

Vulnérabilité à l'érosion hydrique à Djambala–Lékana (Congo) : analyse de la perméabilité, de la texture des sols, de l'érosivité, et du facteur LS

Vulnerability to Water Erosion in Djambala–Lékana (Congo): Analysis of Soil Permeability, Texture, Erosivity, and the LS Factor

LOUBA Destin Gemark

Enseignant chercheur

Ecole Normale Supérieure (ENS)

Université MARIEN NGOUABI (UMNG)

Laboratoire de Géographie, Environnement et Aménagement (LAGEA)

CONGO

NGATSE René

Enseignant chercheur

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

Université DENIS SASSOU-N'GUESSO (UDSN)

Laboratoire de Géographie, Environnement et Aménagement (LAGEA)

CONGO

SITOU Léonard

Enseignant chercheur

Faculté des Lettres, Arts et Sciences Humaines (FLASH)

Université MARIEN NGOUABI (UMNG)

Laboratoire de Géographie, Environnement et Aménagement (LAGEA)

CONGO

Date de soumission : 15/10/2025

Date d'acceptation : 25/11/2025

Digital Object Identifier (DOI) : www.doi.org/10.5281/zenodo.17856154

Résumé

L'érosion pluviale est un phénomène environnemental majeur et à l'origine de la dégradation des sols dans les districts de Djambala et de Lékana. Cette étude se propose d'analyser les principaux facteurs naturels et anthropiques jouant un rôle déterminant dans la vulnérabilité des sols à la dégradation par l'érosion hydrique à Djambala-Lékana. La méthodologie d'approche adoptée implique des campagnes et test de terrain, des analyses au laboratoire, et des études des facteurs naturels et anthropiques influençant l'érosion hydrique. Les résultats obtenus révèlent une forte et très forte aptitude des sols à l'infiltration ($4,2 \cdot 10^{-5}$ et $5,4 \cdot 10^{-5}$). La texture sableuse est marquée par un peu plus de 90 % de sables, en majorité grossiers, moins de 5 % de limons, 1,29 % d'argile et moins de 1 % de MO. Le manque de liant traduit la faible structure des particules. Le milieu est cependant dominé par des pentes de 7 % à plus de 40 % qui occupent plus de 65 % de la superficie de la zone, ce qui aggrave les écoulements d'eau liés surtout aux pluies agressives dont les indices R sont compris entre environ 12 000 MJ.mm/ha.an et un peu plus de 20 000 MJ.mm/ha.an. La dégradation des sols par l'érosion hydrique est aussi accentuée par l'occupation de l'espace par l'homme. Dans un tel contexte, il s'avère nécessaire de mener des actions de lutte antiérosives.

Mots-clés :

Erosion hydrique, facteurs naturels, facteurs anthropiques, dégradation, vulnérabilité

Abstract

Rainfall erosion is a major environmental phenomenon and the cause of soil degradation in the districts of Djambala and Lékana. This study aims to analyse the main natural and anthropogenic factors that play a decisive role in the vulnerability of soils to degradation by water erosion in Djambala-Lékana. The methodology adopted involves field campaigns and tests, laboratory analyses, and studies of the natural and anthropogenic factors influencing water erosion. The results obtained reveal a high and very high infiltration capacity of the soils ($4.2 \cdot 10^{-5}$ and $5.4 \cdot 10^{-5}$). The sandy texture is characterised by just over 90% sand, mostly coarse, less than 5% silt, 1.29% clay and less than 1% organic matter. The lack of binding agents reflects the weak particle structure. However, the environment is dominated by slopes ranging from 7% to over 40%, which cover more than 65% of the area, exacerbating water runoff, particularly from heavy rainfall with R indices ranging from approximately 12,000 MJ.mm/ha.year to just over 20,000 MJ.mm/ha.year. Soil degradation caused by water erosion is also exacerbated by human occupation of the land. In such a context, it is necessary to take action to combat erosion.

Keywords :

Water erosion, natural factors, anthropogenic factors, degradation, vulnerability

Introduction

L'érosion des sols est un phénomène naturel, aux origines vieilles, qui n'épargne aucune région du monde. Rares sont les civilisations qui ne l'ont pas subie sur leur route de développement (E. Roose, 1975, cité par A. YAMÉOGO, Y. S. C. SOME, S. PALÉ & al., 2021, p. 299). Elle est un des phénomènes majeurs à l'origine de la dégradation des sols et constitue de ce fait un réel problème environnemental qui inquiète plus d'un. Dans le département des Plateaux, comme dans d'autres départements du Congo, la vulnérabilité à ce phénomène géomorphologique est constatée de tous et constitue de ce fait un risque permanent. C'est le cas des districts de Djambala et de Lékana, deux des localités du département des Plateaux particulièrement vulnérables à ce phénomène. Ainsi, en raison de la permanence du phénomène et des dégâts tant environnementaux que structurels induits par celui-ci, une attention particulière est portée sur les principaux facteurs qui concourent à la vulnérabilité du milieu à l'érosion hydrique. Lutter contre la dégradation de ce site par ce phénomène, requiert connaissance et compréhension des principaux éléments qui facilitent ou prédisposent la zone d'étude à l'action de la pluie, principal agent de l'érosion du site d'étude. Le présent article porte exclusivement sur l'étude de quelques paramètres naturels (perméabilité, analyses granulométriques et pluviométrique, ainsi que le MNT 30 topographique) et anthropiques (Evolution de l'occupation des sols) des localités de Djambala et de Lékana, responsables de leur fragilité à l'érosion hydrique. La question principale de la problématique de cette étude est de savoir, quelles sont les principales caractéristiques physiques et quelques indicateurs humains qui déterminent la vulnérabilité des districts de Djambala et de Lékana à l'érosion hydrique ? La présentation du cadre général de la zone d'étude et la réponse à cette question constituent les principales parties de ce travail qui se termine par une conclusion précédée par la discussion des résultats.

1. Présentation de la zone d'étude

Le secteur d'étude se situe dans le département des plateaux, au centre du territoire national (figure 1).

