

# Erosion Hydrique Dans La Ville De Kananga En RD. Congo : Masse De Terre Erodée Et Structures Géologiques

Bushabu Ngolo Hubert<sup>1</sup>, Kabasele Yenga-Yenga Albert<sup>2</sup>,  
Minga Milolo Stéphane<sup>3</sup>, Kitenge Okaya Singlaithons<sup>4</sup>,  
Kazadi Tshiamala Evariste<sup>5</sup>, Piema Makima Hilaire<sup>6</sup>

Département De Physique Et Techniques Appliquées, Université Pédagogique De Kananga (UPKAN),  
Kananga, RD. Congo

Département De Physique Et Sciences Appliquées, Laboratoire De Télédétection Spatiale, Université  
Pédagogique Nationale (UPN), Kinshasa, RD. Congo

Département De Physique Et Sciences Appliquées, Laboratoire De Géophysique, Université Pédagogique  
Nationale (UPN), Kinshasa, RD. Congo

Ecole De Télécommunication Et De Télédétection Spatiale (ETS), Laboratoire Osrnac, Université Pédagogique  
Nationale (UPN), Kinshasa, RD. Congo

Section De Mécanique, Institut Supérieur Des Techniques Appliquées (ISTA) De Domiongo, Domiongo, RD.  
Congo

## Résumé

**Contexte :** L'érosion hydrique reste un fléau naturel favorisée par une couverture végétale de faible indice de végétation par différence normalisée (NDVI), des précipitations saisonnières très fortes précipitations et un relief dominé par des pentes de déclivité moyenne 14 % (Yamba, 2016). Le volume de terre arraché et la masse de terre érodée dépendent aussi des structures géologiques qui forment la ville de Kananga. Cette étude vise à évaluer ces deux grandeurs érodées selon le type de sols afin d'en donner la distribution spatiale.

**Matériels et Méthodes :** L'observation de dix-neuf sites érosifs sur 20 ans a nécessité l'usage de deux GPS de marques Garmin map 62 et Garmin etrex 10, d'un décamètre, d'un niveau. Les données satellitaires sont fournies par « Terra climat (<http://www.climatologylab.org>) » au pas mensuel : de janvier 2000 à décembre 2023 et les données météorologiques par la METTELSAT pour la même période. La variation de volume est évaluée par la calcul intégral de volume finis, tel que :

Pour le triangle,  $V = \frac{1}{2} \int_1^2 dL \int_1^2 dl \int_1^2 dz$ , pour le trapèze,  $\Delta V = (\Delta L)(\Delta z) \left( \frac{\Delta l + \Delta b}{2} \right)$

La masse cumulée  $M$  de terre érodée est déterminée par la relation  $M = \rho.V = 5500 V$ , avec  $\rho = 5500 \text{ kg/m}^3$  la masse volumique de la Terre.

**Résultats :** Le NDVI de la ville oscille entre  $0,3542 \pm 0,0312$  et  $0,7752 \pm 0,0259$  avec une moyenne de  $0,6049 \pm 0,0311$ . La commune urbano-rurale de Lukonga affiche le meilleur indice :  $0,6748 \pm 0,0241$  tandis que le plus bas indice est enregistré sur le site de Kananga\_1 avec  $0,5617 \pm 0,0341$ . La vigueur de la biomasse végétale n'est pas très bonne malgré le faible taux d'accroissement de 0,37 %. Les précipitations mensuelles varient dans la plage  $(460,20 \pm 17,70) \text{ t(H}_2\text{O/ha)}$  et  $0,00 \text{ t(H}_2\text{O/ha)}$  avec une moyenne de  $(110,50 \pm 0,13) \text{ t(H}_2\text{O/ha)}$ . Les structures géologiques qui dominent la ville sont principalement : le complexe granitique et migmatique de Dibaya qui abrite onze érosions vives défigure la ville avec  $(1\ 909\ 435,37)$  de tonnes de terre érodées pour un volume arraché de terre de  $(410\ 582,29 \pm 12\ 753,53) \text{ m}^3$ , soit le tiers du Supergroupe de Lukula qui abrite huit érosions dont la masse de terre érodée et le volume arraché de terre valent respectivement  $(5\ 750\ 397,58 \pm 6.851,77)$  tonnes et  $(1\ 045\ 526,83 \pm 6.199,55) \text{ m}^3$ .

**Conclusion :** Sur vingt ans, soit de 2004 à 2023, les précipitations ont arraché sur la ville de Kananga  $(1\ 456\ 109,12)$

$\text{m}^3$  de terre et érodé une masse correspondante de  $(7\ 659\ 832,95 \pm 2.221,71)$  tonnes.

**Mots clés :** NDVI, masse érodée, complexe de Dibaya, supergroupe de Lukula, précipitations.

Date of Submission: 01-05-2025

Date of Acceptance: 10-05-2025

## I. Introduction

L'on suit dans cette étude dix-neuf sites érosifs qui menacent la ville de Kananga. Le volume cumulé de terre arraché ainsi que la masse érodée sont évalués. Les érosions vives sont ensuite groupées selon la structure géomorphologique de la ville. Les précipitations mensuelles et l'indice de végétation par différence normalisé (NDVI) sont suivis afin de discriminer l'ampleur du volume de terre arraché et de la masse érodée.

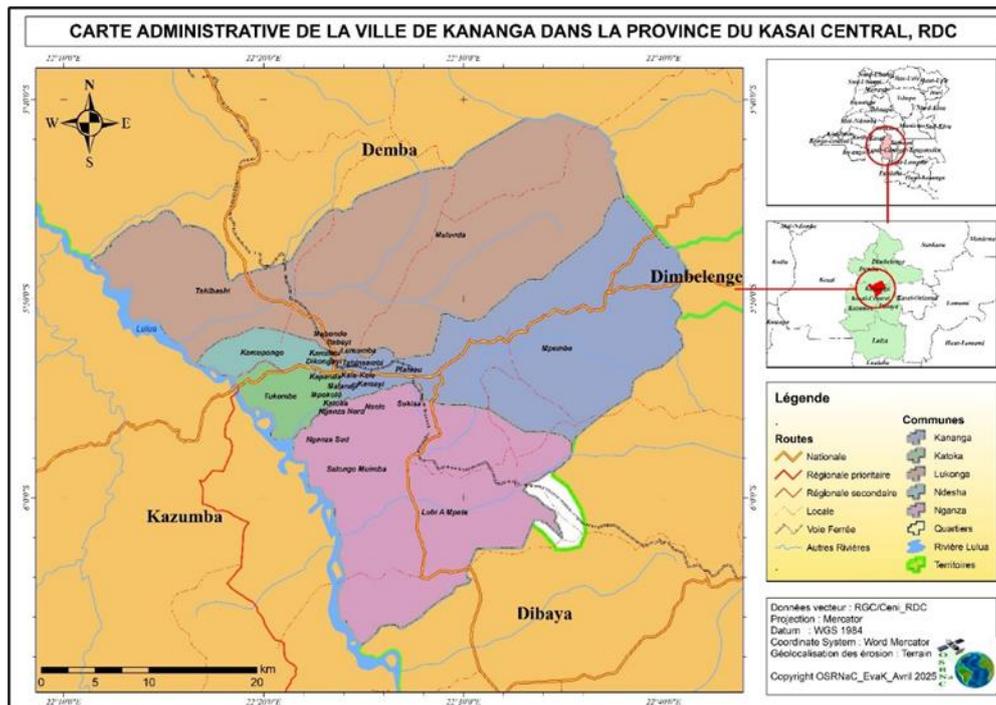
## II. Milieu, Matériels Et Méthodes

Cette étude porte sur dix-neuf érosions vives de la ville de Kananga en République Démocratique du Congo. Leurs caractéristiques intrinsèques sont suivies de janvier 2004 à décembre 2023 et les données climatiques de janvier 2000 à décembre 2023. La masse de terre érodée est évaluée par la méthode des volumes finis et son évolution soumise aux aléas de changements climatiques.

### Milieu d'étude

#### Situation géographique et administrative

La ville de Kananga, chef-lieu de la Province du Kasai Central en République Démocratique du Congo, est comprise entre les latitudes 05°45'S - 06°00'S et les longitudes 22°15'E - 22°30'E. Sa superficie (SIG) est de 743 km<sup>2</sup>.



