paramètres dérivés, car les talwegs d'ordre 1 les plus courts et les micro-ravins dont la largeur reste inférieure à la taille du pixel échappent à la détection ; la longueur totale du réseau et la densité de drainage sont donc probablement sous-estimées. Nous lisons par conséquent les valeurs présentées ci-après comme des ordres de grandeur robustes plutôt que comme des mesures exactes.

L'analyse de l'occupation du sol repose sur une image multispectrale Sentinel-2 (capteur MSI) de la tuile T34, acquise en saison sèche 2025. Nous avons retenu cette fenêtre phénologique parce que la faible couverture nuageuse et le minimum de biomasse herbacée y maximisent la séparabilité spectrale entre le bâti, le sol nu et la végétation. L'image a été classée en trois catégories (habitat, sol nu, végétation) par classification supervisée sous ArcGIS Pro. Nous avons calculé l'indice normalisé de bâti (NDBI) selon la relation $NDBI = (B11 - B8A) / (B11 + B8A)$, où B11 correspond à l'infrarouge moyen (SWIR, 1 610 nm) et B8A au proche infrarouge étroit (PIR, 865 nm). Ces deux bandes partagent une résolution de 20 m, ce qui évite le rééchantillonnage qu'imposerait l'emploi de la bande B8 (10 m). Cet indice complète la classification en fournissant une mesure continue de la densité du bâti et de l'imperméabilisation des surfaces.

3.2. Paramètres calculés

Le calcul des paramètres morphométriques, des paramètres du réseau hydrographique et des indices dérivés du MNT (SPI, TWI) s'appuie sur les formules classiques de la littérature hydrogéomorphologique [1], [21], [22], [15], [23], [24], [25], [26]. Pour éviter les répétitions, la définition, la formule et la valeur obtenue pour chaque paramètre sont présentées ensemble dans la section Résultats plutôt que dissociées entre méthodologie et résultats.

4. Résultats

4.1. Analyse des paramètres morphométriques

4.1.1. Superficie du bassin (A)

La superficie du bassin versant de la Lukemi, calculée à partir du MNT de 12,5 m de résolution spatiale intégré dans ArcGIS, est de 42,2 km².

4.1.2. Périmètre (P)

Le périmètre du bassin versant de la Lukemi, calculé sous ArcGIS, est de 33,9 km.

4.1.3. Indice de compacité de Gravelius (KG)

L'indice de compacité renseigne sur la forme du bassin et sur l'allure potentielle de l'hydrogramme de crue. Il est égal à 1 pour un bassin parfaitement circulaire et augmente à mesure que la forme du bassin devient allongée. La morphologie du bassin influence directement le temps de concentration des eaux : les bassins compacts présentent généralement des réponses hydrologiques plus rapides et des crues plus brusques que les bassins allongés. Pour ce qui est du bassin de la Lukemi, on applique la formule :

$$KG = 0,28 * \frac{P}{\sqrt{A}}$$

Quand on remplace chaque inconnue par sa valeur obtient :

$$KG = 0,28 * \frac{33,9}{\sqrt{42,2}} = 1,47$$

Cette valeur traduit que le bassin versant de la Lukemi est de forme allongée. Cela renseigne qu'il a un temps de concentration plus long et connaît des crues plus étalées dans le temps.

4.1.4. Rectangle équivalent

Le rectangle équivalent est une transformation géométrique dans laquelle les droites parallèles aux largeurs du rectangle et l'exutoire sont le petit côté ou largeur du rectangle. Autrement dit, c'est une transformation géométrique du bassin versant réel dans laquelle sont conservés la superficie, le périmètre et la répartition hypsométrique. Les courbes de niveau devenant des droites parallèles au petit côté du rectangle.

La longueur et la largeur du rectangle équivalent se calcule à l'aide des deux formules suivantes :

$$L = \frac{K_G \sqrt{A}}{1.12} \left[1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{K_G} \right)^2} \right] l$$

$$= \frac{K_G \sqrt{A}}{1.12} \left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{K_G} \right)^2} \right]$$

Avec :

L : Longueur

l : largeur

KG : Indice de Gravelius

A : Superficie du bassin (km²)

En remplaçant chaque terme par sa valeur on obtient :

$$L = \frac{1,47 \sqrt{42,2}}{1.12} \left[1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{1,47} \right)^2} \right] = 14,06 \text{ Km}$$

Les calculs donnent respectivement L = 14,06 km et l = 3,01 km.

Le produit de la longueur et de la largeur reconstitue la superficie du bassin. La longueur étant environ cinq fois supérieure à la largeur, le bassin présente une géométrie nettement allongée, ce qui influence le cheminement des écoulements et le temps de concentration.

4.1.5. Hypsométrie

La courbe hypsométrique constitue une unité fondamentale en géomorphologie quantitative et en hydrologie [27], [7]. Elle représente la relation entre les surfaces cumulées d'un bassin versant et les altitudes correspondantes. Elle permet ainsi d'apprécier la distribution altitudinale, le degré d'évolution morphologique du relief et certains paramètres synthétiques tels que les altitudes minimale, maximale, moyenne et médiane [28].

La courbe hypsométrique est visualisée par la figure 2 ci-dessous.

