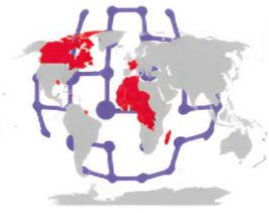


Revue **Francophone**



Occupation du sol et dégradation par l'érosion hydrique du quartier Indzouli, dans le 7^e arrondissement de Brazzaville (Congo)

Land use and degradation due to water erosion in the Indzouli neighbourhood, in the 7th district of Brazzaville (Congo)

Léonard SITOU ^a

^a Université MARIEN N'GOUABI, Faculté des Lettres, Arts et Sciences Humaines (FLASH), Laboratoire de Géographie, Environnement et Aménagement (LAGEA), Brazzaville, République du Congo.

Les auteurs acceptent que cet article reste en libre accès en permanence selon les termes de la licence internationale Creative Commons Attribution 4.0



Résumé

Indzouli est l'un des quartiers de l'arrondissement 7 Mfilou de Brazzaville. L'occupation rapide et sans précaution de son site est responsable d'une érosion hydrique qui affecte et menace cette partie de la capitale congolaise. Ce travail cartographie la dynamique de cette occupation spatiale et analyse cette dégradation ainsi que les facteurs aggravants. Basée sur le traitement de trois images de Landsat (2002, 2012 et 2022), les observations et les mesures sur le terrain, cette étude indique que l'occupation du sol s'est traduite par une importante régression de la végétation (forêt et savanes) dont le taux d'occupation est passé de 64 % à 15,88 %, soit une réduction de 48,12 %, ce qui représente un taux de changement global de 75,18 % entre 2002 et 2022. L'occupation anthropique a progressé de 16 % avec environ 67 ha à 66,5 % à 83 % avec environ 337 ha, soit un Tg de 401,6 %. Le quartier est déjà vulnérable à l'érosion avec des pluies agressives en raison des indices d'érosivité R très élevés, oscillant entre 5308,7 et 13879,2 MJ.mm/ha.h.an ; des pentes qui varient entre 5 % et 12 %, donc favorable aux ruissellements et une texture très affouillable des formations géologiques constituées à environ 92 % de sables et environ 8 % de liants. Cette vulnérabilité est accentuée par le manque de mesures antiérosives sur le terrain. Les solutions à ce phénomène résident par conséquent dans la sensibilisation des populations sur les mesures antiérosives. D'où la nécessité d'étudier leur perception du phénomène afin de bâtir des stratégies de cette sensibilisation.

Mots-clés : Brazzaville, Indzouli, occupation du sol, érosion hydrique, mesures antiérosives.

Abstract

Indzouli is one of the neighbourhoods in Brazzaville's 7th district, Mfilou. The rapid and reckless occupation of its site is responsible for water erosion that affects and threatens this part of the Congolese capital. This study maps the dynamics of this spatial occupation and analyses this degradation and the aggravating factors. Based on the processing of three Landsat images (2002, 2012 and 2022), observations and field measurements, this study indicates that land use has resulted in a significant decline in vegetation (forest and savannah), with the rate of occupation falling from 64% to 15.88%, a reduction of 48.12%, representing an overall change rate of 75.18% between 2002 and 2022. Anthropogenic land use has increased from 16% with approximately 67 ha to 66.5% with approximately 337 ha, representing a Tg of 401.6%. The neighbourhood is already vulnerable to erosion with aggressive rainfall due to very high erosivity indices, ranging from 5,308.7 to 13,879.2 MJ.mm/ha.h.year; slopes that vary between 5% and 12%, which are conducive to runoff, and a highly erodible texture of geological formations consisting of approximately 92% sand and approximately 8% binders. This vulnerability is exacerbated by the lack of anti-erosion measures on the ground. Solutions to this phenomenon therefore lie in raising awareness among populations about anti-erosion measures. Hence the need to study their perception of the phenomenon to develop awareness-raising strategies.

Keywords : Brazzaville, Indzouli, land use, water erosion, anti-erosion measures.

Introduction

Dans les pays en développement en général et en Afrique subsaharienne en particulier, de nombreuses études montrent que l'urbanisation accélérée et souvent non maîtrisée, est responsable des catastrophes naturelles d'ordre morphoclimatique, comme les érosions hydriques et les inondations (P. Ozer, 2014 ; A. Bontianti et C. Babale, 2022).

Au Congo, la croissance démographique relativement élevée s'observe surtout dans les principales villes qui connaissent une expansion démesurée de l'espace, allant jusqu'aux sites dangereusement habitables. Ce qui engendre de nombreux problèmes environnementaux. La ville de Brazzaville est sans doute la plus impactée par les problèmes environnementaux (érosion, ensablement, inondation...), notamment dans les quartiers populaires, moins aménagés et non entretenus (L. Sitou, 2008 ; R. Ngatse et al 2016 ; L. Sitou et al, 2013 ; P. J. Ngazzi, 2017). En effet, la forte augmentation de la population de cette ville a entraîné non seulement la densification des quartiers anciens mais aussi et surtout la création de plusieurs nouveaux quartiers, dont l'occupation s'est faite sans respect des règles cadastrales, prédisposant le site déjà sensible au phénomène érosif. Le quartier Indzouli, dans le 7^{ème} arrondissement de la ville, est l'un de ceux dont l'évolution se fait de pair avec l'accroissement des risques de dégradation du milieu par l'érosion hydrique. Les formes d'érosion présentes sur le terrain préoccupent déjà aussi bien les populations riveraines que les autorités municipales qui ont la responsabilité de trouver des solutions.

Le présent travail cartographie l'occupation du site de ce quartier, de 2002 à 2022, analyse cette dynamique d'occupation spatiale et ses impacts géomorphologiques. Après cette introduction, il s'articule autour, d'une part, de la description du cadre général de la zone d'étude et de l'approche méthodologique et d'autre part, de la présentation et discussion des résultats suivie de la conclusion.

1. Cadre général de la zone d'étude

Le quartier Indzouli est situé dans le 7^{ème} arrondissement (Mfilou) de la ville. Couvrant actuellement une superficie d'environ 4,1 km². Il est limité au nord par le quartier Itsali, au sud par la rivière M'filou et le quartier Kahounga, à l'est par le quartier Ngambio et à l'ouest par le quartier Kiélé Tenard (figure N°1).

Topographiquement le quartier est implanté sur le rebord nord du plateau des cataractes qui occupe le sud de Brazzaville avec une altitude moyenne d'environ 460 mètres. Il s'étend jusque sur le plateau Maya-maya qui s'étend à 150 mètres plus bas, au nord en occupant le long versant

qui sépare les deux surfaces précitées (figure N°2). Le relief est dans l'ensemble assez tourmenté à cause du vallonnement qui affecte les deux plateaux étagés et le talus qui les sépare. Il s'agit donc d'un relief caractérisé par une présence assez marquée des surfaces inclinées favorables aux ruissellements.