Elle est bornée par les territoires ci-après : Demba au nord, Dibaya au sud, Dimbelenge à l'Est, Kazumba à l'Ouest et comprend cinq communes : Commune de Kananga (300 km<sup>2</sup>), Commune de Ndesha (44 km<sup>2</sup>), Commune de Katoka (24 km<sup>2</sup>), Commune de Lukonga (153 km<sup>2</sup>) et la Commune de Nganza (222 km<sup>2</sup>) (Figure 1).

### Démographie

La population de Kananga s'élevait à 1 735552 habitants en 2024, soit une densité d'environ 2335 habitants au km<sup>2</sup>.

Cette densité élevée peut constituer un des facteurs favorisant de l'érosion (<https://worldpopulationreview.com/cities>)

### Hydrographie

La ville de Kananga est traversée, comme illustré sur la figure 1 ci-dessus :

- au Nord-Est par la rivière Tshibashi, alimentée par les rivières Lunganda, Malole, kamilobi et Ndesha ;
- au Sud par la rivière Nganza alimentée par les rivières Katoka, Kele-kele, Kamayi et Katuishi ;
- au Sud-Ouest par les rivières Lubi et Nkumbua qui se déversent dans Lulua (CGES, 2023).

Les rivières Tshibashi et Nganza forment deux sous bassins versants du bassin versant de la rivière Lulua au niveau de la ville de Kananga.

### Géologie et Topographie

La ville de Kananga est située sur le plateau du Kasai avec un relief légèrement incliné qui favorise le ruissellement et qui accentue l'érosion. Son sol est particulièrement constitué de sable fin avec une faible teneur en argile et en matière organique. (Hudson, N.1995). Il est dominé principalement par deux structures géologiques (Fernandez-Alonso et al (2015) :

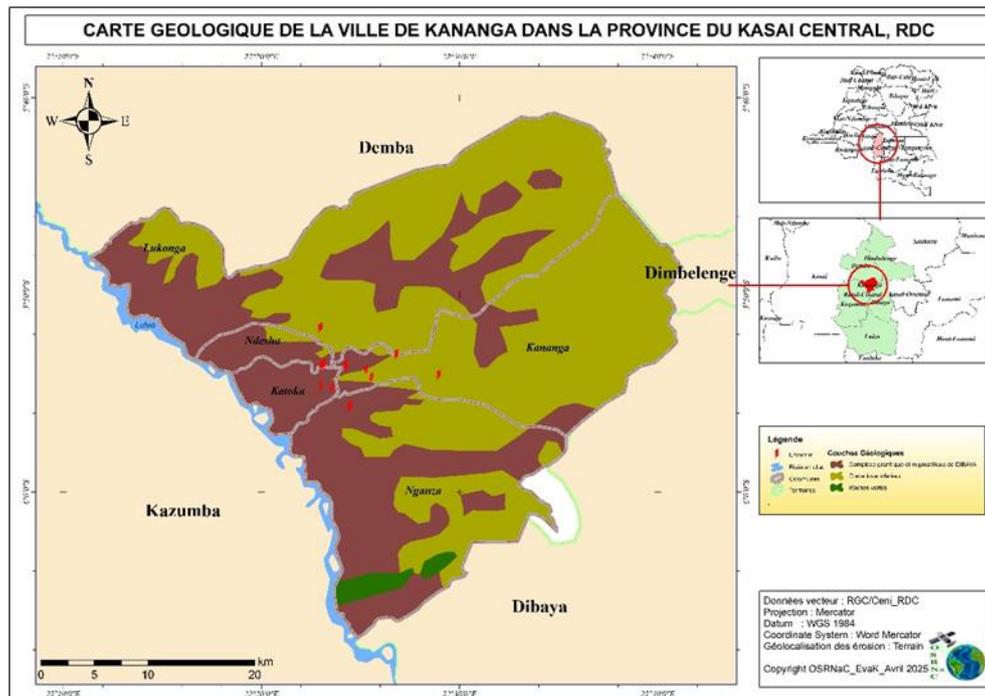
La structure géologique **Complexe granitique et migmatitique de Dibaya**, l'une des unités litho stratigraphiques de roches datant de période Archéenne et généralement composée des roches granitiques et migmatitiques formées il y a 2,7 milliards d'années (Delhal ,1975). Yamba (2016) présente l'étude stratigraphique de la ville de Kananga, de la surface vers la profondeur.

A cause de leur composition minérale et de la cohésion forte, cette structure est principalement résistante à l'érosion. Par contre les variations climatiques, les cycles de chaleur et d'humidité, peuvent exacerber l'altération des minéraux feldspathiques présents dans ces roches, peuvent créer des zones de faiblesse qui seront susceptibles d'être affectées par l'érosion différentielle dont vous observerez des parties moins résistantes s'érodent plus rapidement que les zones plus dégradation progressive.

La structure géologique « Complexe granitique et migmatitique de Dibaya » affleure toute la partie Ouest, une petite partie au Nord et au Sud-Est de la ville (Thoreau, 1967).

Le **Supergroupe de Lukula** en particulier la formation **Crétacique inférieur** est l'une de structure datant de la période Mésozoïque. Elle affleure tout le centre et l'Est de la ville. Il est constitué principalement des roches sédimentaires tels que des grès, des argiles et des schistes argileux qui sont friables et qui se désagrègent rapidement sous l'effet des intempéries. Cette formation géologique est généralement moins résistante à l'érosion et occupe environ 65% de la ville et présente ainsi une vulnérabilité accrue à l'érosion hydrique.

La ville présente des terrains souvent inclinés ou vallonnés, caractérisés par des pentes allant de douces à abruptes entre les collines convexes dont les sommets sont presque coupés (CGES, 2023). La courbe altimétrique marquant le MNT et parfois le MNA de la ville varie entre 547m, au Sud-Ouest de la ville sur la rivière Lulua et 704m au niveau de Tshikaji avec une moyenne de 630 m (Yamba, 2016).



### Localisation des sites érosifs

Avec les GPS décrits ci-haut, les sites érosifs ont été localisés, tel qu'indiqué sur la figure 3 ci-dessous et décrit dans le tableau 1 ci-dessous. AM, AV et Fd indiquent respectivement amont, aval et fond.

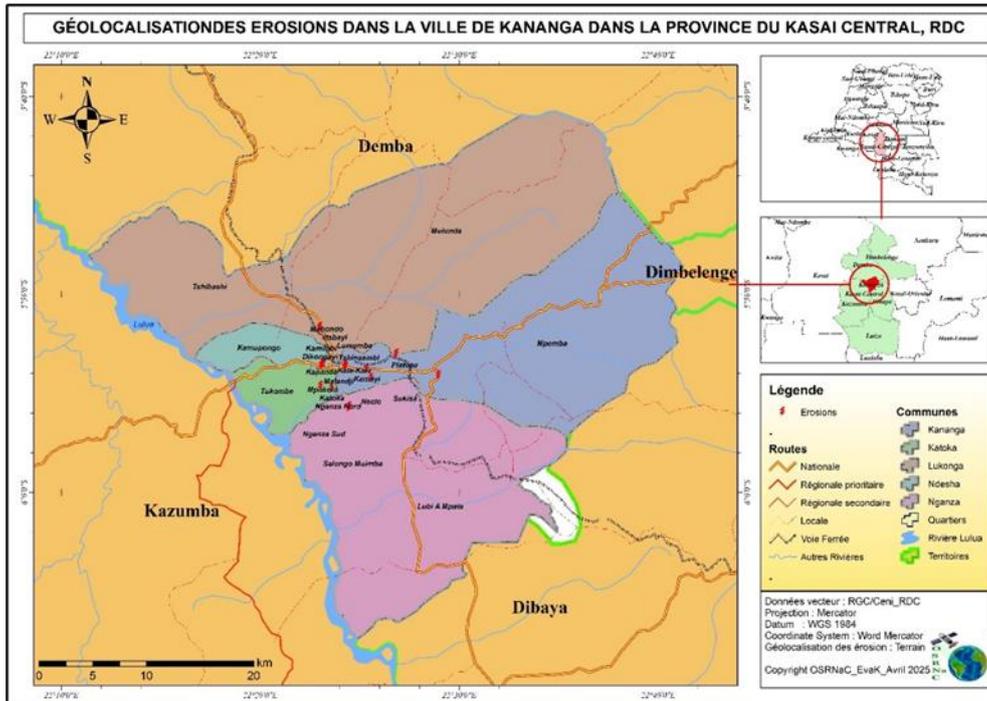


Figure 3. Localisation des sites érosifs de la ville de Kananga

La Commune de Kananga recense le plus grand nombre : huit (8) sur dix-neuf, suivie de la commune de Katoka qui en a quatre (4).

