

Quantification par cubage de l'érosion hydrique et analyse de la sensibilité du milieu dans le quartier Impôh-manianga à Brazzaville, République du Congo

Quantification of water erosion by volume measurement and analysis of environmental sensitivity in the Impôh-manianga district of Brazzaville, Republic of the Congo

Destin Gemard LOUBA

Enseignant Chercheur, Université MARIEN NGOUABI (UMNG), Ecole Normale Supérieure (ENS), Laboratoire de Géographie, Environnement et Aménagement (LAGEA),
Brazzaville, République du Congo

Léonard SITOU

Enseignant chercheur, Faculté des Lettres, Arts et Sciences Humaines (FLASH)
Université MARIEN NGOUABI (UMNG) Laboratoire de Géographie, Environnement et Aménagement (LAGEA) CONGO

Réné NGATSÉ

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

Date de soumission : 03/10/2025

Date d'acceptation : 19/08/2026

Pour citer cet article :

LOUBA D. G. & al. (2026) «Quantification par cubage de l'érosion hydrique et analyse de la sensibilité du milieu dans le quartier Impôh-manianga à Brazzaville, République du Congo», Revue Internationale du chercheur « Volume 7 : Numéro 3 » pp : 565-586

Résumé

Localisé au nord de Brazzaville, Impôh-manianga est aujourd'hui un espace fragilisé par les événements érosifs, entretenus par les ruissellements torrentiels. L'étude vise à quantifier l'impact du phénomène et à analyser les paramètres physiques responsables de la sensibilité du milieu face à l'érosion. L'approche est basée sur les enquêtes, mesures de terrain, les analyses statistiques et de laboratoire. Les résultats indiquent que les 5 ravins cubés ayant l'âge moyen de 11 ans, ont causé une perte moyenne de terre de presque 8 660 000 tonnes et laissé en moyenne environ 5 410 000 m³ de volume de vide. La sensibilité des sols se traduit à la fois par la texture sableuse (93,5 %) et par le manque de cohésion justifié par la faible teneur des liants (moins de 2,5 %). La perméabilité (K) estimée à $2,5 \cdot 10^{-5}$ m/s (88,8 mm/h), mentionne une bonne aptitude à l'infiltration des eaux. Les coefficients de corrélation révèlent une corrélation positive faible entre la pente et le volume des ravins ($r = 0,376$), une forte corrélation positive entre les pluies et le volume des ravins ($r = 0,657$) et une faible corrélation négative entre l'âge et le volume des ravins. Celui de détermination montre que 43,1 % de la variabilité du volume des ravins est justifiée par la pluviométrie ($R^2 = 0,431$). Résultats qui concordent avec l'abondance des ruissellements observés. La cartographie de la susceptibilité à l'érosion, le suivi des ravins et l'analyse de la dynamique spatiale permettraient d'affiner les analyses et de mieux orienter les stratégies de lutte contre l'érosion.

Mots clés : Brazzaville, Impôh-manianga, perméabilité, texture, érosion hydrique, ravinement.

Abstract

Located north of Brazzaville, Impôh-manianga is now an area made vulnerable by erosion, fuelled by torrential runoff. The study aims to quantify the impact of this phenomenon and to analyse the physical parameters responsible for the environment's susceptibility to erosion. The approach is based on surveys, field measurements, statistical analyses and laboratory tests. The results indicate that the five ravines, with an average age of 11 years, have caused an average soil loss of almost 8,660,000 tonnes and left an average void volume of approximately 5,410,000 m³. The susceptibility of the soils is reflected both in their sandy texture (93.5%) and in their lack of cohesion, due to the low binder content (less than 2.5 per cent). The permeability (K), estimated at 2.5×10^{-5} m/s (88.8 mm/h), indicates a good capacity for water infiltration. The correlation coefficients reveal a weak positive correlation between slope and gully volume ($r = 0.376$), a strong positive correlation between rainfall and gully volume ($r = 0.657$) and a weak negative correlation between age and gully volume. The coefficient of determination shows that 43.1% of the variability in gully volume is explained by rainfall ($R^2 = 0.431$). These findings are consistent with the high incidence of surface runoff observed. Mapping erosion susceptibility, monitoring gullies and analysing spatial dynamics would help to refine the analyses and better guide erosion control strategies.

Keywords : Brazzaville, Impôh-manianga, permeability, texture, water erosion, gully erosion.

Introduction

Depuis quelques décennies, les quartiers périphériques de la ville de Brazzaville connaissent des changements environnementaux profonds. Ces changements, liés à l'occupation de l'espace et au changement climatique, se manifestent par une régression globale du couvert végétal et une exposition des sols aux effets des pluies intenses (D. G. LOUBA, 2026, p. 27 ; R. NGATSÉ, 2023, p. 215 ; M. I. BOUZOU, A. M. MALAM, W. A. INGATAN et *al.*, 2020, p. 152 ; M. TCHOTSOU, 1994, p. 133). Le quartier Impôh-Manianga, situé dans le 9^e arrondissement de la capitale politique du Congo, est une illustration parfaite de cet état des choses. Il est depuis un certain temps affecté par l'érosion hydrique. Sous l'effet des pluies, du ruissellement, des caractéristiques naturelles du terrain et des caractéristiques physiques du sol, cette érosion se manifeste par des ravinements régressifs à l'origine des dégâts tant environnementaux que structurels. Ces effets sont dans la plupart des cas, souvent accentués par certaines activités inadéquates des populations comme l'occupation anarchique, la destruction du couvert végétal et l'urbanisation qui accroît la fragilité du milieu.

En dépit de l'ampleur du phénomène et de l'inquiétude qu'elle suscite, les quantités réelles de matériaux perdus restent souvent mal connues, à cause du manque de mesures quantitatives précises. Or, la quantification de ce phénomène par cubage des formes apparaît comme une méthode fiable pour estimer les volumes de sols emportés, apprécier l'intensité du phénomène et définir un modèle de gestion durable de l'espace. Cette méthode est aussi à l'analyse de la sensibilité du milieu, afin d'identifier les zones les plus exposées, ainsi que les facteurs physiques qui contrôlent et contribuent à l'apparition et au développement du phénomène dans cette zone. Cette analyse s'appuie sur les paramètres tels que la nature des sols et leur comportement hydrique, la pente, la pluviométrie et les pratiques d'aménagement.

Dans ce contexte, deux questions principales se posent : Quels sont les volumes de matériaux emportés par l'érosion hydrique dans cette zone ? Quels sont les facteurs physiques qui influencent la sensibilité du milieu à l'érosion hydrique ? La réponse à ces interrogations permettra à la fois d'améliorer la connaissance de la dynamique de l'érosion hydrique dans cette zone, de fournir des données scientifiques importantes à la gestion durable des terres, à la protection de l'environnement et à la mise en place de modèles efficaces de lutte contre la dégradation des sols.

