

**Dynamique du bassin versant de la *Loua* au sud-ouest de
Brazzaville de 2001 à 2023 : quantification des changements de
l'occupation du sol et risques géomorphologiques (République du
Congo)**

**Dynamics of the Loua watershed in southwest of Brazzaville from
2001 to 2023: quantification of land use changes and
geomorphological risks (Republic of Congo)**

M'BOUKA MILANDOU Idriss Auguste Williams

Enseignant-chercheur

Institut Supérieur des Sciences Géographiques, Environnementales et de l'Aménagement
(ISSGEA)

Université Denis Sassou-N'guesso

Laboratoire de Géographie, Environnement et Aménagement
(LAGEA)

Laboratoire de l'ISSGEA

République du Congo

Date de soumission : 27/08/2025

Date d'acceptation : 10/01/2026

Digital Object Identifier (DOI) : www.doi.org/10.5281/zenodo.18435445

Résumé

L'occupation des sols (OS) du bassin versant (BV) de la *Loua* à Brazzaville, est de plus en plus vulnérable aux risques géomorphologiques. L'analyse documentaire, la collecte et le traitement des données spatiales et de terrain, constituent l'approche méthodologique utilisée dans cette étude. Les résultats montrent que ce bassin est de forme allongée ($K_G:1,6$), le rectangle équivalent est très marqué ($Le:17,60m$; $le: 2,9m$) et la rivière Loua est caractérisée par des méandres ($K_s: 0,90 \approx 1$). La classification des images est fiable, puisque les valeurs de OA des 3 années varient de 88,9 à 95,5% et celles du coefficient de kappa se situent entre 0,81 à 1. La quantification de l'OS présente une progression du bâtie ($T_g : 323,63\%$) en 22 ans. La forêt (-16,66%) et le sol nu (-64,19%) ont régressés. Le taux d'imperméabilité (T_i) a progressé (**4,13%** en 2001 ; **17,48%** en 2023). L'indice de couverture forestière (K) est en régression (62,87% en 2001 ; 52,39% en 2023). La vulnérabilité du BV est aggravée par l'agressivité des pluies ($R>5000MJ.mm/ha.h.an$) et la sensibilité des pentes (3 à 35°) sur un sol sablonneux sur la ligne de partage des eaux et argileux dans le reste du bassin. Quelques rigoles, ravines et surcreusements de routes, témoignent de la manifestation des risques. Pour résoudre cette lacune, une étude de la modélisation prospective du fonctionnement du BV s'impose afin de faire une prédiction d'ici 2030 et prendre les dispositions d'une gestion intégrée de l'hydrosystème.

Mots clés : Bassin versant, occupation de sol, risque géomorphologique, Loua, Congo

Abstract

Land use (LU) in Loua watershed (WS) in Brazzaville is increasingly vulnerable to geomorphological risks. Documentary analysis, the collection and processing of spatial and field data constitute the methodological approach used in this study. The results show that this basin is elongated ($K_G: 1.6$), the equivalent rectangle is very pronounced ($Le: 17.60\text{ m}$; $le: 2.9\text{ m}$), and the Loua River is characterized by meanders ($K_s: 0.90 \approx 1$). The images classification is reliable, since the OA values for three years vary from 88.9 to 95.5% and those of kappa coefficient are between 0.81 and 1. The LU quantification shows an increase in built-up areas ($T_g: 323.63\%$) over 22 years. Forest cover (-16.66%) and bare soil (-64.19%) have declined. The impermeability rate (T_i) has increased (4.13% in 2001; 17.48% in 2023). The forest cover index (K) is declining (62.87% in 2001; 52.39% in 2023). The WS vulnerability is exacerbated by heavy rainfall ($R>5000MJ.mm/ha.h.year$) and the slopes sensitivity (3 to 35°) on sandy soil on the watershed and clay soil in the rest of the basin. A few gullies, ravines, and road undercuts are evidence of the risks. To address this shortcoming, a prospective modeling study of the WS's functioning is needed in order to make a prediction for 2030 and take steps toward integrated hydrosystem management.

Keywords : Watershed, land use, geomorphological risk, Loua, Congo

Introduction

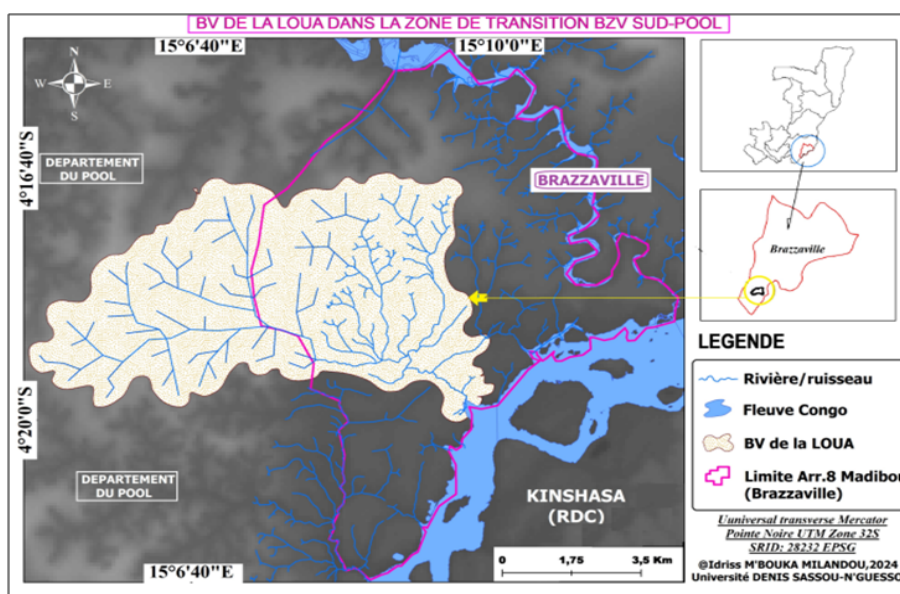
La République du Congo, situé en milieu tropical chaud et humide, est fortement drainé par de nombreux cours d'eau qui forment des bassins versants. Ces derniers qui font parties à plus de 60% du bassin du Congo arrosent presque toutes villes. Cependant, chaque bassin (urbain ou périurbain) a un fonctionnement spécifique, qui tient compte des caractéristiques morphométriques, hydrologiques et géomorphologiques. Mais le fonctionnement desdits bassins périurbains est souvent perturbé par l'occupation humaine. Selon Yumi Furusho (2008), ces bassins périurbains, présentant des comportements de bassin de type naturel et urbain, ont été jusqu'ici peu étudiés par les hydrologues ; pourtant ils sont soumis à une forte pression, liée au développement des zones urbaines. Or, près de 55% de la population mondiale vit aujourd'hui en milieu urbain et cette proportion qui n'était qu'à 30% en 1950 atteindra certainement 68% en 2050 (WUP,2018). On comprend comment les BV périurbains sont fortement anthropisés. Cette anthropisation est influencée par la croissance urbaine galopante à cause de la quête de terrains pour se loger, en détruisant le couvert végétal, exposant ainsi les sols aux risques géomorphologiques (Assouman et al.,2022). La ville de Brazzaville échancrées par de nombreux bassins versants n'est pas en marge de cette situation. Le BV de la Loua, situé dans la zone de transition entre Brazzaville sud et le district de Goma tsé-tsé dans le Pool (Souamy Legrand, et al., 2024) subi depuis près de 3 décennies une forte anthropisation qui influe sur le bouleversement géomorphologique du milieu. A l'instar du non-respect des normes d'urbanisme, comme partout au sud de Brazzaville (Kombo Kissangou et al., 2018, M'bouka Milandou, 2019), ce bassin est prédisposé aux risques géomorphologiques, de par la sensibilité de son milieu physique (agressivité des pluies, fortes pentes et sols sablo-argileux). La manifestation de quelques rigoles, ravines et surcreusement de routes (M'bouka Milandou et Sitou, 2017) ces 20 dernières années, associée à l'ablation verticale de la rivière et l'encombrement des berges par la sédimentation et le bâti, sont autant des signes annonciateurs des risques élevés de dégradations futures. Le but de cette étude est d'analyser la dynamique de ce bassin de 2001 à 2023, à partir de la quantification des classes d'occupation des sols et de l'évaluation des indicateurs de vulnérabilité du milieu aux risques géomorphologiques.

1. Approche méthodologique

1.1. Situation et milieu physique du bassin versant

Situé au sud-ouest de Brazzaville, en République du Congo et entre 15°05'00'' et 15°10'00'' de longitude Est et 4°21'00'' et 4°16'40'' S de latitude sud, le bassin versant de la Loua fait partie du bassin du Congo et couvre une superficie d'environ 52,6 km² (52 600 ha) (Fig. 1).