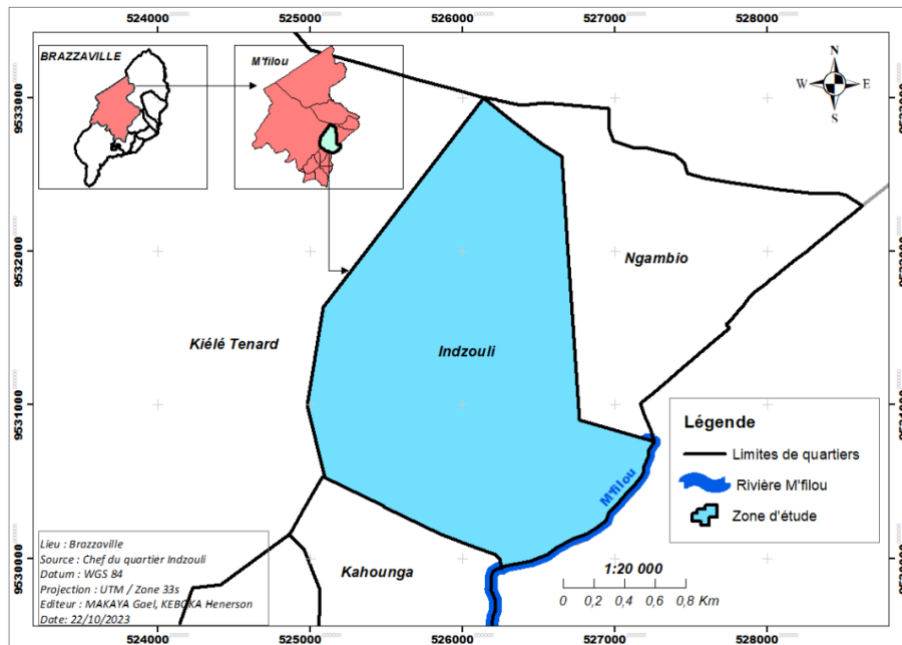


Figure N°1 : Situation et limites de la zone d'étude

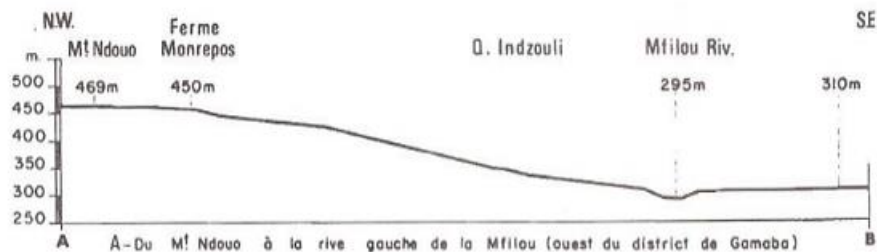


Figure N°2 : Profil topographiques du quartier Indzouli

Source : A. AUGER et P. VENNETIER (1976, p. 228)

Ce relief est taillé dans les formations géologiques de la série des plateaux Batéké, d'âge tertiaire (S. CERAPE, 2012, p. 20). A la base de cette série, on trouve des grès polymorphes (Ba₁), tendres avec des grains fins et très réguliers. Cette couche est surmontée par des sables ocre (Ba₂) d'environ 90 mètres d'épaisseur. C'est sur cette couche sablonneuse que le quartier Indzouli est implanté.

Le quartier Indzouli est sous l'influence du climat bas-congolais, caractérisé par l'alternance d'une saison pluvieuse et d'une saison sèche. La saison humide dure huit mois, d'octobre à mai avec un régime bimodal (figure N°3) et une pluviosité annuelle qui a varié entre 1 200 et un

peu plus de 1 900 mm d'eau de 2000 à 2022 (ANAC, 2024). Cette saison connaît une période de fléchissement des pluies, observée en janvier et février, qualifiée à tort de petite saison sèche (J. M. Samba-Kimbata, 1978). La saison sèche quant à elle s'étend de juin à septembre. Elle est marquée plus en juillet alors que quelques averses sont enregistrées pendant les autres mois, surtout en septembre.

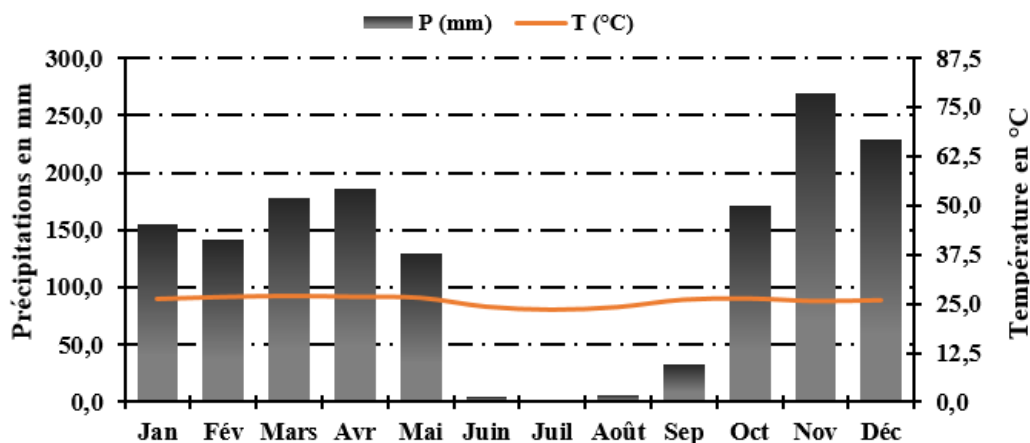


Figure N°3 : Diagramme Ombrothermique de la station de Brazzaville (2000-2022)

Source : Réalisée par l'auteur à partir des données de l'ANAC

Les formations végétales initiales de la zone d'étude sont prédominées par des savanes herbacées et arbustives. La strate herbacée est essentiellement constituée d'*hypparrhenia diplandra*, alors que espèces ligneuses sont dominées par l'*Anona arenaria* et l'*hymenocadia acida*. L'état actuel de cette végétation est la conséquence de l'occupation humaine qui s'est faite progressivement depuis les années 70 et qui a remplacé la savane par des arbres fruitiers et des plantes d'ornement de divers types.

2. Approche méthodologique

L'étude a porté, d'une part, sur la quantification de l'occupation des sols et d'autre part, sur l'évaluation des facteurs explicatifs.

2.1. Quantification de l'occupation des sols

L'étude de la dynamique de l'occupation du sol a été réalisée par la télédétection à travers une analyse diachronique de trois (3) images provenant de 2 capteurs de la série Landsat : ETM+7 (Enhanced Thematic Mapper Plus) pour les années 2002 et 2012 et OLI pour l'année 2022 dont les caractéristiques sont résumées dans le tableau N°1. Le choix de ces images fournies gratuitement par l'USGS Earth Explorer est basé sur leur disponibilité, leur qualité ainsi que sur leur bonne résolution spectrale (7 bandes pour le capteur ETM+ contre 10 pour le capteur OLI) permettant de caractériser les paysages au sol de 1200 m² et 900 m².

Tableau N°1 : Caractéristiques des capteurs Landsat et bandes utilisés

Satellites	Capteurs	Référence	Date d'acquisition	Résolution spatiale	Bandes
Landsat 7	EMT +	Path190W50	30/06/2002	30 m	2,3,4
Landsat 7	EMT +	Path190W61	02/06/2012	30 m	2,3,4
Landsat 8	OLI/TIRS	Path160Row37	11/06/2022	30 m	2,3,4

Les opérations de prétraitement ont consisté à préparer les images pour les principales analyses thématiques et l'extraction des informations utiles à l'atteinte des objectifs de l'étude.

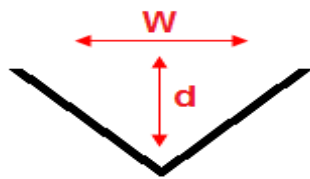
Toutes les images utilisées dans le cadre de cette étude ont été ainsi préalablement géoréférencées (Projection UTM, Zone 33 S correspondant au quartier Indzouli). En outre pour avoir une image multi spectrale unique, les images Landsat acquises sous forme de bandes individuelles en niveau de gris au format Géotiff de l'USGS (*United States Geological Survey*), ont été compilées. Une composition RVB (Rouge-Vert-Bleu) en fausses couleurs a ainsi été réalisée à partir de trois bandes (bande 4 ou Proche Infra Rouge, bande 3 ou Rouge et bande 2 ou Verte) pour chacune des quatre années de référence dans l'ordre 4-3-2, suivie d'un rehaussement linéaire à 2 % du contraste pour améliorer la qualité visuelle de l'image à l'écran. Pour s'assurer d'une certaine homogénéité dans le traitement, un nettoyage de l'image de 2002, 2012 et 2022 à 30 m de résolution spectrale a été appliqué en utilisant l'algorithme du plus proche voisin « *Fill gaps* » sous ENVI 4.7.

La définition des zones d'entraînement ou régions d'intérêt (ROI) a été effectuée sur le logiciel QGIS. L'observation des différences implique la comparaison entre différentes images en se basant sur une combinaison des caractéristiques suivantes : ton, forme, taille et texture (H. B. Goma Boumba, 2020, p. 48). Les informations spectrales et spatiales ont permis de définir les classes d'occupation du sol.

La classification supervisée ou dirigée des images, à partir de l'algorithme de « maximum de vraisemblance » a permis de différencier cinq (5) classes qui se présentent comme suit : (1) forêt, (2) savane herbeuse et arbustive, (3) sol nu, (4) bâti concentré, (5) bâti dispersé. Ces données ont permis de réaliser trois cartes d'occupation du sol (2002, 2012 et 2022) à partir des logiciels Qgis et ArcGis 10.1. Sur la carte de 2002, deux classes se sont ajoutées sur l'image Landsat. Il s'agit de la classe des zones brûlées par les feux de brousse et celle des sols sableux. Les données humaines sur l'évolution numérique de la population ont été aussi analysées pour appuyer l'étude de l'occupation de l'espace. Pour ce faire, nous avons utilisé les données des RGPH de 2007 et 2023 pour suivre cette évolution numérique et la densité de la population dans cette zone.