1. Présentation de la zone d'étude

Impôh-manianga est un des huit quartiers qui composent l'arrondissement 9 Djiri (figure 1). C'est le plus récent et le dernier à être créé. Ce quartier qui couvre environ 6,40 km² de superficie était autrefois, avant sa transformation en un quartier de cet arrondissement, une des parties du quartier Mont Boukiéro, situé dans l'arrondissement 6 Talangaï. Il est, de ce fait, implanté sur le Mont Boukiéro, une des collines du plateau de Mbé, qui culmine environ 560 mètres d'altitude. Cette colline forme la retombée sud du plateau de Mbé, qui s'incline vers le sud-est et présente une topographie favorable au drainage des eaux pluviales et à la formation des ruissellements. Son relief est taillé dans la série dite des plateaux Batéké qui date du tertiaire. Cette série est constituée de grès polymorphes (Ba1) à la base et de sables ocres (Ba2) à la granulométrie fine, au sommet (LE MARCHAL A., 1966 et DADET 1969, cités par D. G. LOUBA, 2018, p. 17). Cette couche sommitale qui affleure sur toute la zone est vulnérable aux ruissellements et à l'érosion hydrique en raison de ses caractéristiques texturales.

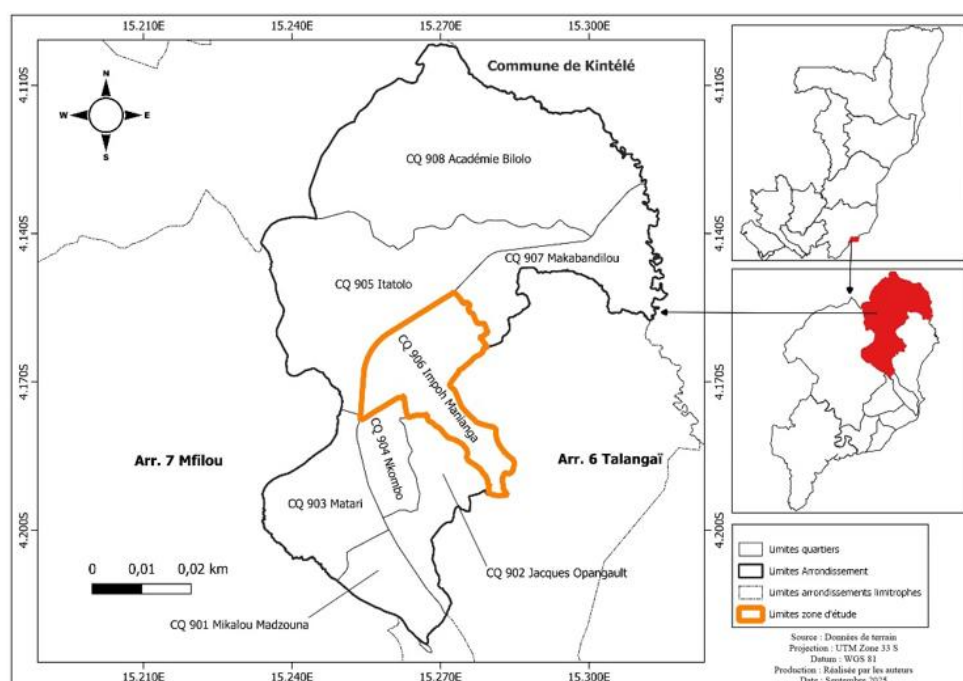


Figure 1 : Situation et localisation du quartier Impôh-manianga

Faisant partie de la ville de Brazzaville, Impôh-manianga bénéficie du même climat que celui de Brazzaville. Il est de type bas-congolais ou tropical chaud et humide (J.M. SAMBA-KIMBATA, 1978, cité par D. G. LOUBA, 2018, p. 17), caractérisé par une saison sèche et une saison humide. La première dure 4 mois, de juin à septembre (figure 2) et est la période la plus fraîche de l'année. Les températures moyennes annuelles se situent entre 23 et 26 °C (M. J. SAMBA-KIMBATA et M. MPOUNZA, 2001, p. 18). La seconde autrement appelée saison des

pluies dure 8 mois, d'octobre à mai (figure 2). Elle correspond à la période des fortes chaleurs. La saison des pluies connaît une période de rareté et d'espacement des pluies de janvier à février, qualifiée à tort de petite saison sèche. Il tombe entre 1200 et 1400 mm d'eau par an (M. J. SAMBA-KIMBATA et M. MPOUNZA, 2001, p. 15). La durée de la saison des pluies et les quantités d'eau enregistrées influent directement sur la genèse des ruissellements, responsables de l'érosion hydrique et des inondations.

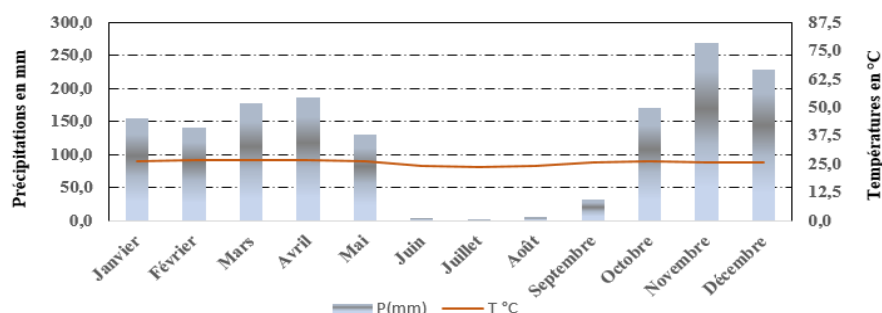


Figure 2 : Diagramme Ombrothermique de la station de Brazzaville (2000-2022)

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

La végétation de la zone est constituée essentiellement des savanes, dont la plus grande partie déjà détruite par l'homme qui occupe les versants fortement inclinés, exposant ainsi Impôh-manianga aux ravinements.

2. Approche méthodologique

La méthodologie adoptée dans cette étude s'articule autour de la recherche documentaire, des travaux de terrain ainsi que l'analyse et du traitement des données.

2.1. La recherche documentaire

La recherche documentaire a porté sur la lecture et l'analyse d'un certain nombre de documents, traitant de la zone de manière générale et des facteurs de la dégradation de l'environnement par l'érosion hydrique en particulier.

2.2. Les travaux de terrain

Plusieurs opérations ont été menées sur le terrain. Il s'agit, entre autres, des observations qui ont permis de décrire, d'analyser et d'interpréter les paysages et le phénomène en étude, de la géolocalisation des zones à risque, de la prise des images, de la quantification de certaines formes d'érosion, des enquêtes auprès des populations, du prélèvement des échantillons et de la réalisation des tests d'infiltrométrie.

