

Géologie

Caractérisation des pentes et occupation du sol dans le groupement d'Irhambi-Katana : analyse topographique et perspectives d'aménagement de la colline Ngoma à Kabamba/Katana, Kabare, Est de la RD Congo.

RIZIKI BAHAZABULE Christine*
KAJIVUNIRA MITIMA Norbert**
KANINGU SHEM LWANGO Faustin***
BULANGALIRE BUJIRIRI Jean ****

Résumé

Une étude sur la caractérisation des pentes et occupation du sol dans le groupement d'Irhambi-Katana: analyse topographique et perspectives d'aménagement a été conduite sur la colline Ngoma à Kabamba avec l'objectif de contribuer à la compréhension de la dégradation des terres dans le bassin versant occidental du lac Kivu, en se concentrant spécifiquement sur l'analyse des versants le long du lac Kivu, cas du groupement d'Irhambi-Katana. L'identification des zones à étudier, des levés topographiques et la collecte des données ont été utilisées comme méthodes pour atteindre cet objectif. Ainsi, les résultats révèlent-ils une topographie tourmentée avec des pentes

* *Assistante* et Membre du *Laboratoire d'économie de l'environnement, Département de l'environnement au Centre de Recherche en Sciences Naturelles- CRSN-LWIRO, RDC, Tél : +243973701756, e-mail : mungujosephe@gmail.com*

** *Chef de travaux* à l'*Institut Supérieur Pédagogique-ISP-KABARE, Département de géographie et gestion de l'environnement, Membre du Laboratoire de Gestion Intégrée des ressources en Eau, Département de l'environnement, Centre de Recherche en Sciences Naturelles- CRSN-LWIRO, RDC, Tél : +243998393583, e-mail : kajivuniramitima@gmail.com*

*** *Assistant à l' Institut Supérieur Technique, Commercial et Economique de Bukavu (ISTCE/Bukavu), RD Congo, Département des Sciences et Techniques de développement, Membre de la Coordination Nationale du Forum du Citoyen Rural, RDC, Tél : +243993354903, e-mail : kaningushelwango@gmail.com.*

**** *Chef de travaux* à l'*Institut Supérieur Technique, Commercial et Economique de Bukavu (ISTCE/Bukavu)-Département des Sciences et Techniques de développement, option : Gestion et administration des projets, Bukavu/Sud-Kivu/RD Congo, Enseignant à l'Institut Supérieur Pédagogique de Kabare (ISP-Kabare) –Section des sciences exactes, Département de Géographie et Gestion de l'environnement, Katana/Kabare/Sud-Kivu/RD Congo, et à l'Université de Développement Durable en Afrique Centrale de Bukavu (UDDAC/Bukavu),-Faculté des sciences sociales, Département de Politiques territoriales de Développement Durable et Stratégies Entrepreneuriales, Bukavu/Sud-Kivu/RD Congo, Tél : +243974237084, e-mail : bulangalirejean91@gmail.com*

abruptes et très fortes, rendant le terrain instable et peu aménageable. Les risques d'érosion, de glissements de terrain et d'éboulements sont élevés, limitant les surfaces cultivables et mettant en danger la vie humaine. Il est urgent d'entreprendre des actions de restauration et de conservation adaptées pour inverser cette tendance à la dégradation des terres.

Mots clés : *Dégradation des terres, Topographie, Occupation des sols, Pentés, Aménagement.*

Abstract.

A study on the characterization of slopes and land use in the Irhambi-Katana grouping: topographical analysis and amenagement perspectives was carried out on Ngoma hill in Kabamba with the aim of contributing to the understanding of land degradation in the western watershed of Lake Kivu, focusing specifically on the analysis of the slopes along Lake Kivu, case of the Irhambi-Katana grouping. Identification of study areas, topographical surveys and data collection were used as methods to achieve this objective. Thus, the results reveal a tormented topography with steep and very steep slopes, making the land unstable and difficult to develop. The risks of erosion, landslides and landslides are high, limiting cultivable areas and endangering human life. There is an urgent need to undertake appropriate restoration and conservation actions to reverse this trend of land degradation.

Keywords: *Land degradation, Topography, Land use, Slopes, Amenagement.*

1. Introduction

La dégradation des terres et des forêts demeure une préoccupation majeure à l'échelle mondiale, menaçant à la fois les écosystèmes et le bien-être des communautés humaines (Lamb, 1998 ; Abdulai et Huffman, 2014 ; Adidja et al., 2016). Plus de deux milliards d'hectares de terres dans le monde sont actuellement dégradés et pourraient bénéficier d'interventions de restauration (Adimassu et al., 2012 ; UICN et WRI 2014 ; Adimassu et al., 2017). Chaque année, environ 25 milliards de tonnes de sol sont déplacées, équivalant à un volume d'environ 16 km³. De plus, l'érosion affecte près de 10 millions d'hectares de terres arables annuellement, représentant environ 0,5% des terres cultivables (Adimassu et al., 2013 ; Alemu et al., 2019).

En République Démocratique du Congo (RDC), diverses études signalent un niveau élevé de dégradation des sols (Mastaki et al., 2013 ; Heri-Kazi et Collinet, 2014 ; Maki et Dewitte, 2014 ; Adidja et al., 2016 ; Karamage et al., 2016a ; Heri-Kazi B. A., 2020). Malgré l'introduction de la modernité par le biais d'ONG, d'Églises, d'écoles et de l'administration moderne, ainsi que l'émergence de l'économie de marché, la pauvreté continue d'affliger les populations rurales. La RDC figure parmi les cinq nations les plus pauvres du monde. En 2023, environ 74,6 % des Congolais vivaient avec moins de 2,15 dollars par jour (Kassie et al., 2010 ; Heri-Kazi B. A., 2020). Environ une personne sur six vivants dans une extrême pauvreté en Afrique subsaharienne habite en RDC (Amsalu et De Graaff, 2006 ; Amsalu et De Graaff, 2007 ; Jayne et al., 2010 ; Amaury et al., 2013 ; Kiage, 2013 ; Mashi et al., 2014 ; Jankowski et Le Marec, 2014).

