



ARTICLE DE RECHERCHE

Article Info.:

Reçu : le 21/03/2025

Accepté : le 02/06/2025

Publié : le 09/06/2025

ESTIMATION DES DEBITS DE POINTE DE RUISSELLEMENT RESPONSABLES DE L'ÉROSION RAVINANTE DANS LA ZONE DE KIMWENZA AU SUD DE LA VILLE DE KINSHASA

Fils Makanzu Imwangana ^{1,2,*}, Blaise Kamosi Zola ¹, Joyce Mbiya Kangudia ², Serge Pangu Sanghy ¹

<https://doi.org/10.70237/jafrisci.2025.v2.i1.12>

Resumé

Les bassins versants drainant le petit plateau de Kimwenda, au sud de Kinshasa, connaissent une périurbanisation rapide et extensive, avec une planification limitée. L'objectif est de comprendre les facteurs de ravinement et de développer des méthodes appropriées et efficaces pour réduire le ruissellement érosif. Grâce au MNT et à l'extension ArcHydro de ArcMap, on a caractérisé la morphométrie des bassins versants et décrit le réseau d'écoulement des eaux de surface. L'évaluation des débits de ruissellement s'est fait avec le logiciel ILWIS 7.6, puis on a proposé un plan de drainage adéquat. Ces bassins présentent une densité de drainage élevée, d'environ 1 800 à plus de 11 000 m/km², avec une moyenne d'environ 6 570 m/km². Ces bassins présentent une forme plutôt arrondie et une extension modeste, susceptibles d'avoir un temps de concentration des eaux de pluie et de réponse rapide. Avec des pentes de plus de 8%, et des écoulements torrentiels, le débit de pointe des écoulements de surface peut dépasser 650 l/s/ha, selon une analyse des averses actives et de leur intensité. Au total, 30 méga-ravins y ont été cartographiés. Dans ces conditions, l'atténuation du phénomène de ravins nécessite une réduction significative des débits de ruissellement.

Mots clés : Kinshasa, périurbanisation, bassin versant, ruissellement, érosion ravinante

Abstract

The catchments draining the small plateau of Kimwenda in Kinshasa's south are undergoing rapid and extensive peri-urbanization with limited planning. The goal is to understand the factors of gully erosion, as well as to develop appropriate and effective methods for reducing gully erosion. To achieve this, we proceeded as follows: characterize the morphometry of the catchments and describe the network of the surface water flow with a DEM in ArcHydro/ArcMap, assess the runoff rates by ILWIS 7.6 and propose an adequate drainage to collect runoff. These basins have a high drainage density ranging from approximately 1,800 to more than 11,000 m/km², with a general average of approximately 6,570 m/km². These basins have a somewhat rounded shape and a modest extension, likely to have a rapid rainwater concentration time and response time. With slopes of more than 8% and torrential flows, the peak flow rate of surface flows can exceed 650 l/s/ha, according to an analysis of active showers and their intensities. In total, 30 mega-gullies were mapped. Under these conditions, attenuating the gully phenomenon necessitates a significant reduction in runoff flows.

Key words : Kinshasa, peri-urbanization, catchment, runoff, gully erosion

1. Introduction

L'érosion ravinante est devenue un problème majeur de gestion urbaine et un important obstacle de développement urbain dans plusieurs villes du Sud [1]. Elle constitue un phénomène environnemental qui nécessite aujourd'hui beaucoup d'attention autant que les autres risques de catastrophes à travers le monde. Dans le Sud, les techniques employées pour endiguer ce phénomène sont souvent inefficaces et parfois élémentaires [2], et ne sont pas basées sur des études

approfondies des causes principales qui l'induisent [3 ; 4 ; 5 ; 6].

Avant 1967, la ville de Kinshasa se cantonnait exclusivement sur la plaine. Et, le schéma directeur d'aménagement urbain de Kinshasa prévoyait un développement linéaire de l'agglomération vers l'est, au-delà de l'aéroport de Ndjili, axé sur les points forts de Kinkole, Nsele et Maluku (Atlas de Kinshasa, 1975). Elle grimpera malheureusement vite sur les versants des collines : à Ngaliema d'abord, puis à Kisenso vers

Correspondance : filmakanzu@yahoo.fr (F. M. Imwangana)

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

¹ Unité de Recherches et de Formation en Gestion des Risques Naturels, Mention Géosciences, Faculté des Sciences et Technologies, Université de Kinshasa, Kinshasa, RD.Congo

² Laboratoire de Géomorphologie et Télédétection, Centre de Recherches Géologiques et Minières (CRGM), Kinshasa, RD. Congo

la fin des années 1960 et, bien d'autres collines seront finalement envahies à leur tour par un habitat d'auto-construction [7 ; 8 ; 9 ; 10]. Cette croissance de l'espace urbain a eu pour principal effet dès la fin des années dix-neuf cent soixante, l'apparition du ravinement sur les versants des collines sableuses à fortes pentes et plus tard son corollaire l'inondation.

Il est connu que les convexités sommitales des collines de Kinshasa notamment, aux pentes faibles, ont été essentiellement modelées par l'érosion du splash [11]. En effet, des expériences effectuées sur le terrain à l'aide de sables traceurs, démontrent que les sols à pente douce ne sont que peu sensibles à l'action du ruissellement [12 ; 13]. Par contre, ces milieux doivent avoir subi une ablation accentuée, due aux effets du « splash ». Dans une forme de relief convexe, l'érosion ravinante n'apparaît qu'à la suite d'une modification du paysage (dégradation du sol) amenant à la concentration des eaux de ruissellement notamment par les routes [5]. Depuis plus d'un demi-siècle déjà, la haute ville de Kinshasa est en proie à une érosion ravinante spectaculaire. L'observation de l'imagerie Google Earth met en relief de nouveaux ravins après chaque saison des pluies. On y aperçoit des paysages des *badlands* isolant des quartiers entiers du reste de la ville [14]. Dans certains cas, cet enclavement rend inaccessible les infrastructures sociales de base ; et au pire, elles sont même carrément détruites par le ravinement. Ce dernier pose alors de graves problèmes à Kinshasa tant du point de vue socio-économique qu'environnemental.

Les routes et les fossés de drainage perturbent les conditions naturelles de drainage et, par conséquent, peuvent diminuer le seuil de l'intensité critique d'un lieu. Il s'agit particulièrement des endroits où, aujourd'hui, les infrastructures urbaines sont sérieusement endommagées. Dans ce contexte, le déclenchement de ravins notamment ceux routiers, détient une haute occurrence, en ce qu'ils s'y développent rapidement [15 ; 16 ; 17].

Cette étude veut évaluer, estimer et connaître la quantité d'eau qu'il faille collecter afin d'être drainée efficacement pour réduire sensiblement le ruissellement qui occasionne l'érosion ravinante dans la zone de la Mission de Kimwenza et ses environs.

2. Présentation de la zone d'étude

La Ville de Kinshasa est bâtie sur une vaste plaine bordée de collines. Plusieurs auteurs tel que [18] assimilent la morphologie générale du site à un amphithéâtre. Les collines bordent les abords Sud de cet amphithéâtre. La zone d'étude englobe une partie du Mont-Amba et de Mont-Ngafula. Dans sa partie située sur le Mont-Amba, on compte le quartier COGELOS qui est contigu au Campus de l'Université de Kinshasa. Tandis que la partie située sur le Mont-Ngafula englobe le quartier Kindele (en amont de la rivière Funa), le quartier Kimwenza Mission (administrativement désigné sous le nom de Kimbuta) et le quartier Kimwenza-Gare (Fig.1).

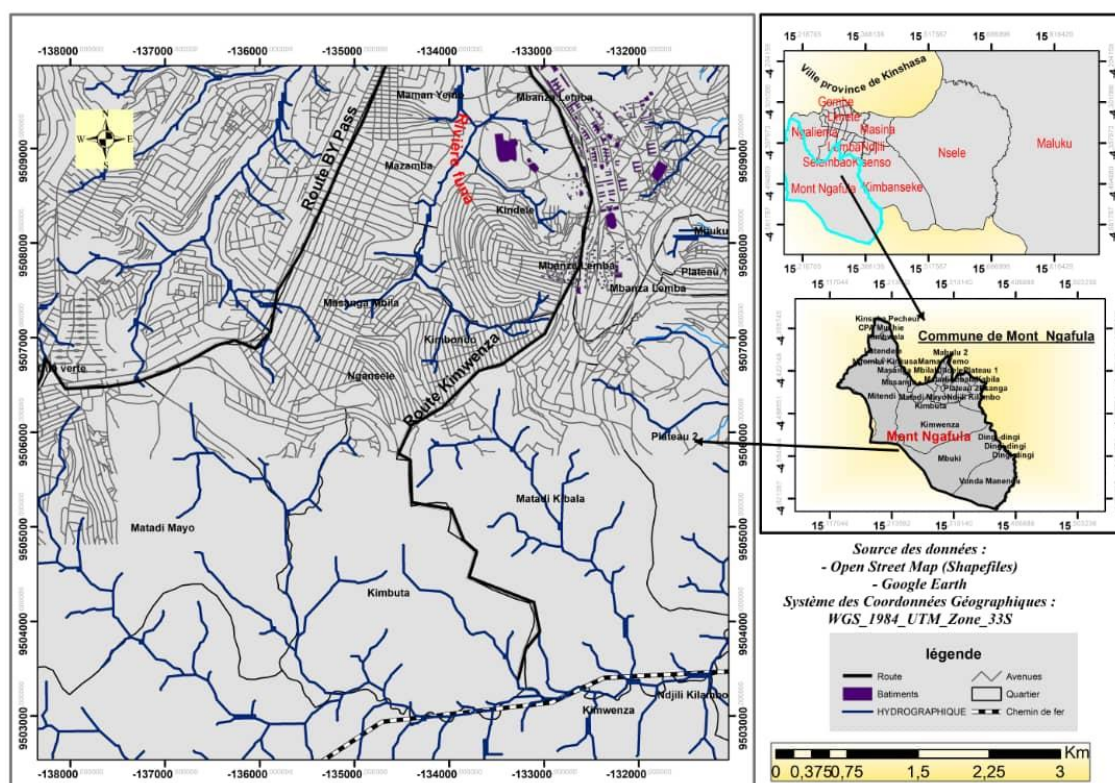


Fig. 1 : Localisation de la zone d'intérêt dans la ville de Kinshasa

La mission de Kimwenza et ses environs sont bâtis sur un petit plateau du même nom qui constitue la zone de contact entre la plaine du Pool (altitude moyenne : 310 m) et l'extension sud-ouest du plateau de Batéké (altitude moyenne : 413 m). Ce petit plateau rongé par l'érosion fluviale est dominé par des vallées séparées par des interfluvies à dos d'éléphant et se connectent

aux collines à sommets arrondis par des versants à pentes raides formant ainsi un relief en amphithéâtre. Ces vallées à fonds essentiellement plats sont drainées par des rivières de taille assez modeste ; il s'agit de la Funa au nord, la Lukaya et ses affluents au sud et la Bumbu au sud-ouest (Fig.2).

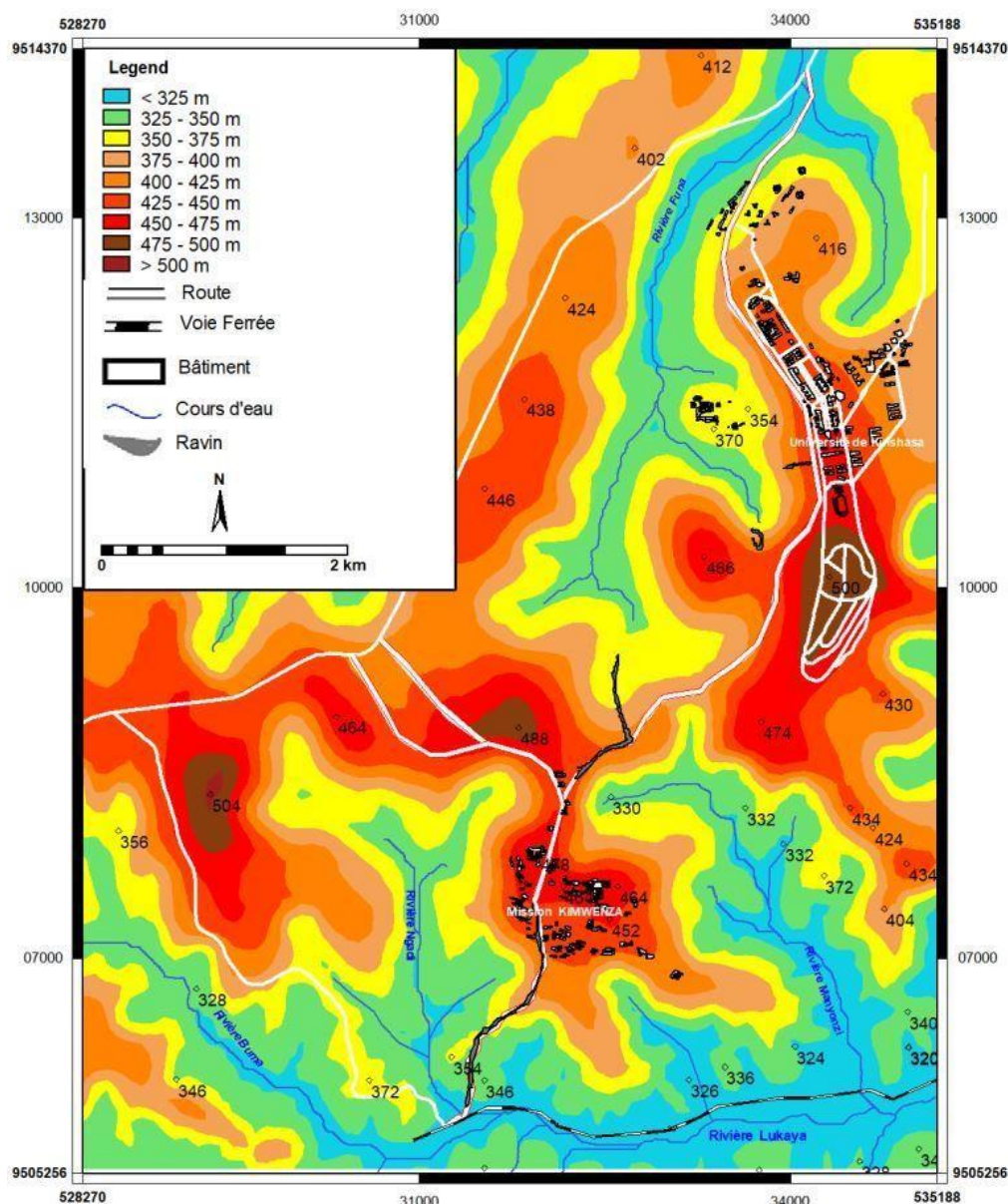


Fig. 2 : Relief de la mission Kimwenza et ses environs.