2.2.1. Mesure in situ de l'infiltrométrie

L'infiltrométrie ou le test de perméabilité est une opération pendant laquelle un dispositif expérimental (planche 1, photo 3) est mis en place pour évaluer le temps de transfert de l'eau,

à travers les couches superficielles et verticalement vers le bas L. BESSAFI, 2008, p. 26. Ce test est d'une importance cruciale dans cette étude, surtout dans la détermination du régime du ruissellement de l'eau, agent principal de l'érosion hydrique et dans l'évaluation des caractéristiques hydriques des sols. Il permet de mesurer la perméabilité du sol ou sa capacité à absorber de l'eau, en simulant l'écoulement d'un liquide à travers le terrain : essais de percolation. Le test a été réalisé sur un site naturel, à quelques mètres de la partie affectée par le phénomène. La méthode de mesure du taux d'infiltration utilisée est celle de l'infiltromètre de Porcher à faible profondeur. Deux essais ont été réalisés sur ce site à partir desquels ont été déterminées, l'infiltrabilité du sol ainsi que les caractéristiques du sol. La méthode utilisée pendant cette expérience se résume en deux étapes :

1^{ère} étape : On enfonce un morceau de tuyau de PVC de 10 cm de diamètre, jusqu'à une profondeur de 15 cm, de manière à garder une hauteur libre de 15 cm aussi, au-dessus du sol.

2^{ème} étape : On commence par verser l'eau, dans la partie du tuyau gardée en hauteur, au-dessus du sol. En même temps on remplit la partie extérieure du tuyau d'eau, on déclenche le chronomètre ou mieux, on note le temps mis par l'eau pour s'infiltrer complètement dans le sol et disparaître du dispositif.

Planche 1 : Site et matériel du dispositif expérimental



Photo 1 : Tuyau PVC de 30 cm gradué avant installation ; **Photo 2** : Dispositif expérimental en place avant les expériences ; **Photo 3** : Tuyau PVC rempli d'eau au moment des expériences

(Clichés pris par les auteurs, 2025)

2.2.2. Prélèvement des échantillons et quantification par cubage

Trois sites ont fait l'objet du prélèvement. Il s'agit des lieux où se manifeste le phénomène. Deux échantillons ont été prélevés par site, à deux profondeurs différentes (50 cm et 100 cm) et mis dans des emballages dédiés avant d'être envoyés au laboratoire pour les analyses.

La quantification par cubage a permis d'estimer la quantité de terres perdues ou emportées par l'érosion hydrique et d'évaluer l'ampleur du phénomène. Sur le terrain, elle a consisté à mesurer

les dimensions des ravins. Pour ce faire, nous avons utilisé le GPS et google earth Pro. À l'aide de l'outil mesure et de la fonction polygone, nous avons pu déterminer les surfaces occupées par les ravins, exprimées automatiquement en kilomètres carrés. Les longueurs et largeurs ont été obtenues grâce à l'outil règle. Seules les différentes profondeurs des ravins ont été prises avec un décimètre.

2.2.3. Enquêtes sociales

Ici, il ne s'agit pas des enquêtes comme telles. Il s'agit d'une approche adoptée pour avoir les informations liées à l'année du début du ravinement, aux dégâts matériels et environnementaux provoqués. Dans cette approche, nous avons eu quelques entretiens avec les chefs de blocs des zones affectées. Les données obtenues de ces personnes ont été confrontées avec celles obtenues des images google-earth Pro pour plus de certitude.

2.3. Analyse et traitement des données

Les données recueillies sur le terrain ont été analysées pour certaines au laboratoire, pour d'autres au bureau. Au laboratoire, il s'agit des six échantillons prélevés dans la zone d'étude. Ils ont été analysés au laboratoire de Chimie analytique d'IRSEN de Pointe-Noire. Deux analyses ont été effectuées sur chaque échantillon : la granulométrie par tamisage et le dosage au carbone pour déterminer la matière organique.

Au bureau, les mesures prises lors des campagnes de terrain ainsi que les données issues des résultats des analyses au laboratoire des échantillons prélevés, ont été traitées et analysées. Cette étape a servi à quantifier la masse de terre entraînée par l'érosion, le volume de vide laissé et pour vérifier les caractéristiques physiques du sol.

2.3.1. Pour la quantification des ravins

Les calculs ont tenu compte de la forme générale des ravins. Les cinq principaux ravins cubés ont tous la forme d'un triangle renversé (figure 3). L'équation utilisée pour cette forme se présente comme suit :

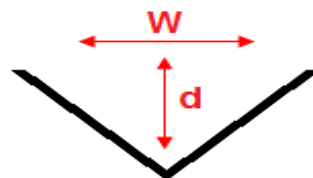


Figure 3 : Coupe transversale d'une section de ravin en triangle

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

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

Où W : largeur moyenne (m) ; d : profondeur moyenne (m) ; A : aire (m^2).

Nous avons fait usage du modèle (figure 4) utilisé par H. A. KATZ, M. DANIEL et S. RYAN, 2013, p. 5, qui consiste à insérer le coefficient (β) en se référant à la morphologie générale du ravinement, pour avoir les volumes des ravins.

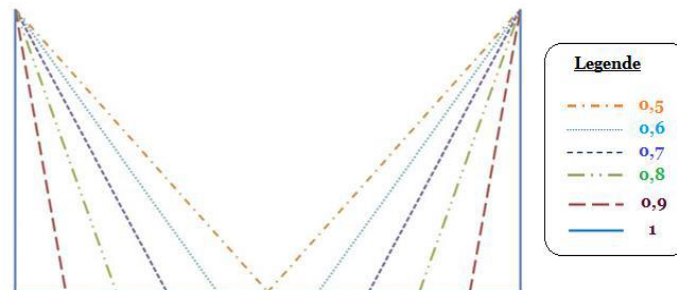


Figure 4 : Association des coefficients (β) avec les morphologies

Le principe consiste simplement à multiplier le coefficient (β) se trouvant à la légende, par le volume total de la forme d'érosion. Le coefficient (β) et cette valeur qui correspond à la forme générale du ravin. Ainsi, la formule se présente comme suit :

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

Pour évaluer le volume en $\text{m}^3 \cdot \text{an}^{-1}$ des cinq ravins, nous nous sommes servis des informations recueillies à partir de nos entretiens avec les chefs de blocs. Il s'agit des informations sur la période (année) de la genèse de ces ravins, pour estimer leurs âges moyens. Pour y parvenir, il a fallu d'abord commencer par déterminer l'âge moyen de chaque ravin par la formule empirique suivante :

$$AR = AG_R - AP_M$$

AR : âge du ravinement ; AG_R : année de genèse du ravinement ;

AP_M : année de prise de mesure

Ensuite, il a été déterminé le volume de ravins en $\text{m}^3 \cdot \text{an}^{-1}$ par la formule ci-après :

$$V = \frac{V}{AR}$$

V : Volume de ravinement en $\text{m}^3 \cdot \text{an}^{-1}$; V : volume de ravinement en m^3 ;

AR : âge du ravinement

Enfin, les pertes en matériaux (P) en tonne ont été évaluées avec la formule suivante :

$$P = V \cdot \gamma$$

La γ a été assimilée au poids spécifique du sol noté γ (poids spécifique des terres et converti de g/cm^3 en t/m^3) ; P : poids (tonne) ; V : volume de ravinement (m^3).