Dans la province du Sud-Kivu, à l'Est de la RDC, notamment dans le bassin versant occidental du lac Kivu, le problème de la dégradation des terres n'est pas nouveau. Avant l'indépendance, le gouvernement colonial belge s'inquiétait déjà du recul de la forêt dans la dorsale du Kivu en raison des défrichements agricoles intensifs (Heri-Kazi et Collinet, 2014 ; Karamage et al., 2016b). Une enquête pédologique avait alors estimé à plus de 10 000 hectares les terres anciennement cultivées devenues improductives en raison de l'érosion (Mastaki et al., 2013 ; Heri-Kazi et Collinet, 2014).

Dans ce contexte, la restauration des paysages devient une priorité en RDC, comme le soulignent les stratégies nationales en matière d'environnement et de développement. Depuis 2014, le pays s'est engagé à restaurer 8 millions d'hectares d'ici 2030 dans le cadre du défi de Bonn (Heri-Kazi, 2020). Cependant, pour les régions côtières du lac Kivu, la restauration des paysages est entravée par un manque de connaissances sur la topographie des collines, leur état de dégradation et les zones d'utilisation actuelle des terres. Cette région, bénéficiant des conditions éco-climatiques favorables à l'agriculture, subit une dégradation alarmante des terres, affectant la vie des populations locales.

Le groupement d'Irhambi-Katana, faisant partie du bassin versant occidental du lac Kivu, est lui aussi touché par ce phénomène. Sa morphologie est marquée par des collines en forme de dôme, parfois abruptes, mais le plus souvent légèrement concaves (Maki et Dewitte, 2014). Confrontées à une croissance démographique rapide et aux perturbations pluviométriques observées depuis une décennie, les collines de ce

groupement, autrefois utilisées comme pâturages, connaissent désormais une dégradation sévère et sont en voie d'être abandonnées par leurs propriétaires. Les ravines et les ravineaux ouverts par le ruissellement concentré dans les champs cultivés témoignent la présence d'une érosion très active dans la région. En plus, les accumulations de matériaux érodés dans les vallées causent d'importants dommages aux cultures et aux écosystèmes environnants. Enfin, la sédimentation des cours d'eau due à l'érosion des terres contribue à aggraver les problèmes environnementaux.

Plusieurs études ont déjà souligné l'ampleur de la dégradation des terres par l'érosion hydrique dans la dorsale du lac Kivu, appelant à des mesures d'urgence pour inverser cette tendance. C'est le cas des études de Maki et Dewitte (2014) ; Adidja et al. (2016) ; Karamage et al. (2016a) et Heri-Kazi (2020). Tous débouchent sur un cri d'alarme en matière de dégradation des terres par l'érosion hydrique. Ils confirment tous que l'érosion hydrique est très sévère et que la productivité des sols y serait potentiellement affectée. Ils suggèrent que des actions soient rapidement entreprises pour stopper les effets négatifs de l'érosion hydrique sur les parcelles agricoles.

Face à cette dégradation catastrophique observée sur les collines, il a été jugé indispensable d'envisager en premier lieu un inventaire complet des espaces encore aménageables, de déterminer la superficie des espaces endommagés par les érosions et en second lieu de proposer des mesures de restauration et de conservation adaptées. Cette étude vise donc à contribuer à la compréhension de la dégradation des terres dans le bassin versant occidental du lac Kivu, en se concentrant spécifiquement sur l'analyse des versants le long du lac Kivu, cas du groupement d'Irhambi-Katana.

2. Matériels et méthodes

2.1. Milieu d'étude

Le groupement d'Irhambi-Katana est situé sur la partie occidentale du Lac Kivu et constitue la limite Nord du Territoire de Kabare avec le territoire de Kalehe. Situé à 40 km de la ville de Bukavu, le groupement de Katana fait partie intégrante du territoire-chefferie de Kabare dont elle constitue le grenier (Villeneuve, 1983 ; Ndegeyi, 2009). Avec une superficie de 189,5 km² (Sallée, 1978), il est limité au Nord par la rivière Nyabarongo qui sépare Kabare de Kalehe, au Sud par le groupement de Bugorhe, à l'Est par le lac Kivu et à l'Ouest par le Parc National de Kahuzi-Biega.

Le terrain d'étude se trouve dans le village de Kabamba au nord-est du groupement d'Irhambi-Katana, territoire de Kabare, province du Sud-Kivu, s'étendant sur un secteur de 1000 m le long du versant occidental du lac Kivu. La localisation du milieu d'étude est clairement représentée dans les figures 1, 2 et 3 suivantes :