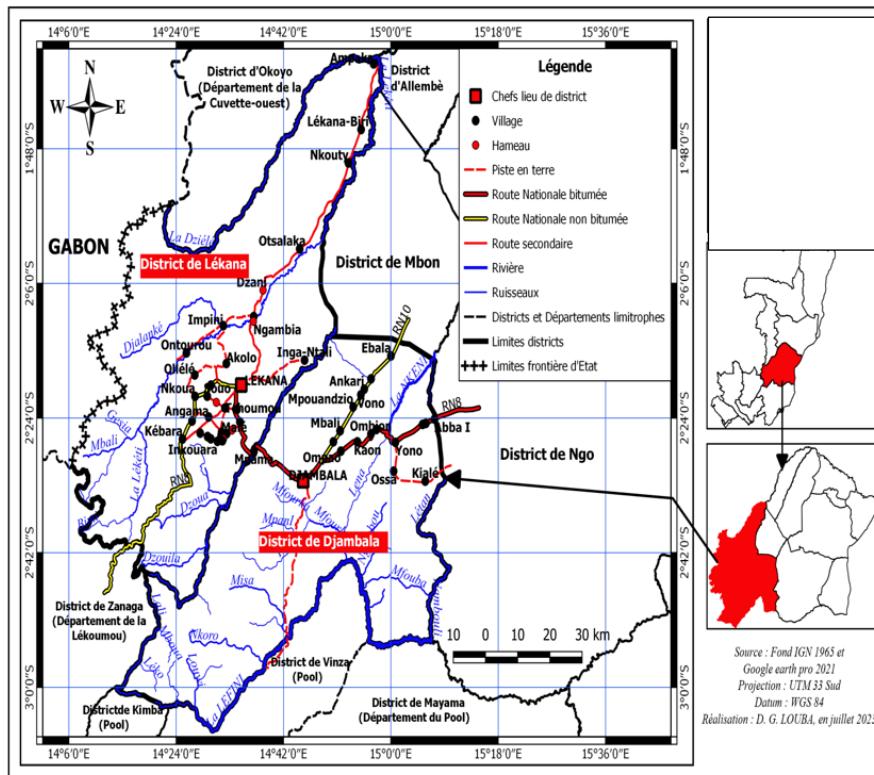


Figure 1 : Localisation de la zone d'étude

Il est implanté sur un site, dont le relief constitué de deux unités topographiques totalement opposées, avec des caractéristiques géomorphologiques différentes : les plateaux (de Djambala et Koukouya) et de hautes collines. Les plateaux présentent une surface tabulaire, remarquablement moins accidentés. Ils sont séparés par une vallée drainée par la rivière "Mpama". Le sommet des deux plateaux se situe sur le plateau Koukouya et culmine 860 mètres à l'ouest (figure 2). Quant aux hautes collines, elles se situent à l'ouest des deux plateaux, avec des sommets arrondis et occupant la plus grande superficie. Les Monts Ntalé font partie des groupes de collines formant d'authentiques massifs, dont l'altitude atteint 850 mètres au sud-ouest (figure 2).

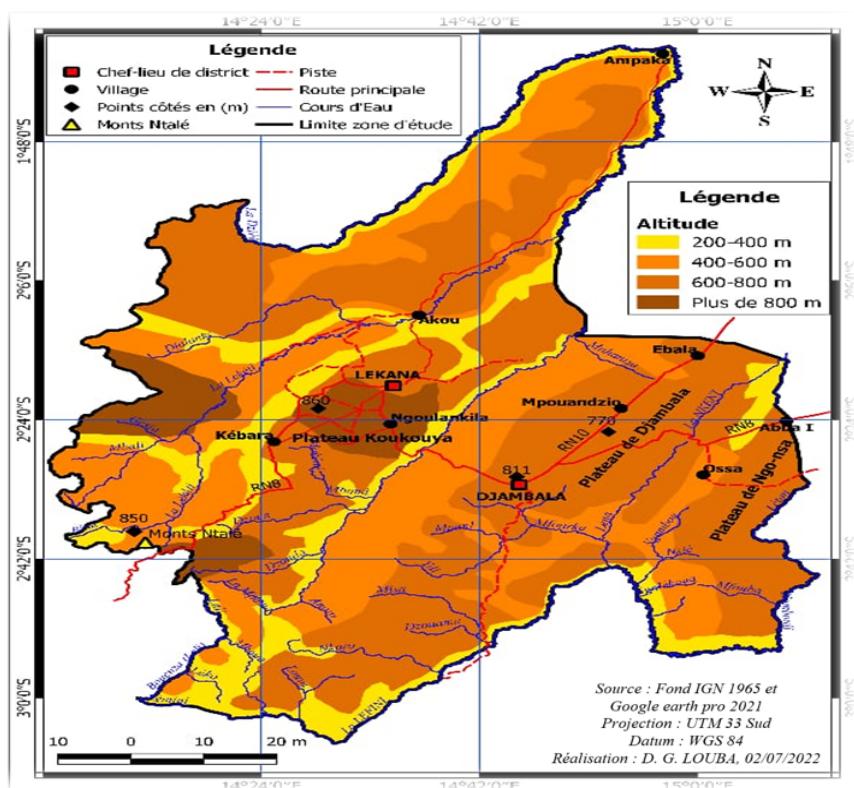


Figure 2 : L'altimétrie de la zone d'étude

Les formations des sous-sols de ces deux districts sont constituées des séries du Stanley Pool et des Plateaux Batéké. La première série date du secondaire et repose sur les grès de l'Inkissi, un soubassement qui date du précambrien terminal, visible que dans la vallée de la Mpama. Elle est entièrement recouverte par les roches de la deuxième série, qui date du tertiaire, constituée de deux étages : grès polymorphe (Ba1) à la base et sables ocres (Ba2) au sommet (J. F. Mabiala, 1973, p. 52). Mais les deux séries sont essentiellement gréseuses et sableuses. Les sables de la série Batéké qui surmontent la zone d'étude sont essentiellement des sols jaunes sur matériau sableux, des sols jaunes sur matériaux argilo-sableux et des sols hydromorphes à gley sous forêt et savane. Ils appartiennent à des sols podzolisés, des sols hydromorphes et des sols ferrallitiques.

La zone d'étude est soumise à un climat du type subéquatorial, caractérisée par une température moyenne annuelle de 23 °C (Atlas, 2001, p. 18) et deux saisons contrastées : une saison humide 9 mois, de septembre à octobre et une saison sèche qui dure 3 mois, de juin à août (figure 3). La saison des pluies est marquée par une période de diminution des pluies en janvier et février, appelée, à tort, petite saison sèche. La pluviosité annuelle avoisine 2500 mm/an répartis en

régime pluviométrique de type bimodal, dont les mois de juin-juillet-août marquent le minimum principal.

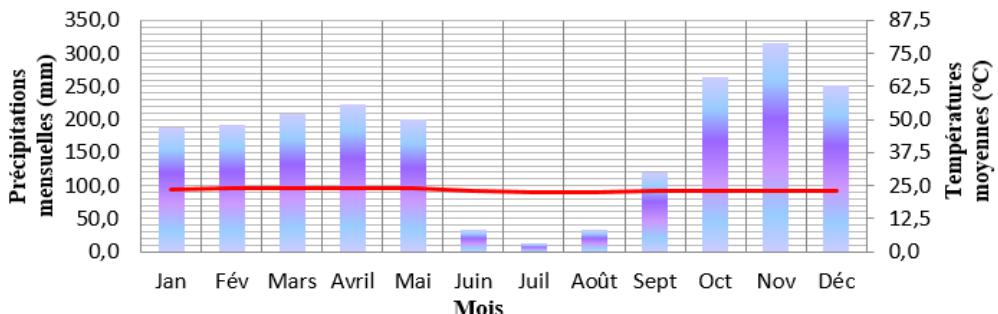


Figure 3 : Diagramme Ombrothermique de la station de Djambala (2005-2022)

Source : D. G. LOUBA et L. SITOU, 2024, p 1740

De nos jours, le site présente une végétation dominée essentiellement par les savanes arbustives et herbeuses, comprenant plusieurs variantes (Descoings, 1975, p. 109), suivant d'une part l'alimentation en eau, d'autre part la position topographique, ainsi que la fréquence des feux de brousse et des cultures. La composition floristique de ces savanes est dominée par l'Hymenocardia acida et Annona arenaria. La forêt n'occupe qu'une fine partie de la zone d'étude et se rencontre sous forme de galeries où ils prennent une grande extension le long des rivières et en formes de bosquets ou boqueteaux, à quelques endroits isolés, sur les flancs de collines, dans les vallées sèches ou à l'emplacement d'anciens villages. Les espèces qui composent cette forêt sont : Parinarium glabrum, Blighia wildemania, Caelocaryon clanei, etc. Enfin, cette zone présente un réseau hydrographique dense et dynamique qui s'organise autour des bassins du Kouilou-Niari, de l'Alima, de la Léfini, et de la Nkéni. Le climat et la nappe phréatique offrent à leurs collecteurs principaux un régime très régulier.