2.3.2. Pour le coefficient 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 :

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

Q : quantité d'eau percolée (mm^3/h) ; H : charge d'eau (mm) ; L : longueur de la colonne de terre (mm) ; S : surface de la section de la colonne (mm^2) ; 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 (mm^2)

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

S : Surface latérale + surface du fond = $(2\pi.r.h) + (\pi.r^2)$

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

V : volume d'eau percolée (mm^3) ; 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 de K obtenues ont été analysées en s'appuyant sur la classification établie par l'EPNAC, 2013 qui permet d'établir la relation entre la perméabilité du sol, leur typologie, leur nature et leur capacité 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 peu perméable	Argile	Nul
$10^{-5} < K < 3.10^{-5}$	$4 < K < 11$	Sol peu perméable	Sol argileux	Mauvais
$3.10^{-5} < K < 10^{-5}$	$11 < K < 36$	Sol de perméable 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

2.3.3. Pour la vérification de la texture

La texture a été vérifiée pour mieux apprécier la fragilité des sols à l'érosion hydrique. Pour être précis sur les proportions relatives de chaque particule du sol, celle-ci a été déduite d'une analyse granulométrique. L'évaluation de la texture des sols a servi pour attribuer au matériau observé dans le site de prélèvement, le nom d'une classe texturale.

La texture étant connue et la MO étant écartée, le triangle textural USDA (figure 5), de R.B. Brown, (2003, p. 1) a permis de préciser la nature des sols.

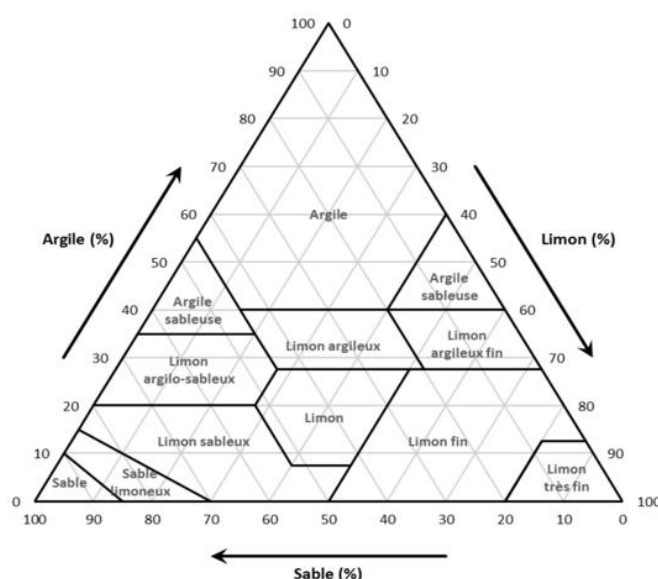


Figure 5 : Triangle des textures

2.3.4. Pour l'évaluation des pentes

La pente constitue l'un des principaux paramètres topographiques contrôlant les processus d'érosion hydrique, en raison de son influence directe sur le ruissellement ainsi que sur les mécanismes de détachement et de transport des particules du sol. À ce titre, ce paramètre a été intégré à l'analyse afin d'évaluer sa contribution potentielle à la dégradation du site d'étude. Cette évaluation s'est appuyée sur l'élaboration d'une carte des pentes.

La cartographie des pentes a été réalisée à partir d'un Modèle Numérique de Terrain (MNT) d'une résolution spatiale de 30 m, issu de la mission *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) de 2015 et téléchargé depuis la base de données de l'*United States Geological Survey* (USGS). Les données ont été projetées dans le système de coordonnées WGS 84 / UTM, zone 33 Sud. Le calcul des pentes a été effectué à l'aide de l'algorithme de Zevenbergen et Thorne, largement reconnu pour sa fiabilité dans l'estimation des paramètres morphométriques à partir

des données altimétriques. Afin d'améliorer la continuité spatiale du modèle numérique, un rééchantillonnage par interpolation cubique a été appliqué.

Les valeurs de pente, exprimées en pourcentage, ont ensuite été regroupées en cinq classes selon la méthode des intervalles égaux. L'ensemble des traitements géospatiaux et des analyses morphométriques a été réalisé à l'aide du logiciel QGIS 3.20, qui offre les fonctionnalités nécessaires à la production et à l'analyse des variables topographiques mobilisées dans cette étude.

3. Résultats et discussion

3.1. Résultats

3.1.1. Dégradation du site par l'érosion hydrique

Plus d'une dizaine de ravinelements ont été recensés dans le quartier Impoh-Manianga. Toutefois, la quantification n'a concerné que les principales formes érosives localisées dans le secteur du lycée scientifique de Massengo (communément appelé « Domaine »). Cinq ravins majeurs ont ainsi été retenus pour une analyse détaillée. Leur sélection repose, d'une part, sur leur localisation au sein de la zone pilote de l'étude et, d'autre part, sur leur caractère particulièrement spectaculaire. Les caractéristiques morphométriques de ces ravins mettent en lumière une dynamique érosive très active dans ce secteur. Leurs dimensions particulièrement préoccupantes témoignent la gravité du phénomène (tableau 2).

Tableau 2 : Volume et quantité des terres perdues

Code des ravins	Forme	β	Long. (m)	Aires (m ²)	Vol. (m ³)	Da (g/cm ³)	P (t)	P/an (T/an)
Rav. 1	TRG	0,5	209,3	3 953,3	413 712,8	1,6	661 940,6	66 194,1
Rav. 2	TRG	0,5	1 098,4	44 333,8	24 348 123,0	1,6	38 956 996,7	3 895 699,7
Rav. 3	TRG	0,5	184,9	2 098,4	193 997,1	1,6	310 395,3	25 866,3
Rav. 4	TRG	0,5	302,9	11 436,1	1 731 997,3	1,6	2 771 195,8	213 168,9
Rav. 5	TRG	0,5	177,71	4 078	362 350,7	1,6	579 761,1	57 976,1
Moyenne			394,642	13 179,92	5 410 036,18		8 656 057,89	851 781
Total			1 973,21	65 899,6	27 050 180,9		43 280 289,5	4 258 905,1

Source : Données de terrain, traitées par les auteurs

Les résultats issus du cubage des cinq ravins montrent que les terres affectées par ce phénomène s'étendent sur une superficie totale d'environ 65 900 m², soit environ 1 % de la superficie totale du quartier. La quantité totale de terres emportées est évaluée à 43 280 000 tonnes, soit une moyenne d'environ 8 660 000 tonnes par ravin. La longueur totale de ces cinq ravins est estimée à environ 2 km, pour une moyenne de presque 400 mètres par ravin. Les pertes de terre par an

occasionnées par chacun des ravins sont assez importantes pour certains et très importantes pour d'autres. Elles sont de l'ordre d'environ 25 866 (Rav. 3) à 3 895 700 (Rav. 2) tonnes.an⁻¹. Chaque ravin a produit en moyenne une quantité de terre de 851 781 tonnes.an⁻¹. Les photos 4, 5, 6 et 7 de la planche 2, illustrent bien l'ampleur de la dégradation atteinte par la zone d'étude.