2.2. Quantification de l'érosion hydrique

La quantification de l'érosion a été faite par la méthode de cubage qui a été réalisée sur deux ravins. L'opération a été effectuée in situ avec l'utilisation des instruments classiques tels que le télémètre, la ficèle, le double décimètre qui ont permis de prendre des mesures sur les diverses dimensions des ravins (largeurs, longueurs et profondeurs des ravins). Toutes ces données ont permis d'évaluer, non seulement le volume de vide créé au niveau de chaque ravin mais aussi la quantité de terre emportée. Les ravins cubés ayant tous la même forme (triangulaire), l'équation utilisée se présente comme suit :



$$\text{Aire d'une section : } A = \frac{w \times d}{2}$$

Calcul du volume du vide :

$$V = \sum A \times L \text{ ou } V = (A_1 + A_2 + A_3 + \dots + A_n) \times L$$

Où W : largeur moyenne supérieure (m) ; d : profondeur (m) ; A : aire (m²)

Figure N°4 : Coupe transversale d'une section ravinante en triangle

Les volumes totaux des ravinements ont été évalués en suivant le modèle utilisé par H. A. Katz, M. Daniel et S. Ryan, 2013, p. 5, schématisé dans la figure N°5. Ce modèle consiste à insérer le coefficient (β) en tenant compte de la morphologie générale du ravinement.

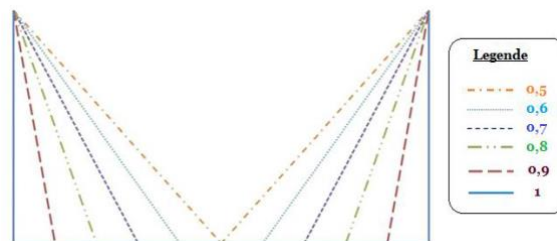


Figure N°5 : Association des coefficients (β) avec les morphologies

Le principe est de multiplier le coefficient (β) se trouvant à la légende qui correspond à la forme générale du ravinement par le volume total de la forme d'érosion évaluée. Ainsi, la formule se présente comme suit : $V = \beta \times \Sigma A \times L$ ou $V = \beta \times (A_1 + A_2 + A_3 + \dots + A_n) \times L$

2.3. Evaluation des facteurs explicatifs

2.3.1. L'agressivité pluviométrique

L'agressivité des pluies a été appréciée à travers l'indice d'érosivité des pluies ou du facteur R, qui traduit la puissance érosive d'une pluie vis-à-vis du sol. La formule utilisée pour le calcul de cet indice est celle simplifiée de K. G. Renard et J. R. Freinmund (1994) qui ne s'applique qu'aux zones ou régions où les hauteurs moyennes annuelles des pluies sont supérieures à 850 mm comme dans la zone d'étude. Cette formule est la suivante :

$$R = 587,8 - 1,219 P + 0,004105 P^2$$

Avec : R : paramètre d'érosivité (MJ.mm/ha.h.an) ; P : précipitation annuelle (mm)

Le tableau de classification de D. Douay et E. Lardieg, 2010, p. 13 (tableau N°2), a été utilisé pour l'analyse des résultats obtenus.

Tableau N°2 : Classes des indices d'érosivité (R) des pluies

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

Source : D. Douay & E. Lardieg (2010)

2.3.2. Evaluation de la sensibilité des sols

La sensibilité des sols a été appréciée à travers leur texture déterminée par la granulométrie qui a été effectuée au laboratoire du Centre de Recherches Géologiques et Minières (C.R.G.M) de Brazzaville, par la méthode de tamisage. Le dosage de la matière organique a aussi été réalisé dans le même laboratoire par la méthode de perte au feu (PAF). C'est le cas de l'évaluation de la densité apparente. Au total 4 échantillons ont été traités au laboratoire. Ils ont été prélevés sur les parois de deux ravins à 50 et 100 cm de profondeur.

Les résultats des analyses granulométriques ont été, par la suite, réévalués à travers le triangle textural USDA de R.B. Brown (figure N°6), après avoir écarté la matière organique.

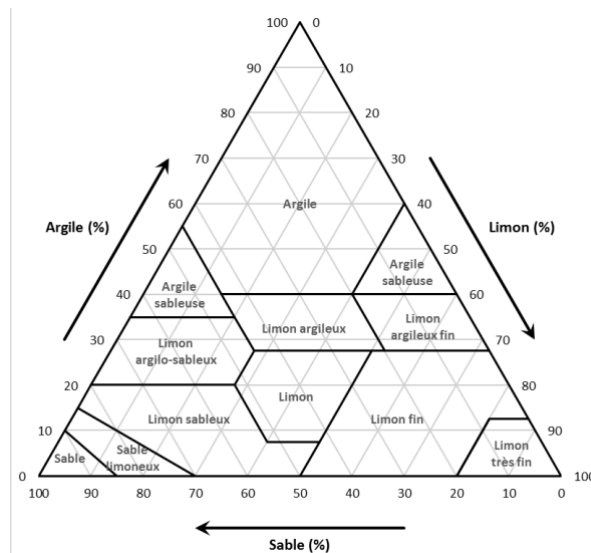


Figure N°6 : Triangle des textures selon USDA

Source : R.B. Brown (2003)

2.3.3. Evaluation de la sensibilité des pentes

La sensibilité des pentes a été analysée à partir d'une carte de la zone d'étude réalisée avec le logiciel QGIS 3.20. Le Modèle Numérique de Terrain (MNT) a permis de générer les classes de

pentés et de réaliser des profils topographiques de deux axes routiers situés sur les versants. Le MNT a permis de calculer directement les pentes moyennes des profils.

Le logiciel Excel a été utilisé pour le traitement des données et la réalisation des différents graphiques utilisés dans cette étude.

3. Résultats et discussion

3.1. Résultats

3.1.1. Dynamique de l'occupation de 2002, 2012 et 2022

La classification qui a été réalisée, est justifiée par l'indice de Kappa, dont les valeurs sont comprises entre 95 % et 99 %. On peut conclure que les résultats de cette analyse sont statistiquement bonnes. D'après R. G. PONTIUS (2000), pour une analyse d'image dont la valeur de Kappa est supérieure à 50 %, les résultats sont bons et par conséquent exploitables.

Les figures N°7, 8 et 9 ci-après présentent les cartes d'occupation de sol d'Indzouli de 2002, 2012 et 2022. Elles montrent l'évolution de l'occupation de l'espace au cours de cette période de 20 ans. Elles révèlent un accroissement progressif de la colonisation du milieu par l'homme au détriment des formations végétales.