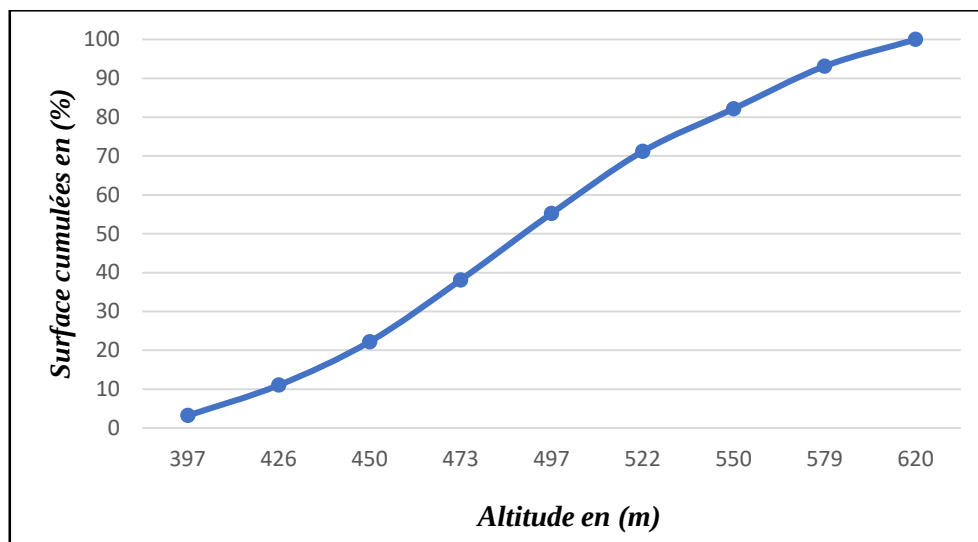


Figure 2. La courbe hypsométrique du bassin versant de la Lukemi

L'allure de la courbe hypsométrique montre que la morphologie du bassin versant est dominée par des altitudes intermédiaires, avec une variation progressive du relief. Elle a également permis de déterminer les principales caractéristiques altimétriques du bassin, notamment les altitudes minimale, maximale, moyenne et médiane.

4.1.5.1. Altitudes maximales et minimale

L'altitude maximale (Hmax) correspond au point le plus élevé du bassin, tandis que l'altitude minimale (Hmin) correspond au point le plus bas, généralement proche de l'exutoire.

Pour le bassin versant de la Lukemi, les valeurs extraites du MNT indiquent Hmin = 344 m et Hmax = 620 m.

Ces valeurs montrent que le bassin présente une amplitude altitudinale importante, de l'ordre de 276 m, ce qui confirme

l'existence d'un relief suffisamment contrasté pour influencer la dynamique du ruissellement et des processus érosifs.

4.1.5.2. Altitude moyenne

L'altitude moyenne du bassin a été calculée à partir des classes altimétriques et des surfaces partielles correspondantes, selon la formule suivante :

$$H_{\text{moy}} = \frac{\sum A_i * h_i}{A}$$

Avec :

A_i : L'aire entre deux hauteurs h_a et h_{a+1} (Km²)

h_i : L'altitude moyenne entre h_a et h_{a+1} (m²)

A : La surface totale du bassin (Km²)

L'altitude moyenne a été déterminée à partir du tableau 1, qui présente les surfaces comprises entre les différentes classes altimétriques. Ces valeurs ont été extraites du MNT du bassin versant.

Tableau 1. Zones altimétriques et surfaces partielles

Altitudes (m)		hi(m)	Ai (Km ²)
DE	A		
344	397	370,5	1,3
397	426	411,5	3,3
426	450	438	4,7
450	473	461,5	6,7
473	497	485	7,2
497	522	509,5	6,7
522	550	536	4,6
550	579	564,5	4,6
579	620	599,5	2,9

$$H_{moy} = \left[\frac{(1,3 \times 370,5)}{42,2} + \frac{(3,3 \times 411,5)}{42,2} + \frac{(4,7 \times 438)}{42,2} + \frac{(6,7 \times 461,5)}{42,2} + \frac{(7,2 \times 485)}{42,2} + \frac{(6,7 \times 509,5)}{42,2} + \frac{(4,6 \times 536)}{42,2} + \frac{(4,6 \times 564,5)}{42,2} + \frac{(2,9 \times 599,5)}{42,2} \right] = 490,4 \text{ m}$$

L'altitude moyenne du bassin s'établit ainsi à 490,4 m. La somme des surfaces partielles arrondies du tableau 1 (42,0 km²) s'écarte de 0,2 km² de la superficie totale planimétrée (42,2 km²), écart imputable à l'arrondi des classes altimétriques ; nous avons retenu la superficie totale au dénominateur. Bien que l'altitude moyenne ne suffise pas, à elle seule, à traduire toute la complexité du relief, elle constitue une variable importante pour la caractérisation morphométrique du bassin et pour l'estimation de certains paramètres hydrométéorologiques, tels que les gradients thermiques ou pluviométriques [27].

4.1.6. Indice de pente global de Dubreuil (Ig)

Le relief joue un rôle important dans la dynamique hydrologique, car il commande en grande partie l'aptitude des terrains au ruissellement. Son appréciation a été réalisée à partir de l'indice de pente global de Dubreuil.

Cet indice, exprimé en m/km, correspond au rapport entre la dénivellation utile (D), estimée à partir de la courbe hypsométrique, et la longueur du rectangle équivalent (L).

$$Ig = D/L$$

La dénivellation utile correspond à la différence entre les altitudes H5 % et H95 % repérées sur la courbe hypsométrique. Pour le bassin de la Lukemi, nous obtenons une dénivellation utile D = 186,67 m et une longueur du rectangle équivalent L = 14,073968 km, d'où :

$$Ig = \frac{186,67}{14,073968} = 13,26 \text{ m/Km}$$

Tableau 2. Classification du relief selon l'indice global de Dubreuil (Ig) d'après l'ORSTOM/IRD

Types de relief	Valeur de l'Indice global de Dubreuil (Ig) en m/km
Relief très faible	$Ig < 2$
Relief faible	$2 < Ig < 5$
Relief assez faible	$5 < Ig < 10$
Relief modéré	$10 < Ig < 20$
Relief assez fort	$20 < Ig < 50$
Relief fort	$50 < Ig < 100$
Relief très fort	$Ig > 100$

Selon la classification de l'ORSTOM/IRD présentée au tableau 2, la valeur obtenue indique que le bassin versant de la Lukemi présente un relief modéré.

4.2. Analyse des paramètres hydrologiques

Le réseau hydrographique du bassin de la Lukemi est constitué d'un cours d'eau principal, la rivière Lukemi, alimentée par plusieurs affluents secondaires.