Planche 2 : Ampleur du phénomène et ses dégâts dans la zone d'étude



Photo 4 : Tête de ravin derrière le lycée scientifique de Massengo ; **Photo 5** : Ravin évoluant sur l'avenue du lycée scientifique détruisant la canalisation et menaçant les maisons ; **Photo 6** : Maisons menacées par l'érosion évoluant sur l'avenue du lycée scientifique ; **Photo 7** : Vue de la partie aval du ravin évoluant sur l'avenue du lycée scientifique.

D'après les informations recueillies auprès des chefs de blocs, les cinq ravins sont toujours actifs, comme le montre d'ailleurs les images sur la planche 2. Le travail de dégradation s'active pendant les périodes pluvieuses. Selon les mêmes sources, ces cinq ravins dateraient de 2012 (Rav. 4), de 2013 (Rav. 3) et de 2015 (Rav. 1, 2 et 5) (tabl. 7). Leur âge moyen est de 11 années (tableau 3). Ce qui indique qu'il s'agit d'un phénomène déjà ancien dans ce secteur.

Tableau 3 : Âges des ravins, leur localisation et coordonnées géographiques

Code des ravins	Âge	Localisation	Points GPS
Rav. 1	Environ 10 ans	Derrière le lycée scientifique	4°11'04"S/15°16'36"E
Rav. 2	Environ 10 ans	Sur l'avenue du lycée scientifique	4°10'47"S/15°16'24"E
Rav. 3	Environ 12 ans	Au CSI du domaine	4°10'21"S/15°15'59"E
Rav. 4	Environ 13 ans	Vers l'antenne	4°10'37"S/15°16'37"E
Rav. 5	Environ 10 ans	Vers l'antenne	4°10'41"S/15°16'44"E
Moyenne	11 ans		

Les dégâts occasionnés par ces ravinements sont particulièrement importants, tant sur le plan environnemental que socio-économique. Sur le plan environnemental, les sédiments mobilisés par l'érosion ont provoqué l'ensablement des cours d'eau et de certaines sources d'approvisionnement en eau des populations riveraines. L'ensablement des cours a non seulement modifié localement le tracé des rivières, mais aussi dégradé la qualité des eaux en raison de l'augmentation des matières en suspension. On a également assisté à l'envasement des étangs dû au transport et au dépôt des particules érodées, compromettant ainsi la sécurité alimentaire des populations et leurs moyens de subsistance. Par ailleurs, le développement des ravins ont entraîné une transformation du relief et la destruction des habitats naturels.

Sur le plan socio-économique, les profondes incisions générées par le ravinement représentent une menace permanente pour les populations riveraines et leurs biens. Dans certains endroits, l'ampleur de la dégradation a contraint des ménages à abandonner leurs habitations. À ces dégâts s'ajoutent les coûts financiers importants liés aux opérations comme la prévention et la stabilisation des ravins, la réhabilitation des infrastructures et des espaces dégradés. Plusieurs facteurs expliquent cette sensibilité à la dégradation par le ravinement.

3.1.2. Sensibilité du milieu

3.1.2.1. Perméabilité des sols à Impôh-Manianga

Les résultats des tests d'infiltrométrie réalisés et des calculs effectués sont consignés dans le tableau 4. Le temps utilisé est celui issu de la moyenne des deux essais réalisés.

Tableau 4 : Caractéristiques hydriques et coefficient de perméabilité du quartier Impôh-manianga

Site expérimental	Temps mis (t)	Perméabilité		Intervalle de K		Aptitude à l'infiltration
		m/s	mm/h	m/s	mm/h	
Domaine(lycée scientifique)	14mn 28s	$2,5 \cdot 10^{-5}$	88,8	$2 \cdot 10^{-5} < K < 5 \cdot 10^{-5}$	$72 < K < 180$	Bonne

L'analyse du tableau montre que les mesures effectuées sur le site expérimental de la zone dite « Domaine » ont mis en évidence un temps moyen d'infiltration d'environ 14,5 minutes. Cette durée correspond à un coefficient de perméabilité (K) de $2,5 \times 10^{-5}$ m/s, soit une vitesse d'infiltration de 88,8 mm/h. D'après la classification proposée par l'EPNAC (2013) (tableau 1), cette valeur se situe dans la classe $2 \times 10^{-5} < K < 5 \times 10^{-5}$ m/s, correspondant à une vitesse d'infiltration comprise entre 72 et 180 mm/h. Cette classe traduit une bonne capacité des sols à l'infiltration de l'eau. En conséquence, la conductivité hydraulique verticale des horizons superficiels est jugée satisfaisante, favorisant le transfert des eaux vers les couches sous-jacentes.

Ces résultats corroborent bien avec les caractéristiques physiques du sol de la zone étudiée, comme l'indique la granulométrie des formations superficielles de ladite zone.

3.1.2.2. Granulométrie de la zone d'étude

Dans le tableau 5 sont consignés les résultats des analyses granulométriques des échantillons prélevés sur le terrain. Ils montrent que la zone est dominée par le sable.

Tableau 5 : Textures et matières organiques du quartier Impôh-manianga

Site	Profondeur (cm)	Texture (%)					MO (%)
		SF	SG	LF	LG	A	
	50	53,09	39,33	4,50	1,22	2,5	0,21

Domaine(lycée scientifique)	100	52,02	41,00	4,50	0,46	3,00	0,25
Domaine (Vers l'antenne)	50	64,19	29,99	3,50	0,69	3,00	0,38
	100	52,08	41,00	4,50	0,46	3,00	0,25
Domaine (l'eau c'est la vie)	50	59,1	36,4	0,07	1,96	0,06	0,98
	100	56,3	36,5	0,02	2,03	0,04	0,97
Moyennes spécifiques		56,1	37,4	2,85	1,14	1,93	0,51
Totaux moyens		93,5		3,99		1,93	0,51

L'analyse de ces résultats met en évidence une nette prédominance de la fraction sableuse, dont la teneur moyenne atteint 93,5 %, contre 3,99 % de limons et 1,93 % d'argiles. La matière organique y est, quant à elle, quasiment inexistante. La réévaluation texturale présentée à la figure 6, à partir des données du tableau 6, confirme la prédominance marquée de cette texture sableuse.