Tableau 1. Localisation des sites érosifs

| N° | Sigle | Commune | Latitude-Sud | Longitude-Est | Élévation (m) |     |     |
|----|-------|---------|--------------|---------------|---------------|-----|-----|
|    |       |         |              |               | AM            | AV  | Fd  |
| 1  | Kga_1 | Kananga | 5,90141°     | 22,48258°     | 660           | 640 | 642 |
| 2  | Kga_2 | Kananga | 5,90139°     | 22,48254°     | 655           | 642 | 648 |
| 3  | Kga_3 | Kananga | 5,90392°     | 22,42597°     | 621           | 608 | 613 |
| 4  | Kga_4 | Kananga | 5,88391°     | 22,44682°     | 631           | 592 | 594 |
| 5  | Kga_5 | Kananga | 5,88373°     | 22,44727°     | 622           | 609 | 602 |
| 6  | Kga_6 | Kananga | 5,89690°     | 22,42151°     | 640           | 582 | 637 |
| 7  | Kga_7 | Kananga | 5,89464°     | 22,40400°     | 620           | 582 | 609 |
| 8  | Kga_8 | Kananga | 5,89295°     | 22,40492°     | 630           | 591 | 604 |
| 9  | Nds_1 | Ndesha  | 5,89232°     | 22,38572°     | 625           | 620 | 621 |
| 10 | Nds_2 | Ndesha  | 5,89144°     | 22,38572°     | 622           | 598 | 600 |
| 11 | Nds_3 | Ndesha  | 5,89238°     | 22,38476°     | 628           | 612 | 615 |
| 12 | Ktk_1 | Katoka  | 5,91270°     | 22,39303°     | 625           | 588 | 607 |
| 13 | Ktk_2 | Katoka  | 5,91061°     | 22,38384°     | 598           | 586 | 589 |
| 14 | Ktk_3 | Katoka  | 5,89362°     | 22,38425°     | 618           | 607 | 610 |
| 15 | Ktk_4 | Katoka  | 5,89348°     | 22,38409°     | 624           | 608 | 612 |
| 16 | Lkg_1 | Lukonga | 5,86111°     | 22,38323°     | 594           | 586 | 588 |
| 17 | Lkg_2 | Lukonga | 5,86161°     | 22,38314°     | 592           | 596 | 582 |
| 18 | Ngz_1 | Nganza  | 5,92844°     | 22,40802°     | 636           | 626 | 627 |
| 19 | Ngz_2 | Nganza  | 5,92803°     | 22,40743°     | 640           | 623 | 626 |

### Végétation

L'indice de végétation par différence normalisée (NDVI) mesure la vigueur de la végétation. Ses valeurs extrêmes sont -1 (absence de végétation) et +1 (végétation abondante : forêt dense).

Au pas mensuel, les valeurs enregistrées par les satellites sur 24 ans pour la ville de Kananga, soit de 2000 à 2023, sont consignées dans le tableau 2 ci-dessous.

Tableau 2. Indice de végétation par différence normalisé (NDVI)\_Ville de Kananga

| N° | Sites | NDVI    |         |        |
|----|-------|---------|---------|--------|
|    |       | Maximum | Minimum | Moyen  |
| 1  | Kga_1 | 0,7109  | 0,3542  | 0,5617 |
| 2  | Kga_2 | 0,6863  | 0,3819  | 0,5806 |
| 3  | Kga_3 | 0,6708  | 0,3803  | 0,5710 |
| 4  | Kga_4 | 0,6863  | 0,3819  | 0,5806 |

|    |       |        |        |        |
|----|-------|--------|--------|--------|
| 5  | Kga_5 | 0,7402 | 0,4379 | 0,6197 |
| 6  | Kga_6 | 0,6708 | 0,3803 | 0,5710 |
| 7  | Kga_7 | 0,6863 | 0,3819 | 0,5807 |
| 8  | Kga_8 | 0,6863 | 0,3819 | 0,5806 |
| 9  | Nds_1 | 0,7402 | 0,4379 | 0,6197 |
| 10 | Nds_2 | 0,7402 | 0,4379 | 0,6197 |
| 11 | Nds_3 | 0,7402 | 0,4379 | 0,6197 |
| 12 | Ktk_1 | 0,7214 | 0,4079 | 0,6039 |
| 13 | Ktk_2 | 0,7214 | 0,4079 | 0,6039 |
| 14 | Ktk_3 | 0,7214 | 0,4079 | 0,6039 |
| 15 | Ktk_4 | 0,7402 | 0,4379 | 0,6197 |
| 16 | Lkg_1 | 0,7752 | 0,4247 | 0,6748 |
| 17 | Lkg_2 | 0,7752 | 0,4247 | 0,6748 |
| 18 | Ngz_1 | 0,7214 | 0,4079 | 0,6039 |
| 19 | Ngz_2 | 0,7214 | 0,4079 | 0,6039 |

On remarque que le NDVI de la ville oscille entre  $0,3542 \pm 0,0312$  et  $0,7752 \pm 0,0259$  avec une moyenne de  $0,6049 \pm 0,0311$  (Tableau 2). La commune urbano-rurale de Lukonga affiche le meilleur indice :  $0,6748 \pm 0,0241$  tandis que le plus bas indice est enregistré sur le site de Kananga\_1 avec  $0,5617 \pm 0,0341$ .

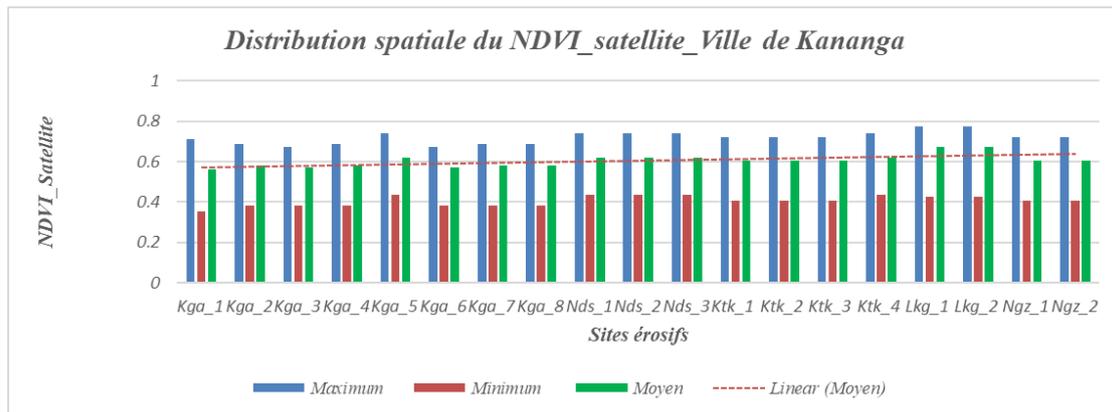


Figure 4. Distribution spatiale du NDVI\_Satellite\_Ville de Kananga

La tendance générale indiquée dans l'équation (1) ci-dessous

$$NDVI_{Satellite} = 0,0037x + 0,568 \quad (1)$$

montre un accroissement avec un taux de 0,37 % comme l'illustre la figure 4 ci-dessus.

**Précipitations mensuelles (PP)**

Les précipitations sont considérées comme facteur principal favorisant l'érosion hydrique autant que la nature et la structure du sol. Au pas mensuel, les valeurs enregistrées par les satellites sur 24 ans pour la ville de Kananga, soit de 2000 à 2023, sont consignées dans le tableau 3 ci-dessous.