4.2.1. Densité de drainage

La densité de drainage correspond au rapport entre la longueur totale des talwegs et la superficie du bassin versant. Elle constitue un indicateur de la perméabilité, de la porosité, de la lithologie, du relief et du degré de dissection du bassin [27], [29]. Elle est exprimée par la formule suivante :

$$Dd = \frac{L_i}{A}$$

Où L_i est la longueur totale de tous les talwegs (km) et A la superficie du bassin (km²).

La densité de drainage reflète la dynamique du bassin et le type de ruissellement. Les réseaux ayant une densité élevée favorisent le drainage rapide sur le bassin. Son calcul nous donne:

$$Dd = \frac{27,9}{42,2} = 0,66 \text{ Km/Km}^2$$

Cette faible valeur de la densité de drainage, serait due à l'indice global de pente qui est aussi faible. Cet indice favorise plus d'infiltration que le ruissellement dans le bassin.

Le tableau 3 présente la caractérisation du réseau

hydrographique du bassin en km, tandis que la figure 3 illustre la carte de la hiérarchie du réseau hydrographique

d'après la classification de Strahler.

Tableau 3. Caractérisation du réseau hydrographique du bassin en Km

Ordre des cours d'eau	Nombre total des cours d'eau	Longueur totale
1	16	10,4
2	10	10,6
3	5	6,9
Totale	31	27,9

Selon la méthode de Strahler [24], tout talweg dépourvu d'affluents est d'ordre 1 et est pris comme talweg de premier ordre. Le talweg d'ordre suivant est formé de la confluence de deux talwegs d'ordre 1. Ainsi, le bassin

versant de la Lukemi est formé de talweg de 3 ordres, constitué de 31 talwegs. La figure 3 permet d'en apprécier l'organisation spatiale.

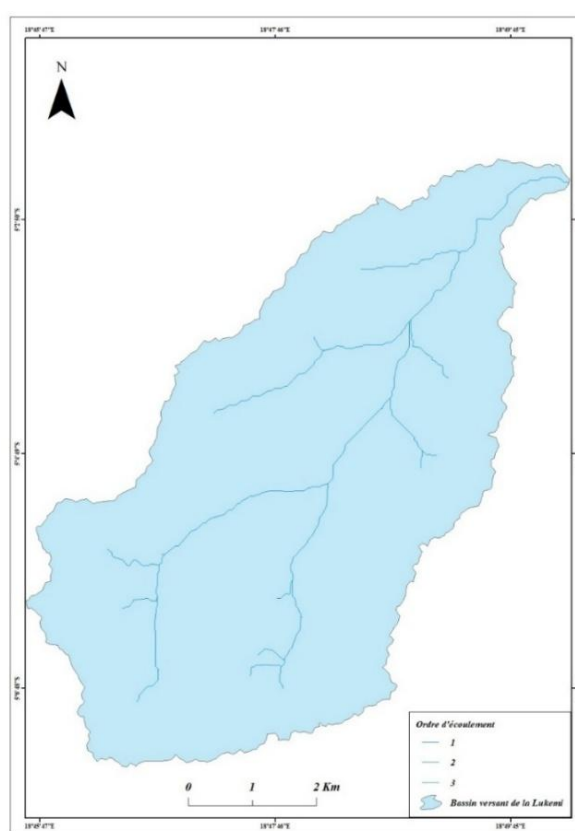


Figure 3. Carte de la hiérarchie du réseau hydrographique selon la classification de Strahler

4.2.2. Rapport de bifurcation ou de confluence

Le rapport de bifurcation, ou rapport de confluence, désigne le rapport entre le nombre de talwegs d'un ordre donné et celui de l'ordre immédiatement supérieur. Il renseigne sur le degré de ramification du réseau de drainage, le contrôle structural et l'évolution morphologique du bassin versant [29].

Ce paramètre renseigne sur le degré de ramification du réseau de drainage. Une valeur élevée traduit généralement un fort contrôle structural, tandis qu'une valeur faible indique un réseau moins contraint par la structure géologique. Dans le bassin de la Lukemi, les rapports de confluence varient entre 1,6 et 2,0, avec une moyenne de 1,8 (tableau 4). D'après la littérature disponible [24], ces

valeurs suggèrent une influence géologique modérée sur l'organisation des écoulements superficiels.

Tableau 4. Rapport de confluence du réseau hydrographique du bassin de la Lukemi

Rapport de Confluence de	Valeurs
N1/N2	1,6
N2/N3	2,0

4.2.3. Fréquence des flux

La fréquence des flux, ou fréquence des cours d'eau, correspond au nombre total de talwegs rapporté à l'unité de surface du bassin. Une faible valeur peut indiquer un contrôle structural ou lithologique du réseau, tandis qu'une

valeur élevée traduit généralement une forte dissection du relief et une capacité accrue de génération du ruissellement de surface [29].

La fréquence des flux obtenue pour le bassin est de $0,73 \text{ km}^{-2}$, si l'on rapporte les 31 talwegs à la superficie totale de $42,2 \text{ km}^2$. Cette valeur relativement faible traduit un réseau hydrographique peu dense et suggère un contrôle partiel des écoulements par la lithologie et la structure du terrain.

4.2.4. Constante de maintenance des canaux

Aussi appelée constante de stabilité du cours d'eau par Kisangala [27], la constante de maintenance des canaux indique la superficie de bassin nécessaire pour développer et entretenir un chenal de 1 km de long. Pour le bassin de la Lukemi, elle est estimée à environ $1,52 \text{ km}^2/\text{km}$, valeur qui traduit la faible densité du réseau de drainage et, par conséquent, l'étendue relativement grande de bassin nécessaire à l'entretien d'un kilomètre de chenal.

$$C = \frac{1}{0,66} = 1,52 \text{ km}^2 / \text{km}$$

4.2.5. Nombre d'infiltration

Le nombre d'infiltration d'un bassin versant est défini comme le produit de la densité de drainage et de la fréquence des cours d'eau. Il renseigne sur les conditions d'infiltration du bassin. Les valeurs élevées traduisent généralement une infiltration lente et un ruissellement important [29].