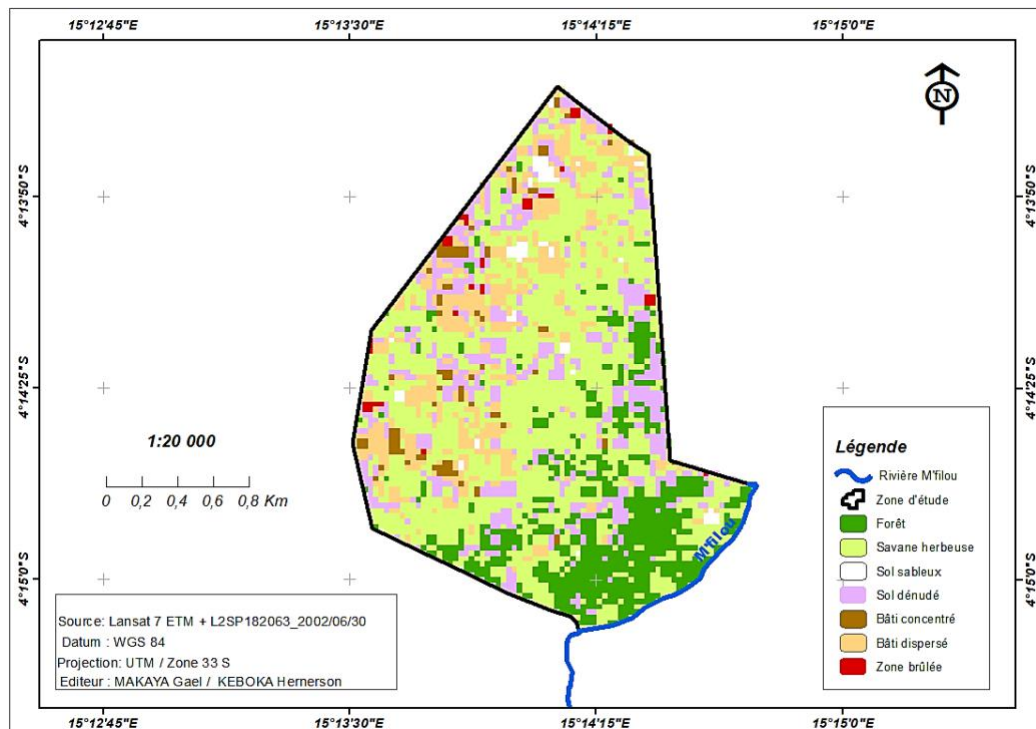


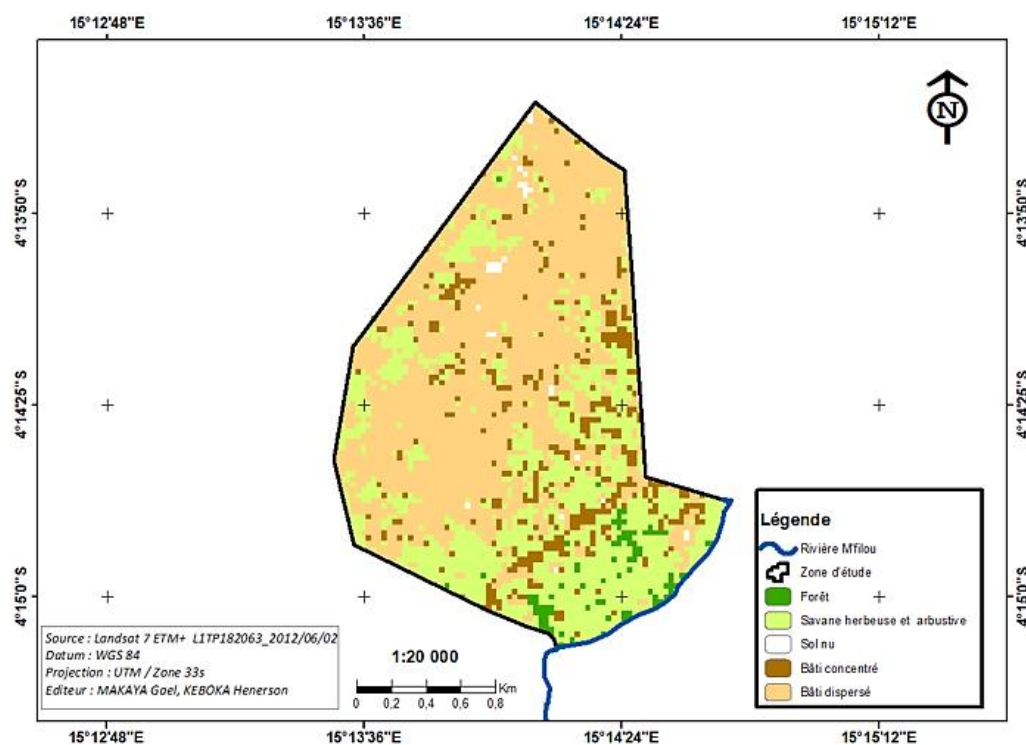
Figure N°7 : Carte d'occupation du sol de 2002

Tableau N°3 : Evolution spatiale des différentes unités étudiées de 2002

Occupations	Surface (m2)	Superficies (ha)	Taux de couverture (%)
Forêt	682295	68,22	16,79826181155674
Savane herbeuse et arbustive	1917060	191,74	47,19846369746658
Sol sableux	60000	6,00	1,477213974444198
Sol nu ou dénudé	692183	69,21	17,04170667454514
Bâti concentré	88096	8,80	2,168944038210601
Bâti dispersé	584311	58,43	14,38587291035773
Zone brûlée	37755	3,77	0,9295368934190117
Total	4061700	406,17	100

Source : Réalisé par l'auteur

En effet, l'observation et l'analyse de la figure N°7 montre que jusqu'en 2002, la végétation (la forêt et la savane) s'étendait depuis le bas plateau de Maya-maya, notamment depuis la vallée de la rivière Mfilou jusque sur le talus qui sépare ce plateau de celui des cataractes. Elle occupait alors 259, 96 ha soit près de 64 % de la superficie totale (tableau N°3).

**Figure N°8 : Carte d'occupation du sol de 2012****Tableau 4: Evolution spatiale des différentes unités étudiées de 2012**

Occupations	Surface (m2)	Superficies (ha)	Taux de couverture (%)
Forêt	84600	8,46	2,082871704
Savane herbeuse et arbustive	1342800	134,28	33,06004875
Sol nu	26100	2,61	0,642588079
bâti concentré	385200	38,52	9,483713716
Bâti dispersé	2223000	222,3	54,73077775
total	4061700	406,17	100

Source : Réalisé par l'auteur

La figure N°8 ci-dessus montre qu'en 2012, soit 10 ans après, la végétation (la forêt et savane) a perdu environ 117,22 ha et représentait 29,86 % de la superficie (tableau N°4). Mais il importe de relever que la destruction de la végétation du plateau Maya-Maya n'a pas été seulement l'œuvre des populations riveraines mais aussi des populations venues d'autres quartiers voire d'autres arrondissements. C'est ce qui justifie le fait que la disparition importante de la végétation durant ces 10 années, sur ce plateau ne s'est pas faite de pair avec la concentration du bâti (figure N°8).

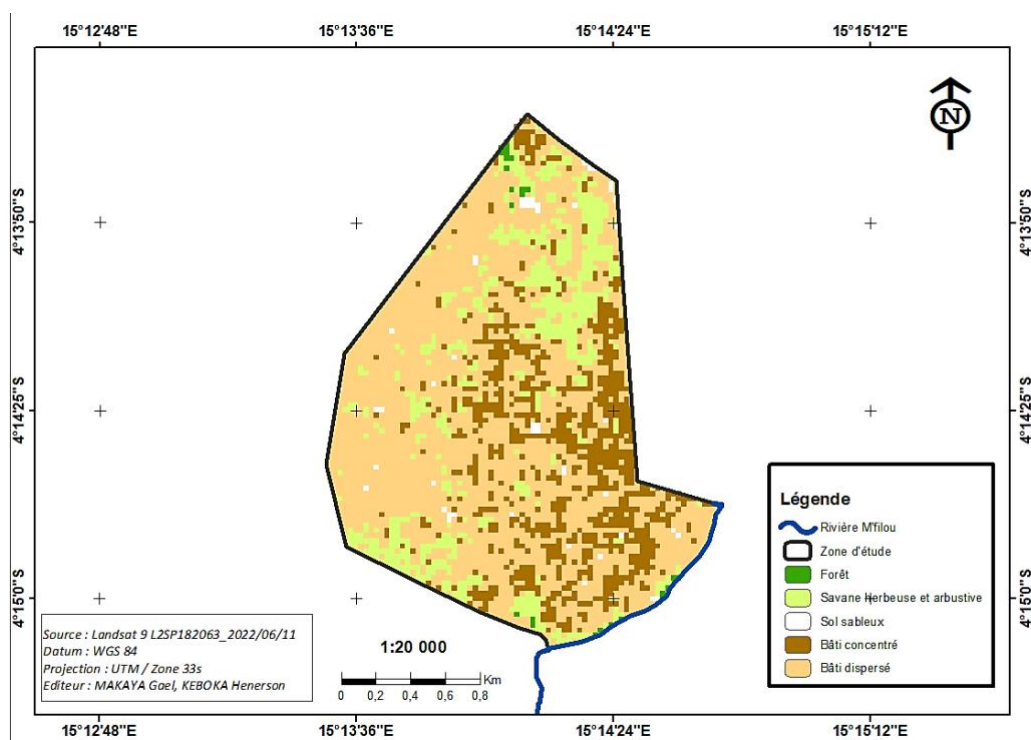


Figure N°9 : Carte d'occupation du sol de 2022

Tableau N°5 : Evolution spatiale des différentes unités étudiées de 2022

Occupations	Surface (m2)	Superficies (ha)	Taux de couverture (%)
Forêt	22500	2,25	0,55395524
savane herbeuse et arbustive	622800	62,28	15,33348105
sol nu	44100	4,41	1,085752271
bati concentré	805500	80,55	19,83159761
bati dispersé	2566800	256,68	63,19521383
Total	4061700	406,17	100

Source : Réalisé par l'auteur

L'analyse de la figure N°9 montre qu'entre 2012 et 2022, la forêt a disparu presque totalement, pour n'occuper qu'une surface de 2,25 ha, soit moins de 1 % de la superficie totale, juste durant les 10 premières années que la savane a perdu plus de la moitié de sa superficie (tableau N°5). Cette progression plus rapide s'explique par le fait que le talus et le plateau des cataractes qui

sont ses principales zones d'occupation ont été assez rapidement occupés par l'homme, comme en témoigne le bâti qui s'est nettement densifié (figure N°9).