Tableau 3. Précipitations mensuelles (t(H<sub>2</sub>O/ha))\_Ville de Kananga

| N° | Sites | PP (t (H <sub>2</sub> O) /ha) |         |        |
|----|-------|-------------------------------|---------|--------|
|    |       | Maximum                       | Minimum | Moyen  |
| 1  | Kga_1 | 460,2                         | 0       | 110,19 |
| 2  | Kga_2 | 460,2                         | 0       | 110,19 |
| 3  | Kga_3 | 405                           | 0       | 110,67 |
| 4  | Kga_4 | 405                           | 0       | 110,67 |
| 5  | Kga_5 | 405                           | 0       | 110,67 |
| 6  | Kga_6 | 405                           | 0       | 110,67 |
| 7  | Kga_7 | 403,8                         | 0       | 110,49 |
| 8  | Kga_8 | 403,8                         | 0       | 110,49 |
| 9  | Nds_1 | 403,8                         | 0       | 110,49 |
| 10 | Nds_2 | 403,8                         | 0       | 110,49 |
| 11 | Nds_3 | 403,8                         | 0       | 110,49 |
| 12 | Ktk_1 | 403,8                         | 0       | 110,49 |
| 13 | Ktk_2 | 403,8                         | 0       | 110,49 |
| 14 | Ktk_3 | 403,8                         | 0       | 110,49 |
| 15 | Ktk_4 | 403,8                         | 0       | 110,49 |
| 16 | Lkg_1 | 403,8                         | 0       | 110,49 |
| 17 | Lkg_2 | 403,8                         | 0       | 110,49 |

|    |       |       |   |        |
|----|-------|-------|---|--------|
| 18 | Ngz_1 | 403,8 | 0 | 110,49 |
| 19 | Ngz_2 | 403,8 | 0 | 110,49 |

Les précipitations mensuelles de la ville de Kananga varient dans la plage (460,20 ± 17,70) t(H<sub>2</sub>O/ha) et 0,00 t(H<sub>2</sub>O/ha) avec une moyenne de (110,50 ± 0,13) t(H<sub>2</sub>O/ha). Elles sont particulièrement abondantes autour de l'aéroport de Lungandu (Kananga) : (460,20 ± 17,70) t(H<sub>2</sub>O/ha) (Figure 5).

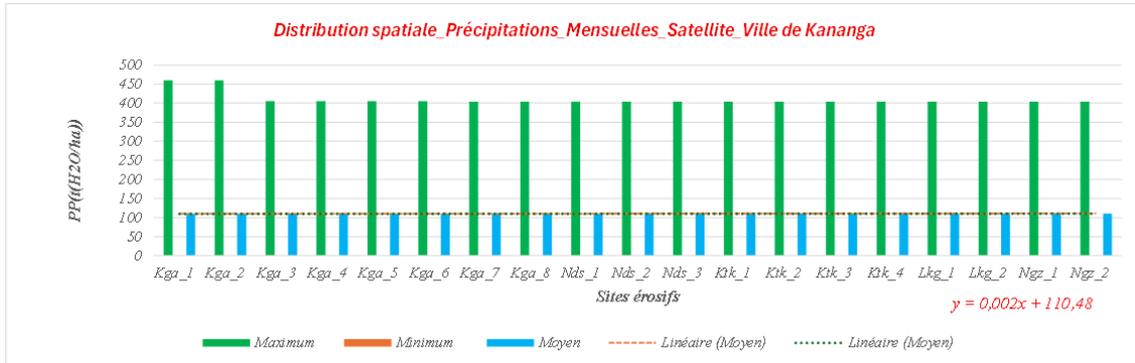


Figure 5. Distribution spatiale des précipitations mensuelles\_Satellite\_Ville de Kananga

Par rapport à la répartition des sites, la tendance générale est quasi stationnaire :

$$PP(t(H_2O/ha)) = 0,002x + 110,48 \quad (2)$$

Le taux de variation, quoique positif, est très faible : 0,2%. Ce qui explique une pluviométrie quasi identique sur tous les sites.

**Matériels et Données**

**Matériels**

Les matériels suivants ont été utilisés dans cette étude : un décimètre, une équerre, un rapporteur, un niveau d'eau de maçon, deux GPS : l'un de marque Garmin GPS map 62 et l'autre de marque Garmin etrex 10.

**Données**

L'étude a nécessité:

des données prélevées in situ avec les matériels ci-haut décrits pour la période 2004 à 2023. La longueur, la largeur et la profondeur des érosions exprimées en mètres (m), sont consignées dans le tableau 2 ci-dessous.

Tableau 4. Mesures des paramètres des érosions : 2004 – 2023

| N° | Sites | 2004 |      |    | 2010 |      |     | 2012 |      |     | 2016 |      |     | 2021 |      |      | 2023 |      |    |
|----|-------|------|------|----|------|------|-----|------|------|-----|------|------|-----|------|------|------|------|------|----|
|    |       | L    | l    | z  | L    | l    | z   | L    | l    | z   | L    | l    | z   | L    | l    | z    | L    | l    | z  |
| 1  | Kga1  | 127  | 10,4 | 13 | 217  | 26   | 20  | 198  | 18,6 | 22  | 356  | 82,9 | 37  | 496  | 35,8 | 46   | 496  | 35,8 | 18 |
| 2  | Kga2  | 0    | 0    | 0  | 224  | 2,8  | 15  | 180  | 6,3  | 16  | 358  | 23,2 | 25  | 312  | 47,4 | 25   | 312  | 47,2 | 7  |
| 3  | Kga3  | 363  | 14,6 | 8  | 311  | 31,3 | 7   | 418  | 26,3 | 21  | 239  | 127  | 9   | 235  | 115  | 8    | 235  | 115  | 8  |
| 4  | Kga4  | 0    | 0    | 0  | 0    | 0    | 0   | 0    | 0    | 0   | 30,3 | 20,6 | 0   | 143  | 29,8 | 10   | 143  | 29,8 | 37 |
| 5  | Kga5  | 0    | 0    | 0  | 0    | 0    | 0   | 0    | 0    | 0   | 0    | 0    | 0   | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0  |
| 6  | Kga6  | 0    | 0    | 0  | 0    | 0    | 0   | 0    | 0    | 0   | 105  | 28,9 | 17  | 288  | 127  | 30   | 288  | 127  | 3  |
| 7  | Kga7  | 141  | 17,2 | 11 | 128  | 22,7 | 10  | 0    | 0    | 0   | 160  | 30,3 | 13  | 402  | 77,3 | 17   | 402  | 77,3 | 11 |
| 8  | Kga8  | 117  | 6,2  | 11 | 64,8 | 37,9 | 6   | 136  | 7    | 17  | 255  | 19,1 | 31  | 284  | 73,8 | 32   | 284  | 73,8 | 26 |
| 9  | Nds1  | 133  | 10,5 | 9  | 76,4 | 15,1 | 7   | 120  | 6    | 9   | 41,9 | 8,4  | 3   | 554  | 68,9 | 27   | 554  | 68,9 | 4  |
| 10 | Nds2  | 0    | 0    | 0  | 80,7 | 22,7 | 12  | 0    | 0    | 0   | 183  | 24,7 | 12  | 335  | 28,7 | 23   | 335  | 28,7 | 22 |
| 11 | Nds3  | 0    | 0    | 0  | 0    | 0    | 0   | 0    | 0    | 0   | 72,1 | 2,9  | 9   | 226  | 3,43 | 32   | 226  | 3,43 | 13 |
| 12 | Ktk1  | 0    | 0    | 0  | 66,4 | 4,1  | 8   | 113  | 5    | 4   | 32   | 8,5  | 5   | 68   | 25,7 | 9    | 68   | 25,7 | 18 |
| 13 | Ktk2  | 0    | 0    | 0  | 21,8 | 11,4 | 2   | 51,7 | 6,14 | 1   | 48,9 | 33,4 | 2   | 67   | 50   | 2    | 67   | 50   | 8  |
| 14 | Ktk3  | 0    | 0    | 0  | 30   | 5    | 3   | 0    | 0    | 0   | 45,1 | 12,5 | 5   | 139  | 15   | 12   | 139  | 15   | 8  |
| 15 | Ktk4  | 0    | 0    | 0  | 0    | 0    | 0   | 0    | 0    | 0   | 60   | 25,1 | 6   | 199  | 63,8 | 14   | 159  | 23,8 | 12 |
| 16 | Lkg1  | 0    | 0    | 0  | 74,3 | 2,4  | 2   | 42   | 7,2  | 1   | 333  | 5,4  | 7   | 411  | 15,4 | 25   | 411  | 15,4 | 6  |
| 17 | Lkg2  | 0    | 0    | 0  | 7,5  | 5,6  | 0   | 98,3 | 7,9  | 10  | 15,5 | 10,3 | 2   | 75,9 | 8,9  | 7    | 75,9 | 8,9  | 10 |
| 18 | Ngz1  | 0    | 0    | 0  | 84   | 6    | 2,1 | 112  | 8,5  | 2,5 | 143  | 13,4 | 3,4 | 287  | 20,7 | 8,2  | 316  | 24,3 | 9  |
| 19 | Ngz2  | 127  | 0    | 0  | 39   | 3,6  | 2,2 | 93   | 5,8  | 3,7 | 109  | 8,4  | 4,5 | 215  | 11,9 | 11,9 | 264  | 22,6 | 14 |

- des données météorologiques livrées par la METTELSAT : de janvier 2000 à décembre 2023 ;
- des données satellitaires fournies par « Terra climat (<http://www.climatologylab.org>) » au pas mensuel : de janvier 2000 à décembre 2023.