Les valeurs élevées de ce paramètre traduisent généralement une infiltration lente et un ruissellement important. Pour le bassin de la Lukemi, le nombre d'infiltration a été déterminé à partir de la densité de drainage et de la fréquence des flux.

$$If = 0,66 * 0,73 = 0,48$$

La valeur obtenue, relativement faible, indique qu'en conditions naturelles l'infiltration devrait être favorisée par rapport au ruissellement. Toutefois, cette lecture morphométrique doit être nuancée par les effets de la dégradation du couvert végétal et de l'occupation anarchique de l'espace urbain à Kikwit [30]. Les interventions humaines ont modifié le fonctionnement hydrologique du bassin en réduisant la capacité d'infiltration des sols et en augmentant les volumes d'eau ruisselés, ce qui contribue à l'érosion par ravinement dans les zones collinaires.

4.2.6. Rapport de texture

Le rapport de texture du bassin de la Lukemi a été calculé en rapportant le nombre de cours d'eau de premier ordre au périmètre du bassin.

$$T = \frac{Ni}{P} = \frac{31}{33,9} = 0,91$$

-  < 4 : texture grossière
-  4-10 : texture intermédiaire
-  10-15 : texture fine
-  > 15 : texture très fine

En s'appuyant sur la classification de Smith [23], le bassin de la Lukemi présente une texture grossière. Cette caractéristique est généralement associée à des sols relativement perméables et à une infiltration plus importante, sous réserve que les conditions d'occupation du sol ne soient pas fortement dégradées.

4.2.7. Coefficient de torrentialité

Le coefficient de torrentialité constitue un indicateur complémentaire à la densité de drainage [31]. Plus sa valeur est élevée, plus la torrentialité et l'agressivité hydrologique du bassin sont importantes lors des pluies. Pour le bassin de la Lukemi, ce paramètre a été calculé à partir de la formule présentée dans la méthodologie.

$$Ct = Dd * N1/S$$

Avec Ct : coefficient de torrentialité ; Dd : densité de drainage ; N1 : nombre de cours d'eau d'ordre 1 et S : Surface du bassin versant.

$$Ct = 0,66 * \frac{16}{42,2} = 0,25$$

Une valeur faible indique que le bassin de la Lukemi ne présente pas, du seul point de vue morphométrique, une forte prédisposition aux crues violentes. Toutefois, cette conclusion doit être relativisée par l'effet de l'urbanisation et de l'imperméabilisation des surfaces, qui peuvent accélérer considérablement les écoulements.

4.2.8. Temps de concentration

Le temps de concentration correspond au temps nécessaire pour que l'ensemble du bassin contribue à l'écoulement à l'exutoire après une pluie efficace. Il constitue un paramètre important pour caractériser le comportement hydrologique du bassin pendant et après un épisode pluvieux continu [29].

$$Tc = \frac{4\sqrt{A} + 1,5 * L}{0,8 * \sqrt{Hmoy - Hmin}}$$

Où (L) traduit Longueur du rectangle équivalent en km, (Hmin) l'altitude minimale du bassin en mètres, (Hmoy) l'altitude moyenne du bassin en mètres et (A) la surface du bassin en km^2 .

En appliquant la formule retenue et en remplaçant chaque terme par les valeurs du bassin, le temps de concentration Tc obtenu est le suivant :

$$Tc = \frac{4\sqrt{42,2} + 1,5 * 14,07}{0,8 * \sqrt{490,4 - 344}} = 4,86 \text{ heures.}$$

Le temps de concentration du bassin versant de la Lukemi est de l'ordre de 4 heures 52 minutes (4,86 heures).

4.3. Analyse des indices morphométriques

4.3.1. Indice de puissance des écoulements (SPI)

L'indice de puissance des écoulements exprime le pouvoir érosif (arrachement des particules) des écoulements de surface. Il traduit la susceptibilité d'un terrain à être érodé par les eaux de ruissellement. [32], [33], [26].

$$SPI = (As^p) * \tan(\beta)$$

As : aire drainée en amont, assimilée à l'accumulation des flux (m²) ; β : pente locale du terrain (degrés) ; p : exposant d'échelle. Nous avons retenu $p = 1$, conformément à la formulation originale de Moore et al. [26] et à l'implémentation standard du SPI sous ArcGIS Pro. Ce choix préserve la proportionnalité directe entre l'aire drainée et la puissance des écoulements ; les valeurs supérieures parfois employées dans la littérature (jusqu'à 1,3) accentuent le poids des grandes aires contributives et déplacent la hiérarchie des classes, sans modifier la localisation des secteurs à forte énergie érosive.

Les valeurs élevées du SPI traduisent une forte énergie des écoulements et une grande susceptibilité à l'érosion, en particulier dans les zones de forte pente et de concentration des eaux. À l'inverse, les faibles valeurs indiquent des zones de faible dynamique érosive [26].

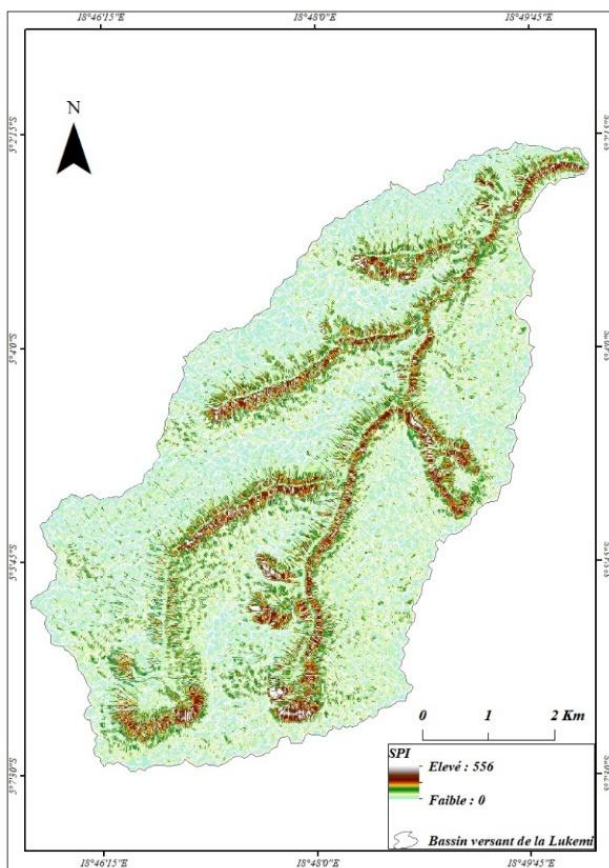


Figure 4. Carte de l'indice de puissance des écoulements (SPI)