Tableau N°6 : Synthèse de l'évolution spatiale des différentes unités étudiées de 2002-2022

Année		2002		2012		2022	
Surface d'occupation		ha	%	ha	%	ha	%
Types d'occupation	FO	68,22	16,8	8,46	2,1	2,25	0,55
	SA	191,74	47,20	134,28	33,1	62,28	15,33
	SS	6,00	1,48				
	SN	69,21	17,04	2,61	0,6	4,41	1,09
	BC	8,80	2,17	38,52	9,5	80,55	19,83
	BD	58,43	14,38	222,3	54,7	256,68	63,20
	ZB	3,77	0,93				
Total		406,17	100	406,17	100	406,17	100

Avec FO : Forêt ; SA : Savane ; SS : Sol sableux ; SN : Sol nu ;

Tg : Taux de changement global ; BC : Bâti concentré ; BD : Bâti dispersé ; ZB : Zone brûlée

Tableau N°7 : Evolution des formations végétales et des bâtis de 2002 à 2022

Année		2002		2012		2022		Progression 2002-2022			Régression 2002-2022		
Surface d'occupation		ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	Tg %	ha	%	Tg %
Types d'occupation	FO	259,96	64	142,74	35,14	64,53	15,88				-195,4	48,12	75,18
	SA												
	BC	67,23	16,55	260,82	64,21	337,2	83,02	270	66,5	401,2			
	BD												

Avec FO : Forêt ; SA : Savane ; SN : Sol nu ;

Tg : Taux de changement global ; BC : Bâti concentré ; BD : Bâti dispersé.

En somme en 20 ans, de 2002 à 2022 (tableaux N°6 et N°7), les formations végétales ont perdu plus de 195 ha, soit une régression de 48 % par rapport à la superficie de la zone d'étude, ce qui représente un peu plus de 75 % de taux de changement global. La régression de l'espace occupé par la forêt et les savanes s'est faite en faveur des aires résidentielles, qui ont progressé spatialement. Au cours de la même période, les surfaces occupées par l'homme ont progressé de 270 ha et représentent un peu plus de 66 % de la superficie du quartier. Cette occupation anthropique s'accompagne malheureusement d'une dégradation du milieu par des phénomènes géomorphologiques.

3.1.2. Dégradation du site par l'érosion hydrique

Le quartier Indzouli fait déjà l'objet d'une dégradation inquiétante par des phénomènes géomorphologiques, parmi lesquels domine l'érosion hydrique. En effet, le quartier est en proie à plusieurs formes d'érosion hydrique. Les photos 1, 2, 3 et 4 illustrent quelques impacts de ce phénomène sur le site. L'érosion est aussi bien décapante avec le déchaussement des fondations des maisons et des arbres que ravinante avec le ravinement des voiries urbaines.

Planche N°1 : Impacts du phénomène érosif dans le quartier Indzouli

Photo 1 : Déchaussement de la fondation d'une maison construite dans le sens de la pente et chute du mur ;

Photo 2 : Déchaussement de la fondation et transport progressif des particules par ruissellement diffus ;

Photo 3 : Déchaussement d'un arbre en proie aux ruissellements diffus ; **Photo 4** : Ravin sur l'avenue Transfo

Source : L. Sitou, 2024

Les données relatives à cette quantification, consignées dans le tableau N°8 ci-dessous montrent l'ampleur déjà atteinte par le ravinement avec une longueur moyenne de 118 mètres, une largeur moyenne d'un peu plus de 11 mètres, une surface totale occupée d'environ 58 m², pour un volume de vide de près de 3500 m³. Avec une densité apparente de 1,6 g/cm³, les pertes totales en terre sont évaluées à environ 5597,43 tonnes (tableau N°5).

Tableau N°8 : Volume et quantité des terres perdues par ravin

Code ravin	Forme du ravin	β	L (m)	l (m)	S (m ²)	P (m)	V (m ³)	Da (g/cm ³)	P(T)	Coord. Géo.
Rav. 1	V	0,5	148,6	12,59	31,72	5,07	2357,30	1,6	3771,68	- 4,2387° S 15,2287° E
Rav. 2	V	0,5	87,4	10,2	26,11	5,12	1141,09	1,6	1825,75	-4,2343° S 15,2372° E
Moyenne			118	11,40	28,9	5,09	1749,2		2798,7	
TOTAUX			236	22,79	57,83	10,19	3498,39		5597,43	

Source : Léonard Sitou (2023)

Comme on peut le constater sur les différentes photos de la planche N°1, l'érosion est déjà responsable de la destruction des habitations, des voiries urbaines, des poteaux électriques ainsi que des tuyaux d'adduction d'eau. On assiste déjà à l'isolement de certaines zones rendues inaccessibles par véhicules, à l'obstruction des voies et caniveaux situés en aval, dans les zones de sédimentation, ainsi qu'à l'ensevelissement des maisons.

Ainsi, l'occupation anthropique rapide de cette zone a engendré une dégradation des sites occupés. Mais cette zone qui a été occupée a des caractéristiques physiques qui la rendent vulnérable et favorisent cette dynamique érosive.

3.1.3. Facteurs explicatifs

La dynamique érosive du quartier Indzouli est favorisée par plusieurs paramètres tant naturels qu'anthropiques. L'agressivité pluviométrique, la fragilité des sols, la sensibilité des pentes sont les principaux paramètres du milieu naturel qui amplifient cette érosion.

- **L'agressivité pluviométrique**

L'agressivité pluviométrique dans la zone d'étude a été évaluée avec l'indice d'érosivité R. Le tableau N°9 et la figure N°10 présentent les précipitations de 2013 à 2022 et les classes d'indice d'érosivité de la pluie de la ville de Brazzaville dans laquelle on trouve la zone d'étude.

Tableau N°9 : Précipitations et érosivité annuelle entre 2013 et 2022 à la station de Maya-Maya

Années	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	Moy.
P (mm)	1669,6	1231,1	1356,4	1794,9	1558,3	1514	1633,1	1954	1536,5	1698	1594,6
R (MJ·mm·ha ⁻¹ ·h ⁻¹ ·an ⁻¹)	9995,5	5308,7	6486,8	11624,8	8656,4	8151,7	9545,2	13879,2	8406,0	10353,5	9240,8