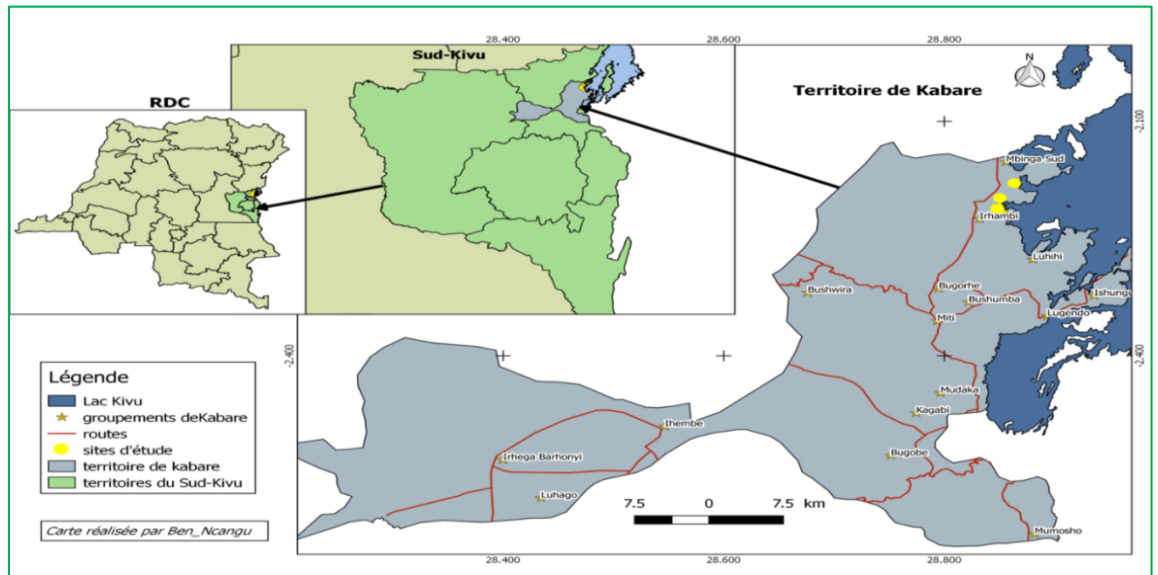


Figure 1. Milieu d'étude

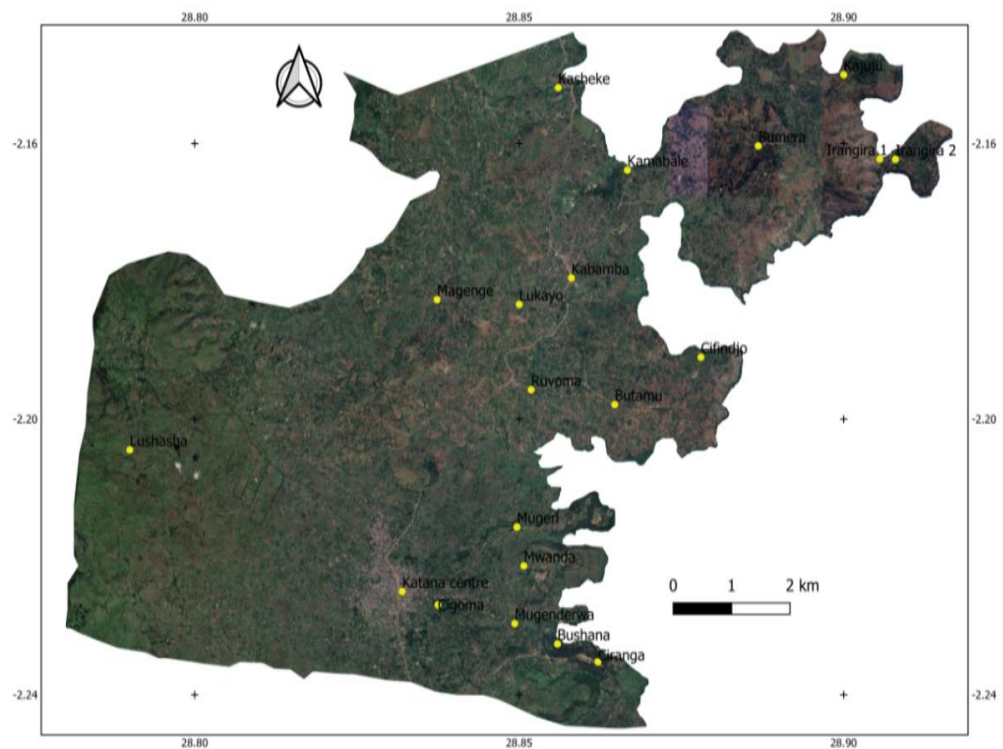


Figure 2. Groupement d'Irhambi-Katana

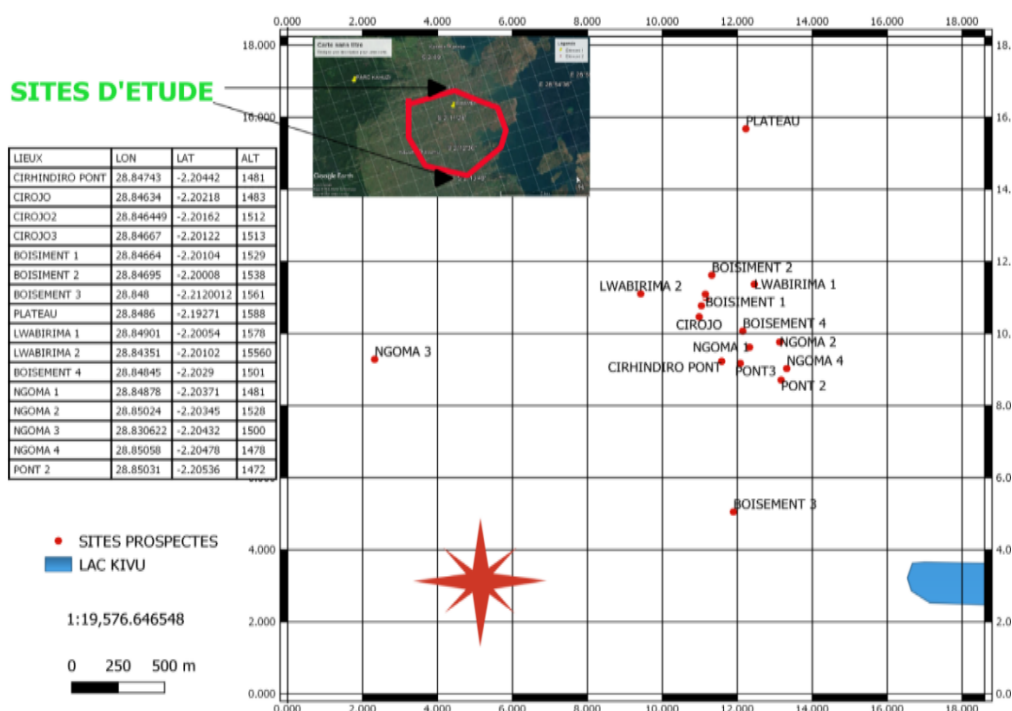


Figure 3. Sites d'étude (en rouge) dans le groupement d'Irhambi-Katana

2.2. Matériels

Pour la réalisation de cette étude, nous avons utilisé des instruments de mesure topographique tels que le théodolite pour obtenir des données précises sur l'inclinaison du terrain ; un GPS de marque Garmin GPSmap 62 pour la prise des coordonnées géographiques, la mesure des distances et le calcul des superficies ; une boussole pour déterminer l'orientation de la rivière Cirhindiro et les différents tronçons de notre étude, un mètre ruban pour mesurer la longueur et la largeur des tronçons sur la colline et enfin, des fiches de collecte des données.