La carte de l'indice de puissance des écoulements (SPI), illustrée à la figure 4, révèle la répartition spatiale de l'énergie érosive dans le bassin versant de la Lukemi. Les valeurs comprises entre 0 et 556, témoignent d'une dynamique hydro-érosive notablement hétérogène. Les indices les plus élevés se concentrent principalement dans les zones de convergence des écoulements, les talwegs et sur les pentes fortement inclinées.

4.3.2. Indice d'humidité topographique (TWI)

L'indice d'humidité topographique (Topographic Wetness

Index, TWI) est un paramètre hydrologique utilisé pour identifier les zones d'accumulation d'eau dans un bassin versant. Il est défini comme le logarithme du rapport entre l'aire de contribution spécifique et la pente locale [25].

$$TWI = \ln \frac{AS}{\tan(\beta)}$$

Où As représente l'aire contributive spécifique (m²/m) et β la pente locale

Les valeurs élevées du TWI correspondent généralement aux zones de faible pente où l'eau tend à s'accumuler, favorisant la saturation des sols. Les faibles valeurs indiquent au contraire des zones bien drainées. Dans cette étude, cet indice sert à analyser la distribution spatiale de l'humidité potentielle des sols, les processus de ruissellement et la susceptibilité aux phénomènes hydrologiques [32].

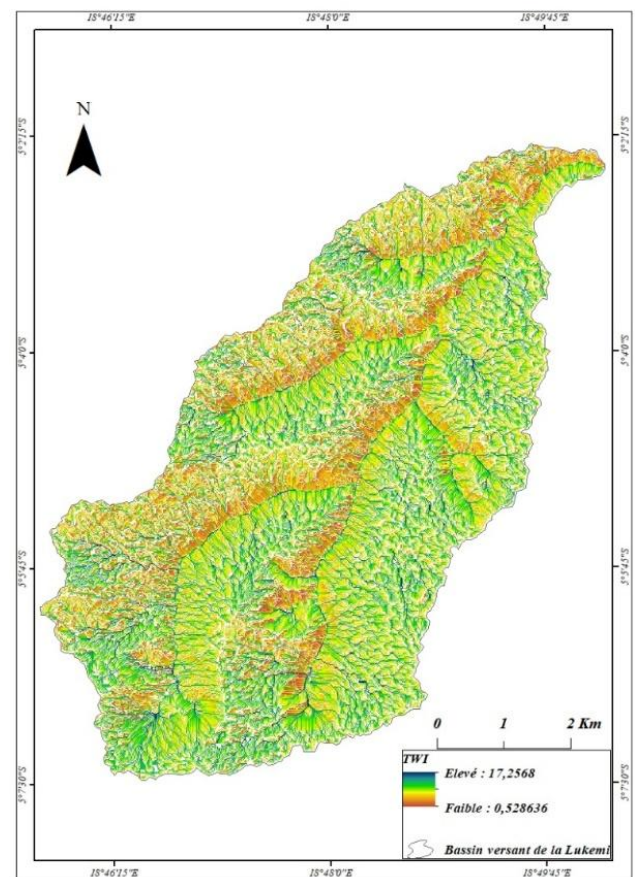


Figure 5. Carte de l'indice d'humidité topographique (TWI)

La carte du TWI du bassin versant de la Lukemi présente des valeurs comprises entre 0,53 et 17,26. Cette distribution permet d'identifier les surfaces contributives au ruissellement ainsi que les zones favorables à l'accumulation d'eau, information essentielle pour la modélisation et la prévention des risques hydrologiques dans le bassin.

4.4. Occupation du sol et indice de bâti (NDBI)

L'analyse morphométrique ne mesure pas directement la pression anthropique. Nous avons donc complété les indices

dérivés du MNT par une classification de l'occupation du sol et par le calcul de l'indice normalisé de bâti (NDBI) pour l'année 2025, afin de quantifier l'emprise du bâti et le degré d'imperméabilisation des surfaces dans le bassin.