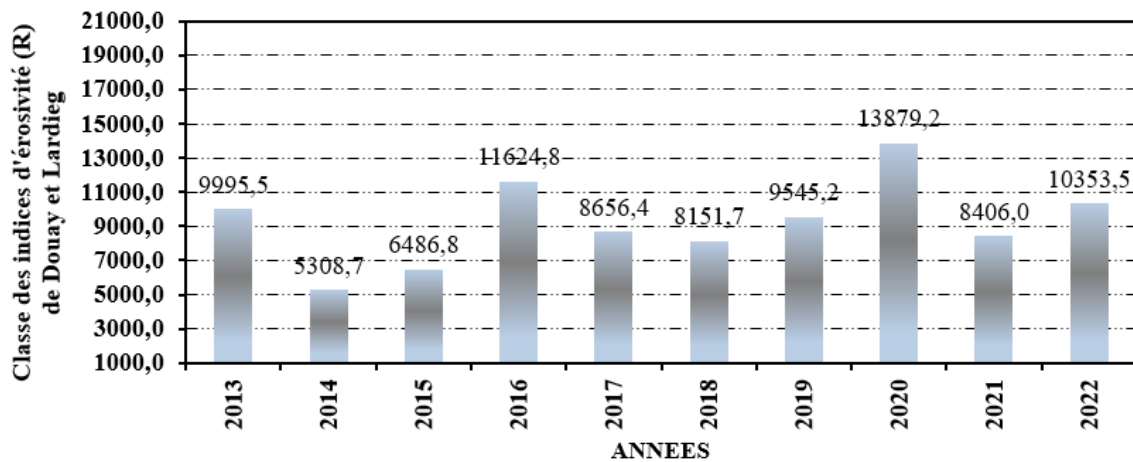


Figure N°10 : Indice d'érosivité (R) à Brazzaville

Source : Données traitées par l'auteur avec les données de l'ANAC

Bien que variant d'une année à l'autre en fonction de la pluviosité annuelle enregistrée, les indices d'érosivité de la zone d'étude sont supérieurs à 5 000 MJ·mm·ha⁻¹·h⁻¹·an⁻¹, durant toute la période d'étude. Selon la classification de D. Douay & E. Lardieg (2010), présentée dans la méthodologie, Brazzaville se situe, de ce fait, dans une zone de forte érosivité des pluies avec cinq années sur dix qui ont presque le double de ce seuil et trois qui dépassent ce double, notamment l'année 2020 qui approche le triple de ce seuil avec un indice de 13 879 MJ·mm·ha⁻¹·h⁻¹·an⁻¹ (figure N°10). Cette érosivité élevée confère au milieu une grande vulnérabilité. Mais si la pluie est le principal agent de l'érosion, celle-ci est largement accentuée par d'autres facteurs telle que la fragilité des sols.

- **La vulnérabilité des sols**

Le tableau N°10 ci-après contient les résultats des analyses granulométriques et de la matière organique réalisées sur les échantillons des sols prélevés sur le terrain, sur les parois de deux ravins.

Tableau N°10 : Texture et Matière organique des sols du quartier Indzouli

Sites	Profondeur (cm)	Texture (%)					MO (%)
		SF	SG	LF	LG	A	
Ravin 1	50	48,5	46	1,2	1	1,9	1,4
	100	42,9	49,2	1,2	1	1,9	3,8
Ravin 2	50	40,3	53,2	1,3	0,8	1,9	2,5
	100	43,1	46,8	1,1	0,7	2,1	6,2
Moyennes spécifiques		43,7	48,8	1,2	0,9	1,95	3,5
Totaux moyens		92,5		2,1		1,95	3,5

Source : Données obtenues au laboratoire, 2023

La granulométrie de la zone d'étude montre que la vulnérabilité des sols est d'abord consécutive à leur nature sablonneuse (tableaux N°10 et 11). En effet, les formations superficielles sont largement dominées par les sables avec une moyenne de près de 93 % et un taux très faible de limons d'environ 2,1 %. Les argiles et la matière organique considérés comme les principaux colloïdes atteignent ensemble à peine 5,5 %, avec respectivement 1,95 % et 3,5 %. La faible teneur en colloïdes indique une faible cohésion dans les sols qui sont de ce fait très affouillables par les agents de l'érosion.

Tableau N°11 : Moyennes texturales des sols réévaluées

Texture	Sables	Limons	Argile	Totaux (%)
Moyennes texturales obtenues au laboratoire	92,5	2,1	1,95	96,55
Moyennes texturales réévaluées	94,1	3,1	2,5	100

Source : Données obtenues de laboratoire, modifiées par l'auteur

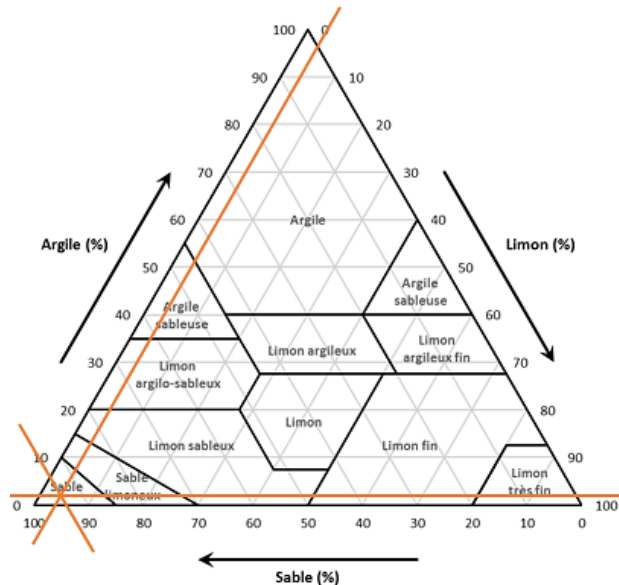


Figure N°11 : Triangle textural des sols des sites de prélèvement

La réévaluation de la texture faite à partir du triangle textural (figure N°11) confirme bien la dominance sableuse des formations et donc la fragilité des sols (tableau N°11). Il est certes vrai que cette texture confère à ces formations pédogéologiques une grande perméabilité et un caractère non battant, deux paramètres favorisant les infiltrations au détriment des

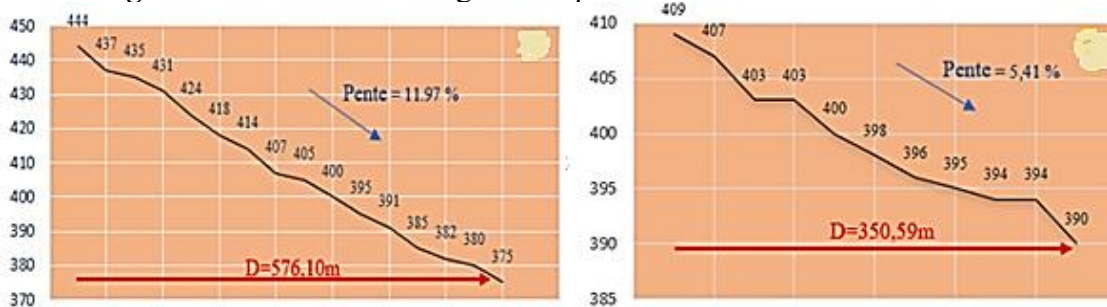
ruissellements qui sont les principaux agents du ravinement, mais à cause de la pluviométrie abondante, les sols sont souvent saturés et favorisent les ruissellements qui sont amplifiés par la présence des surfaces inclinées.

- **La sensibilité des pentes**

Les figures N°12 et N°13 donnent un bref aperçu de la nature des pentes occupées par l'homme. En effet, l'étude du profil topographique de l'avenue du Transfo et de celle dénommée « deuxième dalle » indique qu'il s'agit des versants assez inclinés mais surtout très allongés.

Figure N°12 : Valeur et longueur de la pente de l'avenue du transfo ;

Figure N°13 : Valeur et longueur de pente de l'avenue deuxième dalle



Ces deux principales avenues de la zone d'étude, ont des valeurs respectives de près de 12 % et d'un peu plus de 5 %, avec des longueurs de 576 mètres et de près de 351 mètres. L'inclinaison est suffisante pour donner de la vitesse aux ruissellements mais c'est surtout la longueur des versants qui rend ces versants très vulnérables aux risques de ravinement. Mais l'abondance des ruissellements et les risques qu'ils représentent sont surtout liés à la présence de l'homme car non seulement les érosions ont apparu sur ces sites après l'occupation anthropique mais aussi, à la périphérie du quartier, dans les secteurs encore non occupés et colonisés par la savane, l'érosion est inexistante.

3.1.4. Facteurs anthropiques

L'augmentation des aires résidentielles qui participe considérablement à la diminution des aires occupées par les formations naturelles est directement liée à la pression anthropique causée par la croissance démographique que connaît la ville de Brazzaville en général et le quartier en étude en particulier (tableau N°12).

Tableau 12 : Evolution de la population dans la ville de Brazzaville, à M'filou et Indzouli

Localités	RGPH 2007	RGPH 2023	Superficie (km ²)	Densité 2007 (hbt/km ²)	Densité 2023 (hbt/km ²)
Brazzaville	1 373 382	2 138 783	317	4332,4	6746,9
M'filou	196 440	387 730	112	1753,2	3461,9
Indzouli		43 099	4,06		10615,5

Source : RGPH (2007 et 2023)

Les résultats des deux recensements montrent clairement comment l'explosion démographique de la ville de Brazzaville a influencé la densité de la population dans l'arrondissement (M'filou) et le quartier (Indzouli). On constate que le nombre d'habitants par kilomètre carré (hbt/km²) a pratiquement doublé dans l'arrondissement en moins de 20 ans.