2. Méthodologie et matériel

La démarche méthodologique utilisée dans cette étude se résume en deux grandes phases complémentaires : la collecte de données et le travail de bureau.

2.1. La collecte de données

La recherche documentaire et le travail de terrain sont des opérations menées durant cette phase. La première a porté sur la lecture et l'analyse de certains travaux traitant de la géographie du Congo, de l'érosion hydrique et de la sensibilité des sols. Les données climatiques de la zone d'étude de 2005 à 2022 ont aussi été collectées, au niveau de l'ANAC de Brazzaville. Elles ont servi dans l'évaluation certains paramètres pluviométriques essentiels

pour apprécier la sensibilité du site par rapport à son climat. Les travaux de terrain ont porté sur le test de perméabilité K et l'échantillonnage des sols pour apprécier la sensibilité pédologique.

2.1.1. Test de perméabilité des sols K

Le coefficient de perméabilité K a permis d'évaluer les aptitudes du sol à l'infiltration de l'eau. Il s'établit par les essais de percolation et indique la hauteur d'eau infiltrée par une unité de temps, exprimée en m/s ou en mm/h. Les essais ont concerné trois sites, à l'issue desquels la conductivité hydraulique des terrains a été déterminée, les types de sols et leur nature.

La méthode de Porcher à faible profondeur est celle utilisée lors de ce test. Le sol étant à dominance sableuse, pour éviter que les parois du sol ne parviennent à se maintenir jusqu'à la fin de l'expérience, nous avons adapté le test en utilisant un morceau du tuyau de PVC de 10 cm de diamètre et 30 cm de hauteur. Ces expériences se sont déroulées en deux phases :

- La première phase consiste à mettre en place le dispositif expérimental sur le sol naturel des sites choisis pour l'expérience. Le morceau du tuyau de PVC faisait 30 cm de long, et seule la moitié, soit 15 cm était enfoncee ;
- Enfin, la dernière phase a consisté à remplir d'eau, la partie extérieure du tuyau et lancer le compte à rebours du chrono dès la première goutte du versement de l'eau prévue pour l'expérience. C'est la vitesse de disparition de l'eau dans le dispositif et dans le temps qui est mesuré. Pour chaque site, ces essais ont été réalisés trois fois.

2.1.2. Le prélèvement des échantillons des sols et analyses granulométriques

Trois sites ont été échantillonnés à trois profondeurs différentes (50, 100 et 200 cm), pour un total de 9 (neuf) échantillons. Ces derniers ont été expédiés au laboratoire de Chimie analytique d'IRSEN pour les analyses.

2.2. Le travail de bureau

Les tests de perméabilité réalisés et les données issues des analyses au laboratoire des échantillons prélevés sur le terrain ont été traitées et analysées au bureau, pour évaluer et vérifier les paramètres pédologiques responsables de la vulnérabilité du site. Ils ont été vérifiés à travers le calcul de perméabilité K du sol ainsi que l'analyse de la structure et de la texture du sol.

- **Protocole des tests de perméabilité K**

Le test de perméabilité a permis de classer le sol en plusieurs catégories : d'imperméabilité à perméabilité. Pour déterminer sa valeur, on a fait usage de la loi de Darcy en appliquant les formules ci-après :

$$Q = K \cdot S \cdot \left(\frac{H}{L}\right) \quad (1)$$

Q : quantité d'eau percolée (mm³/h) ; H : charge d'eau (mm) ; L : longueur de la colonne de terre (mm) ; S : surface de la section de la colonne (mm²) ; K : conductivité hydraulique ou coefficient de perméabilité (mm/h)

La loi est utilisée à une colonne de sol saturée, soumise à un écoulement unidimensionnel dans un milieu homogène et isotrope. Avec H/L la pente hydraulique si H-L est négligeable, alors H/L est assimilable à 1. Dans notre cas, le niveau étant constant, le rapport H/L est constant et voisin de 1. D'où après simplification de la formule 1, on obtient la formule 4.

$$K = \frac{Q}{S} \quad (2)$$

K : conductivité hydraulique ou coefficient de perméabilité (mm/h) ;

S : surface d'infiltration, correspondant à la totalité des surfaces en contact avec l'eau (mm²)

$$\text{Or } Q = \frac{V}{t} = \frac{\pi \cdot r^2 \cdot h'}{t} \quad (3)$$

$$S : \text{Surface latérale + surface du fond} = (2\pi \cdot r \cdot h) + (\pi \cdot r^2)$$

$$\text{Soit } K = \frac{\pi \cdot r^2 \cdot h'}{t(2\pi \cdot r \cdot h + \pi \cdot r^2)} = \frac{r \cdot h'}{t(2h + r)} \quad (4)$$

V : volume d'eau percolée (mm³) ; r : rayon du trou (mm) ; h' : hauteur de la lame d'eau percolée (mm) ; t : temps écoulé (heure) ; h : hauteur de la colonne d'eau (valeur initiale), (mm)

Il est connu que le coefficient K est influencé par la viscosité et la masse spécifique de l'eau. A cause de cela, la précision de la mesure de K devient facile à établir du fait de l'homogénéité des sols. On considère donc K constant pour un sol donné, car une variation de 10 à 20 % de la vitesse d'infiltration reste insignifiante. En ce qui concerne la hauteur d'eau (h), vu que nous avons affaire à un système dynamique, nous avons préféré prendre la valeur maximale, à savoir 15 cm. Les valeurs obtenues seront analysées par rapport à la classification établie par

l'EPNAC (2013) qui permet d'établir la relation entre la perméabilité, la typologie du sol, la nature du sol et l'aptitude à l'infiltration (tableau 1).