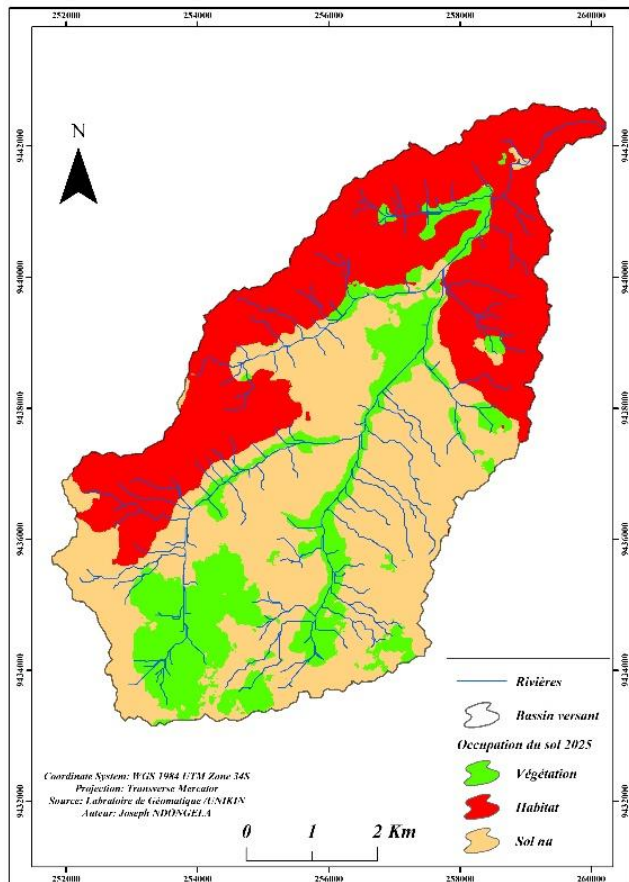


Figure 6. Carte de l'occupation du sol du bassin versant de la Lukemi en 2025

La carte de l'occupation du sol (figure 6) révèle une organisation spatiale nettement contrastée entre le nord et le sud du bassin. L'habitat couvre la totalité du tiers nord et nord-est, depuis les crêtes jusqu'au secteur de l'exutoire, et se prolonge en une bande continue le long de la bordure nord-ouest ; il totalise 18,55 km² (1 855 ha), soit 43,9 % de la superficie du bassin. Les sols nus dominent les parties centrale et méridionale avec 15,63 km² (1 563 ha), soit 37,0 %, et correspondent aux surfaces défrichées, aux jachères et aux zones d'extension récente du front urbain. La végétation, limitée à 8,02 km² (802 ha), soit 19,0 %, subsiste essentiellement en corridors riverains étroits le long du cours principal de la Lukemi et de ses affluents, ainsi qu'en quelques massifs résiduels du sud-ouest. Les surfaces artificialisées et dénudées totalisent ainsi 80,9 % du bassin, proportion qui mesure directement l'ampleur de la dégradation du couvert végétal.

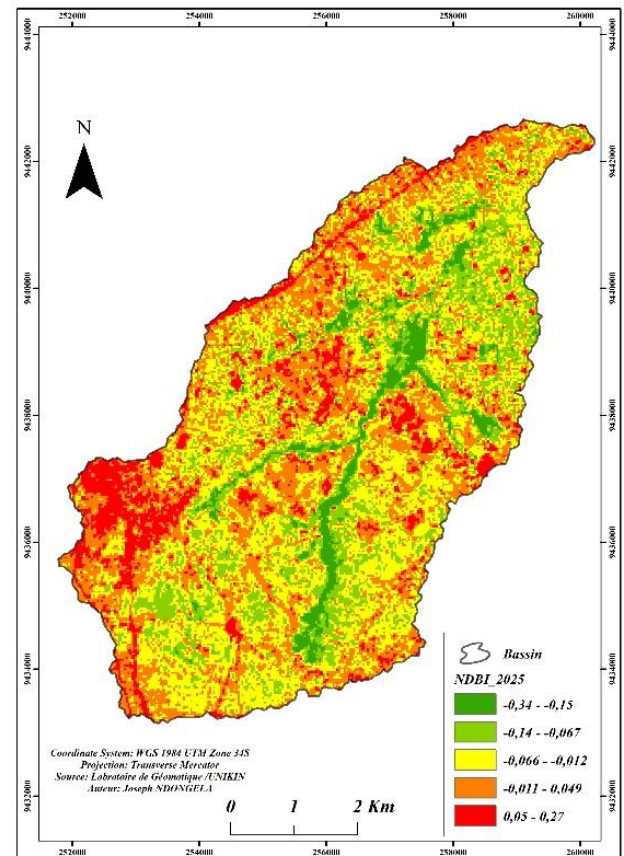


Figure 7. Carte de l'indice normalisé de bâti (NDBI) du bassin versant de la Lukemi en 2025

La carte du NDBI (figure 7) précise ce diagnostic. Les valeurs s'échelonnent de $-0,34$ à $0,27$, l'essentiel du bassin se situant dans les classes médianes comprises entre $-0,066$ et $0,049$. Les valeurs positives ($0,05$ à $0,27$), signature spectrale des surfaces bâties et minéralisées, forment des noyaux compacts sur la bordure occidentale et dans la moitié nord du bassin, en correspondance étroite avec la classe « habitat » de la figure 6. À l'inverse, les valeurs les plus négatives ($-0,34$ à $-0,15$) dessinent un axe continu qui suit le cours principal de la Lukemi et signalent les corridors de végétation riveraine, seuls secteurs où l'infiltration demeure peu contrainte.

Ces deux documents fournissent la mesure directe de la pression anthropique que les seuls paramètres morphométriques ne restituent pas. L'imperméabilisation se concentre dans le tiers aval du bassin, là même où convergent les écoulements issus de l'amont ; le ruissellement produit par les versants méridionaux traverse donc un secteur dont la capacité d'infiltration est déjà fortement réduite. La faible densité de drainage et le nombre d'infiltration modéré, qui suggèrent en conditions naturelles une infiltration dominante, ne décrivent ainsi plus que la moitié sud du bassin. Cette configuration rend compte de la concomitance, observée à Kikwit, d'un ravinement actif sur les versants amont et d'inondations récurrentes dans les quartiers aval.

5. Discussion

Les résultats montrent que le bassin versant de la Lukemi présente une morphologie allongée, traduite par un indice de compacité de Gravelius d'environ 1,47. Cette

configuration implique un temps de concentration relativement long, estimé à environ 4 h 52 min, ce qui tend à étaler la réponse hydrologique dans le temps et à réduire la brutalité des crues par rapport aux bassins compacts [24]. Toutefois, cette caractéristique morphométrique ne suffit pas à écarter le risque de crues dommageables lorsque les précipitations sont intenses, prolongées ou concentrées sur des parties fortement urbanisées.

Le relief du bassin, globalement modéré selon l'indice de pente global de Dubreuil, présente néanmoins une amplitude altitudinale marquée entre les points bas et les points hauts. Cette configuration favorise localement le ruissellement sur les versants et l'accumulation des eaux dans les secteurs bas. Elle explique la coexistence de phénomènes de ravinement dans les zones collinaires et de stagnation ou d'inondation dans les zones de plaine.