Ainsi, à l'instar de la plupart des quartiers d'occupation récente situés à la périphérie de la ville, cette occupation qui s'est faite sur des zones de pente, a contribué à l'augmentation des volumes des ruissellements par l'imperméabilisation des sols. En outre, aucune précaution préalable n'a été prise. En dehors des deux avenues principales goudronnées qui ont des canalisations modernes, le reste des voiries urbaines ne disposent d'aucune infrastructure de drainage des eaux pluviales. Il n'existe pas non plus de politique de gestion moderne des eaux pluviales par les ménages qui, selon nos observations, les évacuent systématiquement sur lesdites voiries dépourvues de caniveaux. Ce sont d'ailleurs ces voiries urbaines qui se transforment à chaque pluie abondante, en de véritables torrents, qui sont les plus affectées par les effets de l'érosion.

3.2. Discussion

L'occupation des sols et leurs impacts est devenue au fil des temps une thématique de recherche de plus en plus importante surtout dans les pays en développement où le sujet est plus préoccupant. Plusieurs aspects de cette thématique ont fait l'objet de nombreuses études. Dans le cadre de la discussion des résultats de cette étude nous avons privilégié la méthodologie utilisée pour étudier l'occupation des sols et les facteurs explicatifs des phénomènes d'érosion qui sont considérés par plusieurs auteurs comme principaux responsables des phénomènes d'érosion.

• Méthodologie appliquée pour évaluer l'occupation des sols et résultats

L'étude diachronique de l'occupation des sols a été menée ici à travers les outils de la télédétection (images satellitaires) associés à ceux des systèmes d'information géographique. La télédétection nous a permis de réaliser les cartes de l'occupation des sols avec le logiciel de cartographie QGIS. Celles-ci ont permis de suivre efficacement l'évolution des différents types d'occupations des sols de 2002 à 2022.

Cette occupation du sol a subi une classification très précise. Les résultats obtenus ici présentent un niveau « bon à excellent » avec une précision globale de plus de 96 % en 2002, 93 % en 2012 et 94 % en 2022. Cette précision corrobore avec celle obtenue dans la réserve de la Léfini (plateaux Téké) par H. B. Goma Boumba (2020, p. 155-156) et R. G. Pontius (2000).

Plusieurs auteurs ont aussi utilisé ces outils dans le cadre de la recherche sur l'occupation des sols et ses impacts. L'étude menée dans la commune urbaine de Ngamboma par la même méthode ont révélé un taux de régression des formations végétales d'environ 84 %, un peu plus élevé que le nôtre (Y. M. Hokili et L. Sitou, 2024, p. 1358). Alors que celles réalisées, toujours par télédétection, dans le bassin versant d'Oueme à l'exutoire de Bétérou, au Bénin, sur une période de 20 ans, révèlent un taux de régression des formations végétales inférieur au nôtre, soit environ 49 % (A. Akognongbe, D. Abdoulaye, E. W. Vissin & *al.*, 2014, p. 235). B. Enonzan Folohouncho a réalisé un suivi de l'occupation des terres et de la gestion durable des forêts classées de Dogo-Ketou du Bénin, grâce à une étude diachronique basée sur l'analyse des images Landsat. L'étude montre une diminution notoire, voire une disparition des forêts tropicales (B. Enonzan Folohouncho, 2010, p. 8). Des résultats similaires ont été obtenus dans la Commune de Djidja au Bénin par la télédétection. L'étude montre que les forêts denses sèches ont été complètement converties en d'autres unités d'occupation du sol (O. AROUNA, 2012, p. 72).

C. Bi Tiesse, N. W. Eboua et H. Dibi N'da ont aussi montré, grâce au traitement numérique des images satellitaires, que les forêts denses ont perdu 35,6 % de leur superficie, entre 1990 et 2015, dans la région montagneuse du Tonkpi en Côte d'Ivoire (C. Bi Tiesse, N. Eboua et H. Dibi N'da, 2017, pp. 310 – 329). P. Ozer, grâce à l'analyse des images satellitaires, notamment celles de Google Earth a réalisé une étude de l'évolution des villes de Kinshasa et de Nouakchott et des impacts engendrés. L'étude a montré les différentes évolutions intervenues dans les deux villes (érosion littorale, érosion ravinante, étalement urbain en zone inondable) (P. Ozer, 1914, p. 209).

- **Impacts et facteurs aggravant**

La réduction voire disparition de la végétation qui s'est faite au profit des zones résidentielles se traduit par une intensification des activités érosives dans la zone avec des impacts négatifs probants sur le milieu. Des études similaires antérieures menées par d'autres chercheurs dans d'autres quartiers de la ville sont arrivées aux mêmes constats. Tel est le cas des travaux menés par R. Ngatsé, 2023, p. 209, dans le même arrondissement dans les quartiers de Saldelmy et Yingapata où un ravin régressif actif menace plusieurs bâtiments publics et privés, ainsi que la seule voie d'accès à ces quartiers en amont. En aval, les zones déprimées et les cours sont confrontés au phénomène de sédimentation provoqué par des quantités importantes des terres arrachées en amont par les ruissellements. Ceux de R. J. Kombo Kissangou, L. Sitou et I.

M'bouka Milandou, 2018, menés à Mayanga, attribuent la destruction des voiries, des habitations, des pylônes, etc... à l'activité érosive (p. 47), dont le processus s'est accentué à cause de l'occupation progressive des sols par les hommes (p. 48). P. Ozer fait état « d'un phénomène de ravinement qui a débuté dans les années 1970 dans la ville de Kinshasa, lorsque la ville s'est progressivement établie sur les versants des collines sableuses situées au sud... En imperméabilisant les bassins-versants au détriment de la végétation ligneuse et en concentrant de grandes quantités d'eau de ruissellement, l'urbanisation non planifiée a modifié le drainage naturel du sol et a augmenté l'aléa dans cette région » (P. Ozer, 2014, p. 218).

Outre le facteur humain lié à l'occupation des sols qui s'accompagne de la destruction des formations naturelles, plusieurs autres paramètres favorisent la dynamique érosive dans cette zone.

La texture à dominance sableuse des formations superficielles avec une très faible teneur de liants est l'un des principaux paramètres mis en lumière dans cette étude. Au nord du pays, dans le département de la Cuvette, dans le district d'Ewo, sur le tronçon Kouya-Allembé, S. Obelando Assounga S. et L. Sitou, 2022, p. 167 et 168, ont réalisé une étude proche de celle-ci, où ils ont de même décrit la texture dépôts superficiels dominée par le sable, avec des pourcentages des sables supérieurs à 85 %.

L'érosivité des pluies constitue un autre facteur de vulnérabilité mis en évidence dans cette étude. En effet, l'indice R d'érosivité évalué à partir de la formule de K. G. Renard & J. R. Freimund (1994), donne des valeurs qui varient entre $5\,308,7 \text{ MJ}\cdot\text{mm}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{an}^{-1}$ et $13\,879,2 \text{ MJ}\cdot\text{mm}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{an}^{-1}$. Valeurs qui, selon les seuils fixés par D. Douay & E. Lardieg, indiquent une très forte érosivité. Et pourtant comparativement aux études menées par D. G. Louba et L. Sitou, 2024, p. 20, dans la sous-préfecture de Djambala où les indices R varient entre $13\,000 \text{ MJ}\cdot\text{mm}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{an}^{-1}$ et environ $20\,000 \text{ MJ}\cdot\text{mm}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{an}^{-1}$, celles-ci restent inférieures.

Enfin, la pente est le dernier paramètre identifié comme facteur de vulnérabilité du milieu. Avec des valeurs de pentes obtenues qui oscillent entre 5 % et près de 12 % les versants sur lesquels s'est établi le quartier sont très favorables aux ruissellements. Ainsi, B. A. Mayima, I. M'bouka Milandou et L. Sitou, 2019, p. 105 dans leur étude menée dans la commune urbaine de Kintélé, sur l'occupation humaine et dégradation environnementale, ont fait le lien entre les classes de pente et le risque d'érosion par rapport aux pertes des sols. Ils montrent qu'à partir de 5 % le risque d'érosion passe de faible à modéré et devient fort à partir de 10 %. Tenant compte de ce lien et des valeurs de pente de la zone d'étude, on peut donc dire que le risque d'érosion est à

la fois modéré et fort. H. D. Koumassi et J. E. G. Yetongnon, 2023, p. 48, dans la commune rurale de Karimama, au nord du Bénin, mettent en place une classification des pentes et leur effet sur l'érosion. Les résultats trouvés par ceux-ci révèlent que le risque d'érosion devient fort à partir 1,79 % et très fort à partir de 6,52 %.