2.3. Collecte et analyse des données

Pour aborder l'analyse topographique, l'aménagement et l'occupation des sols dans le groupement d'Irhambi-Katana, une méthodologie rigoureuse a été jugée essentielle. Celle utilisée pour atteindre les objectifs de notre article comprend plusieurs étapes clés à savoir : l'identification des zones à étudier, des levés topographiques et la collecte des données. L'identification des zones à étudier a consisté à délimiter géographiquement les tronçons à suivre sur la colline et identifier les zones les plus

touchées par la dégradation des terres. Les levés topographiques sont faits sur la colline pour mesurer les valeurs des pentes afin d'obtenir des données précises sur l'inclinaison du terrain. La collecte des données nous a permis de rassembler les données sur la topographie de la colline, l'état de dégradation des terres et les pratiques d'utilisation des terres actuelles. Les données collectées ont été soumises à un traitement statistique. Les valeurs des pentes ont été traitées statistiquement pour en tirer des informations significatives. Cela inclut le regroupement des données en classes de pentes, le calcul de la moyenne, de la variance et de l'écart-type pour caractériser la distribution des pentes sur le terrain. Ces paramètres statistiques centraux ont été calculés par les formules suivantes :

$$\text{Moyenne} = \frac{\sum Fxi}{N}; \quad \text{variance} = \frac{\sum Fxi^2}{N}; \quad \text{écart type } (\delta) = \sqrt{\frac{\sum Fxi^2}{N}}$$

Où \sum est la somme ; F est la fréquence des classes et xi est le point milieu des classes et N est la somme des fréquences des classes. .

Nous référant à la classification de Richter (1935), les pentes ont été regroupées selon cette classification pour mieux comprendre la répartition des pentes sur le terrain et leur impact sur l'aménagement.

L'analyse des surfaces aménageables : les surfaces aménageables, difficilement aménageables et non aménageables ont été déterminées en fonction des valeurs de pentes, avec référence à la classification de Richter (1935) et à d'autres critères pertinents.

L'analyse de l'occupation du terrain : L'occupation du terrain par les activités humaines a été analysée à partir des données recueillies sur le terrain et des observations sur les cultures présentes enfin, s'en est suivi la discussion des résultats : Les résultats ont été discutés en tenant compte des connaissances existantes dans le domaine de la géographie physique, de la géologie, de l'agriculture et de la gestion des risques naturels. Cela a permis de tirer des conclusions sur la topographie du terrain, son aménageabilité et son utilisation actuelle.

Dans l'ensemble, l'observation directe des faits de l'érosion sur terrain a été notre principale démarche. Elle a été complétée par la lecture des documents relatifs à notre sujet de recherche.

Pour mieux appréhender les phénomènes qui font l'objet de notre étude, nous avons procédé par la délimitation de notre champ d'investigation. Comme le village de Kabamba où se trouve notre terrain d'étude est trop grand par rapport aux moyens à notre

disposition, nous avons préféré réduire notre champ de recherche à l'échelle d'une colline d'environ 26,3 hectares. C'est ainsi que la colline Ngoma a été choisie en raison de son accessibilité comme champ d'investigation.

Une ligne maîtresse a été choisie comme ligne horizontale à partir de laquelle nous avons levé 10 profils topographiques perpendiculaires à l'horizontale. La rivière Chirhindiro, un affluent du lac Kivu dont le bassin versant est d'environ 400 hectares, a été prise comme ligne maîtresse. Son orientation, a été déterminée à l'aide d'une boussole avec miroir de visée et se présente comme suit : N 130° Est : 100m ; N 162° Est : 250m ; N 125° Est : 360m ; N 165° Est : 226m et N 155° Est : 64m.

Le tronçonnage des profils topographiques levé par la méthode des profils en travers était progressif suivant la variation de la pente. Partant du principe que les tronçons sont souvent choisis de manière à ce qu'ils captent suffisamment de variations topographiques pour fournir une représentation précise du relief, chaque tronçon était distant de l'autre de 50 m pris comme largeur et une longueur de 200m. A chaque stationnement, nous indiquions les observations relatives aux cultures, à la jachère, aux habitations, à l'ablation, à la rupture des pentes, aux affleurements, etc et tous ces éléments étaient mentionnés sur une fiche de terrain.

La longueur et la hauteur de chaque profil topographique ont été directement mesurées à l'aide d'un décamètre de 50 mètres.

Notre terrain d'étude a été subdivisé en 10 profils répartis en 3 groupes :

Le groupe 1 comprend 3 profils topographiques de forme presque'identique. Ce groupe s'étend sur 200m de longueur et 50m de largeur. Ses Coordonnées se présentent comme suit : 2,22413° latitude Sud ; 28,8322° de longitude Est avec une altitude 1505m.

De l'Ouest à l'Est, nous avons identifié les formes suivantes :

- ✚ Rectiligne : partie sommitale dont la valeur de pente varie entre 30° à 39° sur une distance de 65m. Elle comprend les champs de maniocs et des bananeraies.
- ✚ Concave : partie médiane, longue de 76m ayant une pente dont la valeur varie entre 15° à 29°. On y trouve des champs de maniocs et haricots puis une végétation riche en graminée.
- ✚ Convexe : partie basale dont la longueur est de 59m et une pente variant entre 15 et 50°. C'est le secteur le plus cours du profil et passe successivement sur les champs de maniocs, terres nues, graminées, maniocs et arbustes.

Le groupe 2 a comme longueur : 220m ; largeur : 50m ; avec une latitude de $02,20345^\circ$; Une longitude de $028,85024^\circ$ et une altitude de 1500m

Chaque profil a été subdivisé en secteurs à savoir :

- ✚ Rectiligne : partie sommitale dont la valeur de pente varie entre 40° à 48° sur une longueur de 132 m. Il passe par un sol à *hyparrhénia*, débouchant sur un champ de manioc vers le bas.
- ✚ Concave : longue de 16 m passe sur le champ de manioc et sur un sol dénudé.
Convexe : La longueur est de 30m et sa pente varie entre 19° et 30° . On y trouve des champs de manioc et des espaces vides, c'est-à-dire sans cultures.