Les versants de ce petit plateau qui figuraient naguère sur la liste des zones *non aedificandi* (interdites au lotissement), sont actuellement envahis par des quartiers d'auto-construction comme le montre la figure 1. Kinshasa en général et la zone d'étude en particulier connaissent un climat du type Aw₄ avec des précipitations annuelles moyennes de 1400 mm et la température moyenne diurne qui dépasse 18°C (Figs.3).

Kinshasa-Centre-ville (285m, 15°18'E04°19'S) Kinshasa-Binza (445m, 15°15'E04°22'S)
 P=1353.1mm, T=24.9°C (1931-2002) P=1535.3mm, T=23.5°C(1955-2008)

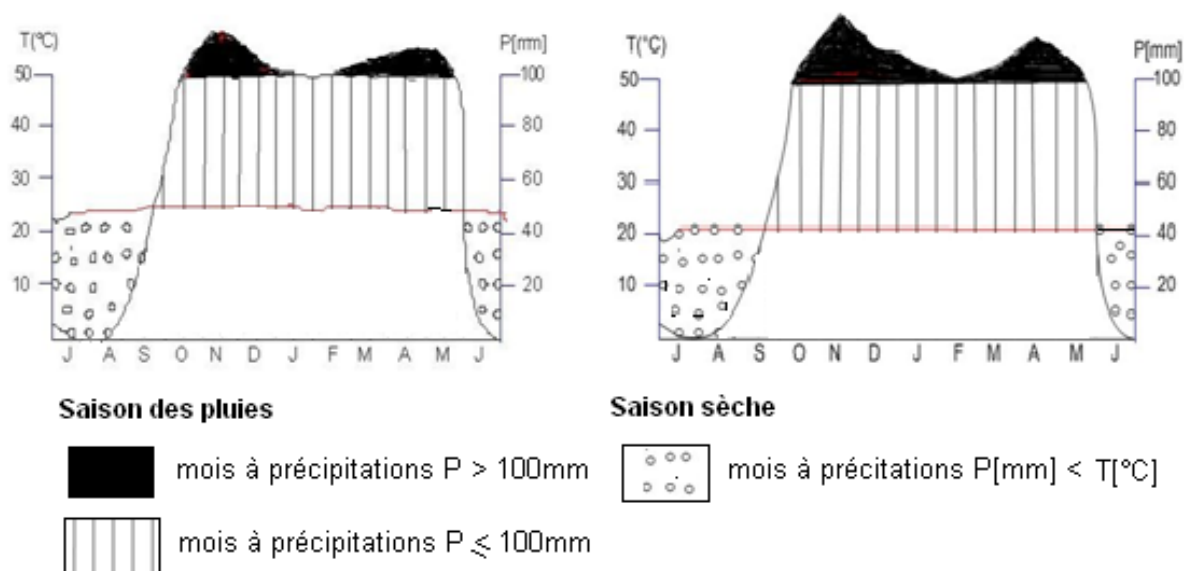


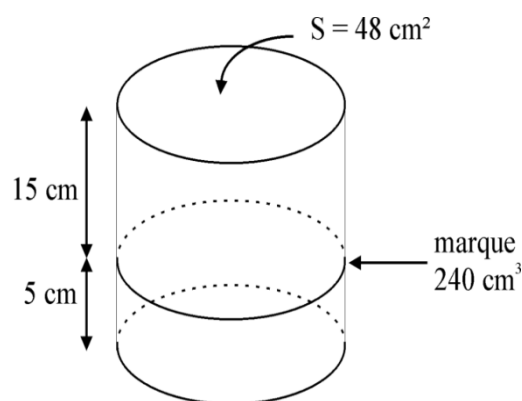
Fig. 3 : Diagrammes ombrothermiques de Kinshasa (1932-2008).

3. Matériels et méthodes

3.1. Matériel utilisé

Pour mesurer la capacité d'infiltration sur le terrain et prélever les échantillons de sol, on a utilisé un perméamètre annulaire en

tube PVC (Fig.4a) décrit par [19] ; de diamètre égal à 7,8 cm soit une section de 48 cm². D'autres matériels exposés à la figure 4b ont aussi servi lors de prélèvements des échantillons sur le terrain.



$$k (\text{cm sec}^{-1}) = 6.93/(t_1 - t_0)$$

Fig.4a : Dimensions du perméamètre annulaire en PVC de Moeyersons (1989).



Fig.4b : Autres matériels de prélèvement d'échantillons de sols

Un anneau d'un tel diamètre permet de prélever les échantillons de sol non perturbés. Ce tube est enfoncé jusqu'à 5 cm de profondeur, ce qui permet de prélever un volume de 240 cm³ en tournant légèrement le tube tout en le soulevant doucement. Si une partie du sol reste quand même dans le fond du trou après le prélèvement, la convexité de la partie inférieure de l'échantillonnage sera récupérée manuellement à l'aide d'une truelle ou d'une spatule. Cet échantillon est conservé dans un sachet en plastique pour le laboratoire. Ce mode opératoire exige que les mesures dans les endroits où les racines sont nombreuses soient exclues.

Les autres instruments qui ont servi à la recherche sur le terrain sont un GPS de marque GARMIN 62S pour positionner tous les points de prélèvements d'échantillons sur une carte, un appareil photographique numérique pour les prises de vues des profils et horizons où ont été prélevés les échantillons et un décamètre qui a servi aux mesures des épaisseurs et

profondeurs de différents ravins et horizons dans lesquels devaient être effectuées les mesures d'infiltration.

3.2. Approche méthodologique

3.2.1. Description et détermination de la conductivité hydraulique du sol

La technique consiste à mesurer *in situ* la dynamique de l'infiltration de l'eau dans le sol en mesurant la perméabilité de chaque horizon de quelques profils pédologiques des versants des ravins qui entaillent les Mont-Amba et Mont-Ngafula aux fins d'en déduire les comportements. Dans ce but, les parois des ravins ont été nettoyées à l'aide d'une bêche de haut vers le bas du profil pour rafraîchir et visualiser les horizons qui se différencient par leur coloration. Ce choix a été arbitraire pour tous les points d'observation. Cinq descentes de terrain ont été réalisées notamment pour prélever des échantillons de sols et mener des essais de perméabilité *in situ* et au laboratoire. Au

total, 15 échantillons ont été retenus pour les analyses granulométriques et des essais d'infiltration au laboratoire en raison de 3 échantillons pour chacun de 5 transects retenus. Au niveau de chacun de ces prélèvements, nous avons effectué des essais de perméabilité de sols avec un anneau simple



Fig.5 : Essai de perméabilité de sol *in situ* au site du Mont-Amba



Fig.6 : Essai de perméabilité de sol *in situ* à Mont-Ngafula

La partie enfoncée dans le sol a un volume d'environ 240 cm³. Cette technique est préférée à la place du double anneau métallique pour des raisons pratiques notamment sa facilité de transport et sa faible consommation d'eau. La capacité d'infiltration est donnée par la loi de Darcy [20] en chronométrant la chute du niveau d'eau dans le tube selon l'équation de Lambe et Whitman [21] suivante :

$$k = \frac{2,3 * a * L * \log_{10}(h_0)}{A(t_1 - t_0) * h_1} \dots\dots\dots(\text{Equation (1)})$$

Où, k = la perméabilité en cm s⁻¹ ; a = la section du tube (48 cm² ici) ; L = l'épaisseur de l'échantillon testé (5 cm ici), la profondeur à laquelle l'infiltromètre est enfoncé dans le sol ; A = a = la section de l'échantillon testé qui est de 48 cm² ; $t_1 - t_0$

= le temps en secondes entre les niveaux d'eau, h_0 (=20 cm) et

h_1 (= 5 cm) dans le tube. Pour ce tube en PVC qui a servi d'infiltromètre annulaire, la capacité d'infiltration k devient :

$$k = \frac{6,93}{(t_1 - t_0)} \dots\dots\dots(\text{Equation (2)})$$

3.2.2. Délimitation du réseau hydrographique et Détermination des paramètres morphométriques et physiques

Le bassin versant étant l'aire de réception des précipitations et d'alimentation des cours d'eau, les débits vont être en partie reliés à la surface, qui est limitée par les lignes de crête et se calcule par planimétrie. Partant du modèle numérique de terrain construit grâce au survol de drone de 0,5 m de résolution spatiale en 2020, l'outil ArcHydro de ArcMap a été utilisé pour calculer et extraire les sous-bassins versants et constituer le réseau hydrographique de la zone d'étude. Et c'est de là qu'ont été obtenus tous les indices et paramètres de forme et physiques utilisés dans ce travail.

3.2.3. Calcul des débits de ruissellement

Devant la difficulté de trouver des données au sol sur la station

directement sur terrain (*in situ*), faisant 20 cm de longueur dont 5 enfoncés dans le sol (Figs. 5 & 6).

de Kimwenza ou toute autre station située dans le bassin, on s'est rabattu sur la station du Centre Régional d'Etudes Nucléaires de Kinshasa (CREN-K, (4°25'04,79''S/15°18'34,68''E ; alt. : 481,16 m), qui est située à près de 5 km à vol d'oiseau du centre de la mission Kimwenza. Sa chronique pluviométrique journalière est de 14,5 ans (2007 – 2021). Ces données ont été corrélées avec celles de Kinshasa/Binza (4°22'14''S/15°15'17,62''E ; alt. : 445 m) puis homogénéisées. Et faute des données sur la durée des pluies à la station de référence du CREN-K, on s'est contenté d'exploiter des données historiques et des études antérieures basées sur les observations de la station de Kinshasa/Binza où malheureusement, l'enregistrement des données a été interrompu aussi il y a plus de 5 ans faute de pluviogrammes. Cette station de rang 1 (OMM) est située à près de 10 km au nord de la mission Kimwenza (4°27'10,49''S/15°17'16,83''E ; alt. : 476 m).

Dans la technique d'assainissement, la distribution des intensités maximales en fonction de leur durée est essentielle pour le dimensionnement des systèmes de drainage des routes et des petits ouvrages d'art des rues. L'intensité d'une pluie a la dimension d'une vitesse, mais dans la technique d'assainissement, elle est traduite en débit spécifique et exprimée en litres par seconde par hectare [l/s/ha] pour estimer les flux du ruissellement. Les pluies les plus intenses sont souvent les plus brèves. On remarque ainsi, qu'au cours d'un épisode pluvieux prolongé, les pluviophases d'intensité élevée sont en généralement courtes. Faute de données plus récentes, on s'est contenté de dépouiller les pluviogrammes disponibles à la METTELSAT qui couvrent la période 1977 à 2000. Leur dépouillement a permis de calculer les intensités maximales de 5, 10, 20 et 60 minutes.

Dans le cadre de cette étude, on n'a retenu que les pluviogrammes présentant les plus grandes pluviométries. Cette limite nous a été dictée par le fait que la majorité des pluies intenses n'ont guère de durée plus longue, et que la plus grande partie de la précipitation totale d'une pluie est recueillie en moins de 90 minutes [22]. Les sommes glissantes ont permis de déterminer pour chaque pluie l'apport maximum dans un

laps de temps donné. Cette distribution des occurrences en fonction de l'apport va permettre de calculer les occurrences cumulées. Ces occurrences cumulées ont été représentées graphiquement avec en ordonnée leurs logarithmes décimaux et en abscisse les apports. La distribution des points représentatifs pour un temps donné est de cette façon approximativement une droite, tout au moins dans la majeure partie. L'ajustement analytique est ainsi possible par la méthode des moindres carrés. L'équation de la droite d'ajustement cherchée est de la forme générale :

$y = bx + a$ (Equation (3))
où, les paramètres a et b seront tirés de l'équation de la droite d'ajustement « à l'œil » de [23].

Pour rappel, la loi double exponentielle de Gumbel est un modèle fréquentiel souvent utilisé pour prédire les événements extrêmes en hydrologie. Sa fonction de distribution $F(x)$ est de la forme :

$$F(x) = \exp\left[-\exp\left(-\frac{x-a}{b}\right)\right] \text{ (Equation (4))}$$

avec la variable réduite u telle que :

$$u = \frac{x-a}{b} \text{ (Equation (5))}$$

où a et b sont des paramètres du modèle de Gumbel.

La distribution s'écrit alors de la manière suivante :

$$F(x) = \exp(-\exp(-u)) \text{ (Equation (6))}$$

$$\text{Et } u = -\ln(-\ln(F(x))) \text{ (Equation (7))}$$

On comprend dès lors que l'expression d'un quantile devienne linéaire telle que : $x_q = a + bu_q$ (Equation (8))

En pratique, il s'agit essentiellement d'estimer la probabilité de non dépassement $F(x_i)$ qu'il convient d'attribuer à chaque valeur x_i . Il existe de nombreuses formules d'estimation de la fonction de répartition à l'aide de la fréquence empirique. Elles reposent toutes sur un tri de la série par valeurs décroissantes permettant d'associer à chaque valeur son rang r . Des simulations ont montré que pour la loi de Gumbel, il faut utiliser la fréquence empirique de Hazen :

$$F = \frac{r-0,5}{n} \text{ (Equation (9))}$$

où r est le rang dans la série de données classées par valeurs croissantes, n est la taille de l'échantillon, $x[r]$ la valeur de rang r .