Tableau 1 : Relation perméabilité-typologie du sol-nature du sol-aptitude à l'infiltration

Perméabilité		Typologie du sol	Nature du sol	Aptitude à l'infiltration
m/s	Mm/h			
$K < 10^{-5}$	$K < 4$	Sol très perméable	Argile	Nul
$10^{-5} < K < 3.10^{-5}$	$4 < K < 11$	Sol perméable	Sol argileux	Mauvais
$3.10^{-5} < K < 10^{-5}$	$11 < K < 36$	Sol de perméabilité médiocre	Sol limoneux	Faible
$10^{-5} < K < 2.10^{-5}$	$36 < K < 72$	Sol assez perméable	Sable très fin	Bonne
$2.10^{-5} < K < 5.10^{-5}$	$72 < K < 180$	Sol perméable	Sable fin	
$K > 5.10^{-5}$	$K > 180$	Sol très perméable	Sable moyen	Très bonne

Source : EPNAC, 2013

- **Analyse de la structure et de la texture des sols**

La structure et la texture des sols sont des caractéristiques essentielles dans l'appréciation de la sensibilité des sols à l'érosion hydrique. Elles ont été déterminées par un teste. A cet effet, un échantillon de sol a été prélevé à chaque site, pour savoir si la terre forme des agrégats qui seront testés dans l'eau pour apprécier leur résistance. Le principe du test consiste à déposer les agrégats dans un verre rempli d'eau, puis laisser reposer pendant 2 minutes. Si après, l'agrégat ne s'est pas effondré, remuer doucement le verre en un mouvement circulaire à l'aide du poignet. A l'issue de l'exercice, les résultats et les conclusions peuvent se présenter comme suit :

- si les agrégats demeurent en place, c'est qu'il y a une forte cohésion et l'édifice est stable. La structure est alors dite forte, compacte ou massive ;
- si les agrégats présentent des fissurations, on parle plutôt de structure modérée, grumeleuse ou fragmentaire (le sol s'organise en une hiérarchie d'agrégats) ;
- si les agrégats s'effondrent ou n'existent plus, il y a peu ou aucune cohésion entre les particules. La structure est donc faible, particulière ou sans structure.

A la fin de l'opération, les résultats obtenus ont été analysés en tenant compte de la classification de L. Bellon, 2009, p 14, (tableau 3) qui attribue un code selon la structure des sols, qui va être complétée par les analyses de laboratoire afin de déterminer la texture des sols. La texture obtenue a été ajustée par le triangle des textures USDA (R.B. Brown, 2003, p 1) (figure 4), en écartant la matière organique, pour déterminer les taux exacts moyens des sables, des limons et des argiles, dont la somme des trois valeurs doit faire 100%.

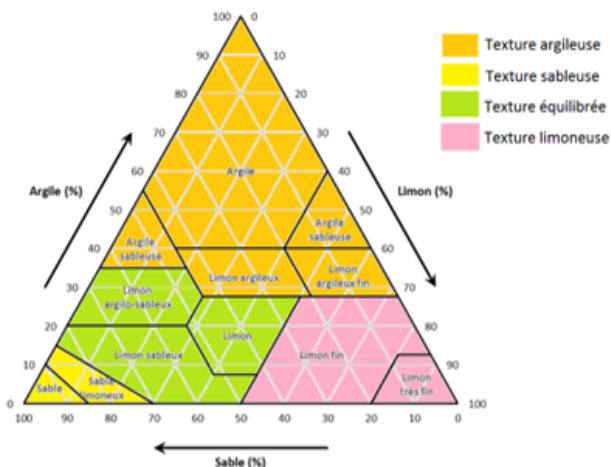


Figure 4 : Triangle des textures

La nature des sols déterminée grâce à l'ajustement de la texture des sols par le triangle de texture, a permis de déterminer les caractéristiques hydriques des sols, en tenant compte du modèle de classification et des codes de perméabilité des sols W. J. Rawls & al., 1982, p 168 (tableau 2).

Tableau 2 : Codes de perméabilité des sols par rapport à la texture

Texture	Classe de perméabilité	Codes (c)
Limono-argileuse et agile	Très lente (nulle)	6
Limono-argilo-terreuse et sablo-argileuse	Lente (mauvaise)	5
Sable, argile terreuse et argile limoneuse	Lente et modérée (faible)	4
Terreau limoneuse	Modérée (faible)	3
Limoneuse et sablo-limoneuse	Modérée à rapide (bonne)	2
Sableuse	Rapide (très bonne)	1

Source : W. J. Rawls , D. L. Brakensiek, & K. E. Saxton, 1982

- Evaluation de l'indice d'érosivité**

L'agressivité des pluies a été appréciée à travers l'indice d'érosivité R qui traduit le pouvoir érosif d'une pluie vis-à-vis du sol, c'est-à-dire, la capacité d'une pluie à détacher, entraîner et déposer le matériau. Cet indice a été calculé avec la formule de K. G. RENARD & J. R. FREIMUND, 1994, cités par D. DOUAY & E. LARDIEG, (2010, p 13). Cette formule qui s'applique pour les stations dont les précipitations annuelles sont supérieures à 850 mm ($P > 850$ mm) comme à Djambala-Lékana, notre zone d'étude, se présente comme suit :

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

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

Les données utilisées couvrent la période de 2013 à 2022 et les résultats ont été analysés en faisant référence à la classification des indices d'érosivité des pluies utilisée par D. DOUAY et E. LARDIEG, 2010, p. 13 (tableau 3).

Tableau 3 : 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)

- Evaluation des paramètres topographiques à travers les images de satellites**

La longueur et l'inclinaison des pentes sont des paramètres retenus dans cette étude pour évaluer la sensibilité de la zone à la dégradation par l'érosion hydrique, en raison de leur influence sur la production et le transport de sédiments. Pour déterminer les valeurs des classes de pentes, un Modèle Numérique de Terrain (MNT) de 30 m de résolution a été utilisé. Les données sur le MNT sont issues de la mission SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) de 2015 et ont été téléchargées sur le site officiel de l'USGS (United States Geological Survey). Ces données ont été extraites sur la zone de projection WGS 84/UTM Zone 33 Sud. La méthode de calcul du niveau de pente est basée sur la formule de Zevenbergen et Thorne et le ré-échantillonnage s'est basé sur la méthode cubique. Le mode de calcul sur une classification de 5 classes de pentes retenu est l'intervalle. Les classes de pentes ont été générées en pourcentages. L'ensemble du traitement des données MNT a été effectué sous le logiciel QGIS 3.20 qui présente les algorithmes nécessaires pour effectuer toutes ces manipulations (figure 5).

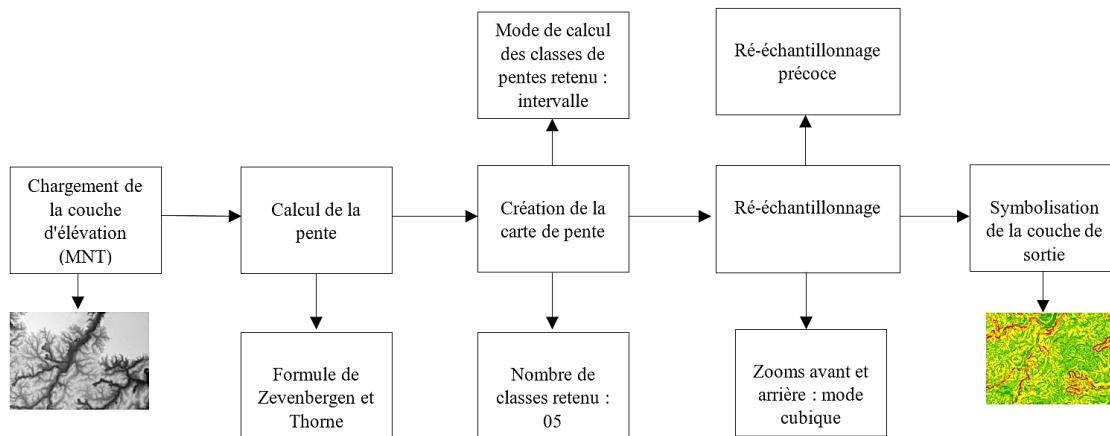


Figure 5 : schéma explicatif du processus de création de la carte de pente sous Qgis 3.20

3. Résultats

Les cadres physique et humain de la zone d'étude constituent des indicateurs explicatifs de sa vulnérabilité aux risques de dégradation par l'érosion hydrique. Cette fragilité se manifeste déjà à travers l'évolution de certaines formes mineures et majeures d'érosion.