Tableau 6 : Pourcentage des valeurs texturales de la zone de Domaine réévaluées

Texture	Sables	Limons	Argile	Totaux (%)
Moyennes texturales obtenues au laboratoire	93,5	3,99	1,93	99,4
Moyennes texturales réévaluées	93,5	4,50	2,00	100

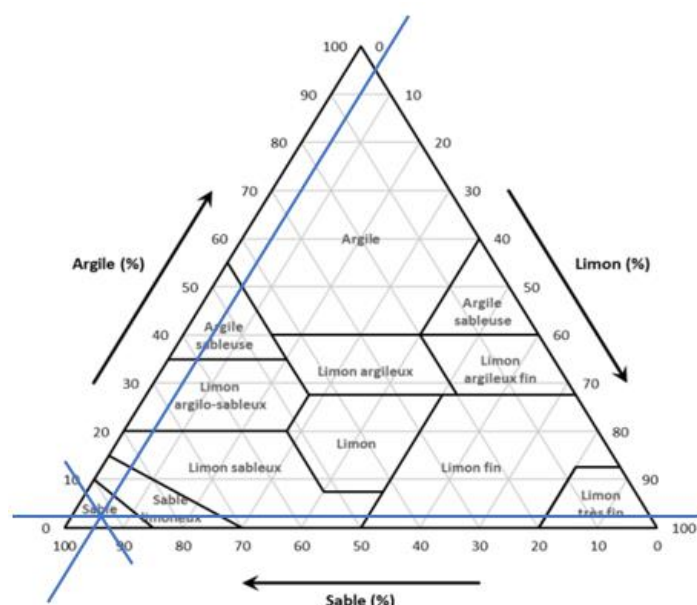


Figure 6 : Triangle des textures du site de Domaine

Les résultats des analyses granulométriques indiquent que la bonne conductivité hydraulique des sols de la zone d'étude est principalement liée à la très faible proportion des fractions fines. Cette texture, largement dominée par les sables, favorise l'infiltration des eaux pluviales. Toutefois, elle constitue également un facteur de vulnérabilité à l'érosion hydrique, dans la mesure où elle confère aux formations superficielles une faible cohésion et un caractère fortement affouillable.

3.1.2.3. Topographie et localisation des ravins

La zone d'étude est caractérisée par une topographie fortement accidentée. Cette topographie constitue un facteur déterminant dans l'initiation et le développement des ravins. Son influence sur cette dynamique érosive est mise en évidence par la figure 7.

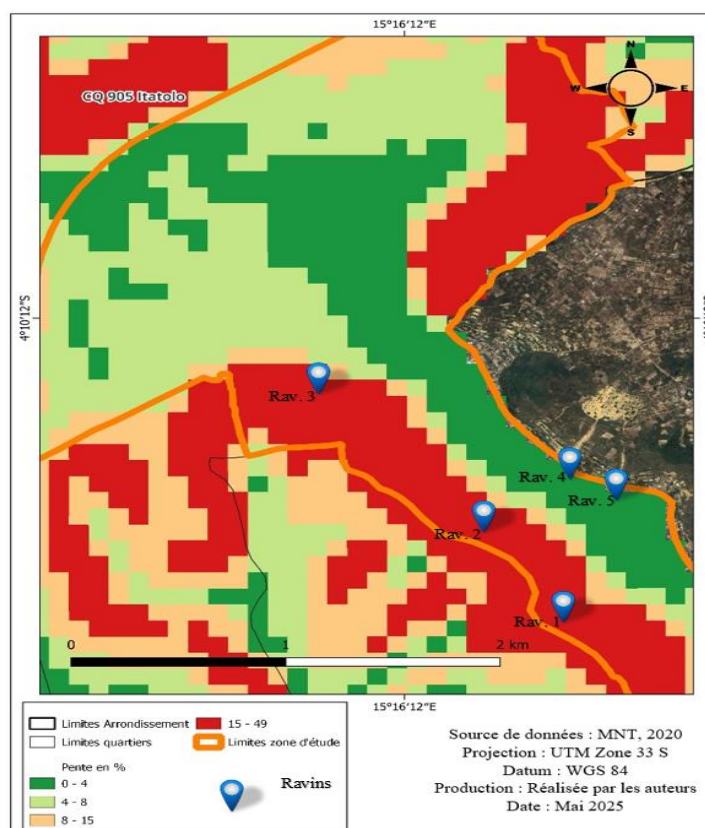


Figure 7 : Carte des pentes et de localisation des ravins cubés

L'analyse de cette carte révèle une dynamique plus marquée du ravinement dans les secteurs de haute altitude. Les secteurs où les processus morphogéniques sont particulièrement actifs sur les versants à forte déclivité et faiblement couverts par la végétation. La répartition spatiale des ravins étudiés montre que la majorité des formes érosives les plus évoluées se concentre sur des versants présentant des pentes supérieures à 15 %. En effet, trois des cinq ravins analysés (Rav. 1, Rav. 2 et Rav. 3) se situent sur des pentes comprises entre 15 et 49 %, tandis que les deux autres (Rav. 4 et Rav. 5) évoluent sur des pentes allant de 4 à 8 %. Ces observations montrent que des pentes relativement faibles peuvent déjà favoriser l'apparition d'un ruissellement concentré susceptible d'initier le ravinement, conformément aux travaux de D. DUPILET (2003, p. 10).

3.1.3. Analyse statistique de l'influence de quelques variables sur le volume des ravins

L'analyse de certaines variables étudiées dans ce travail porte sur deux indicateurs statistiques, notamment le coefficient de corrélation (r) et le coefficient de détermination (R^2). Ces deux indicateurs ont permis d'étudier la relation entre les variables quantitatives et d'analyser les paramètres influençant la dégradation du site par l'érosion hydrique. Le tableau ci-dessous met en évidence cette corrélation entre les variables pentes, âges des ravins, pluies de la zone et le volume des ravins dans la zone pilote d'étude.

Tableau 7 : Corrélation pentes, âges des ravins, pluies de la zone et volume des ravins

	Pentes (%)	Ages (an)	Pluies (mm)	Volumes (m ³)
Pentes (%)	1			
Ages (an)	-0,32	1		
Pluies (mm)	-0,17	0,32	1	
Volumes (m ³)	0,376	-0,358	0,657	1

L'analyse de ce tableau met en clair les relations entre les pentes, l'âge des ravins, la pluviométrie et le volume des ravins. On remarque que la corrélation entre les pentes et le volume des ravins donne une valeur de $r = 0,376$, indiquant une corrélation faiblement positive. Ensuite, entre l'âge des ravins et le volume des ravins, la valeur de $r = -0,358$ révèle une corrélation négative faible. Entre la pluviométrie moyenne annuelle et le volume des ravins, enfin, la corrélation s'estime à $r = 0,657$, montrant une corrélation fortement positive. Ainsi, de manière générale, les valeurs obtenues de la corrélation entre la pente, la pluviométrie et le volume des ravins signifient que le volume des ravins tend à augmenter lorsque la pente et la pluviométrie augmentent. Par contre, entre l'âge et le volume des ravins, la valeur obtenue ne présente aucune influence de l'âge des ravins sur le développement des ravins.