Le groupe 3. Latitude : $02,20478^\circ$; longitude : $028,850582^\circ$; Altitude : 1472m. Ce groupe présente les formes suivantes :

- ✚ Rectiligne tendant à une convexité : longue de 98m, sa pente varie de 27° à 40° et passe sur un sol couvert de graminée. Une concavité tendant à une rectitude vers l'est. La valeur de la pente varie entre 10° à 60° . C'est un secteur long de 139 m et passe successivement sur un affleurement de la roche mère, un champ de patates douces et de manioc
- ✚ Une rupture dont la valeur de la pente est de 65° . Sa longueur est de 15m sur une roche latéritique altérée.
- ✚ Rectitude dans sa partie basale d'une pente de 3° . Sa longueur est de 25m et passe sur un champ de patate douce, des maniocs et de colocase.

3. Résultats

Les résultats de cette étude sont repris ci-dessous.

3.1. Analyse des valeurs des pentes en degré sur le terrain d'étude

Le tableau 1 ci-dessous présente les séries de relevé des pentes en degré sur le terrain d'étude.

Tableau 1. Présentation des séries de relevé des valeurs des pentes en degré sur le terrain d'étude

40	25	20	10	9	8	20	19	31	27
15	35	8	17	18	8	27	35	12	28
4	28	15	34	11	30	28	19	13	40
38	40	48	11	29	18	38	32	39	52
9	25	18	38	32	39	12	51	51	27
3	25	13	34	2	34	40	7	60	39
13	23	13	34	2	34	38	40	6	29
12	25	13	32	27	39	40	10	24	40
33	35	49	7	4	62	10	13	15	29
35	39	40	28	5	64	10	13	14	
5	65	10	13	39	50	25	53	39	
17	65	10	30	65	55	55	65	35	

Tableau 2. Traitement statistique des valeurs des pentes en degré

N°	K	F	Xi	Fc	fcd	Fxi	X	X ²	FX2
1	2-6	8	4	8	117	32	-23,7	561,69	4493,52
2	7-11	15	9	23	111	135	-18,7	349,69	5245,35
3	12-16	15	14	38	110	210	-13,7	187,69	2815,35
4	17-21	9	19	47	106	171	-8,7	75,69	681,21
5	22-26	7	24	54	101	168	-3,7	13,69	95,83
6	27-31	14	29	68	101	406	1,3	1,69	23,66
7	32-36	14	34	82	82	476	6,3	39,69	555,66
8	37-41	19	39	101	68	741	11,3	127,69	2426,69
9	42-46	0	44	101	54	0	16,3	265,69	0
10	47-51	5	49	106	47	245	21,3	453,69	2268,45
11	52-56	4	54	110	38	216	26,3	691,69	2766,76
12	57-61	1	59	111	23	59	31,3	979,69	979,69
13	62-66	6	64	117	8	384	36,3	1317,69	7906,14
Σ		117				3243			30258,31

K= classe des pentes en degrés

I= intervalle des classes ; F= fréquence ; Xi = point milieu des classes ; N= somme des fréquences.

X = écart de chaque classe à la moyenne (X= Xi – m).

$$\text{La moyenne } M = \frac{\Sigma Fxi}{N} = \frac{3243}{117} = 27,717$$

$$\text{La variance } V = \frac{\Sigma FXi^2}{N} = \frac{30258,31}{117} = 258,61$$

$$\text{L'écart-type} = \sqrt{\frac{\Sigma FXi^2}{N}} = \sqrt{258,61} = 16,081$$

3.2. Regroupement des pentes

Toujours dans le souci de mieux connaître la topographie du terrain d'étude, nous avons établi le regroupement des pentes sur base de classification de Richter (1935). Cependant, pour des raisons ayant trait à la nature de notre terrain, nous avons considéré les classes de 0° à 2° et de 2° à 7° comme une seule classe. Comme le montre le tableau n°3 ; les surfaces du terrain se trouvant dans chaque classe de pente ont été calculées.

Tableau 3. **Regroupement des pentes d'après la classification de Richter (1935).**

Classe des pentes	Dénomination	Superficie		Pourcentage
		mètre carré	hectare	
0 - 7	Pente faible	16000	1,6	6,08
7 - 11	Pente moyenne	3000	0,3	1,155
12 - 16	Pente forte	5000	0,5	1,90
17 - 26	Pente très forte	200000	20	76,04
26 - 60	Abrupt	23000	2,3	8,745
+ 60°	Abrupt rocheux	16000	1,6	6,08
TOTAL		263000	26,3	100

A l'issue de ce tableau, il ressort que le terrain est dominé par les pentes très fortes qui occupent 76% de la superficie totale du terrain d'étude. Elles sont suivies par les pentes abruptes qui occupent 15 % de la surface du terrain. Les parois rocheuses y sont non négligeables et se trouvent en aval du versant mais, aussi sur la partie médiane de la limite Sud du terrain.

3.3. Aménagement du terrain d'étude

L'aménagement dont il s'agit sur notre terrain d'étude est du domaine agricole.

Tableau n°4. **Aménageabilité du terrain**

N°	Classe des pentes	Dénomination du terrain	Superficie	%
1	0 à 7	Terrain aménageable	1,9 ha	7
2	7 à 26	difficilement aménageable	0,3 ha	1,14
3	26 et plus	Terrain non aménageable	24ha	91,6
Total			26,3ha	100

Le tableau n° 4 mène à des constatations selon lesquelles les terrains aménageables dont la valeur de la pente varie entre 0 et 7° occupent une surface très réduite (7% de la superficie du terrain d'étude) ; les terrains difficilement aménageables se trouvent sur les pentes de 7 à 26° et couvrent 1,14 % et les terrains non aménageables se trouvent sur les pentes de 26° et plus et s'étendent sur 91,6% du terrain d'étude.