3.1. Les indicateurs naturels de la sensibilité de la zone d'étude

- **Perméabilité des sols**

Le tableau ci-dessous présente les résultats issus du test de perméabilité des sols réalisé. Ils ont permis d'établir le lien entre la perméabilité, la typologie, la nature et l'aptitude du sol à l'infiltration, essentiel dans la compréhension de la fragilité des sols à l'érosion par l'eau.

Tableau 4 : Coefficient de perméabilité de la zone d'étude par Axe

Sites expérimentaux	Temps mis (t)	Perméabilité		Intervalle de K		Typologie du sol	Nature du sol	Aptitude à L'infiltration
		m/s	mm/h	m/s	mm/h			
Axe 1 (Djambala-Ebala)	6mn 34s	$5,4 \cdot 10^{-5}$	196,6	$K > 5 \cdot 10^{-5}$	$K > 180$	Sol très perméable	Sableuse	Très bonne
Axe 2 (Djambala-Ngoulonkila)	6mn 54s	$5,2 \cdot 10^{-5}$	186,3	$K > 5 \cdot 10^{-5}$	$K > 180$	Sol très perméable	Sableuse	Très bonne
Axe 3 (Ngoulonkila-Kébara)	13mn 43s	$4,2 \cdot 10^{-5}$	152,3	$2 \cdot 10^{-5} < K < 5 \cdot 10^{-5}$	$72 < K < 180$	Sol perméable	Sableuse	Bonne

Au regard de ces résultats, on remarque que l'aptitude des sols à l'infiltration est très bonne sur les axes 1 et 2, avec un coefficient de perméabilité de $5,4 \cdot 10^{-5}$ m/s, soit 196,6 mm/h pour le premier site et $5,2 \cdot 10^{-5}$ m/s, soit 186,3 mm/h pour le deuxième site. Ces valeurs obtenues sur les deux sites sont supérieures aux seuils indiqués dans le tableau (tableau 4). Seul le coefficient de l'axe 3 qui a une aptitude bonne à l'infiltration, conformément à sa valeur ($4,2 \cdot 10^{-5}$ m/s, soit 152,3 mm/h) qui se situe entre $2 \cdot 10^{-5} < K < 5 \cdot 10^{-5}$ ou $72 < K < 180$ selon la classification établie par

l'EPNAC, 2013. Cette bonne capacité à l'infiltration se traduit par la nature sableuse des sols de la zone d'étude qui sont de type très perméables et perméables. Des résultats qui concordent bien avec les valeurs texturales obtenues à la suite des analyses granulométriques effectuées (tableau 5 ; figure 6).

Cependant, si cette bonne capacité d'infiltration pouvait réduire la quantité d'eau qui s'accumule et qui s'écoule à la surface du sol, c'est-à-dire, le caractère torrentiel des ruissellements d'un côté, cela constituerait un problème de l'autre côté. Le problème est que cette bonne aptitude à l'infiltration peut diminuer la cohésion des sols qui est déjà faible de par leur nature faible, en agissant entre les particules comme un lubrifiant, réduisant ainsi leur friction. L'angle de frottement interne du sol étant un élément clé de leur résistance, lorsqu'il est réduit, le risque d'érosion, et donc de la sensibilité au phénomène accroît.

- Texture, matière organique et structure des sols**

Les résultats des analyses granulométriques et de la détermination de la matière organique obtenus sur les échantillons prélevés sont présentés dans les tableaux ci-après. Ils montrent dans l'ensemble que les sols de la zone d'étude présentent une texture sableuse.

Tableau 5 : Textures et MO des sols des site 1, 2 et 3

Site 1 Descente Mpama	Profondeur	Texture (%)					MO (%)
		Sables		Limons		Argiles	
		SF	SG	LF	LG	A	
	50 cm	13,05	80,7	0,5	2,8	0,00	0,61
	100 cm	13,81	78,48	0,5	1,38	0,00	0,72
	200 cm	11,11	80,11	0,5	7,06	0,00	0,12
Moyennes Spécifiques (%)		12,66	79,77	0,5	3,75	0,00	0,48
Taux moyens (%)		92,42		4,25		0,00	0,48

Site 2 Montée Mpama	Profondeur	Texture (%)					MO (%)
		Sables		Limons		Argiles	
		SF	SG	LF	LG	A	
	50 cm	23,8	58,68	2,5	5,2	4	0,35
	100 cm	24,5	58,15	2,5	2,89	4,5	0,37
	200 cm	13,87	79,19	0	4	0,5	0,12
Moyennes Spécifiques (%)		20,72	65,32	1,67	4,03	3,00	0,28
Taux moyens (%)		86,04		5,70		3,00	0,28

Site 3 Sortie Kébara	Profondeur	Texture (%)					MO (%)
		Sables		Limons		Argiles	
		SF	SG	LF	LG	A	
	50 cm	18,29	66,15	2	4,83	1	0,66
	100 cm	23,89	67,19	1	3,49	3	0,71
	200 cm	23,69	71,12	1	1,1	2,5	0,4
Moyennes Spécifiques (%)		21,96	68,15	1,33	3,14	2,17	0,59
Taux moyens (%)		90,11		4,47		2,17	0,59

L'analyse de ces résultats montre que les trois sites de prélèvement de la zone d'étude reposent sur les formations sablonneuses, avec des taux de plus de 90 % de sables, à l'exception du site 2 où le taux de sables reste en-dessous de 90. Il s'agit des formations pauvres en matières

organiques (absentes sur certains sites) et en liants (moins de 1 % sur tous les sites de prélèvement).

Ces résultats concordent bien avec le test réalisé pour déterminer la structure des sols. Le test a montré que l'organisation du sol présente une structure particulière, celle où les éléments du sol ne sont pas liés, mais plutôt celle qui présente un sol très meuble (sols sableux), dépourvu de capacité nécessaire pour résister à l'érosion hydrique. Les valeurs texturales réévaluées (tableau 6) et représentées dans les triangles texturaux (figure 6) ont-elles aussi confirmé la nature sableuse des formations superficielles de la zone d'étude.