La densité de drainage relativement faible suggère une capacité naturelle d'infiltration relativement importante, renforcée par la texture grossière des sols. En conditions naturelles, ce facteur pourrait limiter la rapidité des crues. Toutefois, l'urbanisation anarchique, la disparition progressive du couvert végétal et l'absence ou l'insuffisance des infrastructures d'assainissement modifient fortement cette dynamique [30]. Ce paradoxe a également été observé dans d'autres bassins tropicaux soumis à une urbanisation rapide, notamment la Mefou au Cameroun [29], le Chemoga en Éthiopie [34] et certains bassins urbains de la RD Congo [35].

Le rapport de bifurcation moyen, proche de 1,8, traduit un réseau hydrographique relativement peu ramifié, mais influencé par la géologie et l'organisation structurale du relief. La faible fréquence des flux confirme cette tendance et suggère un contrôle partiel des écoulements par la lithologie. Cette configuration peut produire une réponse hydrologique spatialement hétérogène, avec des zones de concentration préférentielle des écoulements, comparables aux dynamiques observées dans certains bassins étudiés au Maroc, notamment le bassin du Beht [31].

Les indices spatiaux tels que le SPI et le TWI renforcent cette interprétation. Le SPI met en évidence les secteurs à forte énergie érosive, principalement situés le long des axes de drainage et dans les zones à pente marquée. Le TWI permet, quant à lui, d'identifier les zones potentielles d'accumulation d'eau et de saturation des sols. L'utilisation combinée de ces indices offre une lecture plus fine des zones à risque et constitue un appui pertinent à la planification des ouvrages de drainage, à la stabilisation des versants et à la prévention du ravinement.

La cartographie de l'occupation du sol et le NDBI de 2025 étayant désormais cette interprétation par des données produites dans cette étude, et non plus par la seule littérature. L'emprise continue de l'habitat sur le tiers aval du bassin et les valeurs positives du NDBI relevées dans ces secteurs attestent une imperméabilisation effective des surfaces, tandis que la réduction de la végétation à d'étroits corridors riverains traduit la perte des capacités d'interception et d'infiltration. La superposition de ces documents avec les cartes du SPI et du TWI identifie les secteurs de cumul du risque, où une forte énergie érosive ou

une propension marquée à la saturation coïncide avec un bâti dense.

Trois limites doivent enfin être rappelées. D'abord, la résolution de 12,5 m du MNT ne restitue ni les micro-reliefs ni les obstacles anthropiques (bâti, voirie, caniveaux, remblais) qui redistribuent pourtant le ruissellement à l'échelle du quartier ; les chemins d'écoulement calculés décrivent donc la topographie naturelle davantage que le drainage urbain effectif. Ensuite, les paramètres à interprétation hydrologique, au premier rang desquels le temps de concentration et le nombre d'infiltration, reposent uniquement sur des grandeurs dérivées du MNT, sans pluviométrie, sans mesures de débit ni essais d'infiltration permettant de les calibrer ; nous les présentons comme des estimations comparatives et non comme des prédictions opérationnelles. Les indices purement géométriques, indice de compacité de Gravelius et indice de pente global de Dubreuil, échappent à cette réserve puisqu'ils ne dépendent que de la forme et de l'altimétrie du bassin. Enfin, la combinaison de ces indices en une carte unique de synthèse des zones à risque, croisant l'énergie érosive mesurée par le SPI, la propension à la saturation exprimée par le TWI et l'emprise du bâti issue de la classification de 2025, constitue le prolongement direct de ce travail et fournirait aux décideurs locaux de Kikwit un document d'aide à la décision immédiatement mobilisable.

Ainsi, à l'instar d'autres bassins semi-urbanisés étudiés en contexte tropical [27], [7], la Lukemi présente des caractéristiques morphométriques qui, prises isolément, ne traduisent pas une prédisposition extrême aux risques hydrologiques. Cependant, la pression anthropique transforme ce potentiel naturel de régulation en vulnérabilité. Les risques actuels dans le bassin de la Lukemi apparaissent donc davantage liés à l'évolution de l'occupation du sol, à l'imperméabilisation des surfaces et au déficit d'assainissement qu'à la seule morphométrie intrinsèque du bassin.

6. Conclusion

Cette étude a permis d'analyser les caractéristiques hydromorphométriques du bassin versant de la Lukemi dans la ville de Kikwit. Les résultats obtenus montrent que le bassin présente une forme allongée, un relief modéré et un réseau hydrographique peu dense. La classification de l'occupation du sol et l'indice normalisé de bâti de 2025 établissent par ailleurs que l'habitat couvre la totalité du tiers aval du bassin et que la végétation ne subsiste qu'en corridors riverains étroits. Ces caractéristiques suggèrent qu'en conditions naturelles, le bassin devrait favoriser une réponse hydrologique relativement modérée, avec une infiltration plus importante que le ruissellement rapide. Toutefois, cette capacité naturelle est fortement compromise par l'urbanisation croissante, la dégradation du couvert végétal, l'occupation anarchique de l'espace et l'insuffisance des dispositifs d'assainissement des eaux pluviales.

La combinaison des paramètres tels que l'indice de compacité de Gravelius, l'indice de pente global, la densité de drainage, le temps de concentration, le SPI et le TWI montre que les risques hydrologiques observés dans le

bassin de la Lukemi résultent de l'interaction entre les caractéristiques physiques du milieu et les pressions anthropiques. Pour approfondir cette analyse, Nous compléterons cette approche morphométrique par une modélisation hydrologique intégrée, l'acquisition de données pluviométriques et hydrométriques continues, l'élaboration d'une carte de synthèse des zones à risque croisant le SPI, le TWI et l'occupation du sol, une analyse diachronique de l'occupation du sol sur plusieurs décennies et une étude détaillée des interactions sol-eau dans les zones affectées par le ravinement.