3.4. Occupation du terrain

Le terrain d'étude est généralement occupé par des activités anthropogéniques malgré sa situation topographique très tourmentée

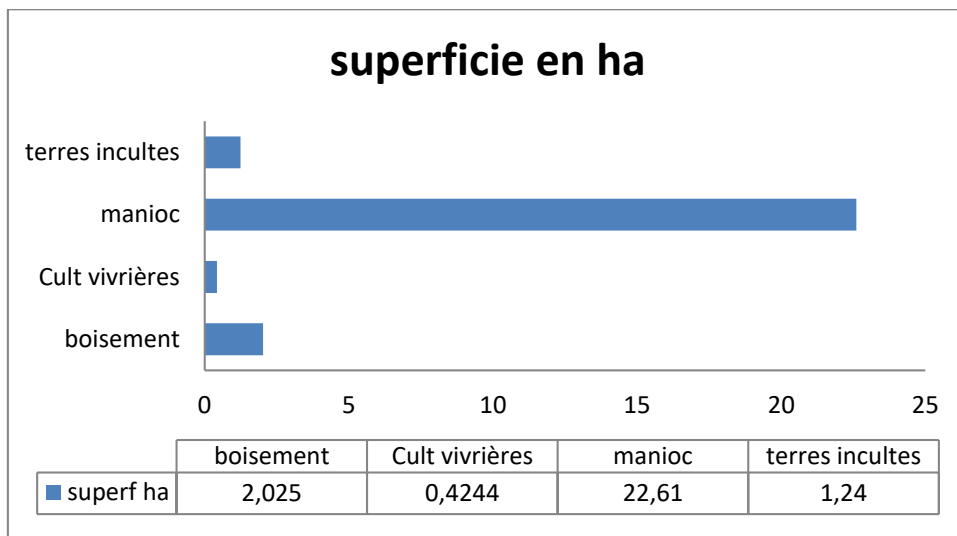


Figure 4. **Occupations du sol.**

L'agriculture vivrière constitue la seule forme d'exploitation du terrain d'étude et occupe 22,61 hectares soit 91% du terrain d'étude. L'espace laissé sous boisement occupe 2,025 ha soit 7,69% du terrain d'étude. Les cultures maraichères occupent 0,4244 hectare soit 1,61% de l'ensemble de notre terrain d'étude. Les terres incultes, ravines et ravins y compris occupent 1,24 hectare et représentent 4,71% du terrain d'étude.

Les cultures présentes sur le terrain d'étude sont les haricots, maïs, colocases, patates douces occupent les espaces de faibles pentes le long de la ligne maîtresse. Cependant, le manioc (culture annuelle) occupe tout le versant de la colline et là où le manioc n'est plus productif, la tendance est de planter les arbres ou abandonner le champ en jachère.

4. Discussion

Un levé topographique est l'une des bases pour l'aménagement du territoire. C'est pourquoi, les levés de valeurs des pentes sur notre terrain d'étude ont constitué notre première préoccupation.

4.1. Analyse des valeurs des pentes sur le terrain d'étude

L'analyse des données caractérisant la topographie de notre terrain d'étude fait ressortir les observations suivantes. Comme l'a dit Gauss (1809) et Smith et Jones (2005), la comparaison de la dispersion à la moyenne permet de qualifier cette première. Si $15\% \text{ de } M < \sigma < 30\% \text{ de } M$, la dispersion est dite normale ; Si $\sigma < 15\% \text{ de } M$, la dispersion est dite faible et Si $\sigma > 30\% \text{ de } M$, la dispersion est dite forte. Sur 117 pentes prélevées, la pente moyenne a une valeur de 27,7 %. Ceci veut dire que si notre terrain d'étude était uniforme, il aurait une inclinaison de 27,7°, valeur qui tombe dans la classe des abrupts. Ensuite, l'écart-type est de 16,081, valeur tellement supérieur à 30% de la moyenne. Il y a donc une forte dispersion entre les valeurs de pentes. En effet, nos résultats ont montré qu'en plus de cette forte dispersion entre les valeurs des pentes, les abrupts prédominent sur le terrain d'étude. Il en résulte une instabilité du terrain, car l'érosion est de plus en plus intense au fur et à mesure que la valeur de la pente augmente.

Ces résultats se rapprochent de ceux de Johnson (2010) qui a aussi constaté dans l'analyse des valeurs de pentes sur un terrain montagneux, une pente moyenne 27,3% avec une inclinaison de 27,3° dans son milieu d'étude ; mais, ces résultats ne coïncident pas avec ceux de Brown et Smith (2008) qui ont trouvé une moyenne de pente de 40% avec une inclinaison de 40° dans leur milieu d'étude qui était aussi une colline comme dans notre étude. Ainsi, est-il important pour la gestion des sols en pente, de mettre en avant des pratiques anti-érosives et des stratégies d'aménagement adaptées aux terrains inclinés (Miller et Jones, 2001 ; Brown & Smith, 2008).

De nos résultats, il a été constaté que les valeurs de pentes varient sans suivre ni un ordre croissant ni un ordre décroissant sur le terrain. Par exemple, les abrupts se trouvent en amont surtout, mais aussi, sur la partie médiane, et au fond, en aval du versant. De ce qui précède, nous constatons que notre terrain d'étude présente un aspect tourmenté en ce qui concerne sa topographie. Cet aspect est le résultat à la fois de la géodynamique interne (la tectonique donnant naissance à des failles et aux volcanismes) et de la géodynamique externe (la météorisation, le ruissellement, les mouvements de masse). Ces caractéristiques topographiques a des inconvénients sur la vie humaine notamment la restriction des surfaces cultivables, des pertes en vies humaines (cas des glissements de terrain car certaines personnes cultivent sur des terrains non aménageables. Les chutes de pierres et les éboulements sont fréquents dans ce milieu d'étude, ces phénomènes ont

été à la base du dépeuplement de cette colline. Selon Gauss (1809), la comparaison de la dispersion à la moyenne permet de qualifier cette première. Si la dispersion est inférieure à 15% de la moyenne, elle est considérée comme faible, tandis que si elle dépasse 30% de la moyenne, elle est qualifiée de forte (Gauss, 1809 ; Heri-Kazi et Collinet, 2014 ; Maki et Dewitte, 2014). La moyenne des pentes, établie à 27,7°, correspond à la classe des abrupts, comme observé par Smith et Jones dans leurs études sur la topographie (Smith & Jones, 2005 ; Adidja et al., 2016) et l'écart-type élevé de 16,081 indique une forte dispersion entre les valeurs de pentes, ce qui est conforme aux résultats de l'étude de Taylor et al. (1998) sur la variabilité topographique.