Tableau 6 : Moyenne des textures des sols de la zone d'étude

Sites	Texture	Sables	Limons	Argile	Totaux%
Site 1 Descente Mpama	Moyennes des textures des sols	92,42	4,25	0	96,67
	Moyennes des textures réévaluées	93,08	4,91	0,66	98,65≈100
Site 2 Montée Mpama	Moyennes des textures des sols	86,04	5,70	3,00	94,74
	Moyennes des textures réévaluées	87,37	7,03	4,33	98,73≈100
Site 3 Sortie Kébara	Moyennes des textures des sols	90,11	4,47	2,17	96,75
	Moyennes des textures réévaluées	90,77	5,13	2,83	98,73≈100

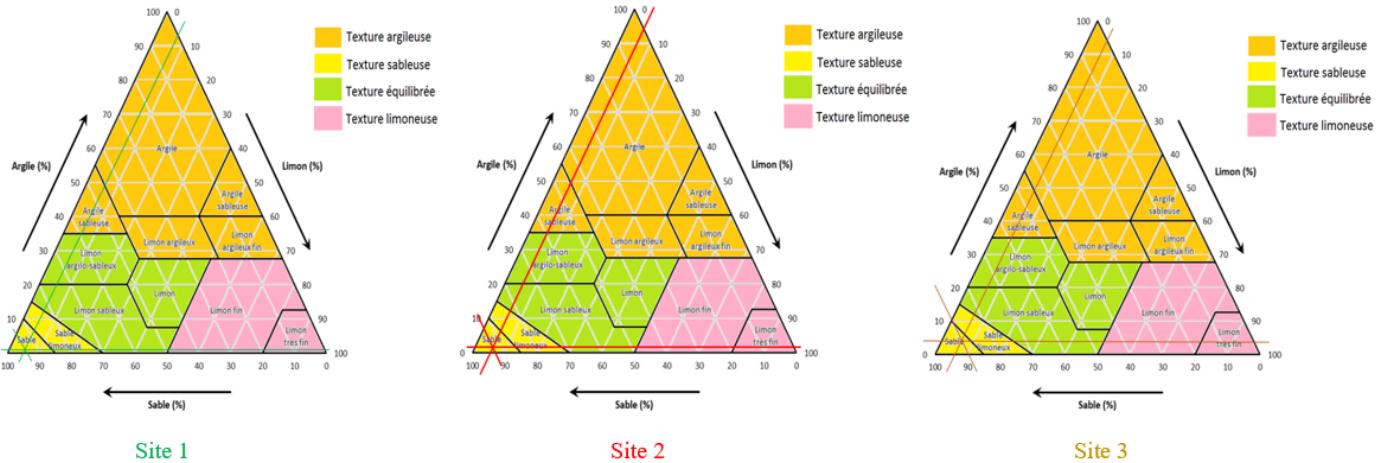


Figure 6 : Triangle des textures des sols des sites 1, 2 et 3 de la zone d'étude

Au regard des résultats issus des différentes variables pédologiques utilisées, il sied de comprendre que la sensibilité de la zone d'étude s'explique par la nature sableuse de ses sols, dépourvus de cohésion, faute de la faible teneur en liants et matières organiques. Cela réduit de ce fait la capacité des sols à supporter les charges, favorisant ainsi leur érosion.

- **La topographie**

La topographie du site d'étude présente des caractéristiques qui font d'elle une zone favorable aux écoulements de l'eau (figure 7 et 8).

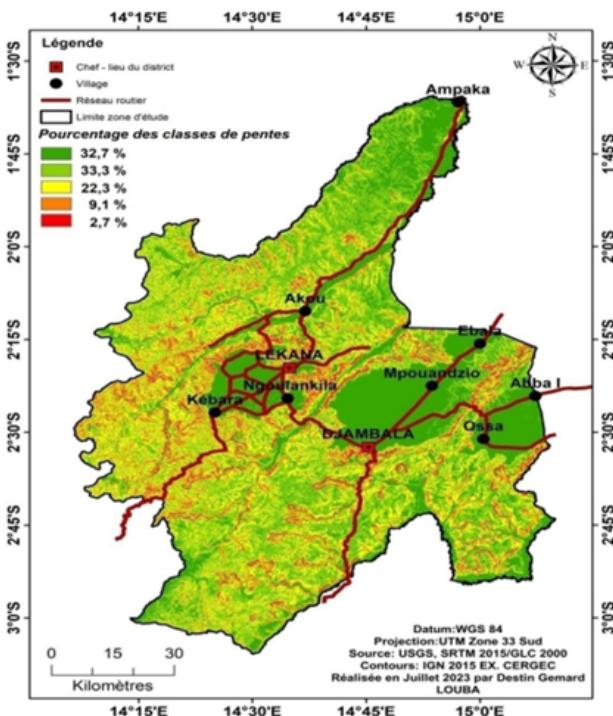
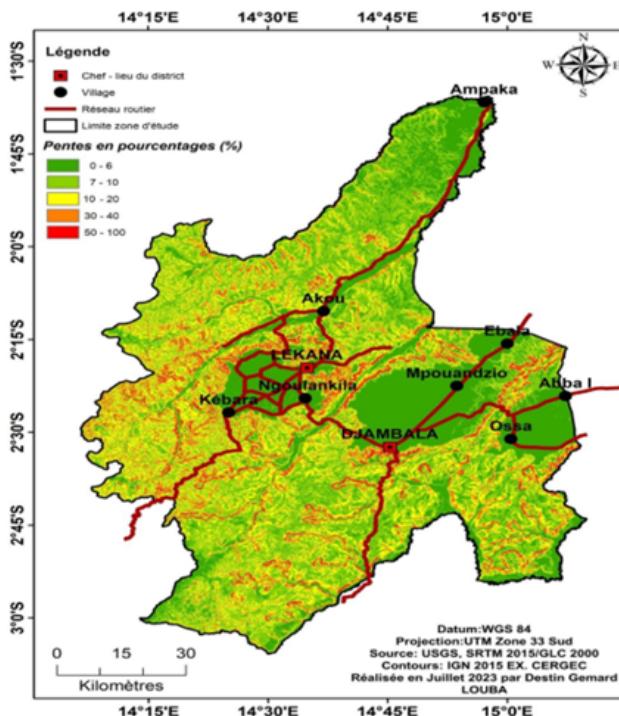


Figure N°7 : Carte des classes de pentes de la zone Figure N°8 : Taux des classes de pentes de la zone

L’observation de ces figures nous montre qu’environ 33 % de la superficie sont occupés par des pentes de 0-6 %, 33,3 % par des pentes de 7-10 %, 22,3 % par des pentes de 10-20 % et environ 10 % de la superficie sont dominés par des pentes supérieures ou égales 30 %. Globalement, environ 65 % de la superficie de l’espace sont dominés par des pentes $\geq 7\%$. En effet, cette présence quasi généralisée des pentes $\geq 7\%$ est tout de même, comme les autres paramètres détaillés supra, est un indicateur qui contribue énormément à la vulnérabilité du site à l’érosion hydrique.