7. Références Bibliographiques

- [1] Horton, R. E. (1945). Erosional development of streams and their drainage basins: Hydrophysical approach to quantitative morphology. *Geological Society of America Bulletin*, 56(3), 275-370.
- [2] Strahler, A. N. (1957). Quantitative analysis of watershed geomorphology. *Transactions, American Geophysical Union*, 38(6), 913-920.
- [3] Chorley, R. J. (1969). *Introduction to Physical Hydrology*. Methuen.
- [4] Wischmeier, W. H., & Smith, D. D. (1978). Predicting rainfall erosion losses: A guide to conservation planning. *USDA Agriculture Handbook No. 537*.
- [5] Morgan, R. P. C. (2005). *Soil Erosion and Conservation* (3rd ed.). Blackwell Publishing.
- [6] IPCC. (2021). *Climate Change 2021: The Physical Science Basis*. Cambridge University Press.
- [7] Makanzu Imwangana, F., 2014 : Etude de l'érosion ravinante à Kinshasa : dynamisme pluvio-morphogénique et développement d'un outil de prévision. Thèse de doctorat en Sciences, Faculté des sciences. Université de Kinshasa, 193p.
- [8] Nicolai, H. (1963), *Le Kwilu géomorphologique d'une région Congolaise*, Cemubac, Bruxelles.
- [9] Poesen, J., Nachtergaele, J., Verstraeten, G., & Valentin, C. (2003). Gully erosion and environmental change: Importance and research needs. *Catena*, 50(2-4), 91-133.
- [10] Vanmaercke, M., Poesen, J., Van Mele, B., Demuzere, M., & Bruynseels, A. (2016). How fast do gully headcuts retreat? *Earth-Science Reviews*, 154, 336-355.
- [11] Kisangala, M., & Yina, 2011 : Rapport d'étude d'aménagement et de gestion des eaux des précipitations dans les zones menacées par les érosions à Kikwit. *Coopération Technique Belge*, inédit, 67p.
- [12] Mutungu, K et al. (2015). Ravinement et impact environnementaux de Kikwit, in *Pistes et Recherches*, ISP-Kikwit, vol.27, n°23, 239-280p,
- [13] Mpuru, M., et al. (2019). Réflexions sur la dégradation de l'écoquartier Lumbi par l'érosion accélérée dans la Ville de Kikwit (RD Congo). In *International Journal of Applied Studies*, ISSN 2028-9324, Vol. 27, N°3, pp. 831-838.
- [14] Chow, V. T. (Ed.). (1964). *Handbook of Applied Hydrology*. McGraw-Hill.
- [15] Schumm, S. A. (1956). Evolution of drainage systems and slopes in badlands at Perth Amboy, New Jersey. *Geological Society of America Bulletin*, 67(5), 597-646.
- [16] Cahen, L. (1954). *Géologie du Congo belge*. Liège.
- [17] Evrard, P. (1960). *Recherches géologiques au Congo belge*. Bruxelles.
- [18] Roose, E. (1994). *Introduction à la gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols*. FAO.
- [19] Fournier, F. (1960). *Climat et érosion*. Presses Universitaires de France.
- [20] Mein, R. G., & Larson, C. L. (1973). Modeling infiltration during a steady rain. *Water Resources Research*, 9(2), 384-394.
- [21] Gravelius, H. (1914). *Grundriss der gesamten Gewässerkunde. Band I: Flusskunde*. Goschen.
- [22] Roche, M. (1963). *Hydrologie de surface*. Gauthier-Villars/ORSTOM.
- [23] Smith, K. G. (1950). Standards for grading texture of erosional topography. *American Journal of Science*, 248(9), 655-668.
- [24] Strahler, A. N. (1964). Quantitative geomorphology of drainage basins and channel networks. In V. T. Chow (Ed.), *Handbook of Applied Hydrology*. McGraw-Hill.
- [25] Beven, K. J., & Kirkby, M. J. (1979). A physically based, variable contributing area model of basin hydrology. *Hydrological Sciences Bulletin*, 24(1), 43-69.
- [26] Moore, I. D., Grayson, R. B., & Ladson, A. R. (1991). Digital terrain modelling: A review of hydrological, geomorphological, and biological applications. *Hydrological Processes*, 5(1), 3-30.
- [27] Kisangala, 2008 : Analyse des paramètres morphométriques, climatologiques et hydrométriques du bassin du Kasai dans sa partie congolaise, mémoire de DEA en géographie, Université de Kinshasa, 80p.
- [28] Strahler, A. N. (1952). Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topography. *Geological Society of America Bulletin*, 63(11), 1117-1142.
- [29] Kouedjo Idriss L., & Anaba Banimb R., 2021 : Analyse morphométrique du bassin versant de la Menoua pour une meilleure gestion des risques morphohydrologiques. *Am. J. Innov. Res. Appl. Sci*, 188-197p.
- [30] Mubanga, N., & Kakesa, K. (1999). La dégradation du site de la Ville de Kikwit. *Pistes et Recherche*, N° unique, 89-103p.
- [31] Benzougagh Brahim., Dridri Abdallah., Boudad Larbi., Sdkaoui driss., Baamar Brahim, 2019 : Apport des SIG et télédétection pour l'évaluation des caractéristiques physiques du bassin versant d'Oued Inaouene (nord-est Maroc) et leurs utilités dans le domaine de la gestion des risques naturels. *Am. J. Innov. Res. Appl. Sci*, 120-130pp.
- [32] Wilson, J. P., & Gallant, J. C. (Eds.). (2000). *Terrain Analysis: Principles and Applications*. Wiley.
- [33] Moore, I. D., & Burch, G. J. (1986). Physical basis of the length-slope factor in the Universal Soil Loss Equation. *Soil Science Society of America Journal*, 50(5), 1294-1298.

- [34] Bewket, W., & Sterk, G. (2005). Dynamics in land cover and its effect on stream flow in the Chemoga watershed, Blue Nile basin, Ethiopia. *Hydrological Processes*, 19(2), 445-458. <https://doi.org/10.1002/hyp.5542>
- [35] Muhindo Sahani, 2011 : Contexte urbain et climatique des risques hydrologiques dans la ville de Butembo au Sud-Kivu (RD Congo), Thèse de doctorat en géographie, Université de Liège, 301p.