**Méthodes**

- De 2004 à 2023, les caractéristiques principales de dix – neuf érosions vives sont prélevées : la longueur (L), la largeur (l) et la profondeur (z). Les résultats sont consignés dans le tableau 4 ci-dessus ;

➤ La variation de volume est évaluée par la calcul intégral de volume finis (Ali, 2003), tel que :

Pour le triangle,  

$$V = \frac{1}{2} \int_1^2 dL \int_1^2 dl \int_1^2 dz \tag{3}$$

Pour le trapèze,  

$$\Delta V = (\Delta L)(\Delta z) \left( \frac{\Delta l + \Delta b}{2} \right) \tag{4}$$

➤ La masse cumulée M de terre érodée est déterminée par la relation (5) ci-dessous

$$M = \rho \cdot V = 5500 V \tag{5}$$

avec  $\rho = 5500 \text{ kg/m}^3$  la masse volumique de la Terre, valeur tirée de Hecht, E. (2012).

Les tableaux 5, 6 et 7 ci-dessous reprennent, de 2004 à 2023, les résultats obtenus sur la variation de volume  $\Delta V$ , le volume cumulé V et la masse érodée M.

**Tableau 5.** Volume et masse de terre érodés : 2004 – 2012

| Sites érosifs |      | 2004                            |                          |           | 2010                            |                          |           | 2012                            |                          |           |
|---------------|------|---------------------------------|--------------------------|-----------|---------------------------------|--------------------------|-----------|---------------------------------|--------------------------|-----------|
| N°            | Nom  | $\Delta V \text{ (m}^3\text{)}$ | $V \text{ (m}^3\text{)}$ | M(kg)     | $\Delta V \text{ (m}^3\text{)}$ | $V \text{ (m}^3\text{)}$ | M(kg)     | $\Delta V \text{ (m}^3\text{)}$ | $V \text{ (m}^3\text{)}$ | M(kg)     |
| 1             | Kga1 | 0                               | 8585,2                   | 4218600   | 702                             | 9287,2                   | 51079600  | 140,6                           | 9427,8                   | 21852900  |
| 2             | Kga2 | 0                               | 0                        | 0         | 0                               | 4704                     | 25872000  | -77                             | 4627                     | 25448500  |
| 3             | Kga3 | 0                               | 21199,2                  | 116595600 | 434,2                           | 21633,4                  | 118983700 | -3745                           | 17888,4                  | 98386200  |
| 4             | Kga4 | 0                               | 0                        | 0         | 0                               | 0                        | 0         | 0                               | 0                        | 0         |
| 5             | Kga5 | 0                               | 0                        | 0         | 0                               | 0                        | 0         | 0                               | 0                        | 0         |
| 6             | Kga6 | 0                               | 0                        | 0         | 0                               | 0                        | 0         | 0                               | 0                        | 0         |
| 7             | Kga7 | 0                               | 13338,6                  | 73362300  | 35,75                           | 13374,35                 | 73558925  | -14528                          | 0                        | 0         |
| 8             | Kga8 | 0                               | 3989,7                   | 21943350  | 4136,85                         | 8126,55                  | 44696025  | 12100,44                        | 20226,99                 | 111248445 |
| 9             | Nds1 | 0                               | 6284,25                  | 34563375  | 260,36                          | 6544,61                  | 35995355  | -396,76                         | 6144785                  | 337963175 |
| 10            | Nds2 | 0                               | 0                        | 0         | 0                               | 10991,34                 | 60452370  | -10991,34                       | 0                        | 0         |
| 11            | Nds3 | 0                               | 0                        | 0         | 0                               | 0                        | 0         | 0                               | 0                        | 0         |
| 12            | Ktk1 | 0                               | 0                        | 0         | 0                               | 1088,96                  | 5989280   | -83,88                          | 1005,08                  | 5257940   |
| 13            | Ktk2 | 0                               | 0                        | 0         | 0                               | 248,52                   | 1366860   | 78,637                          | 327,157                  | 1799363,5 |
| 14            | Ktk3 | 0                               | 0                        | 0         | 0                               | 225                      | 1237500   | -225                            | 0                        | 0         |
| 15            | Ktk4 | 0                               | 0                        | 0         | 0                               | 0                        | 0         | 0                               | 0                        | 0         |
| 16            | Lkg1 | 0                               | 0                        | 0         | 0                               | 178,32                   | 980750    | 77,52                           | 255,84                   | 1407120   |
| 17            | Lkg2 | 0                               | 0                        | 0         | 0                               | 63                       | 346,500   | 730,94                          | 79394                    | 4366670   |
| 18            | Ngz1 | 0                               | 0                        | 0         | 0                               | 529,2                    | 2910600   | 14                              | 543,2                    | 2987600   |
| 19            | Nez2 | 0                               | 0                        | 0         | 0                               | 114,84                   | 631620    | 105,6                           | 220,44                   | 1212420   |

Les érosions Kga\_4, Kga\_5 et Kga\_6 n’avaient pas encore commencé jusqu’en 2012. Autant pour celles de Ndesha, Katoka, Lukonga et Nganza qui n’existaient pas en 2012 (Tableau 5).

**Tableau 6.** Volume et masse de terre érodés : 2016 – 2021

| Sites érosifs |      | 2016                            |                          |           | 2018                            |                          |            | 2021                            |                          |            |
|---------------|------|---------------------------------|--------------------------|-----------|---------------------------------|--------------------------|------------|---------------------------------|--------------------------|------------|
| N°            | Nom  | $\Delta V \text{ (m}^3\text{)}$ | $V \text{ (m}^3\text{)}$ | M(kg)     | $\Delta V \text{ (m}^3\text{)}$ | $V \text{ (m}^3\text{)}$ | M(kg)      | $\Delta V \text{ (m}^3\text{)}$ | $V \text{ (m}^3\text{)}$ | M(kg)      |
| 1             | Kga1 | 76195,5                         | 85623,3                  | 470928150 | -39526                          | 46061,3                  | 253337150  | 34240,85                        | 80302,16                 | 441661880  |
| 2             | Kga2 | 12015,9                         | 16642,9                  | 915359500 | -9472                           | 7170,9                   | 39439950   | 19617,6                         | 26788,5                  | 147336750  |
| 3             | Kga3 | 108151,8                        | 126040,2                 | 693221100 | 147954,8                        | 273995                   | 1506972500 | 142074                          | 416069                   | 2288379500 |
| 4             | Kga4 | 0                               | 936,27                   | 5149485   | -12,02                          | 924,25                   | 11881925   | 1236,1                          | 2160,35                  | 11881925   |
| 5             | Kga5 | 0                               | 0                        | 0         | 0                               | 25,08                    | 137940     | -25,08                          | 0                        | 0          |
| 6             | Kga6 | 0                               | 25793,25                 | 141862875 | 43502,4                         | 69295,65                 | 381126075  | 94991,4                         | 164287,05                | 903578775  |
| 7             | Kga7 | 0                               | 31512                    | 173316000 | 133                             | 31645                    | 174047500  | 37620                           | 69265                    | 380847500  |
| 8             | Kga8 | 10079,3                         | 30306,29                 | 166684595 | 263,9                           | 30570,19                 | 168136045  | 0                               | 30570,19                 | 168136045  |
| 9             | Nds1 | 562,32                          | 6710,17                  | 36905935  | -2802,24                        | 3907,93                  | 21493615   | 220067,55                       | 223975,48                | 1231865140 |
| 10            | Nds2 | 0                               | 27120,6                  | 149163300 | -886,5                          | 2623,1                   | 144287550  | 3365,4                          | 29599,5                  | 162797250  |
| 11            | Nds3 | 0                               | 940,905                  | 5174977,5 | -940,905                        | 0                        | 0          | 0                               | 12402,88                 | 68215840   |
| 12            | Ktk1 | -146,75                         | 863,33                   | 4748315   | 135,24                          | 998,37                   | 5492135    | 1539                            | 2537,57                  | 13956635   |
| 13            | Ktk2 | -38,164                         | 288,99                   | 1589445   | 94,078                          | 383,07                   | 2106885    | 650,769                         | 1033,8                   | 5685900    |
| 14            | Ktk3 | 0                               | 14056,375                | 7751562,5 | 47,6                            | 1456,98                  | 8013390    | 315,45                          | 177243                   | 9748365    |
| 15            | Ktk4 | 0                               | 4518                     | 24849000  | -25,25                          | 4492,75                  | 24710125   | 2211,6                          | 6704,35                  | 36873925   |
| 16            | Lkg1 | 1571,4                          | 1827,24                  | 10049820  | 198,9                           | 2026,14                  | 11143770   | 29511,3                         | 31537,44                 | 173455920  |
| 17            | Lkg2 | 794,88                          | 1588,82                  | 8738510   | 0                               | 0                        | 0          | 2364,285                        | 2364,3                   | 13003650   |
| 18            | Ngz1 | 68,355                          | 611,355                  | 3363552,5 | 180,9                           | 792,455                  | 4358502,5  | 470,085                         | 1262,54                  | 6943970    |
| 19            | Nez2 | 16,64                           | 237,08                   | 1303940   | 281,4                           | 518,48                   | 2851640    | 66,3                            | 584,78                   | 3216250    |