Dans l'effort de mise au point d'un outil de prévision du ravinement, [6] a évalué la relation entre l'intensité de la pluie R_i et le coefficient de ruissellement CR à Kinshasa-ouest :

$$Y = 0.7533X - 6.1169 (R^2 = 0.8011) \text{ (Equation (10))}$$

avec X , l'intensité de la pluie I [mm/h] et Y , le Coefficient de ruissellement CR [%]

Dans le but d'identifier les surfaces d'alimentation des principaux ravins, une simulation des écoulements sur l'ensemble de la zone a été réalisée à l'aide du logiciel *Land and Water Information System* (ILWIS 7.6) afin de retracer l'organisation du parcours terrestre des flux de ruissellement dans la zone d'étude.

3.2.4. Inventaire cartographique des ravins et leurs caractérisations

Les ravins ont été cartographiés par photo-interprétation sur Google Earth Pro [24] au laboratoire avec ArcGis 10.2 et Quantum Gis. Les données des mesures et dimensions des ravins ont été obtenues sur la base de calcul automatique sur ArcMap 10.2. Les données de largeurs représentent des moyennes estimées à l'aide des surfaces obtenues automatiquement. La pente des parois de ravins de Kinshasa varie entre $\approx 25^\circ$ et 45° . Les données sur la profondeur et le volume sont dérivées de la largeur des ravins et calculées en considérant une pente moyenne de flancs de 35° pour une section triangulaire [6 ; 5].

3.2.5. Campagne de collecte de données sur le terrain et évaluation de la vulnérabilité

Avec l'aide de deux étudiants en Géomatique et de deux Chercheurs Juniors, une petite campagne de collecte de données sur le terrain a été organisée dans la première quinzaine du mois de Mai 2021. Elle a permis de récolter des points de contrôle au sol à l'aide d'un GPS Garmin 62S de différents sites d'érosion ravinante. Lors de cette campagne, on pouvait observer directement les ravins et leur impact sur le terrain afin de s'imprégner de l'état réel de la situation. Une enquête a été menée auprès de la population riveraine. Elle a été basée sur un questionnaire établi dans KoboCollect et administré grâce au téléphone mobile androïde pour connaître les facteurs sous-jacents qui ont conduit à cette situation ainsi qu'identifier les causes du ravinement, les impacts et évaluer les mesures de lutte employées. Cette descente sur le terrain a permis aussi de circonscrire approximativement la zone de drainage du ruissellement à la tête des ravins afin d'évaluer la vulnérabilité des infrastructures telles que les routes et les habitations, et ce, en tenant compte de la progression éventuelle des ravins.

4. Résultats et discussion

4.1. Description du sol de Kimwenza et sa conductivité hydraulique (perméabilité)

Les subdivisions de la couverture pédologique apparaissent en volume homogène. Leurs profondeurs varient de 38 à 150 cm. Elles s'expriment explicitement dans le détail par des agrégats distincts, des différents constituants formant le fond matriciel et les traits pédologiques. Par leur dimension verticale, centimétrique à métrique, les horizons sont (directement) identifiables à l'œil nu dans le profil. Chaque horizon est un volume. Les caractéristiques moyennes observées sur les différents sites de prélèvement ont déjà été bien décrits par [25 ; 26 ; 27]. La coupe pédologique caractéristique de ce milieu est décrite macroscopiquement à l'état sec ; il faut savoir que les couleurs apparaissent très nettement après une pluie. Il s'agit de :

- l'horizon A avec une épaisseur de 10-30 cm ; il s'agit du sable fin (grisâtre). Il est riche en radicelles de graminées mais diminuant avec la profondeur ;
- l'horizon B_{w1} avec une épaisseur de 30-80 cm, il est constitué d'une texture sableuse plus cohérente que l'horizon précédent ; certainement avec la profondeur, il y a un peu plus de sable fin. De couleur gris jaunâtre, il contient quelques rares radicelles et est friable à l'état sec ;
- l'horizon B_{w2.1} avec une épaisseur de plus d'un mètre, il est de couleur jaune, humide même à cette période en juillet, c'est du sable fin, avec un peu de limons, des tâches noirâtres qui seraient la preuve des passages de la pédofaune (vers de terre, ...).

Les résultats d'analyse granulométrique des échantillons de sols montrent un type de sols composés en moyenne de 84,2 % de sable, 10 % de limon et 5,8 % d'argile. C'est un sol sableux limoneux formé de sable grossier. Ce type de sol ne peut qu'être soumis à l'érosion hydrique lorsqu'il est dénudé étant donné qu'il y a au moins 83% des pentes supérieures ou égales à 10°. On peut aussi signaler qu'en général, ces sols avaient une teneur en eau moyenne de 27 % à l'état initial. On note que les schisto-gréseux donnent des sables argileux jaunes ou brun clair peu fertiles et suffisamment perméables. Les sols de la couche

arable ont une composition granulométrique moyenne de l'ordre de 3,4 % argile, 5,6 % limon et 91,0 % sable, et possèdent une densité apparente d'environ 1,25 [28].

Il sied de signaler que dans ces bassins versants, les sols sont perméables et pauvres ; excepté dans les formations alluvionnaires et colluvionnaires où ils sont fertiles. Les types de sols qu'on y trouve sont des Acrisols hapliques qui couvrent la quasi-totalité des bassins versants étudiés. Ce sont des sols sableux, très profonds, lessivés et presque pas argileux en surface. C'est ce type de sol qu'on rencontre dans notre zone d'étude. C'est dans les vallées profondes qu'on retrouve des fortes proportions d'argile voire des sols argileux.

Par ailleurs, lors que la forêt est remplacée par des lotissements et autres occupations de sol, il s'en suit une perturbation du drainage naturel. Il prédomine un réseau de drainage artificiel commandé par des pistes piétonnes, des rues et routes présentes dans le paysage. Par conséquent, on constate que les sommets des collines les plus élevées et sur les versants des vallées profondes, l'érosion hydrique entaille le relief sableux. Le profil est rajeuni en permanence par ce phénomène présentant une légère fertilité et une bonne conductivité hydraulique de ces sols. Aussi, dans ce paysage, on trouve une mince couche des matières organiques en forme de lichens qui retarde l'infiltration de l'eau dans le sol et favorise le ruissellement. Le Tableau 1 expose les caractéristiques principales des horizons des profils typiques des sols de la zone d'étude (Fig.7).

Tableau 1 : Description des profils pédologiques du sol de Kimwenza

Lieux	Coordonnées géographiques	Caractéristiques des profils pédologiques
Profil 7 km Photos 1 & 2 (Fig.6)	04°25'49.7" 015°17'21,0" 448m	• Horizon A0 : Sol noir (Humus) riche en matière organique et d'épaisseur variable. • Horizon A1 : Sol noir tacheté de sol brun • Horizon B1 : Sol jaune avec une épaisseur variant de 10 à 30 cm selon les endroits.
Profil Kimwenza Gare Photos 3 & 4 (Fig.6)	04°28'14.7" 015°16'58,4" 323m	• Horizon A0 : Sol noir (Humus) riche en matière organique et d'épaisseur variable. • Horizon A1 : Sol noir tacheté de sol brun • Horizon B2 : Sol de couleur rouge, sol argileux dans le talweg avec présence de l'oxyde de fer.
Profil Kimwenza Mission Photo 5 (Fig.6)	04°27'31.7" 015°17'17,9" 440m	• Horizon A0 : Sol noir (Humus) riche en matière organique et d'épaisseur variable. • Horizon A1 : Sol noir tacheté de sol brun • Horizon B1 : Sol de couleur jaune qui peut atteindre plusieurs mètres de profondeur.

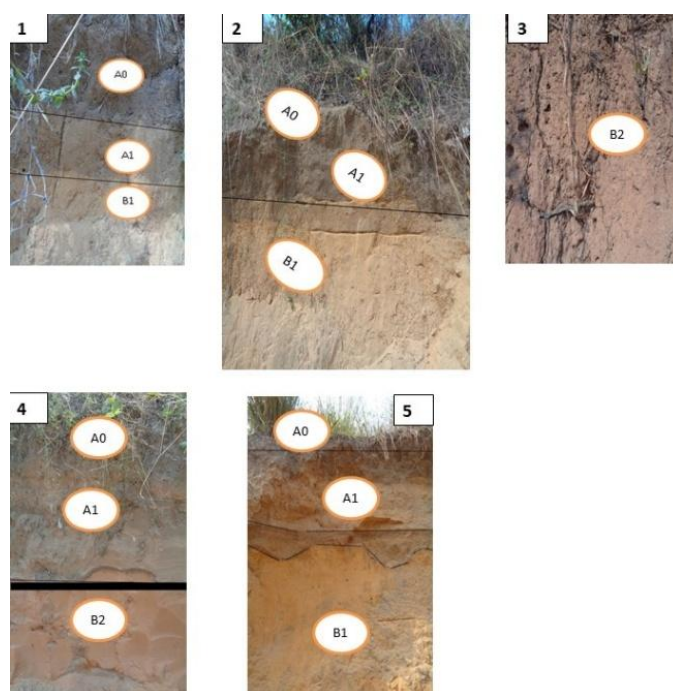


Fig.7 : Profils pédologiques de sols de Kimwenza

En ce qui concerne les autres analyses et observations obtenues, il en ressort que la perméabilité moyenne (conductivité hydraulique du sol) sur le terrain est de 551 mm/h (Min. : 11 mm/h et Max. : 2096 mm/h) tandis qu'au laboratoire, elle est de 108 mm/h (Min. : 3 mm/h et Max. : 779 mm/h). Il faut dire ici que la différence est énorme entre les deux méthodes. Les mesures faites sur le terrain tiennent en partie compte de la succion du sol. Comme nous n'avons mesuré ni le poids volumique sec du sol, ni sa teneur en eau et/ou sa saturation sur le terrain, nous préférons retenir la perméabilité trouvée au laboratoire. Ici, l'avantage est que l'on travaille sous un système saturé. Avec un tel ordre de grandeur pour ce qui est

de la perméabilité moyenne, il est bien entendu que nous sommes sur du sable. On se rend compte qu'à partir d'un poids volumique du sol de 1,85 gr/cm³, l'infiltration atteint sa limite et donne droit au ruissellement (Fig.8). Cette imperméabilisation des sols est atteinte dans les zones urbaines suite au compactage des sols dus aux fréquents passages des véhicules et des piétons. Ce compactage fait suite à l'ouverture des voies de circulation et à certaines couvertures végétales (*Cynodon dactylon*, *Paspalum notatum*, ...) lorsqu'elles couvrent presque totalement le sol. A un tel taux de couverture, ces types de végétaux agissent comme des sols nus, durs et compacts.

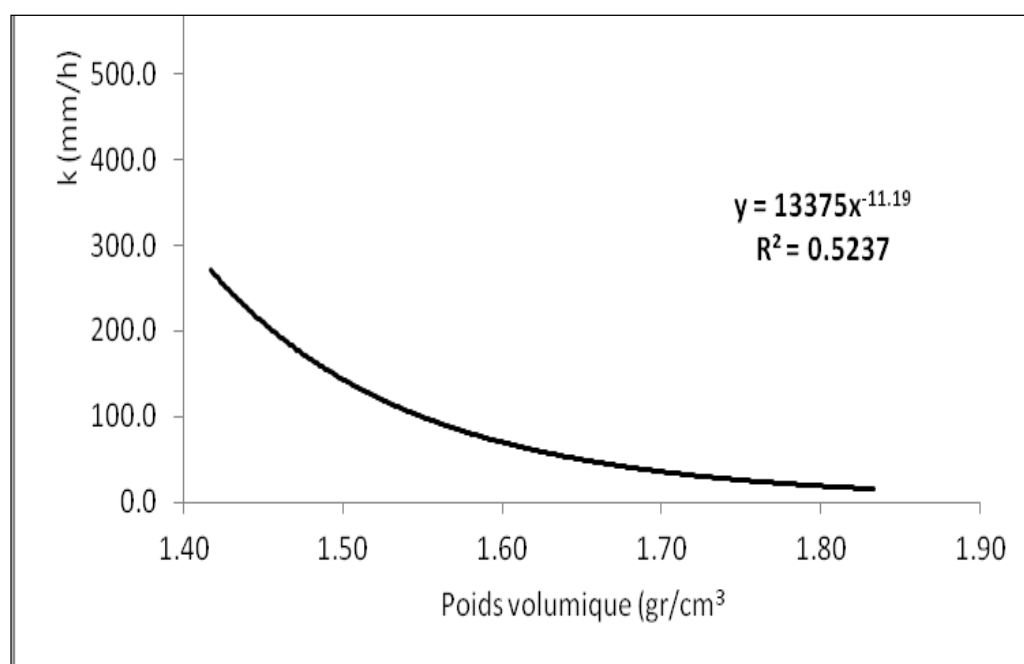


Fig.8 : Perméabilité des sols de Kimwenza

4.2. Réseau hydrographique de Kimwenza et environs, paramètres morphométriques et topographiques

L'étude de l'érosion ravinante étant intimement liée aux écoulements superficiels, il est donc important d'étudier le siège de tous les processus hydrologiques : le bassin versant. Le site de Kimwenza est principalement drainé par les rivières Funa et Lukaya (Affluents Manyonzi et Ngadi) dont les vallées présentent des versants en pente forte à raide (Fig.9a, b et c). La figure 8 révèle que plus de 80 % des terrains lotis sur le site de Kimwenza présentent des pentes supérieures à 8 % alors que les terrains plus ou moins plats ne représentent qu'environ 5 %. Au clair, la zone est dominée par des terrains en pentes raides.