4.2. Regroupement des pentes selon la classification de Richter (1935)

La classification de Richter (1935) est utilisée pour regrouper les pentes en différentes catégories, ce qui est une pratique courante dans les études topographiques (Richter, 1935). Les résultats montrent une prédominance de pentes très fortes, corroborant les conclusions de l'étude de Johnson sur la topographie des régions montagneuses (Johnson, 2010 ; Maki et Dewitte, 2014).

4.3. Aménageabilité du terrain

La pente joue un rôle important pour une exploitation quelconque des terres. C'est pourquoi nous avons limité, sur notre terrain d'étude, des terrains aménageables, des terrains difficilement aménageables et ceux non aménageables en fonction de la valeur des pentes tel que l'a proposé Richter. Ainsi, la classification des terrains en fonction de leur aménageabilité a-t-elle été basée sur les travaux de Richter (1935), qui ont démontré l'importance de prendre en compte la pente dans les projets d'aménagement. Les terrains non aménageables se trouvent sur les pentes de 26° et plus et s'étendent sur 91,6% du terrain d'étude. Ces espaces sont très sensibles aux phénomènes érosifs comme le ruissellement, les mouvements de masse et le splash. Ils exigent un choix judicieux des techniques pouvant assurer la conservation du sol si on veut les cultiver.

Les résultats mettent en évidence la nécessité d'appliquer des pratiques anti-érosives sur les terrains difficilement aménageables, en accord avec les recommandations

de Brown et Smith concernant la gestion des sols en pente (Miller et Jones, 2001 ; Brown & Smith, 2008).

4.5. Occupation du terrain

Notre terrain d'étude est occupé par l'agriculture vivrière sans tenir compte de sa topographie et sans aucune mesure de protection du sol. La culture du manioc occupe presque toute l'étendue du terrain d'étude (22,61hectares) et là où le manioc n'est plus productif, la tendance est de cultiver les eucalyptus ou abandonner le champ en jachère. Les résultats obtenus montrent que les terres abandonnées (terres incultes) représentent seulement 4,71% de la surface du terrain. Elles coïncident avec les abrupts du terrain et les ravins. L'état de santé des eucalyptus et des espèces ligneuses reliques rencontrées montrent que le terrain est encore favorable à la sylviculture (branche de l'agriculture consacrée à la culture et l'exploitation des bois et des forêts). Ceci est un atout non négligeable pour restaurer la forêt et le paysage naturel sur ces espaces dégradés conformément au programme provincial de restauration des forêts et des paysages comme l'avait aussi proposé Karamage et al. (2016a) et Karamage et al. (2016b).

Les activités anthropogéniques sur le terrain sont discutées à la lumière des recherches de White (1967) ; Amaury et al. (2013) ; Kiage (2013) et Mashi et al. (2014) sur l'impact de l'homme sur l'environnement et la présence des cultures spécifiques, comme le manioc et les cultures vivrières, est analysée en tenant compte des études de Green (1990) sur l'agriculture tropicale.

Ainsi, les implications de résultats pour la gestion du terrain sont-elles discutées en référence aux travaux de Lee sur la gestion des risques naturels et la planification territoriale (Lee, 2012) et les recommandations pour une utilisation durable du terrain sont formulées en s'appuyant sur les principes de conservation des sols développés par Miller et Jones (2001) ; Brown & Smith (2008) et Jankowski et Le Marec (2014).

5. Conclusion

L'étude met en évidence une dégradation sévère des terres, causées par des facteurs tels que l'érosion hydrique et l'activité humaine notamment l'agriculture intensive. Le résultat de l'étude révèle que les pentes du terrain étudiées sont principalement abrupt, ce qui rend les terres instables et sujettes à l'érosion. Cette instabilité entraîne des risques pour les populations locales notamment des pertes en vies

humaines et des déplacés des populations dit au glissement des terrains et des éboulements. De plus une grande partie du terrain est classée comme non aménageable, ce qui limite les possibilités l'exploitation agricole et d'autres activités. L'étude propose également de mesures de restauration et de conservation adaptés à notre zone étudiée en tenant compte des caractéristiques spécifiques du terrain et des besoins de communautés locales. Les systèmes de lutte contre l'érosion peuvent inclure les terrasses radicales, les terrasses progressives combinées aux herbes fixatrices et des arbustes. Cependant, il convient de signaler que les terres de plus de 26% de pente ne sont pas propices pour l'agriculture. Elles nécessitent donc des techniques d'aménagements spéciales pour exploitabilité.

Références bibliographiques

Abdulai A. et Huffman W., 2014. The Adoption and Impact of Soil and Water Conservation Technology: An Endogenous Switching Regression Application. *Land Economics* 90 (1), 26–43.

Adidja M., Majaliwa M.J., Tenywa M. et Samora M., 2016. Soil and water conservation practices and soil erosion intensity in the Lake Kivu Basin, Democratic Republic of Congo. *RUFORUM Working Document Series*, 14 (3): 77 - 85.

Adimassu Z., Kessler A. et Hengsdijk H., 2012. Exploring determinants of farmers' investments in land management in the Central Rift Valley of Ethiopia. *Applied Geography* 35, 191-198.

Adimassu Z., Kessler A., Yirga C. et Stroosnijder L., 2013. Farmers' Perceptions of Land Degradation and Their Investments in Land Management: A Case Study in the Central Rift Valley of Ethiopia. *Environmental Management*, 51: 989 – 998.

Adimassu Z., Langan S., Johnston R., Mekuria W. et Amede, T., 2017. Impacts of Soil and Water Conservation Practices on Crop Yield, Run-off, Soil Loss and Nutrient Loss in Ethiopia: Review and Synthesis. *Environmental management*, 59 (1), 87-101.

Alemu M.D., Kebede A. et Moges A., 2019. Farmers' Perception of Soil Erosion and Adoption of Soil Conservation Technologies at Geshy Sub-Catchment, Gojeb River Catchment, Ethiopia. *Agricultural Sciences*, 10, 46-65.