Par ailleurs, le coefficient de détermination des variables pentes ($R^2 = 0,141$) et pluviométrie ($R^2 = 0,431$) évaluées, montre que 57,2 % de la variabilité du volume des ravins est statistiquement associée à la pente et à la pluviométrie. Mais la pluviométrie constitue de loin le paramètre qui explique mieux la variation du volume des ravins (43,1 %). Ce résultat met en lumière la formation d'importants écoulements de surface observés dans la zone d'étude, qui se traduisent par un développement marqué des ravinements (planche 2).

3.2. Discussion

3.2.1. Interprétation des résultats

Le quartier Impôh-manianga est aujourd'hui affecté par une intense activité érosive responsable d'énormes dégâts. Cette érosion se manifeste surtout par des formes de ravins spectaculaires dont le résultat se solde aujourd'hui par 43 280 289,5 tonnes de perte totale de terre soit 4 258 905,1 de tonne par an. Le volume total de vide créé est de 27 050 180,9 m³, pour une longueur totale de 1 973,21 mètres. La surface totale occupée par ces formes est de 65 899,6 m². Les analyses granulométriques effectuées, le test in situ de l'infiltrométrie réalisé, les données pluviométriques analysées et la carte des pentes mise en place ont permis d'identifier plusieurs paramètres déterminants. Ces derniers influencent les processus d'érosion hydrique, responsables de la dégradation de cette zone.

Les analyses granulométriques montrent clairement une texture essentiellement sableuse. Cette texture est caractérisée par une proportion de sable supérieure à 90 %, tandis que les fractions de particules fines (< 50 µm) demeurent très faibles, inférieures à 8 %. Une composition texturale qui confère aux sols une faible cohésion intergranulaire, les rendant particulièrement vulnérables aux processus d'érosion hydrique. Dans ces conditions, les particules sont aisément détachées et transportées par les eaux de ruissellement. Par conséquent, cette nature granulométrique apparaît comme un paramètre déterminant de la sensibilité des sols à la dégradation par l'érosion hydrique. Si la prédominance en particules sableuses minimise la stabilité structurale des sols, la faible proportion de liants affaiblit la résistance des agrégats aux contraintes mécaniques manifestées par les pluies. Cette faible cohésion contribue à la genèse du ravinement, notamment sur les versants exposés aux ruissellements concentrés.

Des observations comparables ont été faites à travers les travaux de nombreux auteurs, qui ont montré que les sols sableux présentent généralement une forte érodibilité en raison de leur faible cohésion et de leur faible capacité à maintenir une structure stable. W. H. WISCHMEIER et D. D. SMITH (1978), dans le cadre de l'Universal Soil Loss Equation (USLE), considèrent la texture du sol comme l'un des principaux paramètres du facteur d'érodibilité (K). Selon les auteurs, les sols dominés par les limons et les sables fins sont les plus vulnérables à l'érosion hydrique, en raison de leur facilité au détachement et au transport par l'effet splash et le ruissellement. R. P. C. MORGAN (2005) propose une démarche davantage basée sur les processus physiques. Il mentionne que la granulométrie influence à la fois l'infiltration, le ruissellement, la cohésion des particules et leur transport. Les sols riches en sables ont souvent

une infiltration élevée qui peut limiter le ruissellement. Mais ils favorisent le détachement des particules et l'évolution des formes lorsqu'ils sont majoritairement constitués de sables fins, pauvres en argiles et en matière organique, donc par leur faible cohésion.

Le coefficient de perméabilité (K), estimé à $2,5 \times 10^{-5}$ m/s, soit 88,8 mm/h, à partir des mesures réalisées à proximité du ravin, classe ces formations parmi les sols à bonne perméabilité. En théorie, cette aptitude élevée à l'infiltration constituerait un facteur limitant le développement du ruissellement superficiel, principal agent de l'érosion hydrique dans cette zone. Elle favoriserait plutôt la pénétration des eaux pluviales vers les horizons profonds. Toutefois, malgré cette caractéristique favorable, les observations de terrain révèlent une forte incidence des ravinements dans la zone d'étude. Or, cette contradiction apparente souligne plutôt les limites scientifiques de cette caractéristique, surtout lorsqu'elle est prise isolément, pour justifier le comportement érosif dans une zone. Cette situation montre que l'étude de la dynamique érosive doit se faire en combinant d'autres paramètres, tels que les propriétés intrinsèques du sol, les caractéristiques topographiques, les conditions pluviométriques et l'occupation du sol. Par ailleurs, une infiltration rapide peut également contribuer à la fragilisation des sols en favorisant le lessivage des éléments fins et des agents de cimentation, ce qui réduit davantage leur cohésion et accroît leur vulnérabilité à l'érosion.

L'érosion résulte généralement de la synergie complexe des facteurs topographiques, climatiques et humains. Si la pente influence la vitesse des ruissellements, en renforçant leur énergie abrasive, à mesure que l'inclinaison augmente, cette influence reste dépendante des autres facteurs environnementaux. Car, en l'absence des pluies agressives et en la présence d'une surface couverte par la végétation, une pente, même forte, ne favorise pas nécessairement une forte érosion. Il lui faut donc des pluies agressives pour lui fournir des volumes d'eau nécessaire aux ruissellements torrentiels. Et, les changements d'occupation du sol qui s'effectuent au profit des zones urbanisées et au détriment de la couverture végétale, accélèrent significativement cette dynamique érosive. Cette situation expose le sol au splash, aux ruissellements et réduit ses capacités de protection et d'infiltration. C'est ainsi que les ravinements les plus spectaculaires sont observables où ces paramètres agissent simultanément. Cette observation rejoint les travaux de K. G. RENARD et J. R. FREIMUND (1994), qui, dans le cadre de l'équation RUSLE, soulignent que les pertes en terre sont déterminées par l'interaction entre l'érosivité des pluies (R), les caractéristiques topographiques (LS), ainsi que le degré de protection offert par la couverture végétale (C). Pour eux, des précipitations très

érosives ne provoquent des pertes en sol importantes que lorsque les versants favorisent le ruissellement et que le couvert végétal est insuffisant pour dissiper l'énergie des gouttes de pluie et limiter les écoulements de surface. Dans le même sens, J. BOARDMAN (2006) montre que les caractéristiques texturales du sol interagissent en permanence avec l'intensité des pluies, la pente, la couverture végétale, les pratiques d'occupation des terres et les activités humaines. Ainsi, un sol sableux ne devient fortement érodable que lorsque les conditions défavorables sont réunies. Alors qu'un sol de texture comparable peut demeurer relativement stable sous une couverture végétale protectrice ou sur une faible pente. Pareil pour M. C. BAILLY, M. C. MALVOS, M. J. M. SARRAILH & *al.*, 1976, p. 19 qui attestent que l'érosion du sol est fonction de l'agressivité du climat et des divers facteurs qui peuvent la favoriser.