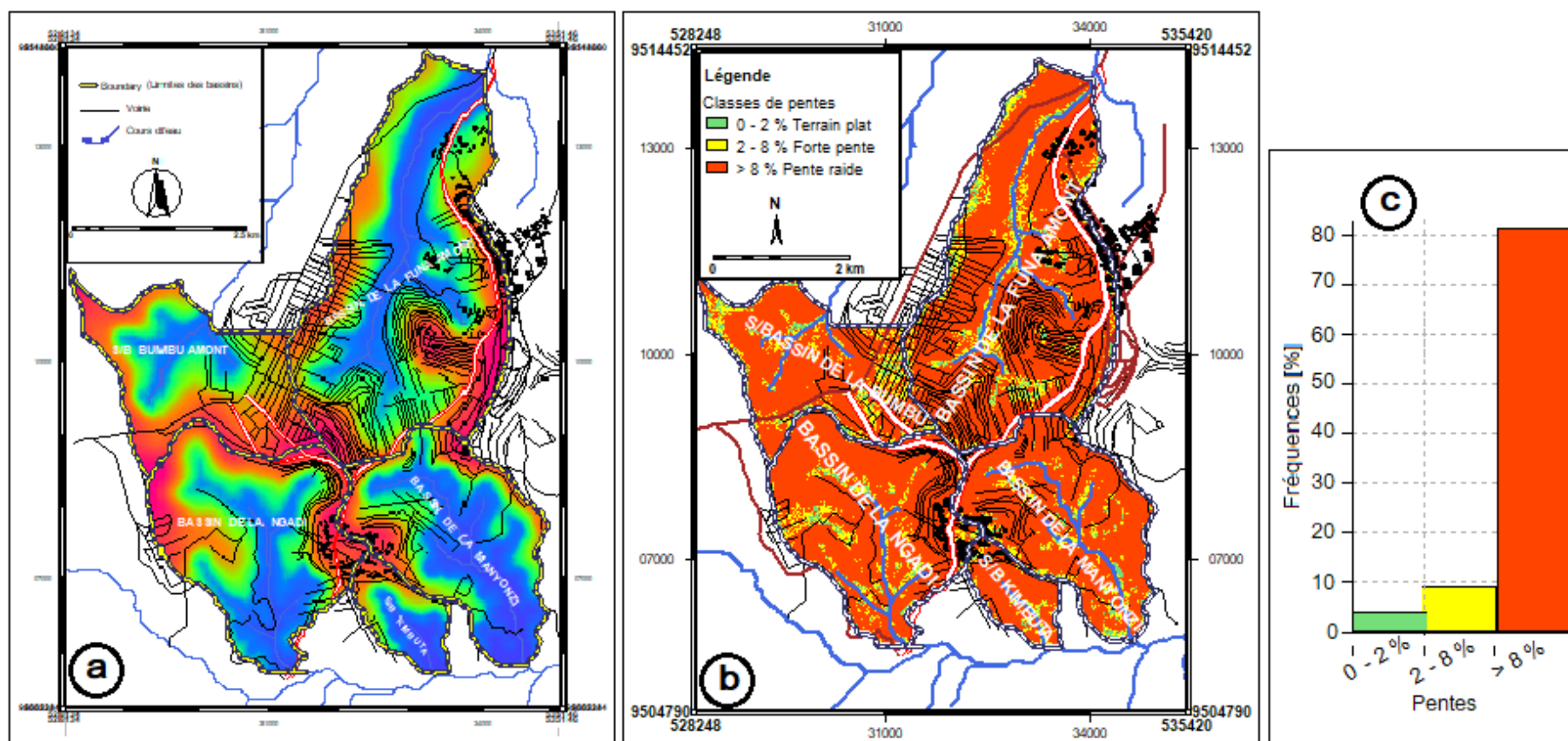


Fig.9 : (a) Délimitation des bassins versants ; (b) Carte des pentes ; (c) Histogramme des fréquences de pentes dans la région de Kimwenza.

Le traitement du modèle numérique de terrain a permis de générer et/ou de calculer les principaux paramètres caractéristiques des bassins versants de la Funa amont, de la Manyonzi, de la Ngadi, de la Bumbu amont et de la vallée du quartier Kimbuta (Tableau 2). Le milieu

étant fortement perturbé par des auto-constructions voire anarchiques dont de nombreuses rues sont orientées dans le sens de la pente, comme on peut le voir sur la figure 9b, on assiste à une extrême densification du réseau de drainage.

Tableau 2 : Caractéristiques morphométriques des bassins versants du Site de Kimwenza et environs

ID	Catchment Name	Perimeter [km]	Area [km²]	Total Drainage		Longest Flow Path		Upstream Elevation Average [m]	Downstream Elevation Average [m]	Slope along drainage Average [%]	Slope Drainage Straight Average [%]	Sinuosity Average	Total Upstream along drainage length [km]	Center Drainage	Center Catchment
				Length [km]	density [m/km²]	Length [km]	Length [km]								
1	Funa amont	16,14	11,43223	13,2083	11554,11	7,087	7,485	384,3	340,6	7,65	8,66	1,142	131,6074	(532605.00,9510903.00)	(533070.63,9511445.00)
2	Manyonzi	11,268	5,70922	18,627	3262,77	5,071	5,025	366,6	325,9	7,2	8,47	1,197	17,801	(533287.00,9508371.00)	(533617.42,9507481.00)
3	Ngadi	12,535	6,64247	35,4672	5339,46	4,31	4,557	386,1	341,4	7,56	8,87	1,167	34,8369	(530837.00,9507863.00)	(530917.75,9507479.00)
4	Kimbuta	5,608	1,33083	2,391	1796,63	2,592	2,391	348,9	311,2	6,75	8,28	1,112	6,0054	(532211.00,9507027.00)	(532921.50,9506626.00)
5	Bumbu amont	13,009	4,863752	52,927	10882,09	2,952	2,818	398,8	360,4	7,49	8,43	1,142	52,871	(529465.00,9509695.00)	(530091.50,9509854.00)
TOTAL		58,56	29,9785	122,621											
AVERAGE					6567,01	4,4024	4,4552	376,94	335,9	7,33	8,542	1,152	48,62434		

En effet, le tableau 2 montre que tous les bassins versants de la zone de Kimwenza et environs présentent une densité de drainage très élevée allant d'environ 1 800 m/km² dans le sous-bassin de Kimbuta pour atteindre plus de 11 000 m/km² dans le bassin de la Funa amont avec une moyenne générale de près de 6 570 m/km². On note par ailleurs que la sinuosité des collecteurs principaux est très faible avec une moyenne inférieure à 1,2. Ce qui signifie que la géométrie de la majorité des drains (talwegs) est quasi rectiligne. Ceci confirme l'exceptionnelle densité

de drainage observée sur ce site (Tableau 3). Cette réalité signifie que les bassins versants de la zone de Kimwenza et environs sont prédisposés à avoir un temps de concentration des eaux de pluie assez court. Au demeurant, il y a lieu de conclure que les flux de ruissellement dans cette zone ne peuvent avoir qu'un régime torrentiel ; surtout quand on considère que la grande partie (80 %) de ce secteur de Kinshasa présente des pentes supérieures à 8 %.

Tableau 3 : Caractéristiques morphométriques et topographiques des bassins versants de la zone de Kimwenza et environs

N°	Bassin	Périmètre [km]	Surface [km ²]	Indice de Compacité (Gravelius) C	Longueur du Rectangle équivalent, L (km)	Dénivelée utile (Dut) [m]	Indice de pente global Ig [m/km]
1	Funa amont	16,14	11,43	1,3	5,036	133,0	0,026
2	Manyonzi	11,27	5,71	1,3	3,448	136,0	0,039
3	Ngadi	12,54	6,64	1,4	4,018	133,5	0,033
4	Bumbu amont	12,54	4,86	1,6	4,580	121,0	0,026
	Ensemble	52,49	28,64	1,4	8,888	155,0	0,017

4.3. Le réseau d'écoulement des eaux superficielles de la zone de Kimwenza et environs

La morphologie de la zone d'étude sur le petit plateau de Kimwenza telle que présentée à la Section 4.2, s'étend essentiellement sur quatre petits bassins versants. Après la simulation des écoulements sur l'ensemble de la zone d'étude, les surfaces d'alimentation des principaux ravins identifiées retracent l'organisation du parcours terrestre des flux de ruissellement dans la zone d'étude (Fig.10). La figure 10 a permis de circonscrire les sections de la route les plus exposées aux flux de ruissellement. Dans le bassin de la Funa, on note que sur la section UNIKIN – Kimwenza des flux assez nourris

s'écoulent vers la route. Ces masses d'eau proviennent principalement du Plateau des Résidents, des quartiers COGELOS et Dallas. Dans le bassin de la Manyonzi, la route est sollicitée par des flux du nord-ouest et ceux qui suivent la route. Sur la section Mission - Kimwenza et Kimwenza – Gare, les flux les plus dangereux sont ceux qui viennent du quartier Kimwenza et ceux qui suivent la route en provenance de la Mission dans le bassin de la Ngadi. Il convient de noter particulièrement que ces flux de ruissellement, très agressifs à raison des valeurs de la pente du terrain souvent élevée et du saccage de la végétation, charrient beaucoup de sédiments produits par l'érosion du sol.

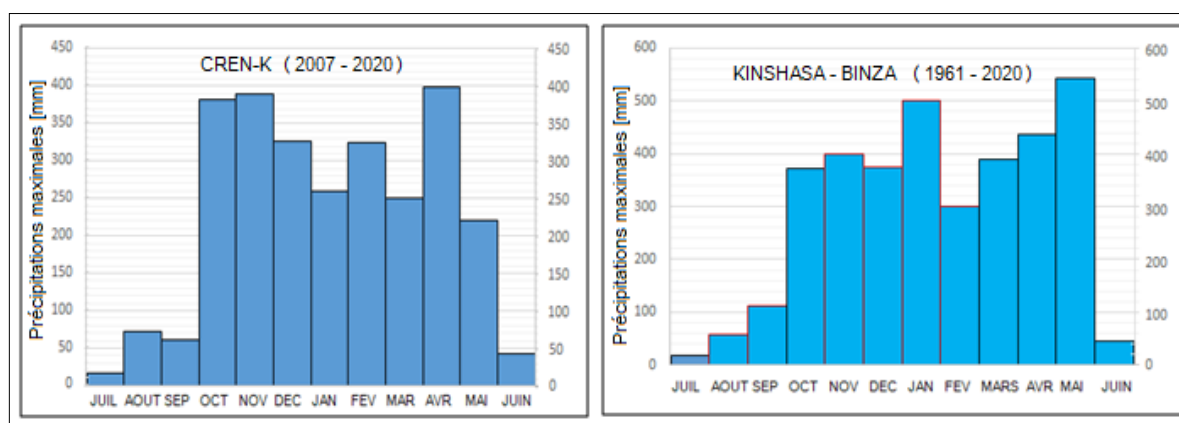


Fig.11 : Précipitations maximales aux stations du CREN-K et de Kinshasa-Binza (1961 - 2020).

4.4.2. Analyse des pluies actives

[6; 29; 30; 31] et d'autres auteurs affirment presque unanimement que les intensités des pluies à Kinshasa en général, varieraient entre 12 et 100 mm/h avec une moyenne de

51 mm/h pour des pluies quotidiennes d'environ 25 à 119 mm dont la moyenne journalière oscillerait autour de 66 mm (Tableau 4) .

Tableau 4 : Intensités des pluies érosives à Kinshasa-ouest (Binza) au cours de la période 1975-2005.

Date	P (mm)	I ₃₀ (mm/h)	Date	P (mm)	I ₃₀ (mm h ⁻¹)
4/04/1979	76	47	13/11/1991	57	31
20/04/1983	54	36	19/01/1992	104	54
10/11/1983	58	26	9/05/1993	55	25
27/03/1984	67	70	23/05/1995	60	55
24/04/1984	25	31	3/04/1998	79	48
16/03/1986	61	80	12/04/1998	119	86
14/04/1986	56	44	14/11/1998	46	19
6/05/1986	58	68	20/03/2001	55	42
16/05/1986	101	70	20/04/2002	57	34
29/10/1986	103	67	6/05/2002	97	98
8/02/1990	82	100	7/11/2002	41	12
9/12/1990	41	37	19/04/2005	33	36

Source : Makanzu Imwangana (2014)

Partant de cette base, l'auteur a effectué une analyse fréquentielle qui a révélé que la moitié des pluies qui ont été à la base de l'érosion ravinante ont une intensité variant de 21 à

50 mm/h, et un quart procède de celles comprises entre 51 à 70 mm/h. La durée de ces pluies varie de 45' à 15h18' avec une moyenne de 6h47' (Fig.12).