L’érosion de Kga\_5 a commencé en 2018 (Tableau 6) avec extinction en 2021 et reprise en 2022 (Tableau 7).

**Tableau 7.** Volume et masse de terre érodés : 2022 - 2023

| Sites érosifs |      | 2022                            |                          |            | 2023                            |                          |             |
|---------------|------|---------------------------------|--------------------------|------------|---------------------------------|--------------------------|-------------|
| N°            | Nom  | $\Delta V \text{ (m}^3\text{)}$ | $V \text{ (m}^3\text{)}$ | M(kg)      | $\Delta V \text{ (m}^3\text{)}$ | $V \text{ (m}^3\text{)}$ | M(kg)       |
| 1             | Kga1 | 11,5                            | 80313,66                 | 441725130  | -7,68                           | 80305,98                 | 441682890   |
| 2             | Kga2 | 184776,8                        | 211565,3                 | 1163609150 | 300,72                          | 211866,02                | 1165263110  |
| 3             | Kga3 | 99207,55                        | 515276,550               | 2834021025 | -243,1                          | 515033,45                | 28326883975 |

|    |      |           |           |            |          |            |            |
|----|------|-----------|-----------|------------|----------|------------|------------|
| 4  | Kga4 | 5474      | 7634,25   | 41988,375  | 260,06   | 7894,41    | 43419255   |
| 5  | Kga5 | 0         | 996,45    | 5480475    | -21,12   | 975,33     | 5364315    |
| 6  | Kga6 | -103213,5 | 61073,35  | 335904525  | -8300,25 | 52773,3    | 290253150  |
| 7  | Kga7 | 345       | 69610     | 382855000  | 143,44   | 69753,44   | 283643920  |
| 8  | Kga8 | 0         | 30570,19  | 168136045  | 64,8     | 3063459    | 168492445  |
| 9  | Nds1 | 4233,6    | 228209,08 | 1255149940 | -145,928 | 228063,152 | 1254347336 |
| 10 | Nds2 | -88,4     | 29511,1   | 162311050  | 25,2     | 29536,3    | 162449650  |
| 11 | Nds3 | 0,24      | 12403,12  | 68217160   | 0,756    | 12403,876  | 68221318   |
| 12 | Ktk1 | 10659,75  | 13197,32  | 72585260   | 139,23   | 13336,55   | 73351025   |
| 13 | Ktk2 | 15256,65  | 16290     | 89595000   | 94,129   | 16384,578  | 90115175   |
| 14 | Ktk3 | 0         | 1772,43   | 9748365    | 3,2      | 1775,63    | 9765965    |
| 15 | Ktk4 | 0         | 6704,35   | 36873925   | 42,24    | 6746,59    | 37106245   |
| 16 | Lkg1 | 725,4     | 32262,84  | 17745620   | 17       | 32279,84   | 177539120  |
| 17 | Lkg2 | 14429,94  | 144299,1  | 793645050  | 99,4     | 144398,5   | 794191750  |
| 18 | Ngz1 | 41,76     | 1304,3    | 7173650    | 9,936    | 1314,236   | 7228298    |
| 19 | Ngz2 | 36,015    | 620,795   | 3414372,5  | 12,144   | 632,939    | 3481164,5  |

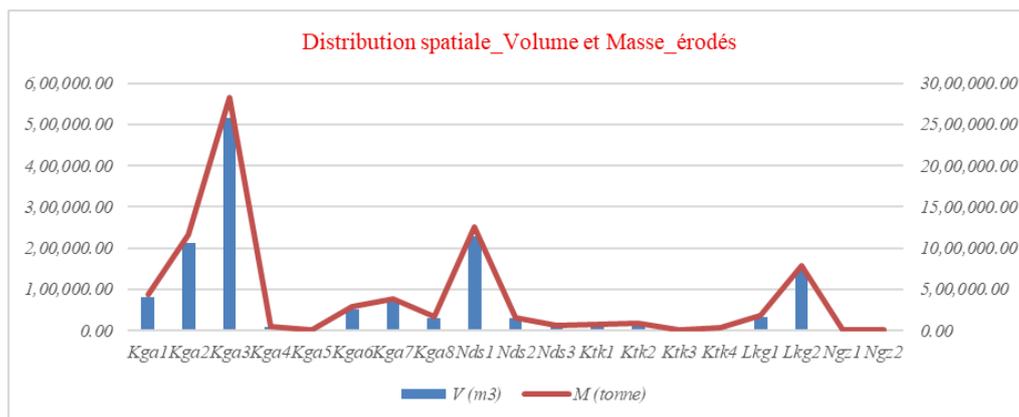
### III. Résultats

Après 20 ans d'observations des dix-neuf sites érosifs de la ville de Kananga, les précipitations ont arraché **(1 456 109,12 ± 3.383,52) m<sup>3</sup>** de terre et érodé une masse correspondante de **(7 659 832,95 ± 2.221,71) tonnes** tel que repartis sur le tableau 8 ci-dessous :

**Tableau 8. Volume et masse cumulés érodés**

| Sites érosifs |      | V (m <sup>3</sup> )            | M (tonne)                      |
|---------------|------|--------------------------------|--------------------------------|
| N°            | Nom  |                                |                                |
| 1             | Kga1 | 80 305,98 ± 3.597,41           | 441 682,89 ± 21.013,08         |
| 2             | Kga2 | 211 866,02 ± 9.375,61          | 1 165 263,11 ± 54.227,80       |
| 3             | Kga3 | 515 033,45 ± 22.085,35         | 2 832 683,98 ± 96.851,77       |
| 4             | Kga4 | 7 894,41 ± 3.364,27            | 43 419,26 ± 1.482,93           |
| 5             | Kga5 | 975,33 ± 454,56                | 5 364,32 ± 2500,08             |
| 6             | Kga6 | 52 773,30 ± 5.549,84           | 290 253,15 ± 30.524,12         |
| 7             | Kga7 | 69 753,44 ± 28.591,40          | 34 876,72 ± 14.448,05          |
| 8             | Kga8 | 30 634,99 ± 10.753,53          | 168 492,45 ± 6.144,88          |
| 9             | Nds1 | 228 063,15 ± 21.397,62         | 1 254 347,34 ± 60.605,36       |
| 10            | Nds2 | 29 536,30 ± 1.409,25           | 162 449,65 ± 7.314,73          |
| 11            | Nds3 | 12 403,88 ± 632,99             | 68 221,32 ± 3.481,46           |
| 12            | Ktk1 | 13 336,55 ± 5.682,82           | 73 351,03 ± 3.127,67           |
| 13            | Ktk2 | 16 384,58 ± 7.392,52           | 90 115,18 ± 4.065,88           |
| 14            | Ktk3 | 1 775,63 ± 6.186,76            | 9 765,97 ± 4.531,01            |
| 15            | Ktk4 | 6 746,59 ± 3.155,00            | 37 106,25 ± 1.735,25           |
| 16            | Lkg1 | 32 279,84 ± 16.150,29          | 177 539,12 ± 7.829,48          |
| 17            | Lkg2 | 144 398,50 ± 66.199,55         | 794 191,75 ± 36.552,80         |
| 18            | Ngz1 | 1 314,24 ± 470,16              | 7 228,30 ± 2.585,85            |
| 19            | Ngz2 | 632,94 ± 251,32                | 3 481,16 ± 1.382,26            |
| <b>Total</b>  |      | <b>1 456 109,12 ± 3.383,52</b> | <b>7 659 832,95 ± 2.221,71</b> |