Figure N°1 : Situation du bassin versant de la Loua entre Brazzaville et le Pool



Source : UTM Zone 33 Sud, SRID: 28238 EPSG, traité par M'bouka Milandou, 2024

Il bénéficie du climat de Brazzaville, de par les précipitations annuelles qui varient, en saison des pluies, de 1100 à 1400 mm et des températures moyennes annuelles qui oscillent entre de 24° et 37° (2003-2023) (ANAC, 2024). Le complexe pédo-géologique est dominé en partie par la série des plateaux Batékés (Sitou, 2008) sur la ligne de partage des eaux et sur les flancs de collines, et le reste par les grès de l'Inkisi qui date du précambrien supérieur (Dadet, 1969 ; Boudzoumou, 1986 ; Ngot Kongolo, 1992). Ces roches qui apparaissent le long de la route nationale n°1, à l'instar des cours d'eau, présentent des sols à textures argileuses, mais pauvres en matière organiques (Denis, 1974 ; Schwartz, 1987 et M'bouka Milandou, 2019). Le relief est caractérisé par des altitudes qui varient de 250 à 480 m et des pentes de 3 à plus de 30°. La végétation de la zone est caractérisée par une formation à tapis graminéen clairsemée avec une

strate arbustive d'Euphorbiacées où domine *hymenocardia acida* (Kinga Mounzeo, 1986). L'hydrographie est dominée par la rivière Loua longue de 5,63 km environ et ses affluents.

1.2. Matériels et méthodes

1.2.1. Collecte et traitement des données du SRTM-DEM

Le SRTM-DEM 2000 (Shuttle Radar Topography Mission) a été téléchargé sur <http://earthexplorer.usgs.gov> pour générer un Modèle Numérique de Terrain (MNT) du BV. Le but était de produire une cartographie des limites naturelles du bassin à partir des lignes de partage des eaux et de générer la hiérarchisation des cours d'eau *in situ*. A partir de ces données, sa surface et son périmètre ont été déduits. Quelques indices morphométriques, qui influent sur la dynamique de cet hydrosystème ont été calculé : le coefficient de Gravelius (K_G), la longueur (L_e) et la largeur (l_e) du rectangle équivalent, et le coefficient de sinuosité de la rivière (K_s) ([1 ;2 ;3 et 4] tab. 1).

Tableau N°1 : Tableau méthodologique des paramètres morphométriques du BV

Paramètres morphométriques	Formules/méthodes	Références
Surface du BV	Analyse SIG (Gis analysis)	Schumm (1956)
Périmètre du BV	Analyse SIG (Gis analysis)	
Coefficient de compacité de Gravelius (K_G)	$K_G = \frac{P}{2\sqrt{\pi S}} = 0,28 \frac{P}{\sqrt{S}} \quad [1]$ <p>K_G : Indice de compacité de Gravelius, P : périmètre du bassin versant (Km) et S : surface du bassin versant (Km²). 1.5 < K_G < 1.8 : Bassin de forme allongée. 1.0 < K_G < 1.15 : Bassin de forme ramassée</p>	Gravilius (1964)
Rectangle équivalent	<p>Longueur du Rectangle Equivalent (L_e)</p> $L_e = \frac{K_G \sqrt{S}}{1,12} \left[1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1,12}{K_G} \right)^2} \right] \quad [2]$ <p>Largeur du rectangle équivalent (l_e)</p> $l_e = \frac{K_G \sqrt{S}}{1,12} \left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1,12}{K_G} \right)^2} \right] \quad [3]$ <p>L_e : longueur du rectangle équivalent, l_e : largeur du rectangle équivalent, K_G : Coefficient de Gravelius</p>	Roche (1963)
Coefficient de sinuosité (K_s)	$K_s = \frac{L_d}{L_{ce}} \quad [4]$ <p>L_d : distance à vol d'oiseau ; L_{ce} : longueur du cours d'eau entre sa source et son exutoire longueur réelle.</p>	Taillefer (1945)

Source : Formules classifiées par nous

Le logiciel QGIS 3.28 a été utilisé pour le découpage. L'extension SAGA par le filtre passe-bas (Smooth) a été utilisée pour délimiter le BV par rapport à Brazzaville et le district de Goma tsé-tsé. Les cartes produites sont : la carte de la situation et des limites du BV, la carte altimétrique et la carte des pentes en degré.

1.2.2. Collecte et traitement des images satellites du BV de la Loua

Les Landsat 7 ETM+(2001) et Landsat 8 TIRS (2013 et 2023) ont été téléchargé sur <http://landsat.usgs.gov/>, en veillant à sélectionner des scènes sans couverture nuageuse sur la zone d'étude. Les images proviennent de la Collection 1, Level 1, permettant le plein contrôle sur les étapes de prétraitement. Ces images ont été retenues par leur gratuité, leur qualité de prétraitement, leur couverture tant spatiale que temporelle et leur disponibilité. Trois étapes ont été suivi pour finaliser le traitement des images :

- **Pré-traitement des images satellitaires**

Les caractéristiques des images satellites ayant subi un prétraitement sont consignées dans le tableau 2. Ce choix assure la cohérence spectrale entre les capteurs et permet une comparaison temporelle fiable entre les différentes années. Les images ont été reprojetées dans le système de coordonnées WGS 84 / UTM Zone 33S et découpées (clipping) selon l'emprise spatiale de la zone d'étude, obtenue à partir du traitement du MNT SRTM. Les valeurs numériques (Digital Number – DN) ont été converties en valeurs de réflectance apparente à l'aide du plugin Semi-Automatic Classification Plugin (SCP) sous QGIS, en se basant sur les coefficients contenus dans les fichiers MTL.txt de chaque image.

Tableau N°2 : caractéristiques des images satellites

Capteur	Caractéristiques	Date d'acquisition	Bandes	Longueurs d'onde (µm)	Résolution (m)
Landsat 7 ETM+ 2001	LE07_L1TP_182063_2 0010225_20200917_0 2_T1	2001/10/25	1-Bleu	0,45 - 0,515	30
			2-Vert	0,525 - 0,605	30
			3-Rouge	0,63 - 0,690	30
			4-NIR	0,77-0,90	30
			5-SWIR 1	1,55-1,75	30
			7-Thermal	10,40- 12,50	30
Landsat 8 TIRS 2013	LC08_L1TP_182063_2 0130728_20200912_0 2_T1	2013/07/28	2 - Bleu	0,450-0,515	30
			3 - Vert	0,525-0,600	30
			4 - Rouge	0,630-0,680	30
			5- NIR	0,845 - 0,885	30
			6-SWIR 1	1,560 - 1,660	30
			7-SWIR 2	2,100 - 2,300	30
Landsat 8 TIRS 2023	LC08_L1TP_182063_2 0230302_20230316_0 2_T1	2023/03/02	2 - Bleu	0,450-0,515	30
			3 - Vert	0,525-0,600	30
			4 - Rouge	0,630-0,680	30
			5- NIR	0,845 - 0,885	30
			6-SWIR 1	1,560 - 1,660	30
			7-SWIR 2	2,100 - 2,300	30

NIR : infrarouge proche, SWIR 1 : infrarouge moyen 1, SWIR 2 : infrarouge moyen 2

- **Traitement des images satellitaires**

Le traitement des images satellites a porté sur la classification non supervisée par la méthode K-Means, disponible dans le plugin SCP. Pour chaque image, un total de 15 classes initiales a été généré, puis reclassé manuellement en 6 classes principales : Eau, Forêt, Savane, Sol nu, Bâti et Culture.

- **Post-traitement des données satellitaires**

La reclassification a été réalisée à partir de l'interprétation visuelle des compositions colorées (vraies et fausses couleurs), du calcul de l'indice NDVI, ainsi que d'une comparaison avec les images à haute résolution de GoogleEarth. Pour la validation, des points de référence ont été générés automatiquement avec le plugin SCP. Ces points ont été vérifiés manuellement à l'aide de GoogleEarth, des compositions colorées, des indices et d'une connaissance du terrain, afin d'évaluer la correspondance entre la classification et la réalité observée. La cohérence des classes obtenues et la réalité observée a été vérifiée à travers des matrices de confusion élaborées pour les trois années étudiées (2001, 2013 et 2023). La classification est évaluée par la matrice de confusion. Ces matrices ont permis d'évaluer la précision globale (Overall Accuracy – OA) et le coefficient de Kappa (Soro et *al.*, 2014) pour chaque classification. La matrice de confusion affiche les statistiques de la précision de classification d'une image, notamment le degré de classification erronée parmi les diverses classes. Elle est calculée avec les valeurs exprimées en pixels et en pourcentage. Les valeurs de la classification sont précisées dans le tableau N°3.

Tableau N°3 : Appréciation du coefficient de Kappa

Kappa	Accord
0,81 à 1	Excellent
0,61 à 0,80	Bon
0,21 à 0,60	Modéré
0,00 à 0,20	Mauvais
< 0,00	Très mauvais

Source : J.R. Landis et G.G. Koch (1977)

Une classification est fiable si le pourcentage de la précision globale et du coefficient de Kappa est supérieur à 80%.

Ces valeurs traduisent une précision satisfaisante des classifications réalisées, confirmant la fiabilité de la démarche méthodologique adoptée (Maïga et *al.*, 2020, & Koffi et *al.*, 2015). La vectorisation constitue la dernière étape du traitement des images. Elle a consisté à convertir la couche des images classifiées du mode raster en mode vecteur (polygones) dans le but de faciliter leur gestion d'analyses SIG (QGIS 3.28). L'ensemble de ces traitements a permis d'extraire le pourcentage de chaque classe d'occupation du sol et de produire des cartes d'occupation du sol pour les trois périodes considérées sur QGIS 3.28, servant de base à l'analyse diachronique de l'évolution de l'OS dans le BV de la loua.