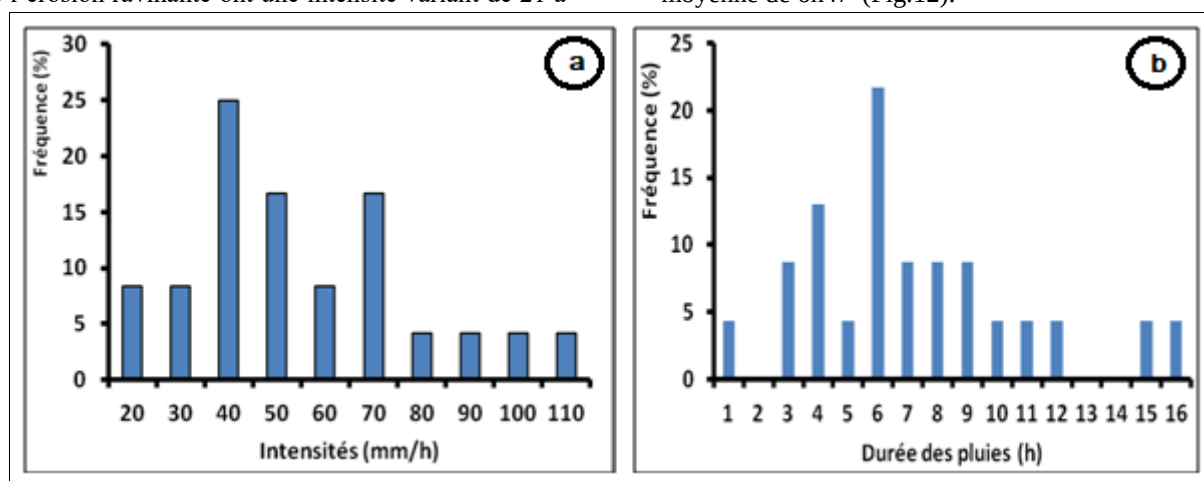


Fig.12 : (a) Fréquence des intensités des pluies érosives et (b) Fréquence de leur durée observée à Kinshasa-Binza au cours de la

période 1975-2005 (Source : Makanzu Imwangana, 2014)

Les intensités maximales des pluviophases varieraient de 10 à 300 mm/h et dureraient respectivement pendant 1 à 30 minutes. L'intensité moyenne maximale est de 93 mm/h pendant 8 minutes 48 secondes ; 70% des fréquences des intensités maximales de ces pluies se situeraient entre 60 et 150 mm/h et 13% d'entre elles atteignent 300 mm/h. Le temps que met la

pluie érosive pour atteindre son intensité maximale est évalué entre 5' et 6h28' avec une moyenne de 1h40'. A titre illustratif, les pluviophases de la pluie diluvienne du 12 avril 1998 ont été décrites avec force et détails sur l'hyétogramme présenté à la Figure 13.

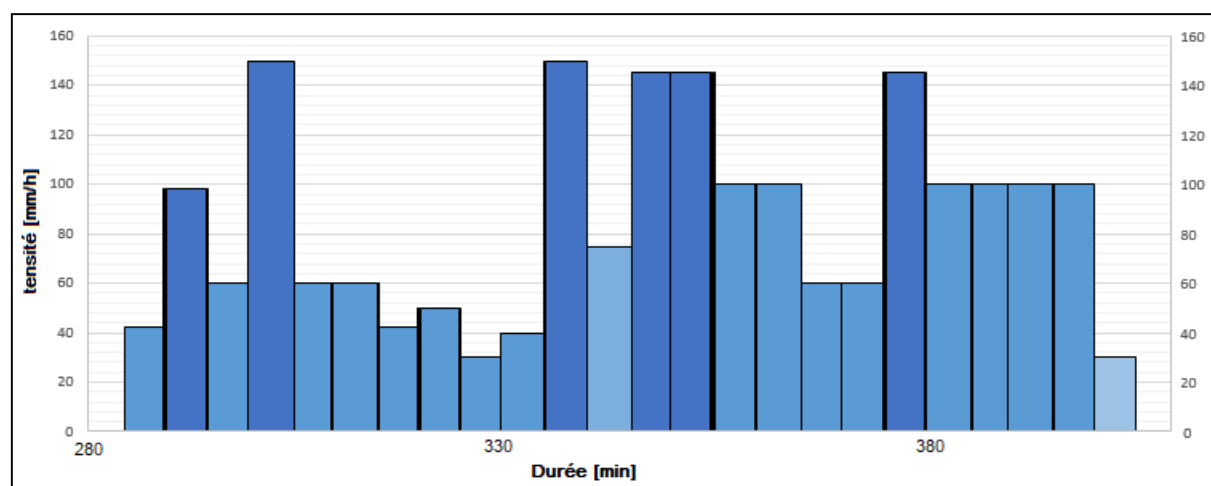


Fig.13 : Hyétogramme de la pluie du 12 avril 1998 (P : 118,5 mm ; Durée : 410 min).

De l'analyse de l'averse présentée à la figure 13, on peut dire que les propos du paragraphe précédent tombent dans la zone en étude des pluies très agressives dont l'intensité varie de manière substantielle. On note dans le cas d'espèce plusieurs séquences dont l'intensité est supérieure ou égale 100 mm/h (entre peu de temps) or si cette intensité persiste 5 minutes par

exemple, elle produira un débit spécifique de : $(100 \times 10000 \text{ litres/ha}) / (5 \times 60 \text{ s}) = 333,33 \text{ litres/ha/s}$.

Enfin, l'analyse fréquentielle des pluies actives ou critiques a amené au modèle de prévision de I_{max}, sa période de retour est présentée à la figure 14.

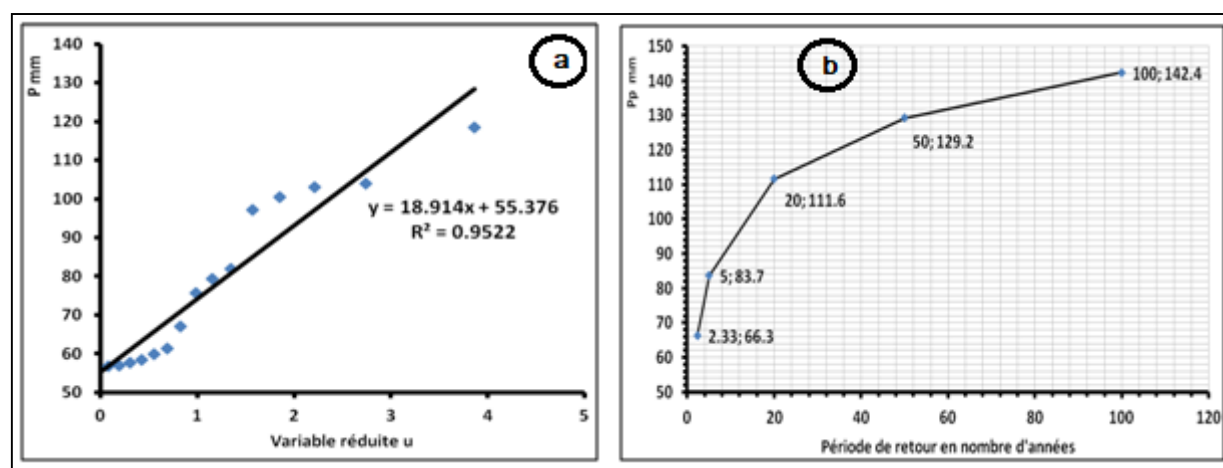


Fig.14 : (a) Analyse fréquentielle des pluies actives et (b) ajustement des intensités de pluies (I_{max}) actives à Kinshasa/Binza par la méthode à vue de [23], Source : Makanzu Imwangana (2014).

Parmi les sites soumis à l'échantillonnage, il y a la Route Cogelos (CR = 3%) et ERAIFT (6,1%) qui sont situés dans le périmètre d'étude.

D'après une enquête effectuée par le même auteur, la hauteur de la plus petite averse critique qui serait d'occurrence annuelle

est de 24,9 mm. Fort de cette information et des simulations du modèle d'ajustement à vue des intensités maximales des pluies actives (Fig.14), il a été dressé la synthèse des résultats consignée sur le tableau 5.

Tableau 5 : Occurrence des pluies actives à Kinshasa-est (1975-2005).

Précipitations [mm]	24,9	66,3	83,7	111,4	142
Temps de retour [années]	1	2,33	5	20	100

L'analyse des intensités maximales de pluies à Kinshasa/Binza (1977-2000) ajustées est présentée à la Figure 15.

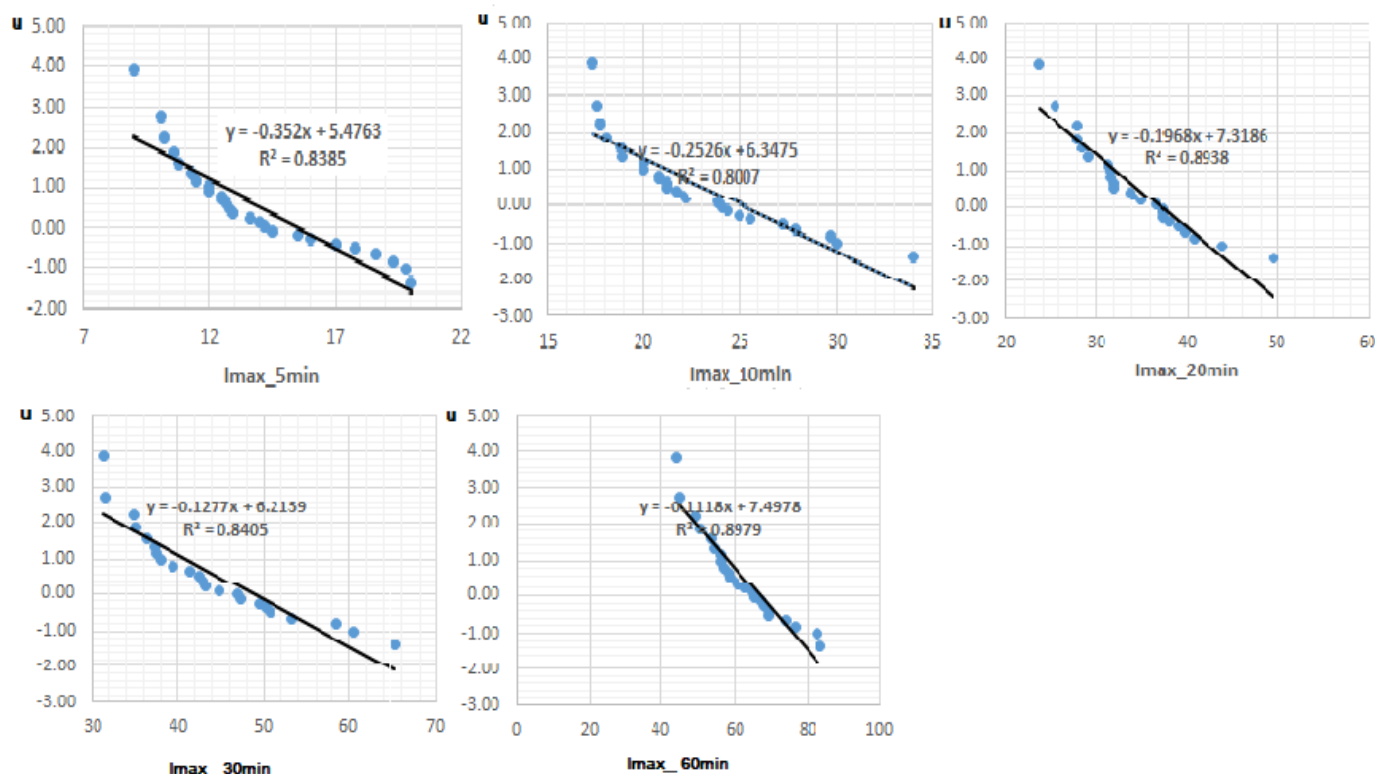


Fig. 15 : Droites d'ajustement graphique de Gumbel (à l'œil) des intensités maximales des pluies à Kinshasa Binza.

4.4.3. Estimation des débits de pointe du ruissellement à Kinshasa-ouest (1977-2000)

Pour les intensités maximales des pluies en 5 min, la droite d'ajustement étant

$y = -0,352x + 5,4763$, les occurrences qui en écoulent sont :

- L'apport atteint deux fois en une année est obtenue en remplaçant y par $\log 10$;
 $\log 10 = 1$; $1 = -0,35x + 5,47636$ et x sera alors égal à 12,71676 mm/5'.
 L'intensité est alors de

$$\frac{12,71676 \times 10000}{5' \times 60''} = 423,892 \text{ litres/s/ha}$$
- L'apport rencontré une fois tous les 5 ans est $y = \log 1$; $\log 1 = 0$; $0 = -0,352x + 5,4763$ et x vaut :
 15,5577 mm /5' ;
 L'intensité est de :

$$\frac{15,5577 \times 10000}{5' \times 60''} = 518,589 \text{ litres/s/ha}$$
- L'apport atteint une fois tous les 10 ans est $y = \log 0,5$; $\log 0,5 = -0,30103$; $x = 16,41287 \text{ mm/5'}$.
 L'intensité est de :

$$\frac{16,41287 \times 10000}{5' \times 60''} = 547,096 \text{ litres/s/ha}$$

- L'apport d'occurrence 20 ans est $y = \log 0,25$;
 $\log 0,25 = -0,602$; $x = 17,26807 \text{ mm/5'}$
 L'intensité est de :

$$\frac{17,26807 \times 10000}{5' \times 60''} = 575,602 \text{ litres/s/ha}$$
- L'apport d'occurrence 30 ans est $y = \log 0,125$;
 $\log 0,125 = -0,903$; $x = 18,12327 \text{ mm/5'}$
 L'intensité est de :

$$\frac{18,12327 \times 10000}{5' \times 60''} = 604,1089 \text{ litres/s/ha}$$
- L'apport d'occurrence 50 ans est $y = \log 0,03125$;
 $\log 0,03125 = -1,505$; $x = 19,83366 \text{ mm/5'}$
 L'intensité est de :

$$\frac{19,83366 \times 10000}{5' \times 60''} = 661,12216 \text{ litres/s/ha}$$

Après avoir calculé les apports d'occurrences respectives de 1, 5, 10, 20, 30 et 50 ans des intensités maximales en 10, 20, 30 et 60 minutes, selon la même procédure, on a obtenu les résultats présentés sur le Tableau 6a et b.

Tableau 6a : Occurrence des intensités maximales des pluies [mm/h] observées à Kinshasa-ouest (1977-2000).

	Période de retour des I _{max} en mm/h					
Durée	1 an (2 fois)	5 ans	10 ans	20 ans	30 ans	50 ans
5 min	12.7	15.6	16.4	17.3	18.1	19.8
10 min	21.2	25.1	26.3	27.5	28.7	31.1
20 min	32.1	37.2	38.7	40.2	41.8	44.8
30 min	40.8	48.7	51.0	53.4	55.7	60.4
60 min	58.1	67.1	69.8	72.4	75.1	80.5

Tableau 6b : Occurrence des débits de pointe des pluies [litres/s/ha] observées à Kinshasa-ouest (1977-2000).