3.2.2. Limite de l'étude

Cette étude présente certaines limites scientifiques qu'il est important de souligner. D'abord, l'utilisation d'un MNT SRTM de résolution spatiale de 30 m ne permet pas de restituer avec une précision suffisante les microformes de terrain, capables d'influencer à l'échelle locale les écoulements de surface et la genèse des ravinements. Ensuite, le nombre très limité de ravins analysés réduit la robustesse des traitements statistiques, notamment des relations de corrélation établies entre certaines variables étudiées. En outre, plusieurs paramètres en mesure de contrôler la dynamique des ravines, tels que l'agressivité des pluies, les débits de ruissellement, les caractéristiques des ouvrages de drainage, ainsi que les propriétés mécaniques détaillées des sols, n'ont pas été intégrés à l'analyse. Enfin, les résultats obtenus demeurent propres au quartier Impôh-Manianga (Domaine) et leur généralisation à d'autres contextes géographiques doit être envisagée avec prudence, sous réserve d'investigations complémentaires.

Toutes ces limites ouvrent de nombreuses perspectives de recherche permettant d'approfondir la compréhension des mécanismes de l'érosion hydrique dans la zone d'étude. Ainsi, l'utilisation du modèle RUSLE pour la cartographie de susceptibilité à l'érosion, le suivi spatio-temporel du développement des ravins, l'analyse de la dynamique de l'occupation des sols, ainsi que l'évaluation des paramètres complémentaires tels que l'agressivité pluviométrique, l'érodibilité des sols et de l'indice de battance permettraient d'affiner les analyses. Une approche intégrée de ces différents paramètres contribuerait à mieux identifier les facteurs à l'origine de la sensibilité du milieu à l'érosion hydrique et à proposer des mesures de gestion et d'aménagement plus efficaces pour réduire durablement la dégradation des sols.

Conclusion

Le quartier Impôh-manianga soumis aujourd'hui à une intense activité érosive est implanté sur un substratum ayant des caractéristiques physiques et hydriques qui exposent le site au phénomène d'érosion. La quantification par cubage réalisée sur les cinq ravins étudiés montre clairement l'ampleur de la menace érosive qui affecte ce quartier. À eux seuls, ces ravins cumulent une longueur de près de 2 km et représentent un volume de vide estimé à près de 27 050 000 m³. Un volume qui correspond à une perte totale d'environ 43 300 000 tonnes de matériaux. Ces résultats témoignent de l'intensité des processus érosifs et de leur impact considérable sur la dégradation du milieu.

L'exposition de la zone à l'érosion hydrique s'explique, par la forte érodabilité des sols, caractérisés par une texture largement riche en sables (environ 93 %) et fortement pauvre limons (environ 4 %) et liants (moins de 2,5 %). Donc des sols dépourvus d'une cohésion nécessaire. Toutefois, le coefficient de perméabilité mesuré ($K = 2,5 \times 10^{-5}$ m/s, soit 88,8 mm/h) indique une bonne capacité d'infiltration des sols. Mais, malgré cette bonne capacité, la perméabilité demeure insuffisante face à l'agressivité des pluies et à l'influence conjointe des propriétés du sol, de la topographie et de l'occupation des sols.

Les coefficients de corrélation évalués présentent une faible corrélation positive entre la pente et le volume des ravins ($r = 0,376$), une forte corrélation positive entre la pluviométrie et le volume des ravins ($r = 0,657$) et une faible corrélation négative entre l'âge et le volume des ravins. Le coefficient de détermination montre que 43,1 % de la variabilité du volume des ravins est expliquée par la pluviométrie ($R^2 = 0,431$) de la zone d'étude.

Références bibliographiques

- BAILLY M. C. MALVOS M. C. SARRAILH M. J. M. RAKOTOMANANA M. J. L. RAMPANAN A L. et RAMANAHADRAY F. M. (1976). « Étude de la sensibilité des sols de Madagascar à l'érosion », *Revue Bois et Forêts des Tropiques*, n° 169, pp. 15-28.
- BASSAFI L. (2008). *Etude de l'infiltration par la méthode du bilan des volumes*, Thèse de Doctorat, Institut National Agronomique El Arrach, Alger, 122 p.
- BOARDMAN J. (2006). « Soil erosion science: Reflections on the limitations of current approaches », *CATENA*, 68(2-3), pp. 73-86.
- BOUZOU M. I. MALAM A. M. INGATAN W. A. BOUBACAR N.-A. A. BAHARI I. M., FARAN M. O. MAMADOU I. ABBA B. DESCROIX L. LE BRETON E. VANDERVAERE J.-P. (2020). « Current Hydro-Erosive Dynamics Of The Endoreic Watersheds Of The Niamey Region (In The SouthWestern Region Of Niger Republic) », *European Scientific Journal (ESJ)*, Vol.16, N°33, pp. 151-168.
- 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.
- DUPILET D. (2003). *Guide technique de la lutte contre l'érosion des sols en Caps et Marais d'Opale*, Rapport inédit, 44p
- 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.
- LE MARECHAL A. (1966). *Les plateaux Batékés : géologie, géomorphologie, hydrologie*. Rapport ORSTOM, Brazzaville, 42 p.
- LOUBA D. G. et 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, Juin 2024, pp. 11-26.
- LOUBA D. G. (2026). « Occupation du sol et risques de dégradation par l'érosion hydrique dans les quartiers Gaston MPOUILILOU et Florent NTSIBA à Kintélé (République du Congo) », *Revue HOPE*, Vol. 6, N°1, pp. 21-36.
- MORGAN R. P. C. (2005). « Soil Erosion and Conservation » in: 3 rd ed.; Blackwell Publishing Ltd.: Oxford, UK. 57. p. 426-445.
- NGATSE R. (2023). « L'érosion hydrique dans l'arrondissement 7 Mfilou (Brazzaville, République du Congo) : état des lieux et facteurs déterminants », *Pluralis scientia*, N°003, juin 2023, pp. 205-218.
- RENARD K. and 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. et MPOUNZA M. (2001). « Climat », in *Les Atlas de l'Afrique, Congo*, Editions Jeune Afrique, pp. 14-18.



SAMBA-KIMBATA M. J. (1978). *Le climat au bas Congo*, Thèse de doctorat, Université de DIJON faculté des Sciences Humaines, centre de recherche de climatologie, 280p.

SITOU L. NGATSÉ R. et BAVEDILA M. (2022). « Etude de la dynamique et des facteurs du ravin de Tchiali à Pointe-Noire en République du Congo », *Revue Internationale du Chercheur* «Volume 3 : Numéro 1» pp : 284 – 304.

TCHOTSOUA M. (1994). « Dynamique informelle de l'espace urbain et érosion accélérée en milieu tropical humide : le cas de la ville de Yaoundé », In: *Cahiers d'outre-mer*. N° 185 - 47e année, pp. 123-136.

WISCHMEIER W. H. & SMITH D. D. (1978). *Predicting Rainfall Erosion Losses; A guide to conservation planning*, Agriculture handbook N°537. US department of Agriculture Science and Education Administration, Washington, DC, USA, 163 p.