1.2.3. Quantification de l'occupation des sols dans le BV de la Loua

Elle a consisté à évaluer le taux de changement des superficies des classes en 22 ans (2001, 2013 et 2023) à partir des équations de Bernier (1992) [5] et celle de la FAO (1996) [6].

$$T_c = \frac{\ln S_2 - \ln S_1}{(t_2 - t_1) * \ln e} * 100 \quad [5] \quad T_g = \frac{S_2 - S_1}{S_1} * 100 \quad [6]$$

T_c : taux moyen annuel d'expansion spatiale ; T_g : taux de changement global ; S₂ : superficie d'une classe d'unité de surface à la date t₂ ; S₁ : superficie d'une classe d'unité de surface à la date t₁ ; ln le logarithme népérien ; e la base des logarithmes népériens (e ≈ 2,71828)

1.2.4. Analyse des indicateurs de vulnérabilité anthropique du BV de la Loua

❖ Taux d'imperméabilité du BV (T_i)

Il a été déterminé en fonction des classes OS de bâtie des trois années (2001, 2013 et 2023). Le T_i fait partie des indices des surfaces urbanisées. Lorsque les surfaces sont de plus en plus imperméabilisées, (i) elles augmentent le volume d'eau écoulé, (ii) diminuent le temps de concentration et (iii) réduisent les infiltrations et la recharge des nappes. La formule utilisée est consignée dans le Tableau 4[7].

❖ Indice de couverture forestière (K)

Le BV de la Loua se situe à l'interface milieu rural-milieu urbain. A cet effet, K fait partie des indices de vulnérabilité anthropique du bassin, puisque la destruction des forêts expose le sol nu au développement des ruissellements et de l'érosion hydrique. La formule utilisée est consignée dans le Tableau 4 [8].

Tableau N°4 : Formules et caractéristiques des indices de vulnérabilité anthropique du BV

Indice	Formule	Caractéristiques
Taux d'imperméabilité (T _i)	$T_i = \frac{\text{Surface imperméable}}{\text{Surface du bassin}} \times 100$ [7]	T _i : Taux d'imperméabilité en %
Indice de couverture forestière (K)	$K = \frac{\text{Surface des forêts}}{\text{Surface du bassin}} \times 100$ [8]	K : indice de couverture forestière (%)

Source : Formules classifiées par nous

1.2.5. Evaluation des indicateurs physiques de vulnérabilité du BV

Etant donné que la nature des sols est connue, à partir de nombreux travaux existants, les indicateurs physiques retenus de la vulnérabilité du bassin versant sont :

❖ Indice d'agressivité des pluies (R)

Les données de précipitations moyennes interannuelles de Brazzaville retenues sont celles la période de 2003-2004 à 2012-2013 ; ensuite 2013-2014 à 2022-2023, obtenues à l'Agence nationale de l'aviation civile.

Elles ont permis de calculer l'indice d'érosivité des pluies (R) en deux phases. La formule de Renard et Freimund (1994), qui intègre uniquement la hauteur des pluies annuelles moyennes (P) a été utilisé, avec la condition $P > 850$ mm à Brazzaville et ses environs [9] :

$$R = 587,8 - 1,219 P + 0,004105 P^2 \quad [9]$$

R : paramètre d'érosivité ; P : précipitation annuelle (mm)

Les résultats obtenus ont été analysés à partir + de la classification de Douay et Lardieg (2010)(tab. 5).

Tableau N°5 : Classes des indices d'érosivité (R) des pluies

Classe	Erosivité (R)		Vulnérabilité des sols
4	> 5000	Forte érosivité	Très élevée
3	4000 à 5000		Elevée
2	3000 à 4000		Modérée
1	2000 à 3000		Faible
0	0 à 2000	Faible érosivité	Très faible

Source : D. Douay & E. Lardieg, 2010

❖ Topographie du BV

La topographie du BV de la Loua a été analysée à partir des cartes d'altimétrie et de pentes produites sur la base du SRTM-DEM de 2000 dont la méthodologie a été évoquée supra.

2. Résultat

2.1. Quelques paramètres morphométriques du bassin versant

Les valeurs de la superficie, du périmètre, de l'indice de Gravelius (K_G), du rectangle équivalent (longueur et largeur) et du coefficient de sinuosité (K_S) sont consignées dans le Tableau 6.

Tableau N°6: Valeurs et indices morphométriques du BV de la Loua

Valeurs	Indices
Superficie : 52,60 Km ²	$K_G = 1,6$
Périmètre : 43,27 Km	
Rectangle Equivalent (Km)	$Le = 17,60$
	$Le = 2,96$
$L_d : 5,15$ Km	$K_S = 0,90$
$L_{ce} : 5,63$ Km	

Source : données du SRTM-DEM 2000, traitées par nous (2025)

La valeur de K_G (1,6) signifie que le BV de la Loua est de forme allongée. Le rectangle équivalent est très marqué, puisque la longueur (L_e : 17,60 Km) est plus importante que la largeur (l_e : 2,96 Km) (Fig.2).

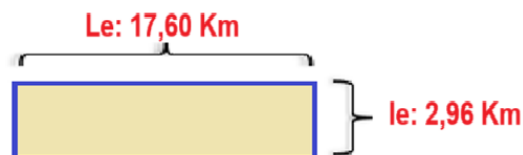


Figure 2 : Rectangle équivalent du BV de la Loua

Ce bassin de par sa forme allongée favorise pour une même pluie, les faibles débits de pointe de crue, ceci en raison des temps d'acheminement de l'eau à l'exutoire plus importants. Ce BV est à la fois topographique et hydrogéologique, puisqu'une partie du bassin (ligne de partage des eaux) est dominée par les sables des plateaux Batékés, dans lesquels les eaux s'infiltrent beaucoup plus et alimentent la rivière indirectement par des sources. La seconde partie (zone de transition et exutoire) est du domaine des argilites et arkoses de l'Inkisi, avec une mauvaise perméabilité, où les eaux ruissellent plus qu'elles ne s'infiltrent.

Ce qui fait que le risque d'érosion hydrique soit permanent. C'est dans ces mêmes conditions que la rivière Loua rencontre des obstacles dans son écoulement, présentant ainsi une sinuosité marquée (méandres) puisque K_s est proche de 1 (0,90).

2.2. Classification des images

Les tableaux 7,8 et 9 de matrice de confusion affichent dans la diagonale les pixels bien classés et les pixels non bien placés en hors diagonale.

■ Précision de la classification de l'image ETM+ 2001

Les résultats de l'analyse de fiabilité sont présentés dans le tableau N°7. Ils montrent pour chacune des classes, le niveau de fiabilité moyen et les principales confusions observées. La OA est de 88,9% et le coefficient de Kappa est de 0,81. Dans la diagonale les pixels bien placés et les pixels non bien placés en hors diagonale.

Tableau 7 : matrice de confusion de la classification de l'image ETM+ 2001

2001	Prédiction						
Réalité	Eau	Forêt	Savane	Sol nu	Bâti	Culture	Total (réel)
Eau	890	0	0	0	0	0	890
Forêt	0	33 417	2 503	297	298	230	36 745
Savane	0	1 497	10 402	153	83	47	12 182
Sol nu	0	39	52	5 733	704	93	6 621
Bâti	0	11	63	302	1 998	38	2 412
Culture	0	0	15	151	37	604	807
Total (prédit)	890	34 964	13 035	6 636	3 120	1 012	59 657
OA = 88,9%							
Kappa = 0.81							

La matrice de confusion prouve une bonne classification des différentes classes, en dehors de quelques confusions des pixels entre certaines classes. 1497, 39 et 11 pixel de la classe des forêts se confondent aux classes de savane, sol nu, bâti et culture ; 2503, 52, 63 et 15 pixel de la classe de savane se confondent aux classes de sol nu, bâti et culture ; 297, 153, 302 et 151 de la classe de sol nu se confondent aux classes de bâti et de culture ; 298, 83, 704 et 37 pixel de la classe de bâti se confondent à la classe de culture. Mais la classe eau n'a pas eu de confusion des pixel. La confusion la plus élevée est celle de la classe de savane (2503 pixel). Enfin l'analyse globale dudit tableau montre que la classe de forêt (36 745) et celle de savane (12 182) présentent des totaux réels plus élevés par rapport aux autres classes de la zone d'étude en 2001. Les plus petits totaux réels sont ceux de la culture (807) et de l'eau (890).

■ Précision de la classification de l'image TIRS 2013

Les résultats de l'analyse de fiabilité sont présentés dans le tableau N°8. Ils montrent pour chacune des classes, le niveau de fiabilité moyen et les principales confusions observées. La OA est de 90,71% et le coefficient de Kappa est de 0,861117. Ce tableau affiche dans la diagonale, les pixels bien placés et les pixels mal placés en hors diagonale.