	Période de retour des Q _p en litres/s/ha					
Durée	1 an (2 fois)	5 ans	10 ans	20 ans	30 ans	50 ans
5 min	423.9	518.6	547.1	575.6	604.1	661.1
10 min	352.8	418.8	438.7	458.5	478.4	518.1
20 min	267.6	309.9	322.6	335.4	348.1	373.6
30 min	226.8	270.3	283.4	296.5	309.6	335.8
60 min	161.4	186.3	193.8	201.2	208.7	223.7

Tenant compte du fait que les équipements de drainage (caniveaux) sont très rares et souvent complètement détruits, on admettra qu'il n'existe pas de réseau de drainage dans la zone d'étude. Le tableau 6b a permis de déterminer les débits de pointe des pluies qui devront guider les constructeurs à dimensionner leurs ouvrages de manière efficiente. Ainsi, le collecteur principal sera calibré selon le débit Q_p de 661,1 litres/s/ha et les débits Q_p de 518,1 litres/s/ha à 223,7 litres/s/ha

pourront servir au dimensionnement des ouvrages secondaires hiérarchisés (Fig.16). [32] travaillant sur l'ensemble des pluies journalières maximales tombées entre 1970 et 2021 dans une zone voisine, trouvent que les quantités d'eau de pluies attendues dans le cadre du changement climatique seront supérieures à 220 litres/s/ha. La différence avec notre recherche se situe sur les pluies que nous avons qualifiées de pluies actives car toutes les pluies ne causent pas d'érosion ravinante.

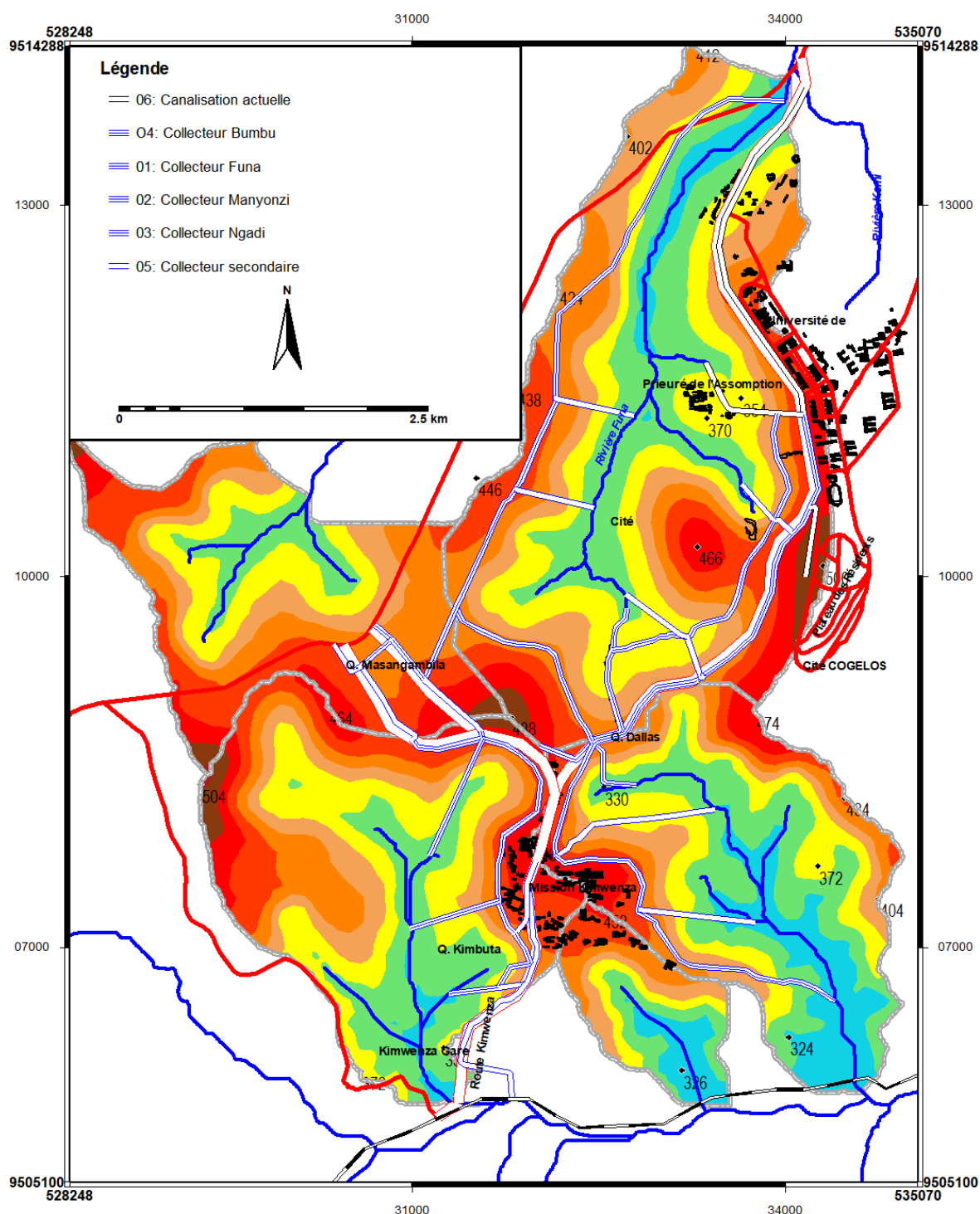


Fig.16 : Carte du Projet de Réseau de drainage des eaux pluviales dans la zone de Kimwenza et environs

4.5. Cartographie et caractérisation des zones d'érosion ravinante

La cartographie des zones d'érosion ravinante est reprise à la figure 17a, b, c. Sur la figure 16a, certains ravins sont trop petits

que l'échelle ne permet pas de les apercevoir facilement. La cartographie diachronique montre une évolution spatio-temporelle des ravins dans cette zone passant de deux petits ravins en 2012 à 30 méga-ravins en 2021.

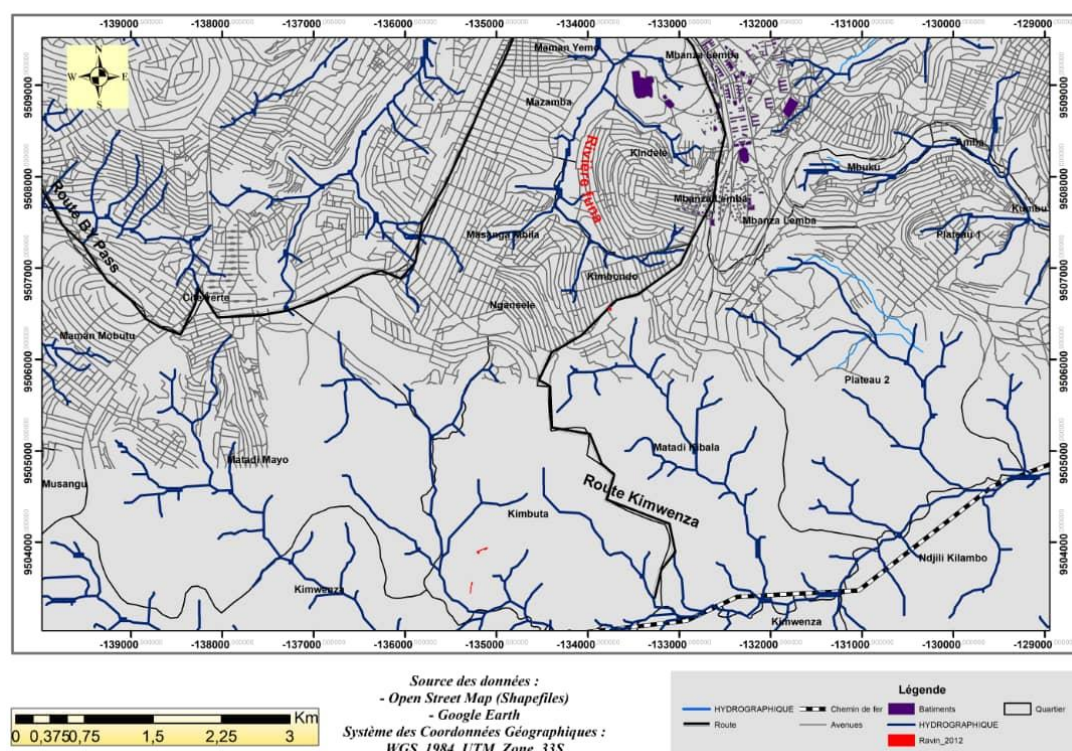


Fig. 17a : Carte montrant la zone d'étude avec deux ravins identifiés dans le quartier Kimbuta sur Google Earth Pro en 2012, le reste du site paraît stable.

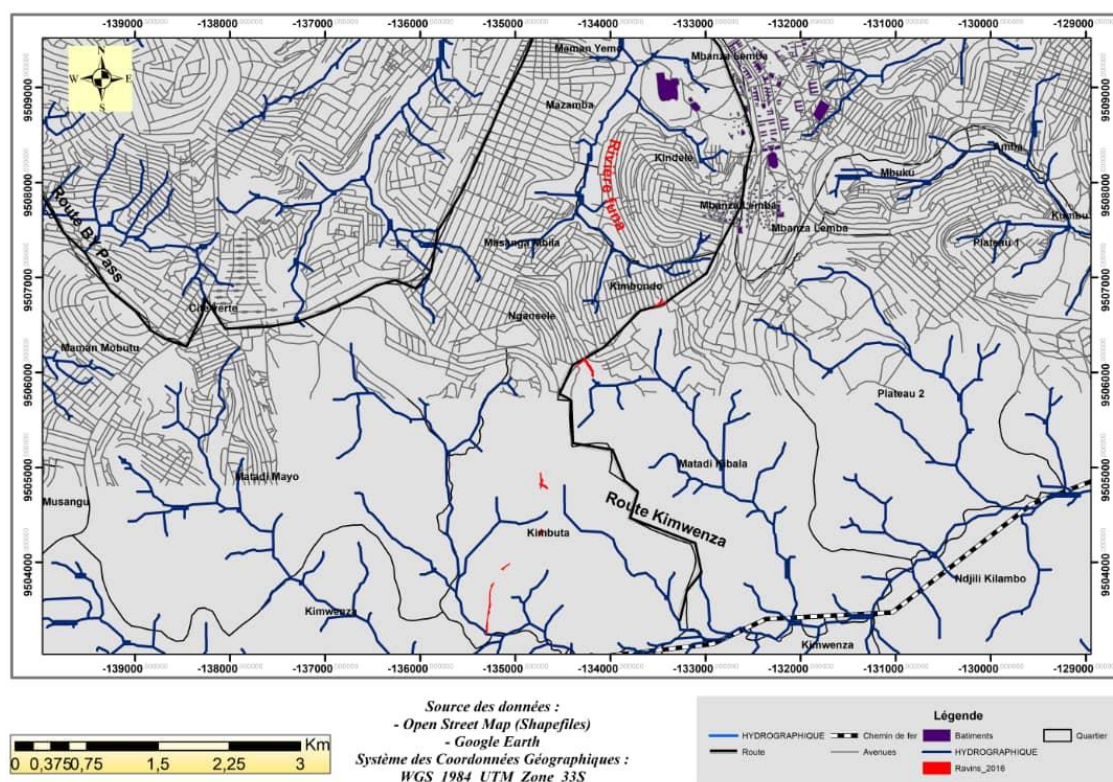


Fig. 17b : Carte montrant la zone d'étude avec au moins cinq ravins identifiés sur Google Earth Pro en 2016, non seulement dans le quartier Kimbuta mais aussi on voit apparaître deux ravins, qui coupent la Route de Kimwenza, réduisant la mobilité dans la zone.

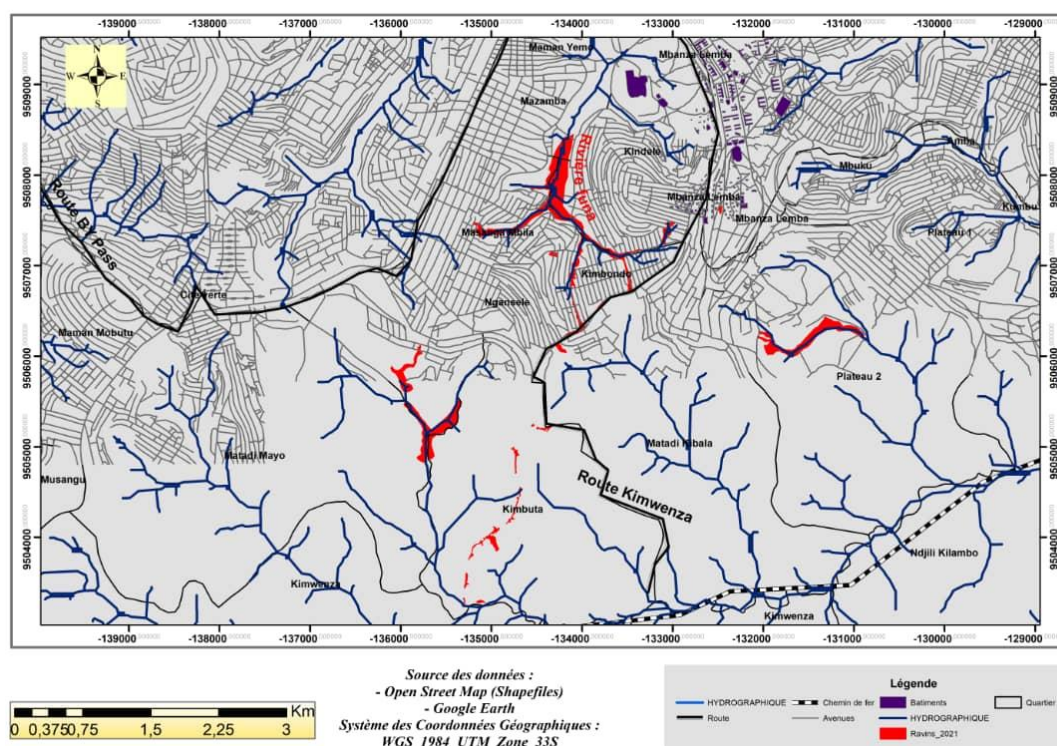


Fig.17c : La Carte montre une prolifération des ravins dans zone d'étude grâce à Google Earth Pro en 2021. Les anciens ravins ont progressé et se sont agrandis complexifiant la situation.