Ainsi, si la texture favorable aux infiltrations et à l’affouillement des sols n’explique pas l’abondance des ruissellements observés sur le terrain, les fortes pentes qui occupent plus de la moitié de l’espace étudié expliquent en partie cette abondance. Elle influence l’infiltration en la réduisant. Plus son degré est fort, plus l’eau en surface s’écoule rapidement et moins l’eau dispose du temps de contact avec le sol pour s’infilttrer, ce qui accroît le ruissellement dont le débit augmente avec sa longueur. À côté des fortes pentes, on peut ajouter l’agressivité pluviométrique comme un des principaux indicateurs de la vulnérabilité du site d’étude. Cette agressivité a été mise en évidence à travers l’évaluation de l’indice d’érosivité R.

• L'agressivité des pluies à Djambala-Lékana

L'agressivité des pluies a été appréciée à travers l'indice d'érosivité R. Il a permis non seulement d'évaluer la capacité des pluies à provoquer des pertes de sol, mais aussi à se faire une idée sur le degré d'exposition de Djambala-Lékana vis-à-vis des précipitations. L'érosivité des pluies a été évalué dans la période allant de 2011 à 2022, c'est-à-dire en 10 ans.

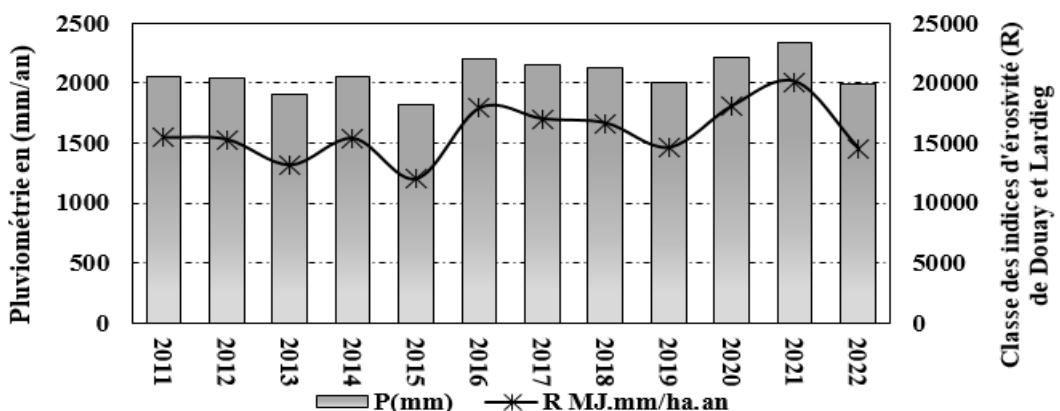


Figure 9 : Indices d'érosivité R à Djambala-Lékana

Le diagramme montre que pendant toute la période, l'érosivité a été très forte. L'année 2015 est celle où l'érosivité était la plus faible (environ 12 000 MJ.mm/ha.an) de toute la période et 2021 la plus forte (un peu plus de 20 000 MJ.mm/ha.an). Mais toutes les valeurs de l'érosivité obtenues durant la période restent largement supérieures à la valeur du seuil (5 000 MJ.mm/ha.an) fixé par D. DOUAY & E. LARDIEG, 2010, qui indique une très forte érosivité et une vulnérabilité des sols élevée.

En effet, comme l'indique les résultats, l'érosivité influence directement l'érosion, car plus l'indice est élevé, plus les pluies sont intensives et dotées d'une énergie dégradatrice importante. Cette situation accroît le détachement et la prise en charge des particules du sol, donc l'érosion hydrique. De telles intensités, non seulement qu'elles inhibent la capacité d'infiltration des sols, mais aussi produisent des ruissellements abondants, qui généralement arrivent à bout de la résistance des sols.

3.2. Les indicateurs anthropiques

Les activités agricoles et aménagements mal maîtrisés sont la cause de la fragilité de Djambala-Lékana à l'érosion hydrique. D'une part, la réduction des surfaces en herbe qui s'explique par un contexte agricole peu favorable au maintien d'un équilibre naturel. Contexte qui se justifie par les feux de brousse (Planche 1, photo 2), les défrichements, les labours... qui représentent des opérations dangereuses capables d'augmenter la sensibilité du milieu à la dégradation par

l'érosion. D'autre part, le développement de certaines cultures comme celles de la pomme de terre et du maïs qui demandent généralement des lits de semences fins et qui forment une faible couverture végétale, constitue également un facteur aggravant de la sensibilité de la zone d'étude à l'érosion hydrique.

Planche 1 : Impact des activités humaines sur l'environnement



Photo N°1 : Feux de brousse sur talus de remblais ; Photo N°2 : Dégradation de l'environnement ; Photo N°3 : Destruction d'une partie de la route faute de collecteur d'eau pluviale ; Photo N°4 : Rigoles et ravines sur une voie abandonnée

Source : D. G. LOUBA et L. SITOU, 2024, p 1744.

Enfin, au-delà des facteurs purement agricoles, les aménagements mal maîtrisés sont aussi un facteur de la fragilité du site d'étude, entraînant parfois de graves conséquences. Les données recueillies lors des campagnes de terrain nous laissent comprendre que l'imperméabilisation des sols, l'insuffisance et le sous-dimensionnement à certains endroits pentus de réseaux de collecte et d'évacuation des eaux pluviales et l'abandon des travaux d'aménagement des routes sont des endroits préférentiels des écoulements d'eau et donc de la formation de ravines et de ruisselets. Ces éléments humains participent plus ou moins activement à la vulnérabilité de la zone au phénomène érosif. Lorsqu'on associe à ces éléments les quantités importantes d'eau de pluie qui tombent dans la zone, ils augmentent considérablement le volume et la vitesse des ruisselets et participent à l'augmentation des dégâts (Planche 1, photos 1, 2, 3 et 4).

4. Discussion des résultats

Les sous-préfectures de Djambala et de Lékana qui ont fait l'objet de cette étude se situent sur un site particulièrement vulnérable à l'érosion hydrique, qui menace déjà plusieurs enjeux. Cette fragilité à l'érosion hydrique qui s'explique par des facteurs tant naturels qu'humains a déjà été étudiée par plusieurs chercheurs au niveau national et international. N. A. SALIFOU, G. ABDELALI, A. AMADOU et al., 2022, p. 88 l'ont évoqué au sud-ouest du Niger. Pour ces