Tableau 8 : matrice de confusion de la classification de l'image TIRS 2013

2013	Prédiction					
Réalité	Eau	Forêt	Savane	Sol nu	Bâti	Culture
Eau	627	0	0	0	0	0
Forêt	0	23 797	1 904	152	101	54
Savane	0	1 203	18 997	202	151	159
Sol nu	0	49	97	8 003	602	269
Bâti	0	12	28	248	2 593	208
Culture	0	0	4	65	33	74
Total (prédit)	627	25 061	21 030	8 670	3 480	59 632
OA = 88,9%						
Kappa = 0,861117						

Source : traitement de l'image TIRS 2023

La matrice de confusion prouve une bonne classification des différentes classes, en dehors de quelques confusions des pixels entre certaines classes. 1 203, 49 et 112 pixel de la classe des forêts se confondent aux classes de savane, sol nu, bâti et culture ; 1 904, 97, 28 et 4 pixel de la classe de savane se confondent aux classes de sol nu, bâti et culture ; 152, 202, 248 et 65 pixel de la classe de sol nu se confondent aux classes de bâti et de culture ; 101, 151, 602 et 33 pixel de la classe de savane se confondent à la classe de culture. La classe eau n'a pas eu de confusion des pixels. Les confusions les plus élevées sont celles des classes de savane (1 904 pixel) et de forêt (1 203 pixel). Les deux entités se comportent presque de la même manière de par la radiométrie, puisqu'elles ont les mêmes réflectances. Les totaux réels les plus élevés concernent

les classes de forêt (26 008) et de savane (20 712). Quant au petit total réel, il concerne la classe culture (176).

▪ Précision de la classification de l'image TIRS 2023

Les résultats de l'analyse de fiabilité sont présentés dans le tableau N°9. Ils montrent pour chacune des classes, le niveau de fiabilité moyen et les principales confusions observées. La OA est de 95,5% et le coefficient de Kappa est de 0,93. Il affiche dans la diagonale, les pixels bien placés et les pixel non bien placés en hors diagonale.

Tableau 9 : matrice de confusion de la classification de l'image TIRS 2023

2023	Prédiction						
Réalité	Eau	Forêt	Savane	Sol nu	Bâti	Culture	Total réel
Eau	1 209	0	0	0	0	0	1 209
Forêt	0	29 378	867	113	99	166	30 623
Savane	0	623	14 432	227	193	724	15 199
Sol nu	0	7	39	2 301	12	12	2 371
Bâti	0	112	158	297	9 596	55	10 218
Culture	0	0	0	0	0	12	12
Total (prédit)	1 209	30 120	15 496	2 938	9 900	969	59 632
OA = 95,5%							
Kappa = 0,93							

Source : traitement de l'image TIRS 2023

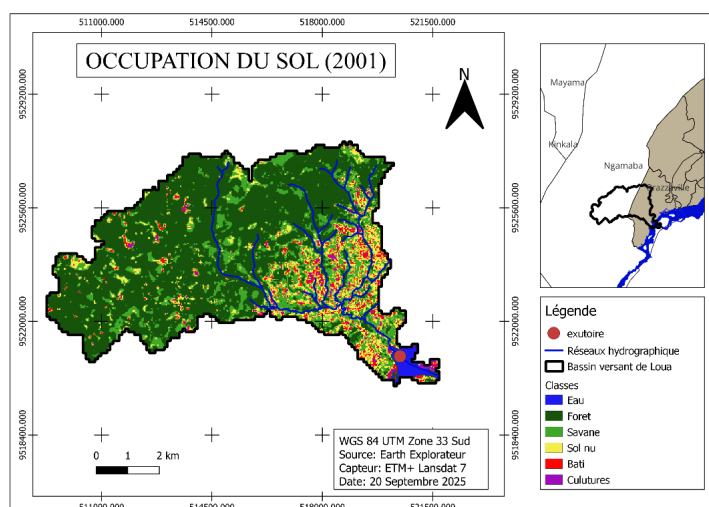
La matrice de confusion prouve une bonne classification des différentes classes, à l'instar de quelques confusions des pixels entre certaines classes. 623, 7 et 112 pixel de la classe des forêts se confondent aux classes de savane, sol nu, bâti et culture ; 867, 39 et 158 pixel de la classe de savane se confondent aux classes de sol nu, bâti et culture ; 113, 227 et 297 pixel de la classe de sol nu se confondent aux classes de bâti et de culture ; enfin 99, 193 et 12 de la classe du bâti se confondent à celles de la culture. La classe eau n'a pas eu confusion des pixels. Les valeurs de confusion les plus élevée concernent les classes de savane, de forêt et de sol nu (867, 724 et 623 pixel). Ces confusions s'expliquent par le fait que les trois entités se comportent du point de vue radiométrique de la même manière, notamment la même réflectance. Enfin que la classe de forêt (30 623), de savane (15 199) et de savane (10 218), présentent des totaux réels plus élevé que les autres classes, tandis que le plus petit total réel est celui des cultures estimées à 12.

2.3. Occupation des sols dans le BV de la Loua

2.3.1. OS du BV de la Loua en 2001

La Figure 3 présente les caractéristiques de l'occupation des sols dans le BV de la Loua en 2001. Au total 4 classes sont représentatives : *Eau*, *Forêt*, *Savane*, *Sol nu*, *Bati* et *Cultures*. La forêt est présente à l'ouest et au nord. Le bâti est concentré au sud et à l'est.

Figure N°3 : Occupation des sols du BV de la Loua en 2001

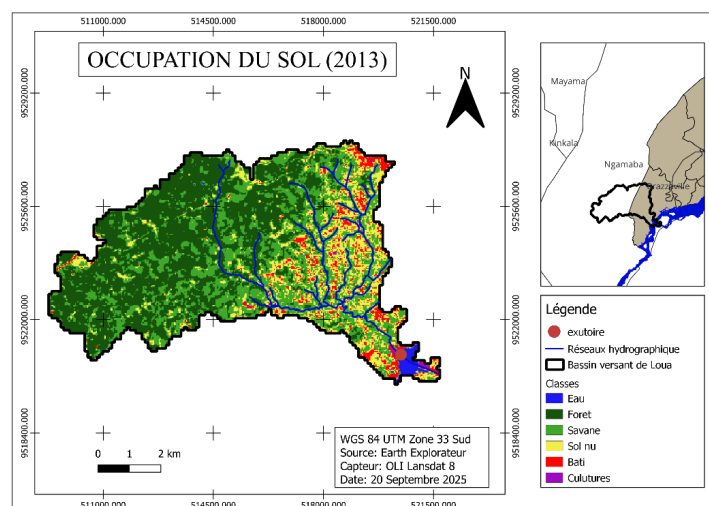


Source : M'bouka Milandou, 2025

2.3.2. OS du BV de la Loua en 2013

La Figure 4 présente les caractéristiques de l'OS dans le BV de la Loua en 2013, avec quatre classes bien distinctes : *Eau*, *Forêt*, *Savane*, *Sol nu*, *Bati* et *Cultures*. Ici le bâti progresse vers le nord-est et la forêt est conservé à l'ouest.

Figure N°4 : Occupation des sols du bassin versant de la Loua en 2013



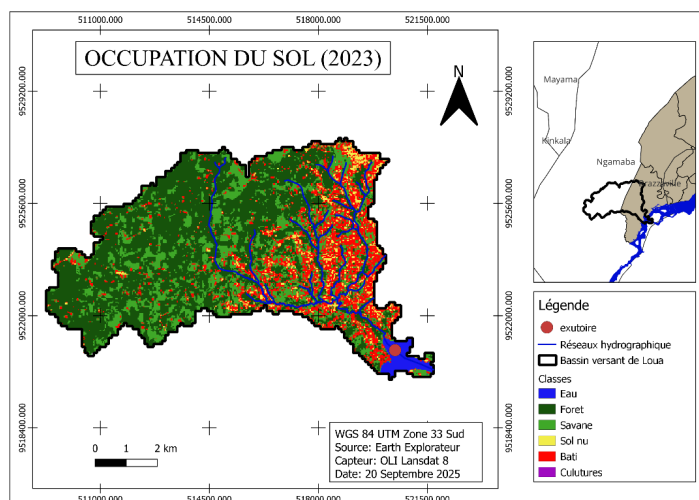
Source : Source : M'bouka Milandou, 2025

2.3.3. OS du BV de la Loua en 2023

La Figure 5 présente les caractéristiques de l'occupation des sols dans le BV de la Loua en 2023, avec quatre classes bien distinctes : *Eau*, *Forêt*, *Savane*, *Sol nu*, *Bati* et *Cultures*. En 2023 la densification du bâti est plus importante par rapport au couvert végétal qui est détruite au

profit de la construction des maisons, des activités anthropiques (agriculture sur brulis, fabrication du charbon de bois, coupe des arbres pour la construction des cases et pour la cuisson, etc.)

Figure N°5 : Occupation des sols du bassin versant de la Loua en 2023



Source : M'bouka Milandou, 2025

2.4. Changements de l'occupation des sols dans le BV de la Loua

Le Tableau 10 consigne les données de changements des surfaces en hectare et en pourcentage des classes d'OS par année.