On observe sur le tableau 8 ci-dessus quatre érosions sur dix-neuf qui se démarquent de par l'ampleur du volume arraché et de la masse érodée. Il s'agit des érosions : Kga\_2, Kga\_3 dans la commune de Kananga ; Nds\_1 dans la commune de la Ndesha et Lkg\_2 dans celle de Lukonga. La commune de Kananga reste le centre de gravité des sites érosifs suivie de celle de la Ndesha, comme indiqué sur la figure 6 ci-dessous.



**Figure 6. Distribution spatiale des volumes et des masses érodés**

Les érosions Kga\_3, Nds\_1 et Kga\_2 sont caractérisées par des volumes importants de terre arrachés ainsi que les masses érodées correspondantes (Figure 6).

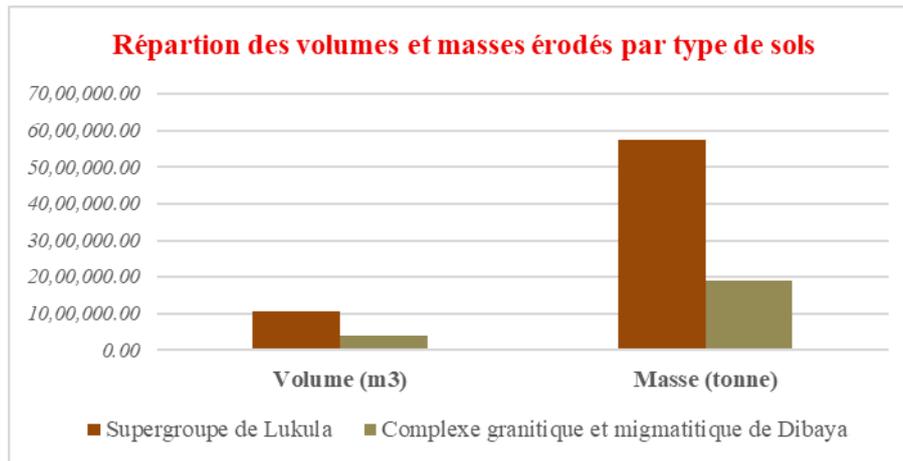
**Répartition selon les types de sols**

La ville de Kananga repose sur deux structures géologiques qui abritent les dix-neuf sites érosifs. Le tableau 9 ci-dessous donne la répartition spatiale selon ces structures. Les volumes arrachés et les masses de terre érodées y associés sont indiqués.

**Tableau 9.** Répartition de volumes et masses érodés par types de sols

| N°  | Sigle | Types de sols   | Commune | V (m <sup>3</sup> )            | M (tonne)                      |
|---|-------|---|---------|--------------------------------|--------------------------------|
| 1   | Kga 1 | Supergroupe de Lukula : formation Crétacique inférieure | Kananga | 80 305,98 ± 3.597,41           | 441 682,89 ± 1.013,08          |
| 2   | Kga 2 | Supergroupe de Lukula : formation Crétacique inférieure | Kananga | 211 866,02 ± 9.375,61          | 1 165 263,11 ± 4.227,80        |
| 3   | Kga 3 | Supergroupe de Lukula : formation Crétacique inférieure | Kananga | 515 033,45 ± 22.085,35         | 2 832 683,98 ± 6.851,77        |
| 4   | Kga 4 | Supergroupe de Lukula : formation Crétacique inférieure | Kananga | 7 894,41 ± 3.364,27            | 43 419,26 ± 1.482,93           |
| 5   | Kga 5 | Supergroupe de Lukula : formation Crétacique inférieure | Kananga | 975,33 ± 454,56                | 5 364,32 ± 2500,08             |
| 6   | Kga 6 | Supergroupe de Lukula : formation Crétacique inférieure | Kananga | 52 773,30 ± 5.549,84           | 290 253,15 ± 3.524,12          |
| 7   | Lkg 1 | Supergroupe de Lukula : formation Crétacique inférieure | Lukonga | 32 279,84 ± 16.150,29          | 177 539,12 ± 4.829,48          |
| 8   | Lkg 2 | Supergroupe de Lukula : formation Crétacique inférieure | Lukonga | 144 398,50 ± 6.199,55          | 794 191,75 ± 3.552,80          |
| <b>Total érodé sur le supergroupe de Lukula</b>                         |       |   |         | <b>1 045 526,83 ± 6.199,55</b> | <b>5 750 397,58 ± 6.851,77</b> |
| 9   | Kga 7 | Complexe granitique et migmatitique de Dibaya           | Kananga | 69 753,44 ± 8.591,40           | 34 876,72 ± 14.448,05          |
| 10  | Kga 8 | Complexe granitique et migmatitique de Dibaya           | Kananga | 30 634,99 ± 10.753,53          | 168 492,45 ± 6.144,88          |
| 11  | Nds 1 | Complexe granitique et migmatitique de Dibaya           | Ndesha  | 228 063,15 ± 2.397,62          | 1 254 347,34 ± 60.605,36       |
| 12  | Nds 2 | Complexe granitique et migmatitique de Dibaya           | Ndesha  | 29 536,30 ± 1.409,25           | 162 449,65 ± 7.314,73          |
| 13  | Nds 3 | Complexe granitique et migmatitique de Dibaya           | Ndesha  | 12 403,88 ± 632,99             | 68 221,32 ± 3.481,46           |
| 14  | Ktk 1 | Complexe granitique et migmatitique de Dibaya           | Katoka  | 13 336,55 ± 5.682,82           | 73 351,03 ± 3.127,67           |
| 15  | Ktk 2 | Complexe granitique et migmatitique de Dibaya           | Katoka  | 16 384,58 ± 7.392,52           | 90 115,18 ± 4.065,88           |
| 16  | Ktk 3 | Complexe granitique et migmatitique de Dibaya           | Katoka  | 1 775,63 ± 6.186,76            | 9 765,97 ± 4.531,01            |
| 17  | Ktk 4 | Complexe granitique et migmatitique de Dibaya           | Katoka  | 6 746,59 ± 3.155,00            | 37 106,25 ± 1.735,25           |
| 18  | Ngz 1 | Complexe granitique et migmatitique de Dibaya           | Nganza  | 1 314,24 ± 470,16              | 7 228,30 ± 2.585,85            |
| 19  | Ngz 2 | Complexe granitique et migmatitique de Dibaya           | Nganza  | 632,94 ± 251,32                | 3 481,16 ± 1.382,26            |
| <b>Total érodé sur le complexe granitique et migmatitique du Dibaya</b> |       |   |         | <b>410 582,29 ± 12 753,53</b>  | <b>1 909 435,37 ± 6 144,88</b> |

Le Supergroupe de Lukula, de par ses caractéristiques de vulnérabilité à l'érosion hydrique, se démarque par un volume arraché et une masse de terre érodée importants, soit les 2/3 du total. La dernière structure, le Complexe granitique et migmatitique de Dibaya détient le tiers.