Amaury F., Poesen J., Mitiku H., Deckers J. et Nyssen J., 2013. Quantifying long-term changes in gully networks and volumes in dryland environments: The case of Northern Ethiopia, *Geomorphology*, 201, 254-263.

Amsalu A. et De Graaff J., 2006. Farmers' Views of Soil Erosion Problems and Their Conservation Knowledge at Beressa Watershed, Central Highlands of Ethiopia. *Agriculture and Human Values*, 23, 99-108.

Amsalu A. et De Graaff J., 2007. Determinants of adoption and continued use of stone terraces for soil and water conservation in an Ethiopian highland watershed. *Ecological Economics* 61, 294-302.

Brown L. et Smith R., 2008. Soil Management on Sloping Terrain. *Soil Science Review*, 40(2), 167-185.

Gauss C. F., 1809. *Méthodes statistiques pour l'analyse des données*. Berlin: Springer, 75p.

Green M., 1990. Tropical Agriculture Practices. *Agricultural Studies Journal*, 18(3), 201-215.

Heri-Kazi B. A., 2020. *Caractérisation de l'état de dégradation des terres par l'érosion hydrique dans le Sud-Kivu montagneux à l'Est de la R.D. Congo*. Thèse présentée en vue de l'obtention du grade de docteur en sciences agronomiques et ingénierie biologique de l'UCLouvain, 280p.

Heri-Kazi B.A. et Collinet G., 2014. Diversité et mode de gestion des sols dans l'espace socio-agricole des territoires de Walungu et Kabare, Sud- Kivu, R.D. Congo. *Cahiers du CERUKI , Nouvelle Série , 44, 125- 143*.

Jankowski F., et Le Marec J., 2014. Légitimation des savoirs environnementaux dans un programme de recherche participative au Sénégal. *Natures Sciences Sociétés*, 22, 15-22.

- Jayne T.S., Mather D. et Mghenyi E., 2010. Principal challenges confronting smallholder Agriculture in Sub-Saharan Africa. *World Development*, 38 (10), 1384-1398.
- Johnson K., 2010. Topography of Mountainous Regions. *Mountainous Studies Journal*, 32(4), 301-320.
- Karamage F., Shao H., Chen X., Ndayisaba F., Nahayo L., Kayiranga A. et Zhang C., 2016a. Deforestation Effects on Soil Erosion in the Lake Kivu Basin, D.R. Congo-Rwanda. *Forests*, 7(11), 281.
- Karamage F., Zhang C., Ndayisaba F., Shao H., Kayiranga A., Fang X. et Tian G., 2016b. Extent of Cropland and Related Soil Erosion Risk in Rwanda. *Sustainability*, 8(7), 609.
- Kassie M., Zikhali P., J. Pender et Köhlin G., 2010. The Economics of Sustainable Land Management Practices in the Ethiopian Highlands. *Journal of Agricultural Economics*, 61(3), 605–627.
- Kiage L.M., 2013. Perspectives on the assumed causes of land degradation in the rangelands of Sub-Saharan Africa. *Progress in Physical Geography*, 37 (5), 664–684.
- Lamb D., 1998. Large-scale Ecological Restoration of Degraded Tropical Forest Lands: The Potential Role of Timber Plantations. *Restoration ecology*, 6(3), 271-279.
- Lee S., 2012. Natural Hazard Management and Territorial Planning. *Disaster Management Review*, 55(1), 78-94.
- Maki M.Jc. et Dewitte O., 2014. Vers un inventaire des glissements de terrain et des éléments à risque sur les versants du rift à l'ouest du lac Kivu (RDC). *Geo-Eco-Trop.*, 2014, 38, 1, 137-154.
- Mashi SA., Yaro A. et Jenkwe E.D., 2014. Causes and consequences of gully erosion: perspectives of the local people in Dangara area, Nigeria. *Environment, development and sustainability* 17 (6), 1431-1450.
- Mastaki N.J.L., Nfuamba L.F., et Rushigira C., 2013. Essai sur la durabilité des exploitations agricoles au Sud-Kivu. *L'Afrique des grands lacs. Annuaire 2012-2013*, p133-152.

Miller T. et Jones B., 2001. Principles of Soil Conservation. *Soil Conservation Journal*, 28(4), 321-335.

Ndegeyi K., 2009. Etude des déchets domestiques en milieu rural d'Irhambi-Katana, Kabare, Sud-Kivu, République Démocratique du Congo. Mémoire, Inédit UO/CIDEP, Katana, 43 p.

PMRPF, 2011. A World of Opportunity. The Global Partnership on Forest Landscape Restoration, World Resources Institute, South Dakota State University et UICN. In Minnemeyer, S., Laestadius, L., Sizer, N., Saint-Laurent, C. et Potapov, P., Cazenave-Piarrot, A., Ndayirukiye S., Valton C., 2015, Atlas des Pays du Nord-Tanganyika. Marseille, IRD Éditions, 144 pages.

Richter A., 1935. Classification and Analysis of Slopes. Geological Survey Publications, 65, 78-92.

Sallée A., 1978. Résultats scientifiques de la mission géologique du comité national du Kivu. Louvain 1934. 71p.

Smith J. et Jones A., 2005. Topographic Variability: A Comprehensive Study. *Journal of Geographical Studies*, 15(2), 123-145.

Taylor R., Brown L. et Johnson K., 1998. Analyzing Topographic Variability in Mountainous Regions *Mountain Research Journal*, 25(3), 189-207.

UICN et WRI, 2014. Guide de la méthodologie d'évaluation des opportunités de restauration des paysages forestiers (MEOR) : Évaluer les opportunités de restauration des paysages forestiers à l'échelon national ou local. Document de travail (Version préliminaire). Gland, Suisse: UICN. 125p.

Villeneuve M., 1983. Les formations précambriennes de Katana, au Kivu oriental (Zaïre). *Rapport annuels 1981-1982, IRSAC/Lwiro*, 123p.

White E., 1967. Man's Impact on the Environment. *Environmental Studies Quarterly*, 8(1), 45-63.