Tableau N°10: Superficies des classes d'occupation des sols du BV de la Loua en 20 ans

Unité OS	Superficie					
	2001		2013		2023	
	ha	%	ha	%	ha	%
Eau	80,1	1,5	56,43	1,1	108,81	2,0
Forêt	3307,05	61,6	2340,72	43,6	2756,07	51,4
Savane	1096,38	20,4	1864,08	34,7	1367,91	25,5
Sol nu	595,89	11,1	811,8	15,1	213,39	4,0
Bati	217,08	4,0	278,01	5,2	919,62	17,1
Cultures	72,63	1,4	15,84	0,3	1,08	0,0

Eau : EA, Forêt : FO, Savane : SA, Sol nu : SN, Bati : BT, Cultures : CT

Source : données OS 2001, 2013, 2023, traitées par nous

Ces données des classes OS qui illustrent bien la progression, la régression et la stabilité des classes scindés en trois sous-tableaux, pour illustrer (i) le changement de l'OS de 2003 à 2010, (ii) celui de 2013 à 2023 et enfin (iii) le bilan de 2003 à 2023. Ceux-ci afin d'analyser le TC et le TG, puis de produire des graphiques relatifs aux différents changements des classes OS.

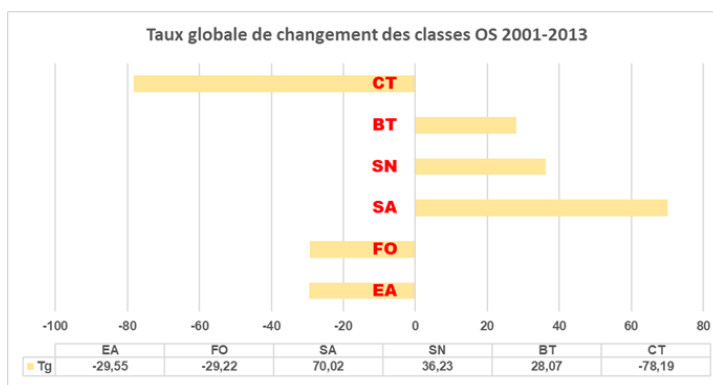
2.4.1. Changement de l'OS de 2001 à 2013 (tableau 11, figure 5)

Tableau 11 : Changement de l'occupation des sols de 2001 -2013

Unité OS	Superficie (ha et %)				Tc (%)	Tg(%)
	2001		2013			
Eau	80,1	1,5	56,43	1,1	-1,15	-29,55
Forêt	3307,05	61,6	2340,72	43,6	-1,15	-29,22
Savane	1096,38	20,4	1864,08	34,7	1,77	70,02
Sol nu	595,89	11,1	811,8	15,1	1,15	36,23
Bati	217,08	4,0	278,01	5,2	0,84	28,07
Cultures	72,63	1,4	15,84	0,3	-8,07	-78,19

Source : données OS 2001-2013, traitées par nous

Figure 6 : Tendance des taux de changement global des classes OS (2001-2013)



Source : données OS 2001-2013, traitées par nous

Le tableau 8 et la Figure 5, présentent les valeurs de T_g et de T_c de certaines classes OS. Pendant cette période, les classes OS qui ont progressé sont : SA (T_g : 70,02%, T_c : 1,77%), SN (T_g : 36,23%, T_c : 1,15%) et BT (T_g : 28,07%, T_c : 0,84%). Les classes OS qui ont régressé sont : CT (T_g : -78,19%, T_c : -8,07 %), FO (T_g : -29,22%, T_c : -1,15%) et EA (T_g : -29,55%, T_c : -1,15%). Cette situation montre bien l'évolution de l'occupation des sols par la progression des classes de SN et de BT en 10 en 13 ans.

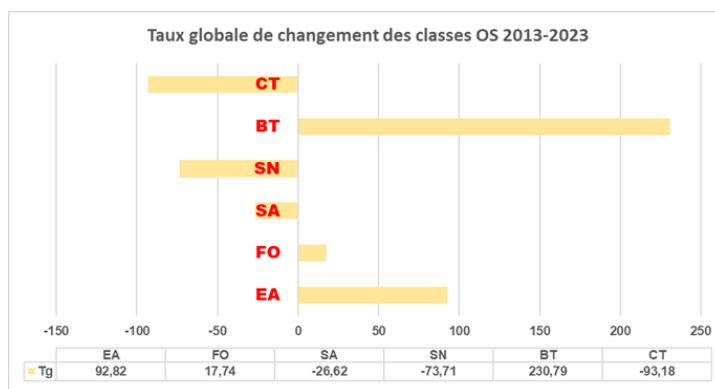
2.4.2. Changement de l'occupation des sols de 2013 à 2023(tableau 12, figure 7)

Tableau 12: Changement de l'occupation des sols de 2013 -2023

Unité OS	Superficie (ha et %)				Tc (%)	Tg(%)
	2013		2023			
Eau	56,43	1,1	108,81	2,0	2,6	92,82
Forêt	2340,72	43,6	2756,07	51,4	0,72	17,74
Savane	1864,08	34,7	1367,91	25,5	-1,27	-26,62
Sol nu	811,8	15,1	213,39	4,0	-5,27	-73,71
Bati	278,01	5,2	919,62	17,1	4,72	230,79
Cultures	15,84	0,3	1,08	0,0	-10,51	-93,18

Source : données OS 2013-2023, traitées par nous

Figure 7: Tendance des taux de changement global des classes OS (2013-2023)



Source : données OS 2013-2023, traitées par nous

Le Tableau 9 et la Figure 6, montrent bien que le T_g et le T_c des classes OS qui ont progressé sont : BT (T_g : 230,79%, T_c : 4,74%), EA (T_g : 92,82%, T_c : 2,6%) et FO (T_g : 17,74%, T_c : 0,72%).

Les classes qui ont régressé sont : CT (T_g : -93,18%, T_c : -10,51%), SN(T_g : -73,71%, T_c : -5,25%) et SA(T_g : -26,62%, T_c : -1,27%). La classe BT a fortement progressé, marquant ainsi une dynamique de l'OS dans le bassin en 10 ans.

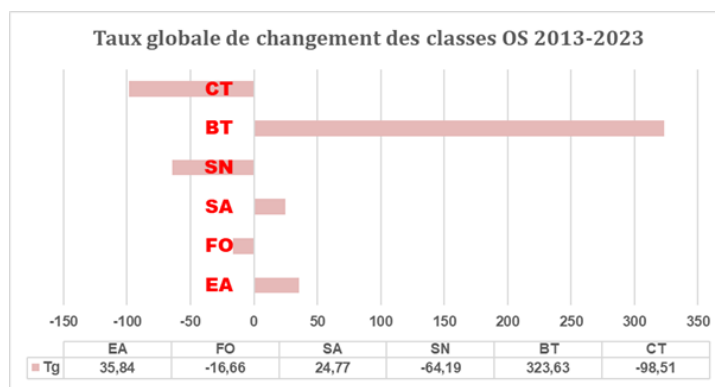
2.4.3. Bilan des changements de l'occupation des sols 2001-2023(tableau 13, figure 8)

Tableau 13 : Changement de l'occupation des sols de 2001 -2023

Unité OS	Superficie (ha et %)				Tc (%)	Tg(%)
	2001		2023			
Eau	80,1	1,5	108,81	2,0	0,56	35,84
Forêt	3307,05	61,6	2756,07	51,4	-0,34	-16,66
Savane	1096,38	20,4	1367,91	25,5	0,39	24,77
Sol nu	595,89	11,1	213,39	4,0	-1,95	-64,19
Bati	217,08	4,0	919,62	17,1	2,73	323,63
Cultures	72.63	1.4	1.08	0.0	-7.94	-98.51

Source : données OS 2001-2023, traitées par nous

Figure 8: Tendance des taux de changement global des classes OS (2001-2023)



Source : données OS 2003-2023, traitées par nous

Le Tableau 10 et la Figure 7, présentent le bilan de l'OS dans le BV de la Loua de 2001 à 2023. Le T_g et le T_c des classes OS qui ont progressé sont : BT (T_g : 323,63%, T_c : 2,73%), EA (T_g : 35,84%, T_c : 0,56%) et SA (T_g : 24,77 %, T_c : 0,39%). Dès lors que le bâti a fortement progressé en 22 ans, cela signifie que la dynamique de l'OS est réelle dans ce bassin. La progression de la savane est négligeable d'autant plus qu'il y a plusieurs concessions acquises par les populations sont soit abandonnées ou bénéficient des travaux de construction, tout en étant colonisées par les herbes. La progression des plans d'eau témoigne simplement de la multiplication des étangs pour la pisciculture. Ces étangs sont connectés à la rivière Loua. Les classes qui ont régressé (FO, SN et CT) marquent également la destruction de la forêt pour les besoins d'espace, le désherbage des terrains pour la construction, mais également dans les parcelles habitées et enfin la diminution des activités agricoles (culture) au profit de l'exploitation des forêts pour le bois de chauffe et la fabrication du charbon de bois.

2.5. Vulnérabilité anthropique du BV de la Loua

2.5.1. Taux d'imperméabilité des sols dans le BV

Les résultats d'évaluation du T_i sont consignés dans le tableau 14.