**Figure 7.** Répartition des volumes et masses érodés par types de sols

Le Supergroupe de Lukula qui abrite huit érosions vives reste la structure défigurant la ville avec (5 750 397,58 ± 6.851,77) de tonnes de terre érodées pour un volume arraché de terre de (1 045 526,83 ± 6.199,55) m<sup>3</sup>. Le Complexe granitique et migmatitique de Dibaya abrite onze érosions ; la masse de terre érodée et le volume arraché de terre valent respectivement (1 909 435,37 ± 6 144,88) tonnes et (410 582,29 ± 12 753,53) m<sup>3</sup>.

**IV. Discussion**

Les précipitations mensuelles qui entraînent l'érosion hydrique dans la ville de Kananga varient autour de (110,50 ± 0,13) t(H<sub>2</sub>O/ha). La faible couverture végétale présente un indice de végétation par différence normalisée moyen de 0,6049 ± 0,0311 : très faible pour lutter contre l'érosion.

La ville repose sur deux structures géologiques principales : le Supergroupe de Lukula et le Complexe granitique et migmatitique de Dibaya. La première, qui occupe près de 65 % de la ville, est très vulnérable au phénomène et a laissé éroder (5 750 397,58 ± 6.851,77) de tonnes de terre. La seconde, qui occupe le tiers de la

ville, présente une résistance au phénomène bien qu'il regorge onze érosions vives qui n'ont arraché que (1 909 435,37 ± 6 144,88) tonnes.

## V. Conclusion

La combinaison de facteurs géologiques (nature des roches et structure du sol), climatiques (précipitations et ruissellement) et humains (urbanisation et déforestation) penche en faveur de l'urbanisation sur la seconde structure géologique.

## Références

- [1]. Ali Arif (2003). Méthodes Des Volumes Finis. Chapitre 3. Université Mohamed Khider Biskra.
- [2]. Amar Kassoul (2009). Physique 4. Mécanique Rationnelle. Cours Et Exercice. Université Hassiba Benbouadi De Chlef.
- [3]. Aurore Degré (2009). Hydrologie Générale. Notes De Cours Provisoires ; Année Académique 2009-2010. Gembloux.
- [4]. Beauchamp, J. (2005). Cours De Sédimentation Chapitre 3. Transport Des Matériaux. Université De Cergy Pontoise.
- [5]. Beaufils M.F. (2004). Gérer Les Inondations Par Ruissellement Pluvial. Guide De Sensibilisation. CEP.
- [6]. Ben Hadj Salem A. (2015). Cours D'initiation Au GPS. Volume 3. GVC.
- [7]. Ben Sahah Chafik (1984). Les Caractéristiques De L'érosion En Relation Avec Les Pratiques Agricoles. Mémoire DEA, Resource En Eau. Université Paris Sud. Paris.
- [8]. Bonnet S., Toromanoff F., Bauwens S. Et Míchez Andrien. (2013). Principes De Base De La Télédétection Et Ses Potentialités Comme Outil De Caractérisation De La Ressource Forestière. Partie 2. Le Lidar Aérien In Géoscience, Lidar. Liège.
- [9]. Bruno A. (1999). La Dynamique Du Cycle De L'eau Dans Un Bassin Versant. Processus, Facteurs, Modèles. 2<sup>ème</sup> Edition HGA, Strasbourg.
- [10]. Bushabu Mbengele-Ming Et Al. (2002). Les Besoins Energétiques Des Ménages De Kananga (RDC). In Bulletin De La Société Géographique De Liège, 42, 2002-56-60.
- [11]. Bushabu Ngolo H. (2021). Modélisation Spatiotemporelle Du Ruissellement Des Eaux Sur Le Sol Du Bassin Versant De La Rivière De Lukunga (RDC). Mémoire DEA, Physique Spatiale De Télédétection. UPN/Kinshasa.
- [12]. Cairoli R. (1987). Algèbre Linéaire 1. Presses Polytechniques Romandes. Lausanne (Suisse). ISBN : 2-88074—1106-6.
- [13]. Cagnac, G. Et Thiberge, L. (1957). Géométrie. Masson Et Cie. Paris.
- [14]. Campy, M. Et Macaire J.J (2003). Géologie De La Surface. Dunod. Paris.
- [15]. Carine Lucas (2016). Modélisation Des Problèmes De Mécanique Des Fluides : Approches Théoriques Et Numériques. Equations Aux Dérivées Partielles [Math. AP]. Thèse De Doctorat Université d'Orléans. Tel-01420101.
- [16]. Cecil C. A. (2015). Agents Et Causes De La Déforestation Et Dégradation Dans Les Sites Pilotes Du Projet FFEM (Fonds Français Pour L'environnement Mondial).
- [17]. CGES (2020). Projet D'urgence Et De Résilience De Kananga (PURUK). Rapport Final, Mai 2023. Ministère De L'urbanisme Et D'habitat.
- [18]. Cohen Marianne (2009). Dynamique Des Paysages, Erosion Et Développement Durable Dans Les Montagnes Méditerranéennes. Rapport Final D'activité. Avril 2009. UMR Ladyss. Université Paris 7. Denis Diderot.
- [19]. Dautreband S. Et Sohier C. (2006). L'érosion Hydrique Et Les Pertes En Sol En Région Wallonie. Faculté Universitaire Des Sciences Agronomiques De Gembloux.
- [20]. Delcourte Sarah (2007). Développement De Méthodes De Volumes Finis Pour La Mécanique Des Fluides. Cea. Thèse De Doctorat. Université De Toulouse.
- [21]. Echo (2014). Guide Pratique D'utilisation Du GPS Sur Le Terrain Et Cartographie Des Données. Coopi.
- [22]. FAO (1976). Aménagement Des Bassins Versants. Cahier FAO. Conservation Des Sols N°1.
- [23]. Foster G.R. (1990). Process- Based Modelling Of Soil Erosion By Water On Agricultural Land. In Soil Erosion On Agricultural Land (J. Bourdan. IDL. Foster, JA. Dearing, Éd.) John Willey And Sons Ltd. Chichester (UK). 229-245.
- [24]. Foster G.R. (1990). Process- Based Modelling Of Soil Erosion By Water On Agricultural Land. In Soil Erosion On Agricultural Land (J. Bourdan. IDL. Foster, JA. Dearing, Éd.) John Willey And Sons Ltd. Chichester (UK). 229-245.
- [25]. GEE S2. Modélisation Et Simulation Numérique Des Systèmes Energétiques Par Eléments Et Volumes Finis.
- [26]. Hecht, E. (2012). Physique. Traduit De L'américain Par T. Becherrawy. De Boeck. Nouveaux Horizons. Paris ISBN 978-2-35745-147-6.
- [27]. Jalal Lakhli (2016). Modélisation Et Simulation Numériques De L'érosion Par Méthode
- [28]. Jalal Lakhli (2016). Modélisation Et Simulation Numériques De L'érosion Par Méthode
- [29]. Kayembe Wa Kayembe Mathieu Et Wolf Eleonou (2015). Contribution De L'approche Géographique A L'étude Des Facteurs Humains De L'érosion Ravinante, Intra Urbain A Kinshasa RD Congo In Géo-Eco-Trop. Tome 1. 119-138.
- [30]. Lopanza, M. J. Et Al. (2020). Erosions Urbaines A Kinshasa : Causes Conséquences Et Perspectives. Dans European Journal Of Social Sciences Studies. ISSN: 2501 – 8590. ISSN – L: 2501-8590. Online.
- [31]. Makanzu Fils Et Al. (2018). Kinshasa En Proie A L'érosion En Ravine : Inventaire Cartographique Et Impact Socio-Economique. En Ligne : Filmakanzu@Yahoo.Fr.
- [32]. Mbeza, M., Miti, T. Et Alou, K. (1991). L'érosion Ravinante Dans La Ville De Kolwezi Au Shaba. Dans Géo-Eco-Top. Pp. 91-104.
- [33]. Roose E., Et Sarraillh J.M. (1990). Érodibilité De Quelques Sols Tropicaux, Vingt Années De Mesures En Parcelle D'érosion Sous Pluies Naturelles. Cahier De L'orstom. Série Pédologie, Vol.25, N°12. 2up.
- [34]. Yamba, T. K. 2016. Changement Climatique Et Délimitation Spatiale Des Zones Vulnérables A L'aide De La Télédétection : Etude Du Cas De L'espace Urbain De Kananga (Kasaï Central/R.D. Congo).