Le Tableau 8 reprend les données des mesures et dimensions de 30 ravins cartographiés sur Google Earth Pro de 2021.

N°	Nom	Longueur (m)	Largeur moy (m)	Profondeur moy (m)	Surface (m ²)	Volume (m ³)
1	Arrêt SAISAI	33,5	9,2	3,2	307,4	493,8
2	Avenue KASAI	102,1	6,0	2,1	614,4	647,2
3	Bungidi	73,4	8,5	3,0	620,5	918,1
4	Cogelos 1	220,3	25,1	8,8	5529,7	24301,6
5	Cogelos 2	1377,5	72,0	25,2	99156,7	1249475,9
6	Elongi	248,6	17,0	5,9	4214,2	12504,7
7	Kimwenza 1	18,3	8,5	3,0	155,1	230,0
8	Kimwenza 2	73,6	13,2	4,6	972,9	2252,5
9	Kimwenza 3	109,8	7,4	2,6	816,8	1063,4
10	Kimwenza 4	35,1	13,4	4,7	471,1	1107,6
11	Kimwenza 5	75,1	5,5	1,9	410,7	393,3
12	Kimwenza 6	177,2	15,8	5,5	2802,2	7758,9
13	Kimwenza 7	177,5	15,8	5,5	2802,2	7742,5
14	Kimwenza 7 Km	2599,5	104,3	36,5	271100,9	4949182,7
15	Kimwenza Gare 1	80,6	7,9	2,8	639,0	886,2
16	Kimwenza Gare 2	88,4	20,6	7,2	1815,8	6532,2
17	Kindele 1	806,8	130,7	45,8	105450,7	2412814,2
18	Kindele 2	82,9	40,9	14,3	3388,5	24241,6
19	Kindele 3	453,3	79,2	27,7	35893,2	497486,7
20	Kose Cogelos	141,0	37,3	13,1	5259,1	34331,8
21	Libiki	126,0	7,4	2,6	934,6	1213,4
22	Mabanga	331,6	43,8	15,3	14529,7	111436,4
23	Makaya	709,2	54,8	19,2	38883,6	373190,6
24	Ntemo 1	47,9	4,7	1,6	223,7	182,7

25	Ntemo 2	98,3	11,4	4,0	1124,7	2252,9
26	Plateau des Profs	91,8	22,2	7,8	2034,9	7893,7
27	Pozi	69,8	5,0	1,7	347,4	302,8
28	ULC 1	32,2	14,7	5,2	473,6	1220,5
29	ULC 2	163,6	16,7	5,9	2733,8	7997,2
30	Yakoma	42,3	7,2	2,5	303,4	380,5
Total		8687,2			604010,5	9740435,6
Moyenne		560,5	27,5	9,6	38968,4	628415,2
Plus petite valeur		18,3	4,7	1,6	155,1	182,7
Plus grande valeur		2599,5	130,7	45,8	271100,9	4949182,7

De ce Tableau 8, il se dégage que le plus long voire grand ravin est celui de Kimwenza Km7 ; Kimwenza 1 est le plus petit ravin pris en fonction de la longueur tandis que Ntemo 1 est le plus petit ravin en fonction du volume des matériaux arrachés.

Les données obtenues de la campagne ont facilité la constitution d'une base des données géographiques sous-forme d'un SIG. Ce SIG permet la cartographie des éléments étudiés. Au total, 18 ravins ont été identifiés sur le terrain (Figs.18 - 23).

4.6. Résultats d'enquête de terrain



Fig.18 : Tête de ravin principal sur la Route Kimwenza au Km7 en date du 12 Mai 2021



Fig.19 : Km5 : Echec des travaux entamés par une entreprise chinoise qui était chargée de refaire la route.



Fig.20 : Mauvais drainage des eaux des pluies occasionnant le ravinement des avenues



Fig.21: Cas typique d'une érosion naissant au croisement d'une rue et de la Route principale.



Fig.22 : Cas typique de menace des chutes de pylônes de la SNEL le long de la Route ravinée.



Fig.23 : Glissements de parois de ravins le long de la Route, Ici, preuve d'un sapement à la base et/ou de la présence d'argile

Le dépouillement des résultats de l'enquête de terrain donne les renseignements ci-après :

- **Causes du ravinement** : l'enquête révèle 17 sur 18 cas dus à l'absence de canalisation des eaux de

ruissellement pluvial et un seul cas dû à la rupture de la tuyauterie de la Régideso (Figs.24 & 25).

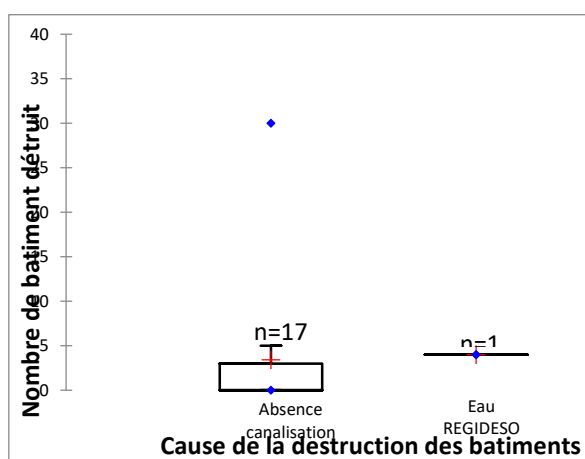


Fig.24: Cause du ravinement et nombre des bâtiments détruits

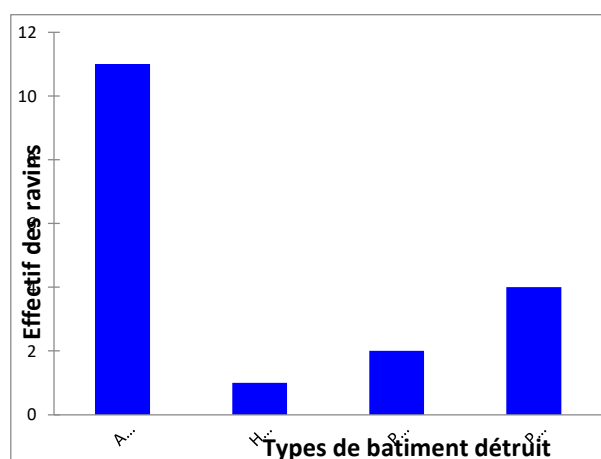


Fig.25 : Nombre des ravins ayant détruit ou non un type des bâtiments

- **Mesures de lutte contre le ravinement** : La communauté essaie de lutter tant soit peu pour arrêter l'érosion ravinante. Elle utilise principalement les sacs remplis de sable et les déchets ménagers ; secondairement, elle fait également usage des plaques métalliques et bâches mais aussi la végétation. Toutes ces mesures sont prises dans le ravin. Pourtant ce trou constitue la conséquence et la résolution du vrai

problème qui est la cause de l'érosion n'est pas leur apanage. Néanmoins, quelques très rares parcelles ont foncé des petits puisards pour diminuer l'eau à la tête du ravin. Car c'est cette eau qui est responsable du ruissellement érosif dans le quartier (Fig. 26). Sinon, l'efficacité de leurs mesures reste très faible et incertaine (Fig.27), [3].

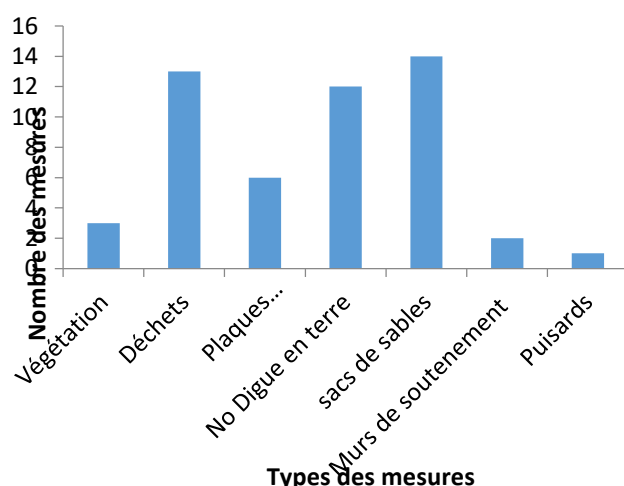


Fig.26: Nombre des mesures à la tête sur l'ensemble des ravins.

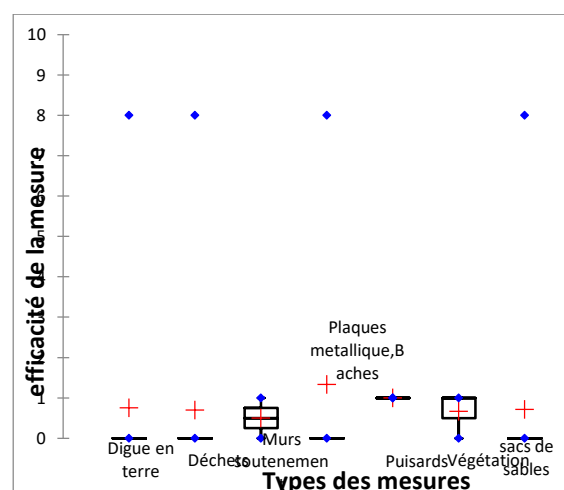


Fig.27 : Efficacité des mesures de lutte antiérosive.

4.7. Impacts de l'érosion et Vulnérabilités

Des résultats obtenus de l'enquête, on déplore des pertes en vie humaine soit deux personnes à cause de l'avancée du ravin au Km7. Bien que la majorité des ravins n'ait pas détruit des bâtiments mais plus de 40 % d'entre eux ont tout de même

détruit des habitations et des maisons commerciales. Plus de 300 maisons ont été détruites par le seul ravin Km7. Au Plateau Cogelos, un ravin a détruit 15 maisons. Ce qui laisse les propriétaires avec un impact socio-psychologique considérable par manque de logis et/ou d'une source de revenus sûre (Fig.28 & 29).

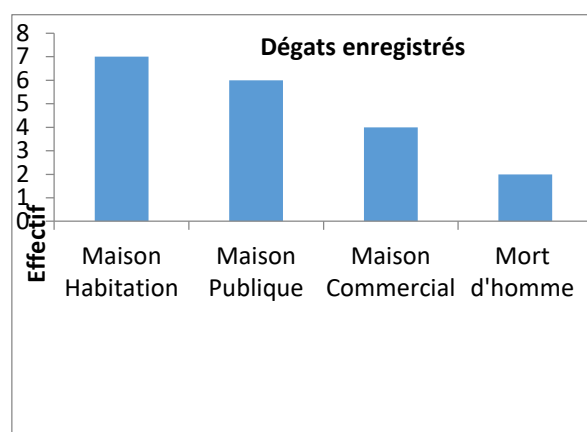


Fig.28 : Effectif des pertes dues au ravinement

Du point de vue de la vulnérabilité, et en tenant compte de la progression éventuelle des ravins dans la zone de drainage ou contributive du ruissellement érosif, le Tableau 9 expose le nombre total de maisons, des rues et leurs longueurs, qui seraient détruites si chacun de ces ravins progressaient. Partant du nombre de maisons et sachant qu'un ménage compte en moyenne 7,3 personnes dans les quartiers pauvres de Kinshasa [33], ce tableau expose aussi le nombre total de la population qui serait touché dans les zones de drainage du ruissellement érosif à la tête des ravins. C'est cette population qui serait

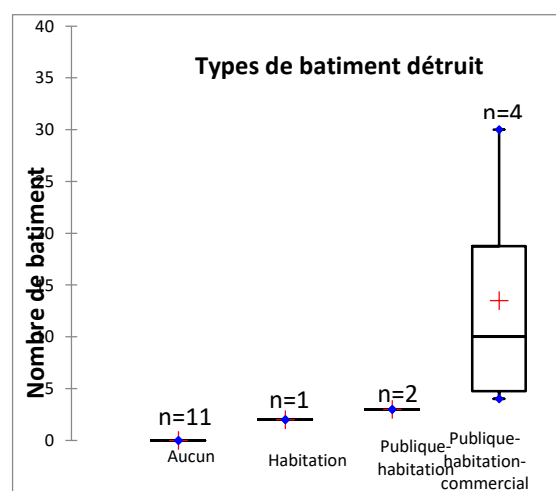


Fig.29 : Nombre des ravins ayant détruit ou non un type des bâtiments

vulnérable directement. Au total, il y a presque 900 maisons exposées, 60 rues qui seraient coupées aggravant l'enclavement dans les quartiers, environ 2.500 mètres de route qui seraient exposés dont 80% de la route principale, plus de 6.500 personnes qui perdraient leurs logements. [34] menant un inventaire global pour toutes les villes impactées par le ravinement à travers la RD.Congo, trouvent que 1.463 maisons ont été détruites par seulement 207 ravins entre 2002 à 2019 tandis que l'inventaire mené par [33] parle de 965 autres logements détruits inventoriés à Kinshasa dans la période de 1999 à 2010.