Tableau 14 : Tendances des taux d'imperméabilité des sols dans le BV (2001-2013-2023)

Paramètre	Année OS		
	2001	2013	2023
Surface BV (ha)	5260	5260	5260
Surface imperméabilisée /BT (ha)	217,08	278,01	919,62
T_i (%)	4,13	5,29	17,48

Source : données OS en 20 ans, traités par nous

Le premier constat est que le T_i des sols du BV de la Loua est en pleine progression et ce en fonction de l'occupation de cet écosystème par l'homme :

- En 2001, le T_i était à 4,13% par rapport à la superficie du BV. Ce qui signifie que le BT était moins dense et les ruissellements faibles. Les eaux de pluies s'infiltraient plus qu'elles ne ruisselaient.
- En 2013, 12 ans après, la situation a évolué. T_i est passé à 5,29% par rapport à la superficie du BV. Le BT a progressé, justifiant ainsi la dynamique des ruissellements et la croissance des risques d'érosion sur les pentes de +4°.
- En 2023, 10 ans après, le T_i a fortement progressé jusqu'à atteindre 17,48%, soit une évolution d'environ 12%. Le BT est dense et occupe les zones autrefois occupées par les forêts et les plans d'eau. Dans ces conditions, les ruissellements deviennent de plus en plus importants que les infiltrations. Les risques d'érosion hydrique sont élevés dans et la présence des ravines et des surcreusements est un indice du début de la manifestation du phénomène, tant dans les zones sablonneuses que les zones argileuses. Dans 5 ans (2030), avec les tendances actuelles de progression du BT dans ce BV, le T_i sera plus important et ipso facto, les risques d'érosion hydrique seront plus importants.

2.5.2. Indice de couverture forestière (K)

Les résultats de l'indice de couverture végétale (K) sont consignés dans le Tableau 15.

Tableau 15 : Indice de couverture forestière dans le BV (2001-2013-2023)

Paramètres	Année OS		
	2001	2013	2023
Surface BV (ha)	5260	5260	5260
FO = Surface de forêt (ha)	3307,05	2340,72	2756,07
K (%)	62,87	44,50	52,39

Source : Données OS 2001-2013-2023 traitées par nous.

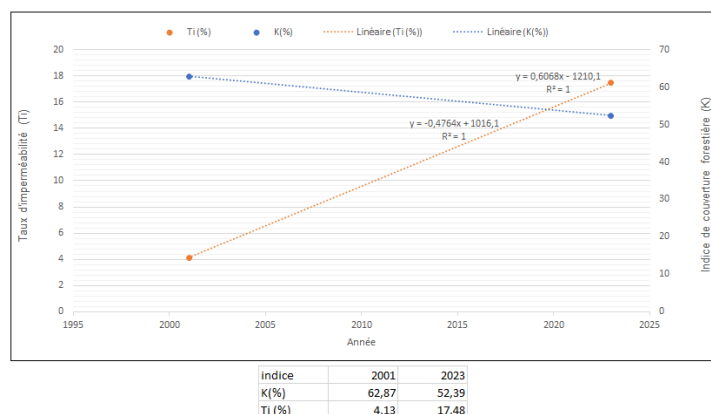
- En 2001, la valeur de K était estimée à 62,87%. Cela prouve à suffisance que les zones de forêts étaient assez conservées, puisque la zone la plus anthropisée se situe le long de la route nationale 1.
- En 2013, cet indice a régressé. Cela signifie la progression du BT et de SN, conditionnés par une anthropisation progressive.
- En 2023, une légère reprise de FO est constatée, puisque K est à 52,39, soit une évolution estimée à 8%. Cela s'explique par une courte période de conflit dans le Pool (2016-2017-2018-2019), qui a poussé la population qui exploitaient les forêts (coupe de bois, fabrication

de charbon de bois, feu de brousse pour l'agriculture et la chasse, etc.) de fuir. Mais de nos jours (2025), avec la redynamisation de l'occupation du sol grâce aux accords de paix dans la région du Pool entre le Gouvernement et l'Armée, la régression de la forêt sera plus importante d'ici 2030 et elle sera remplacé progressivement par les arbres fruitiers et les plantes d'ornement.

2.5.3. Liens entre K et T_i (2001-2023)

La Figure 9 ne présente pas une bonne relation entre la régression de la couverture forestière et la progression du taux d'imperméabilité dans le BV de la Loua, malgré le $R^2 = 1$ pour l'indice K et celui de T_i .

Figure 9 : Lien entre les indices K et T_i de 2001 à 2023



Source : données de K et T_i traitées par nous (2025)

Bien qu'il n'y ait pas une bonne relation entre K et T_i , il est quand même remarquable que les indices se croisent en 2020 et se rapproche en 2025. Cette situation peut s'expliquer par le tandem « Régression FO- Progression BT », après les perturbations pendant la période de crise dans le Pool (2016-2017-2018-2019). On peut dire que dans les années avenir (2030-2040), une bonne corrélation sera observée entre ces deux paramètres.

2.6. Vulnérabilité physique du BV de la Loua

2.6.1. Érosivité des pluies (R) à Brazzaville et ses environs

Les résultats d'analyse des indices R, sont consignés dans le tableau 16.

Tableau 16 : R interannuelles (2003-2013/2014-2023) à Brazzaville et ses environs

Décennie 2003-2013			Décennie 2014-2023		
Période	PmoyI (mm)	R (MJ.mm/ha.h.an)	Période	PmoyI (mm)	R (MJ.mm/ha.h.an)
2003-2004	1286,3	5811,80	2013-2014	1675,5	10069,33
2004-2005	1654,2	9804,16	2014-2015	1198,4	5022,4
2005-2006	1177,2	4841,50	2015-2016	1596,6	9105,73
2006-2007	1135,6	4497,26	2016-2017	1293,7	5881,15
2007-2008	1326	6189,13	2017-2018	1427,50	7213
2008-2009	1364,8	6570,41	2018-2019	1482,70	7805
2009-2010	1701,6	10399,34	2019-2020	1256,90	5541
2010-2011	1642,8	9663,77	2020-2021	1584,50	8962
2011-2012	1539,2	8436,82	2021-2022	1618,90	9373
2012-2013	1329,7	6224,33	2022-2023	1963,30	14017
Moyenne	1415,74	7243,85	Moyenne	1509,8	8298,96

R : indice d'érosivité des pluies, PmoyA : précipitations moyennes interannuelles

Source : données de l'Agence Nationale de l'Aviation Civiles 2021, traitées par nous (2025)

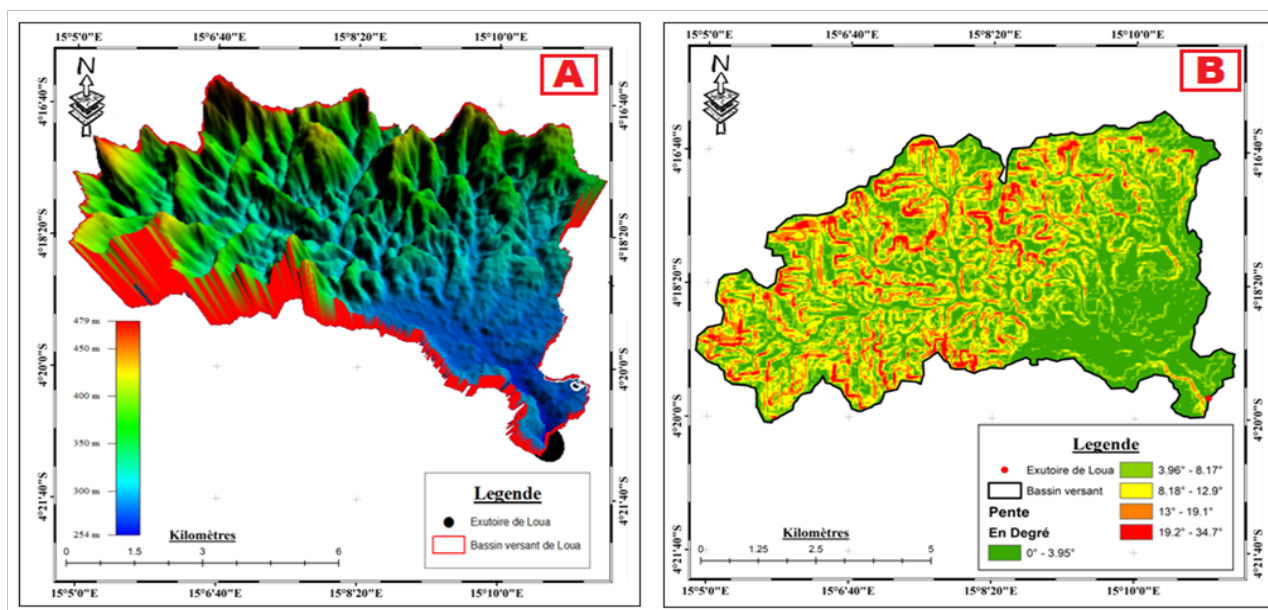
La moyenne des R de la décennie 2003-2013 est estimée à 7243,85 MJ.mm/ha.h.an pour des précipitations moyennes interannuelles de 1415,74 mm. Il est de même pour la décennie 2014-2023, où la moyenne de R est supérieure à celle de la période 2003-2013, soit 8298,98 MJ.mm/ha.h.an. Les deux périodes présentent les valeurs de R largement supérieures à 5000 MJ.mm/ha.h.an exprimant ainsi, une forte érosivité et donc une vulnérabilité très élevée des sols dans ce BV aux phénomènes géomorphologiques.

2.6.2. Caractéristiques du relief du BV

Les Figures 10A et 10B présentant l'altimétrie et les pentes du BV, complétées par les diagrammes des Figures 11A et 11B.