auteurs, la résistance des sols aux cisaillements ou leur facilité à être mobilisés est fonction des formations pédologiques qui caractérisent la zone d'étude. Et que l'érodibilité est forte sur des sites qui reposent sur des formations à texture sableuse. H. D. KOUMASSI et J. E. G. YETONGNON, 2023, p. 48 qui ont étudié la même thématique dans la commune rurale de Karimama, au nord du Bénin ont montré que l'inclinaison et la longueur de la pente influence grandement l'ampleur de l'érosion hydrique par leur action gravitaire et fournissent leur énergie érosive à l'eau. Les résultats obtenus par ces auteurs montrent une très forte érosion des sols à partir de la classe des pentes allant de 7 % à plus de 30 %, et par conséquent une vulnérabilité élevée. D. DUPILET, 2003, p. 10, a mis en place des valeurs qui établissent des relations entre les pentes, les ruissellements et l'érosion : 0-1 % (pas de ruissellement et pas d'érosion), 1-3 % (ruissellement diffus avec une érosion diffuse et formation des rigoles), 3-5 % (ruissellement concentré et érosion avec ravinement) et plus de 5 % (ruissellement concentré avec de très forte érosion par ravinement profond). La vulnérabilité de Djambala-Lékana est aussi liée à l'agressivité interannuelle des pluies, dont l'énergie cinétique et l'intensité soumettent le sol à la battance et aux ruissellements abondants. Cette agressivité des pluies a été mise en évidence dans nombre d'études à travers l'indice d'érosivité R, en particulier par B. A. MAYIMA, I. M'BOUKA MILANDOU et L. SITOU (2017, p. 104) dans la commune urbaine de Kintélé et B. A. MAYIMA, P. M. J. NGAZZI et L. SITOU (2019, p. 130) sur le tronçon routier Dolisie-Pointe-Noire où les indices étaient respectivement de 7 468 MJ.mm/ha.h.an et 7 873,04 MJ.mm/ha.h.an. Mais, bien que ces indices soient inférieurs à ceux que nous avons trouvés dans la zone d'étude, néanmoins ils restent au-dessus du seuil pour traduire une forte érosivité et une vulnérabilité très élevée de Djambala-Lékana à l'érosion hydrique.

Mais tous ces éléments naturels évoqués, ne sont que des indicateurs qui prédisposent Djambala-Lékana aux érosions. L'homme à travers ses activités est la cause directe de l'exposition de ces sites à l'érosion hydrique. Dans la zone d'étude, les défrichements, feux de brousse, aménagements privés et publics et autres, font de l'homme lui-même, volontairement ou non, un agent de concentration des eaux. Si la collecte et l'évacuation des eaux ne sont pas assurées ou laissent à désirer, elles entaillent le sol et ces entailles évoluent progressivement en ravine et ravin. B. A. MAYIMA, I. M'BOUKA MILANDOU et L. SITOU, 2019, p. 103 ont fait la même observation dans la commune urbaine de Kintélé. Il ressort de leur étude que la mise à nu des sols et la multiplication des toitures des maisons et des édifices publics, dans une

ville dépourvue de système de drainage consistant, favorisent les écoulements des eaux et le déclenchement du phénomène érosif.

Conclusion

L'érosion hydrique constitue la principale cause de vulnérabilité des sols dans les sous-préfectures de Djambala et Lékana en raison de facteurs physiques et humains. La réalisation de cette étude dans ces deux districts a permis de comprendre et d'identifier les facteurs déterminants qui concourent à la fragilité du site aux phénomènes érosifs. Les travaux de terrain, les analyses au laboratoire, l'exploitation des outils du système d'information géographique ont permis une meilleure évaluation et appréciation de la vulnérabilité cette zone. Le test de perméabilité évaluée indique des aptitudes bonnes à très bonne à l'infiltration. Ce qui cadre bien avec la nature sableuse des sols. La faible structure des sols se traduit par sa texture sableuse qui présente dans l'ensemble un peu plus de 90 %, moins de 5 % de limons avec une insuffisance des liants. Une texture qui témoigne le manque criard de cohésion des particules. Ajoutant à cela 67 % de superficie occupée par des pentes de 7 à plus de 40 %. Toutes ces variables font de la zone d'étude un milieu particulièrement vulnérable à la morphogenèse. Lorsqu'on lie les activités anthropiques et le manque de système de drainage à l'agressivité, on assiste aux écoulements importants des eaux dus aux intensités supérieures à la capacité d'infiltration, exposant ainsi le site aux événements érosifs. La mise en place des aménagements antiérosifs, la construction des collecteurs des eaux pluviales dignes de ce nom pour une meilleure gestion des eaux ruisselantes et la sensibilisation des populations sur la nécessité de mener des actions qui vise la préservation de la végétation constituent à la fois des solutions et des perspectives de cette problématique.

Références bibliographiques

Mayima Brice Anicet, Ngazzi Paul Miki Junior et Sitou Léonard, 2019, «Etude des facteurs de risques de dégradation par l'érosion hydrique du tronçon routier dolisie/pointe-noire au sud du Congo-Brazza et évaluation des aménagements antiérosifs», European Scientific Journal, Vol.15, pp. 121 – 138

DOUAY Didier et LARDIEG Emmanuel, 2010, *Méthodologie de cartographie de la vulnérabilité intrinsèque des captages d'eau superficielle*, ANTEA, GINGER et GALLIGE / Agence de l'eau – Adour-Garonne / Ets public de l'état (France), 28 p.

DUPILET Dominique, 2003, *Guide technique de la lutte contre l'érosion des sols en Caps et Marais d'Opale*, Rapport inédit, 44p.

RENARD Kenneth and FREIMUND Jeremy, 1994, « Using Monthly Precipitation Data to Estimate the R Factor in the Revised USLE », *Journal of Hydrology*, 157, pp. 287-306.

EPNAC (2013) : Contenu des études préalables à la réalisation d'une zone de rejet végétalisée. Groupe de travail national sur « l'Evaluation des procédés Nouveaux d'Assainissement des petites et moyennes Collectivités », IRSTEA, 16 p

KOUMASSI Hervé Dégla et YETONGNON Judith Eric Georges, 2023, « Evaluation de la vulnérabilité des sols à l'érosion hydrique dans la commune rurale de Karimama, nord Bénin », *Am. J. innov. Res. Appl. sci.*, vol. 17-n°6, 2023, pp. 41-52.

Les Atlas de l'Afrique, 2001, *Les éditions Jeune Afrique*, 2ème édition, Paris-France, 76 p.

LOUBA Destin Gemard et SITOU Léonard, 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, Juin 2024, pp. 11-26

LOUBA Destin Gemard et SITOU Léonard, 2024, « La dynamique érosive et ses facteurs sur le long de la section Djambala-Ngoulonkila (Au centre de la République du Congo) », *Révue-IRS*, Vol. 2, N°4, Juillet 2024, pp. 1737-1750.

MAYIMA Brice Anicet, M'BOUKA MILANDOU Idriss Auguste Williams & SITOU Léonard, 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*. N°3, pp. 93- 111.

RWALS Walter, Brakensiek Donald et SAXTON Keith, 1982. *Estimating Soil Water Retention from Soil Properties. J. Irrig. Drain. Eng. 108 (IR2): 166-171.*

SALIFOU Noma Adamou, ABDELALI Gourfi, AMADOU Abdourhamane Touré et LAHCEN Daoudi, « Érosion hydrique au sud-ouest du Niger : impacts des facteurs naturels et anthropiques sur les pertes en sols », *Géomorphologie : relief, processus, environnement*, vol. 28 - n° 2 | 2022, pp. 77-92.

YAMÉOGO Augustin, SOME Yélémouomin Stéphane Corentin, PALÉ Sié, SIRIMA Badaye Abdoulaye & DA Dapola Évariste Constant, 2021, « Application de SIG/RUSLE à l'estimation de l'érosion par ruissellement en nappe dans le bassin versant supérieur de la Sissili (Burkina Faso) », *Geo-Eco-Trop.*, 45, 2: pp. 299-310