Conclusion

Au terme de cette étude, il sied de retenir que les outils de la télédétection (images satellitaires) associés à ceux des systèmes d'information géographique ont été d'une grande utilité pour l'analyse de l'occupation du sol. Ils montrent que la configuration spatiale de cette partie de Brazzaville s'est faite au cours des deux décennies précédentes. Jusqu'en 2002 ce quartier était encore largement colonisé par la végétation naturelle (forêt et savane) qui occupait près de 260 ha soit 64 % de la superficie totale, alors que l'espace occupé par l'homme ne représentait que 16 % avec environ 67 ha. En 2022 soit 20 ans après, les choses se sont inversées avec environ 337 ha soit 83 % d'occupation anthropique et un peu plus de 65 ha soit près de 16 % d'espace occupé par la végétation dominée par la savane, la forêt ayant presque totalement disparue. Cette occupation anthropique qui a été multipliée par 5 en 20 ans s'est faite de pair avec l'augmentation de la démographie qui a été multipliée par 2 ou presque entre 2007 et 2023 au niveau de l'arrondissement. Elle est de toute évidence responsable du déclenchement de l'érosion hydrique qui affecte déjà le quartier avec des ravins dont certains atteignent plusieurs dizaines de mètres de long. Mais cette érosion est surtout favorisée par la vulnérabilité du quartier Indzouli, qui est d'abord liée à l'érosivité élevée des pluies de Brazzaville qui est supérieure à $5\,000\text{ MJ}\cdot\text{mm}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{an}^{-1}$. Ces pluies sont les principaux agents de l'érosion. La vulnérabilité du milieu est aussi liée au caractère très affouillable de la texture des formations géologiques, faite de sables à 92,5 % avec une faible représentativité des inférieurs à 50 microns et de la matière organique. La présence des pentes qui atteignent 12 % sur des versants très allongés et qui, de ce fait, sont favorables aux ruissellements, est enfin un autre facteur de vulnérabilité du milieu. Mais cette érosion est surtout causée par l'occupation anthropique qui non seulement a augmenté le volume des ruissellements en raison de l'imperméabilisation des sols qu'elle implique mais aussi et surtout par l'absence des mesures d'accompagnement pour se préserver des impacts de ce fléau.

Face à ce problème environnemental conditionné par une forte pression anthropique, la sensibilisation et l'éducation des populations sur le contrôle de ce phénomène s'imposent. Ceci passe alors par l'étude de la perception du phénomène par lesdites populations afin de bâtir des

stratégies pour leur implication dans la recherche des solutions. L'analyse de cette perception constitue la principale perspective de cette étude.

Références bibliographiques

- Akognongbe, A., Abdoulaye, D., Vissin, E. W., et al (2014). « Dynamique de l'occupation du sol dans le bassin versant de l'Oueme à l'exutoire de Bétérou (Bénin) ». *Afrique Science* 10(2) pp.228-242. <http://www.afriquescience.info/document.php?id=3450>
- Assounga Obelando, S., & Sitou, L., (2022). « Etude de la vulnérabilité aux risques d'érosion hydrique de la route nationale n°10 (RN10), tronçon Kouya-Alleme dans le district d'Ewo (République du Congo) », *DaloGéo*, numéro 007, décembre 2022, pp. 158-176.
- Bi Tiesse, C., et al, (2017). « Apport de la Télédétection pour le suivi spatio-temporel de l'occupation du sol dans la région montagneuse du Tonkpi (Cote D'ivoire) », *European Scientific Journal*, édition Vol.13, No.15, pp. 310 – 329. <http://doi.org/10.19044/esj.2017.v13p310>
- Bontianti, A., & Babale, C., (2022). « Installations à risques : exemple de la rive gauche de la ville de Niamey », in « villes et risques hydrométéorologiques en Afrique subsaharienne » sous la direction de M. SIMEU KAMDEM, I. BOUZOU MOUSSA et F. VANGA ADJA, Ed. L'Harmattan Cameroun, pp. 95 - 108.
- Brown, R. B., (2003). *Soil texture. Soil and Water Science Department*, Florida Cooperative Extension Service, Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida, Fact Sheet SL 29, 8 p. <https://ufdcimages.uflib.ufl.edu/IR/00/00/31/07/00001/SS16900.pdf>
- CERAPE-SOFRECO, (2012). « Etude du Secteur Agricole, République du Congo. Plan de développement du Secteur Agricole », PDSA Nationa. Brazzaville, 135 pages.
- Douay, D., et Lardieg, 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.
- Goma Boumba, H. B., (2020). *Caractérisation et suivi du couvert végétal de la réserve de chasse de la Léfini*, Thèse de Doctorat unique, Université Marien Ngouabi, Brazzaville, 272 p.
- Hokili, M. Y., et Sitou, L., (2024). « Occupation du sol et risques de dégradation par l'érosion hydrique du site de la communauté urbaine de Gamboma dans le département des Plateaux (RC) », *Révue-IRS*, Vol. 2, N°4, pp. 1351-1365. <https://www.revue-irs.com/index.php/home/article/view/285>
- Katz, H. A., Daniels, M., & Ryan, S. (2013). Slope–area thresholds of road-induced gully erosion and consequent hillslope–channel interactions. *Earth Surface Processes and Landforms*, 39(3), 285–295. <https://doi.org/10.1002/esp.3443>

Kombo-Kissangou, R., Sitou, L., et M'bouka Milandou, I., (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 », REMAgéom, n°2, pp. 36-4. <https://revues.imist.ma/index.php/Remageom/article/view/12923>

Koumassi, H. D., & Yetongnon, J. E. G., (2023). « Evaluation de la vulnérabilité des sols à l'érosion hydrique dans la commune rurale de Karimama, nord Bénin », American Journal of Innovative Research and Applied Sciences, pp. 41-52. <https://www.american-ajiras.com/Herv%C3%A9-A9-Ref1-5-17ajiras201123.pdf>

Louba, D. G., & Sitou L., (2024). « L'agressivité climatique et dégradation du tronçon routier Quartier Talangaï-Rivière Mpama dans la sous-préfecture de Djambala (Au centre de la République du Congo) », Géovision, Vol. 1, N°11, pp. 11-26. https://revuegeovision.laboraddys.org/wp-content/uploads/journal/published_paper/volume-11/issue-1/6al9Fy77.pdf

Mayima, B. A. M'bouka Milandou, I., et Sitou, L., (2019). « Occupation des sols et dégradation environnementale, par l'érosion hydrique, dans la commune urbaine de Kintélé (République du Congo): Diagnostique et proposition des solutions de lutte », Revue Marocaine de Géomorphologie (Remageom),. N°3, pp. 93- 11.

Ngatsé, R., (2023). «L'érosion hydrique dans l'arrondissement 7 Mfilou (Brazzaville, RC) : état des lieux et facteurs déterminants », Pluralis scientia, N°003, pp.205-218.

Ngatse, R., Sitou, L., et M'bouka Milandou, I., (2017). « l'érosion hydrique dans le bassin versant de la Djiri au nord de Brazzaville (République du Congo) : Analyse et quantification », Revue marocaine de géomorphologie (Remageom), N°1, pp.95 - 112.

Ozer, P., (2014). « Catastrophes naturelles et aménagement du territoire : de l'intérêt des images Google Earth dans les pays en développement. », Geo-Eco-Trop., 38,1, n.s, pp. 209-220 p.

Pontius, R. G., (2000), « Quantification error versus location in comparison of categorical maps », Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, vol. 6, pp. 1012-1013.

Renard, K., & Freimund, J., (1994). « Using Monthly Precipitation Data to Estimate the R Factor in the Revised USLE », Journal of Hydrology, 157, pp. 287-306.

Samba-Kimbata, M. J., (1978). Le climat du Bas-Congo. Thèse de 3ème cycle. Université de Bourgogne, Dijon, 280p.

Sitou, L., (2008). « Dynamique et cause de l'érosion dans la périphérie nord de Brazzaville », LARDYMES, Faculté de Lettres et des Sciences Humaines, Université de Lomé, 78 - 91 p.

Sitou, L., et al, (2013). « Erosion hydrique en milieu urbain : cas du plateau de Makélékélé au sud de Brazzaville », Revue de l'interdisciplinaire Groupe de Recherche sur l'Afrique Contemporaine (IGRAC), Congo, N°9 (2013) 119 - 135 p.