Figure 10A : Carte altimétrique du BV de la Loua en 3D

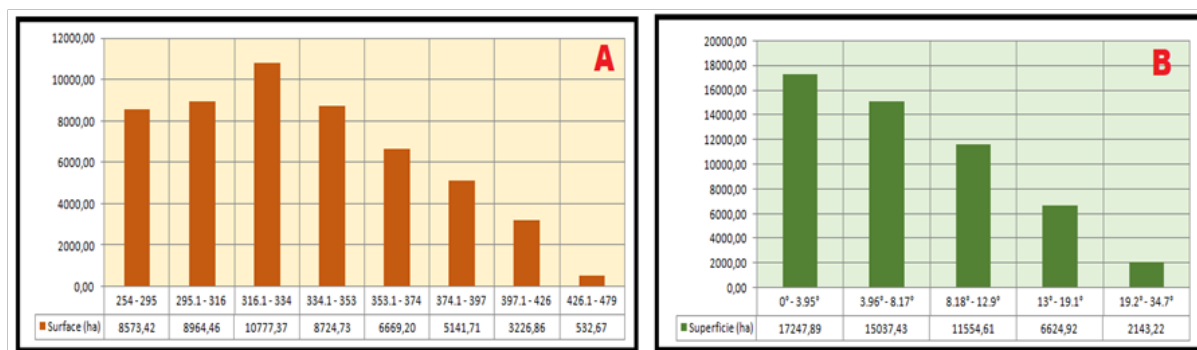
Figure 10B : Carte des pentes en degré du BV de la Loua



Source: données SRTM-DEM, traitées par nous

Figure 11A: Diagramme des classes de pentes en degré du BV de Loua

Figure 11B: Diagramme des classes des valeurs altimétriques du BV de Loua



Source: données SRTM-DEM, traitées par nous

Les altitudes dans le BV de la Loua varient de 250 à près de 480 m. La classe des altitudes qui occupent une plus grande superficie dans le BV est celle de 316-334 m avec près de 10 700 ha et la classe la plus importante en termes d'altitudes, notamment celle de 426 à 480 m, occupe une surface plus faible, soit 533 hectares. Quant aux valeurs des pentes en degré, elles varient de 0 à environ 34° et la classe des pentes qui occupe plus d'espaces dans ce bassin est celle de 0-3° avec près de 17 000 ha. C'est la classe la plus faible. Mais les pentes les plus importantes en termes de raideur, sont repérées dans la classe de 19 -34°. Dans ces conditions, la

vulnérabilité est élevée tant dans les zones sablonneuses compactées par l'homme et dans les zones dominées par les argiles, naturellement peu perméable.

Les conséquences de l'érosion hydrique peuvent être observées (Planche 1). Il s'agit des rigoles piriformes et longitudinales de plus de 100 m pour en moyenne 50 cm, ainsi que des ravines de 2 m de profondeur, souvent en forme de têtard (Photo 1, Planche 1). Certaines avenues sont surcreusées (Photos 2 et 3, Planche 1), de même les fossés creusés par les populations pour canaliser les ruissellements sur les avenues, s'approfondissent de plus en plus, avec des risques de transformation en ravin (Photo 4, Planche 1).

Planche photos 1 - Ravine et surcreusement des avenues et des fossés latéraux



**Photo 1- Ravine en forme de têtard, photos 2 et 3- Avenues surcreusées,
photo 4- Fossé en plein approfondissement par les ruissellements.**

*Photo 1 – Tadpole-shaped gully, photos 2 and 3 – Overcut avenues,
photo 4 – Ditch being deepened by runoff.*

© M'bouka Milandou, 2024

3. Discussion

Le BV de la Loua se caractérise par une forme allongée ($KG : 1,6$) avec un rectangle équivalent très marqué. Dans ces conditions, elle favorise pour une pluie, les faibles débits de pointe de crue, ceci en raison des temps d'acheminement de l'eau à l'exutoire plus importants. Quant à la sinuosité (K_s) estimée à $0,90 \approx 1$, elle exprime la présence des méandres qui caractérisent la rivière Loua. Ceci est dû à la présence des formations géologiques de l'Inkisi, dominées par des argiles, dans lesquelles la rivière a creusé par ablation verticale et rencontre des obstacles dans

son parcours. La classification des images est fiable, puisque les valeurs de OA des 3 années varient de 88,9 à 95,5% et celles du coefficient de kappa se situent entre 0,81 à 1. La quantification de l'OS présente une progression du bâti (Tg : 323,63%) en 22 ans. La forêt (-16,66%) et le sol nu (-64,19%) ont régressés. Le taux d'imperméabilité (Ti) a progressé (4,13 % en 2001 ; 17,48% en 2023). L'indice de couverture forestières (K) est en régression (62,87% en 2001 ; 52,39% en 2023). Cette situation est similaire à Nanga, dans la ville de Pointe-Noire, où la classe de bâti estimée à 5 ha en 2003 à atteint 850 ha en 2023, soit un Tg de 16 900%. Ceci au détriment de la forêt artificielle d'eucalyptus qui avait totalement régressé ou presque disparu avec un Tg de -100% (M'bouka Milandou et Mayima, 2022). La conséquence principale est l'augmentation du taux d'imperméabilité (Ti), estimé à 4,13 % en 2001 et finalement 17,48% en 2023.

En même temps l'indice de couverture forestières (K) est en régression, soit 52,39% en 2023, alors qu'elle était à 62,87% il y a 22 ans. Dans ces conditions les ruissellements sont de plus en plus au détriment des infiltrations. Ces ruissellements sont le résultat d'une agressivité pluviométrique marquée, dont R moyen est estimé à 7243,85 MJ.mm/ha.h.an pour la décennie 2003-2013 et à 8298,96 MJ.mm/ha.h.an pour la décennie 2014-2023. Ces ruissellements influent sur la sensibilité des roches sablonneuses sur les lignes de partage des eaux et les flancs des collines, actuellement en pleine dégradation par l'érosion hydrique. Elles ravinent également les zones argileuses de façon insidieuse. Dans cette zone, l'alternance entre les sables et les argiles de l'Inkisi est importante. A certains endroits les sables dominent à plus de 80% et dans d'autres les argiles atteignent plus de 50% (M'bouka Milandou, Sitou et Samba-Kimbata, 2016). Le caractère insidieux du ravinement dans la zone de transtion et l'exutoire du BV de la Loua est similaire aux processus érosifs dans la ville de Nkayi, au sud du Congo (M'bouka Milandou, Sitou et Nkoyi Nketi, 2024), le risque d'érosion hydrique est toujours important à cause l'imperméabilisation du milieu. Les tendances de l'indice R en fonction des sols, sont presque les mêmes que dans d'autres villes au sud du Congo, notamment à Dolisie, où la moyenne de R en 20 ans (2003-2023) atteint 5941,12 MJ.mm/ha.h.an (Mondzali, 2025), à Pointe-Noire, où le R moyen atteint 7 474,6 MJ.mm/ha.h.an (Idany, 2025). Ces pluies influent sur le relief, dont les altitudes du bassin varient de 250 à près de 480 m, comme c'est le cas dans tout l'arrondissement 8 Madibou (Malonga, 2025). Les pentes sont assez importantes sur les lignes de partage des eaux (19 -34°). Plus on s'éloigne des hauteurs, en direction de la route nationale n°1 et du fleuve Congo, les pentes varient de 0-3°, 3-8° et de 8-12°. Dès lors que ces pentes dépassent 5%, elles sont qualifiées de pentes érosives (M'bouka Milandou, 2022). Cette

vulnérabilité physique du milieu est aggravée par le non-respect des textes d'aménagement le long de la rivière. La Loi n° 6-2019 du 5 mars 2019 portant code de l'urbanisme et de la construction, article 20 et 21, stipule que « *les constructions ou installations sont interdites le long des rives des plans d'eau sur une bande de vingt-cinq mètres (25 m) de largeur à compter de la limite du domaine public fluvial* ». Dans le contexte du BV de la Loua, il a été constaté que son lit est en plein encombrement par les aménagements de l'homme et par les sédiments érodés en amont (Photos 6, 7 et 8, Planche 2).

Planche photos 2 : encombrement de la Loua par l'homme et les sédiments



Photo 5- Encombrement du lit de la Loua par les sédiments,

Photos 6 et 7 - Encombrement du lit de la rivière par les aménagements de l'homme.

Photo 5 - Sediment clogging the Loua riverbed,

Photos 6 and 7 - Human developments clogging the riverbed.

© M'bouka Milandou, 2024

En plus, le lotissement est défaillant. Les ruelles et les avenues sont tracées de façon perpendiculaire aux courbes de niveau, et donc, favorisant ainsi le développement des ruissellements responsables des risques d'érosion. La mauvaise gestion des eaux pluviales demeure également un casse-tête chinois pour l'Etat congolais. Les bassins versants de Brazzaville ne sont pas bien gérés. Ils devraient être mieux exploités pour mieux canaliser les eaux de pluies, dont les exutoires naturels seraient les cours d'eau (Mouanda Lalamba, 2021). Si les ménages ne se dotent pas des dispositifs de gestion des eaux pluviales (gouttières, puits de rétention d'eau, bâches à eaux, etc.). Si une partie des eaux de pluie est retenue par les ménages, même si les voiries urbaines ne sont pas canalisées, les risques de dégradation du milieu seraient moindres (M'bouka Milandou et Mayima, 2022).