Tableau 9 : Impacts potentiels lors d'une éventuelle évolution des ravins de Kimwenza

Nom des ravins	Nb. Maisons exposées	Nb. Routes/Rues exposées	Longueur des routes exposées (m)	Nb. exposés	Hab.
Arrêt SAISAI	61	3	648	445	
Avenue KASAI	19	3	-	139	
Bungidi	6	0	0	44	
Cogelos 1	18	2	0	131	
Cogelos 2	36	2	0	263	
Elongi	61	3	-	445	
Kimwenza 1	10	0	0	73	
Kimwenza 2	10	0	0	73	
Kimwenza 3	12	0	0	88	
Kimwenza 4	17	1	152	124	
Kimwenza 5	17	1	-	124	
Kimwenza 6	39	1	133	285	
Kimwenza 7	10	2	0	73	
Kimwenza 7 KM	74	5	188	540	
Kimwenza Gare 1	23	0	0	168	
Kimwenza Gare 2	12	3	0	88	
Kindele 1	50	0	0	365	
Kindele 2	20	2	0	146	
Kindele 3	31	3	0	226	
Kose Cogelos	9	1	138	66	

Libiki	66	7	229	482
Mabanga	32	3	50	234
Makaya	89	7	313	650
Ntemo 1	5	0	0	37
Ntemo 2	6	0	0	44
Plateau des Profs	13	2	514	95
Pozi	11	1	69	80
ULC 1	61	3	-	445
ULC 2	61	3	-	445
Yakoma	15	2	11	110
Total	894	60	2443	6526

P.S. : Le tiret mis dans le tableau signifie que la mesure a déjà été prise en compte dans un autre ravin, qui lui est souvent voisin. Par exemple, la longueur des routes des ravins ULC 1 & 2 est comprise dans la mesure du ravin Kimwenza Km7.

4.8. Identification des solutions adaptées et efficaces pour la réduction des risques d'érosion

Pour réduire tant soit peu le risque d'érosion ravinante, nous proposons quatre types de solutions ; il s'agit de :

- i. la réduction du ruissellement par le fonçage des puisards parcellaires végétalisés et par l'aménagement des dispositifs de collecte et de stockage des eaux de pluie (Solutions à court terme) ;
- ii. la déviation et le drainage des eaux de ruissellement à la tête des ravins par la construction d'un réseau de drainage maçonné de la crête à la vallée (Solution à moyen et long termes) ;
- iii. la stabilisation des ravins « non routiers » par les techniques de bio-aménagement en terrasses avec notamment du vétiver ou tout autre plante stabilisante du sol (Solution à court terme) ;
- iv. Quant à Route ravinée de Kimwenza (Solution à moyen et long termes) :
 - a. Equipement des ouvrages de drainage adéquat (Cfr. Solution 2) ;
 - b. Application de la purge en cas de rejet d'immondices ;
 - c. Remblayage ;
 - d. Rabattement des talus pour rehausser la chaussée ;
 - e. Construction des ouvrages de franchissement, des buses sous routes, ...
 - f. Végétalisation des talus avec des plantes telles que le vétiver ;
 - g. Construction de la route en chaussée rigide (béton à l'instar de Kisenso avec Safricas)

Ces techniques réduiront non seulement le ruissellement mais aussi la sédimentation dans les cours d'eau.

5. Conclusion

Cette recherche voulait évaluer, estimer et connaître la quantité

d'eau à collecter pour assurer un drainage efficace afin de réduire sensiblement le ruissellement qui est à la base de l'érosion ravinante dans la zone de la Mission Kimwenza et environs. Tout au long de cette recherche, il a été démontré que les ravins qui envahissent le paysage de Kimwenza et qui ont emporté d'importantes infrastructures de toute nature, parmi lesquelles, quelques kilomètres de route asphaltée, plusieurs habitations, des écoles, etc., ont été causés par la mauvaise gestion des eaux de ruissellement pluvial. L'analyse des pluies actives et de leurs intensités a dévoilé que le débit de pointe des écoulements superficiels peut atteindre jusqu'à plus de 650 l/s/ha. L'analyse topographique de cette zone a révélé que les pentes sont à majorité raides (> 8%), les drains sont quasi-rectilignes et la durée de concentration du ruissellement dans ces bassins versants est assez courte. Le sol est de structure peu cohérente, essentiellement constitué des sables. Les bassins versants qui couvrent cette partie de Kinshasa ont vu leur densité de drainage très élevée car au-delà des terrains particulièrement pentus, ces bassins sont totalement envahis par des quartiers d'auto-construction qui ont décimé le couvert végétal et dont plusieurs rues se transforment en rigoles lors des pluies. Car, près de 90% des toitures sont dépourvues de gouttières et la majorité des parcelles n'ont aucun dispositif de rétention des eaux de pluie. Dans ces conditions, l'atténuation du phénomène de ravinement passe impérativement par une réduction substantielle des flux de ruissellement. Pour y parvenir, il faudrait des mesures de prévention de l'érosion ravinante : (i) réduire d'abord la quantité de ruissellement dans les parcelles en y installant des puisards dont les bords doivent être protégés par la végétation, et en stockant les eaux dans des puits perdus ou des citernes ; (ii) dévier et drainer les eaux de ruissellement à la tête des ravins par la construction d'un réseau de drainage maçonné de la crête à la vallée. Pour les mesures d'atténuation, il faudrait (i) stabiliser des ravins « non routiers » par la bio-ingénierie, et (ii) stabiliser les routes en les équipant en ouvrages de drainage adéquat et en chaussée rigide.

6. Références bibliographiques

- [1] Vanmaercke, M., Dujardin, E., Ilombe Mawe, G., Lutete Landu, E., Makanzu Imwangana, F., Bienders, C., Poesen, J., Hubert, A., Dewitte, O., 2023. Predicting and preventing the impacts of urban gully erosion in tropical environments: recent advancements based on fieldwork and modelling. The 9th International Symposium on Gully Erosion, Chengdu, China, 03-09/11/2023, Abstract Book, p.7.

- [2] Lutete Landu, E., Ilombe Mawe, G., Makanzu Imwangana, F., Biolders, C., Dewitte, O., Poesen, J., Hubert, A., Vanmaercke, M., 2022. Effectiveness of measures aiming to stabilize urban gullies in tropical cities: Results from field surveys across D.R. Congo. International Soil and Water Conservation Research. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2022.10.003>
- [3] Lutete Landu, E., Ilombe Mawe, G., Makanzu Imwangana, F., Biolders, C., Dewitte, O., Poesen, J., Hubert, A., Vanmaercke, M., 2024. The potential of runoff retention structures as a strategy to control urban gully in tropical cities. International Soil and Water Conservation Research, <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2024.11.002>
- [4] Ilombe Mawe, G., Lutete Landu, E., Makanzu Imwangana, F., Hubert, A., Dille, A., Biolders, C., Poesen, J., Dewitte, O., Vanmaercke, M., 2024. What controls the expansion of urban gullies in tropical environments? Lessons learned from contrasting cities in D.R. Congo. Catena 241 (2024) 108055. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2024.108055>.
- [5] Makanzu Imwangana, F., Vandecasteele, I., Ozer, P., Trefois, P., Moeyersons, J., 2015. The origin and control of mega-gullies in Kinshasa (DR. Congo). Catena 125, 38-49.
- [6] Makanzu Imwangana, F., 2014. Etude de l'érosion ravinante à Kinshasa. Dynamisme Pluvio-Morphogénique et Développement d'un Outil de Prévision. Thèse de doctorat en Sciences, Faculté des Sciences, UNIKIN, 193p.
- [7] Miti Tseta, F., Aloni Komanda, J., Kisangala Muke, M., 2004. Crise morphogénique d'origine anthropique dans le modelé du relief de Kinshasa. Bull. du CRGM 5 (1) Numéro special, 1-12.
- [8] Ntombi muen Kabeya, M., Makanzu Imwangana, F., 2006. Réponse du bilan hydrométrique à la dégradation spécifique du bassin versant de la Lukunga à Kinshasa. Ann. Fac. Sc. 1, 67-77.
- [9] Kayembe wa Kayembe, M., De Maeyer, M., Wolff, El., 2009. Cartographie de la croissance urbaine de Kinshasa (RD. Congo) entre 1995 et 2005 par télédétection satellitaire à haute résolution. Belgeo 3-4, 439-455.
- [10] Kayembe, M., De Maeyer, M. and Wolff, El., 2012. The Mapping of the urban growth of Kinshasa (DRC) through high resolution remote sensing between 1995 and 2005. In the book "Remote Sensing - Applications" edited by Boris Escalante-Ramirez, ISBN 978-953-51-0651-7, In Tech, June 6, 2012, 463-478.
- [11] De Ploey, J., Savat, J., 1968. Contribution à l'étude de l'érosion par le splash. Zeitschrift für Geomorphologie, N.F. Band 12, 174-193.
- [12] De Ploey, J., Roels, J.F., 1965. Etude de l'érosion pluviale de sols sablonneux du Congo occidental au moyen d'un traceur radioactif. Centre Trio, Univ. Lovanium, Rapport de rech. 12, 9-27.
- [13] De Ploey, J., 1966. Application d'un traceur radioactif à l'étude de l'érosion pluviale de terrains sablonneux du Bas-Congo. Acta Geographica Lovaniensia 4, 1-10.
- [14] Makanzu Imwangana, F., Kayembe, M., Ntombi muen Kabeya, M., Moeyersons, J., 2017. La ville de Kinshasa face aux risques hydrologiques : Cas du ravinement urbain. Journal CongoSciences 5(2), 126-137.
- [15] Jungerius, P.D., Matundura, J., Van Ancker, J.A.M., 2002. Road construction and gully erosion in West Pokot, Kenya. Earth Surface Processes and Landforms 27(11), 1237-1247.
- [16] Nyssen, J., Poesen, J., Moeyersons, J., Luyten, E., Veyret-Picot, M., Deckers, J., Mitiku Haile, Govers, G., 2002. Impact of road building on gully erosion risk: a case study from the northern Ethiopian Highlands. Earth Surface Processes and Landforms 27, 1267-1283.
- [17] Osmar, C.J., Guimaraes, R., Freitas, L., Gomes-Loebmann, D., Arnaldo Gomes, R., Martins E., Montgomery D.R., 2010. Urbanization impacts upon catchment hydrology and gully development using multitemporal digital elevation data analysis. Earth Surface Processes and Lands Forms 35, 611-617.
- [18] Lelo Nzuzi, F., 2008. Kinshasa. Ville et environnement. L'Harmattan, Kinshasa-Paris, 281p
- [19] Moeyersons, J., 1989. La nature de l'érosion des versants au Rwanda. Annales des Sciences économiques, Musée royal de l'Afrique centrale (MRAC), Tervuren, Belgique, 19, 379p.
- [20] Darcy, H., 1856. Les fontaines publiques de la ville de Dijon. Dalmont, Paris, 647p.
- [21] Lambe, T.W. and Whitman, R.V., 1979. Soil mechanics, S.I. Version. John Wiley & Sons, New York, 553p.
- [22] Kalombo, K., 2001. Occurrence des intensités des pluies et leurs effets sur l'environnement dans une région tropicale (Région de Lubumbashi, sud-est de la R.D. du Congo). Geo-Eco-Trop 25 (1-4), 17-28
- [23] Gumbel, E.J., 1958. Statistics of extremes. Columbia University Press, New York.
- [24] Sheppard, S.R.J., Cizek, P., 2009. The ethics of Google Earth: Crossing thresholds from spatial data to landscape visualisation. Journal of Environmental Management 90 (6), 2102-2117
- [25] Wouters, Th., Wolff, El., 2010. Contribution à l'analyse de l'érosion intra-urbaine à Kinshasa (RDC). Belgeo 3, 293-313.
- [26] Baert, G., Van Ranst, E., Ngongo, M.L., Kasongo, E.L., Verdodt, A., Mujinya, B.B., Mukalay, J.M., 2009. Guide des sols en République Démocratique du Congo. Description et données physico-chimiques de profils types. Gent, Belgique : Universiteit Gent.
- [27] Makanzu Imwangana, F., Kazadi, A., Ntombi, M., Aloni Komanda, J., 2018. Influence de l'infiltration aux différents horizons pédologiques sur le processus du déclenchement de l'érosion ravinante au site du Mont-Amba à Kinshasa, RD. Congo. Journal CongoSciences 6(3), 142-149. <http://www.congosciences.org>
- [28] Kasongo, K.R., Van Ranst, E., Verdodt, A., Kanyankogote, P., Baert, G., 2010. Roche phosphatée de Kanzi comme engrais à propriété amendante pour des sols sableux de l'Hinterland de Kinshasa (RD Congo). Etude et Gestion des Sols 17 (1), 47-58.
- [29] Pain, M., 1975. Atlas de la République du Zaïre. Ed. Jeune Afrique, Paris.

- [30] Crabbe, M., 1980. Le climat de Kinshasa : d'après les observations centrées sur la période 1931-1970. Bruxelles, Hachette, 120p.
- [31] Van Caillie, X., 1983. Hydrologie et érosion dans la région de Kinshasa : Analyse des interactions entre les conditions du milieu, les érosions et le bilan hydrologique. Thèse de doctorat, Dpt de Geografie Geologie, KUL, 554p.
- [32] Kisangala Muke, M., Ntombi Muen Kabeya, M., Yina Ngunga, D., Losembe Konga, M., Kamosi Zola, B., Puela Puela, F., Vuni Simbu, A., Kalumbi Mposhi, D., Diawakana Munza, J., 2025. Gestion des eaux pluviales dans le contexte du changement climatique dans la ville de Kinshasa : cas du district du Mont-Amba. *Journal Africain des Sciences* 2 (1), 29-45.
- [33] Kayembe wa Kayembe, M., Ngoy Ndombe, A., Makanzu Imwangana, F., Mpinda T., M., Misilu Mia Nsokimieno, E., Wolff, E., 2016. Contribution of Remote Sensing in the Estimation of the Populations Living in Areas with Risk of Gully Erosion in Kinshasa (D.R. Congo). Case of Selembao Township. *American Journal of Geosciences* 6 (1), 71-79.
- [34] Ilombe Mawe, G., Lutete Landu, E., Makanzu Imwangana, F., Nzolang, C., Michellier, C., Poesen, J., Bielders, C., Dewitte, O., Hubert-Ferrari, A., Vanmaercke, M., 2022. Quantifying the direct impacts and risks of large urban gullies in the Democratic Republic of Congo. 10th International Conference on Geomorphology, Coimbra, Portugal, 12–16 Sep 2022, ICG2022-145, <https://doi.org/10.5194/icg2022-145>. (Online)