Conclusion

Le BV de la Loua a subi un dysfonctionnement physique pendant la période 2001-2023. Ce Ceci était dû à une forte anthropisation du milieu, avec pour conséquences l'imperméabilité du

milieu responsables des ruissellements et de l'érosion hydrique observée de nos jours. Cette situation est amplifiée par les indicateurs de vulnérabilité de l'hydrosystème, à savoir : l'agressivité des pluies à Brazzaville ($R > 5000 \text{ MJ.mm/ha.h.an}$), les fortes pentes ($> 5\%$) avec des formations géologiques dominées par des sables Batékés ($> 50\%$) sur la ligne de partage des eaux et quelques flancs de collines, par les argilites des grès de l'Inkisi ($> 50\%$), dans le reste du bassin. L'occupation des terres est parfois anarchique, puisque la politique de lotissement n'est pas respectée. Il n'y a pas canalisation des voiries urbaines et les populations ne sont pas sensibilisées sur la gestion des eaux pluviales, qui est l'un des goulots d'étranglement de la gestion intégrée des bassins versants en milieu urbain. Si les solutions ne sont pas apportées, ce bassin va de plus en plus se dégrader, avec la perte importante des biens et la destruction des infrastructures de bases et des zones de culture.

BIBLIOGRAPHIE

Assouman S.F., Siélé S., Vanga Adja F. (2022) - Risques hydrométéorologiques et ensablement des grandes vallées de la ville de Korhogo (Côte d'Ivoire), in chapitre 9 de « *Villes et risques hydrométéorologiques en Afrique subsaharienne* », livre collectif sous la direction Miché Simeu-Kamdel, Ibrahim Bouzou Moussa et Ferdinand Vanga Adja, Ed. Harmattan Cameroun, 163-178.

Boudzoumou F. (1986) - The West-Congolian chain and its foreland in Congo: Relation with Mayombien; sedimentology of late Proterozoic age sequences. Thesis, University of Law, Economics and Sciences of Aix-Marseille, Faculty of Sciences and Technics of St-Jérôme, 220 p.

Dadet P. (1969) - Explanatory note of the geological map of Republic of Congo-Brazzaville at 1/50000 (zone between the parallels 2nd and 5th of the South). BRGM thesis, Orléans, 103 p.

Denis B. (1974) - Notice explicative n°52. *Carte pédologique au 1/200 000, Brazzaville-Kinkala*, Rép.Pop. du Congo, ORSTOM, Paris, 101 p.+ 1 carte h.t..

Douay D., Lardie E. (2010) - *Méthodologie de cartographie de la vulnérabilité intrinsèque des captages d'eau superficielle*. ANTEA, GINGER et GALLIGGE / Agence de l'eau Adour Garonne / Ets public de l'état (France). 28 p.

Idany L. E. (2025) - Impacts environnementaux des inondations dans le bassin versant de Tchimani à Pointe –Noire et résilience des populations (République du Congo). Mémoire de fin d'études pour l'obtention d'un Master en Gestion durable des écosystèmes. Université Denis Sasou-N'guesso, République du Congo, 110 p.

Kinga-Mounzeo (1986) - Transport particulaire actuel du fleuve Congo et de quelques affluents; enregistrement quaternaire. Thèse de Doctorat de géologie, Univ de Strasbourg, 246 p.

Kombo Kissangou R., Sitou L., M'bouka Milandou I.A.W. (2018) - Dynamique de l'érosion hydrique dans les quartiers Mansimou et Mayanga au sud de Brazzaville (Congo) : analyse de la perméabilité et de la texture des sols, cubage et cartographie des ravinements. Revue Marocaine de Géomorphologie. N°2, .ISSN: 2508-9382., 36-54.

M'bouka Milandou I.A.W., Mayima A. B., (2022) - Occupation des sols et stagnation des eaux pluviales à Nanga, dans l'Arrondissement 6 Ngoyo à Pointe-Noire (République du Congo) ». Revue scientifique spécialisée en Géographie, Université Jean Lorougnon Guédé, numéro spécial n°002, 97-112.

M'bouka Milandou I.A.W., Sitou L. (2017) - Etude de surcreusement des pistes rurales ou forestières, sur le Plateau des Cataractes: Cas des Routes Koubola - Kibossi et Koubola – Bissinza (République du Congo), European Scientific Journal, Volume 13, N°21 ISSN: 1857 – 7881 (Print) , e - ISSN 1857- 7431, 116-138, URL:<http://dx.doi.org/10.19044/esj.2017.v13n21p116>

M'bouka Milandou I.A.W. (2022) - Contribution à l'évaluation spatio-temporelle des risques hydrométéorologiques sur le plateau de Maya-Maya à Brazzaville (République du Congo), Cinq Continents-Revue de Géographie Roumaine, Roumanie, Volume 12, N°26, ISSN : 2247- 2290, pp.227-249, https://cinqcontinents.geo.unibuc.ro/12_26.html

M'bouka Milandou I.A.W. (2019) - Etude de la dégradation des routes en terre, par l'érosion hydrique, en milieu rural : cas de la sous-préfecture de Goma Tsé-Tsé (Sud du Congo). Thèse pour l'obtention du diplôme de Doctorat, Université Marien Ngouabi, Faculté des Lettres, Arts et Sciences Humaines. 381 p.

M'bouka Milandou I.A.W., SITOU L., N'koyi N'keti A. (2024) - Vulnérabilité à l'érosion hydrique de la commune urbaine de Nkayi dans le département de la Bouenza (République du Congo), *GéoVision : Revue du Laboratoire Africain de Démographie et des Dynamiques Spatiales*, Côte d'Ivoire, Volume 1, N°11, ISSN : 2707-0395, 129-145, , www.revuegeovision.laboraddys.org

M'bouka Milandou I.A.W., Sitou L., Samba-Kimbata M.J. (2016) - Evaluation du ravinement sur la route de Linzolo, dans la Sous-préfecture de Goma tsé-tsé (Congo) entre les périodes 2008-2009 / 2014-2015, *Revue Ivoirienne des Sciences et Technologies*, Côte d'Ivoire, N°28, ISSN 1813-3290, 349 – 366,., <http://www.revist.ci/index.php>

Malonga G. N. (2025) - Télédétection et étude de l'occupation du sol et ses impacts environnementaux à Madibou, Brazzaville (République du Congo). Mémoire de fin d'études pour l'obtention d'un Master en Technologie de l'Information Géospatiale et Télédétection. Université Denis Sasou-N'guessou, République du Congo, 89 p.

Mondzali M.-M. F. (2025) - Occupation du sol et dégradation de l'environnement dans le bassin versant de la Pinaré à Dolisie (République du Congo). Mémoire de fin d'études pour l'obtention d'un Master en Gestion durable des écosystèmes. Université Denis Sasou-N'guessou, République du Congo, 128 p.

Mouanda Lalamba C.-D'a. (2021) - Gestion des eaux pluviales à Brazzaville : cas des quartiers Itsali, Ngambio et Inzouli dans l'Arrondissement 7 M'filou-Ngamaba (République du Congo), mémoire de Master Professionnel, FLASH, Université Marien Ngouabi, 82 p.

Ngot Kongolo J. C. (1992) - Carte géologique de la République du Congo (1/1.000.000).

Renard K. G., Jeremy R. F. (1994) - Using monthly precipitation data to estimate the R factor in the revised USLE, *Journal of Hydrology*, n.°157, 287-306.

Schwartz D. (1987) - Les sols des environs de Brazzaville et leur utilisation. ORSTOM, Pointe-Noire, 21 p.

Sitou L. (2008) - Dynamique et cause de l'érosion dans la périphérie nord de Brazzaville, *La revue AHOHO*, 2, LARDYMES, Repéré à <http://www.lodel.tg.refer.org/ahoho>

Soro, G., Ahoussi, E. K., Kouadio, E. K., Soro, T. D., Oularé, S., Saley, M. B., Soro, N., & Biemi, J. (2014). *Apport de la télédétection à la cartographie de l'évolution spatio-temporelle de la dynamique de l'occupation du sol dans la région des Lacs (Centre de la Côte d'Ivoire)*. *Afrique Science*, 10(3), 146–160. ISSN 1813-548X

Souamy-Legrand J., M'bouka Milandou I.A.W., Ibiassi Mahoungou G., Samba Kimbata M. – J.(2024) - Changement dans l'occupation des terres et de l'état du couvert végétal de la zone de transition entre la Sous-préfecture de Goma tsé-tsé et la ville de Brazzaville (République du Congo), *Revue Africaine de Migration et Environnement (African Review of Migration and Environment)*, Côte d'Ivoire, Volume 8, N°1, p-ISSN: 2664-1232 e-ISSN: 2791-2698, 129-155, , Doi : 10.5281/zenodo.12789751,

World Urbanisation Prospects : *the 2018 revision*

Yumi Furusho C. (2008) - étude du fonctionnement hydrologique d'un bassin versant périurbain : la chézine. Thèse de Master sciences et techniques des environnements urbains : atmosphère, eau et environnements urbains, Diplôme cohabilité par l'École Centrale de Nantes, l'Ecole Nationale Supérieure des Techniques Industrielles et des Mines de Nantes l'Ecole Supérieure d'Architecture de Nantes, l'Université de Nantes, 68 p.