



RAPPORT FINAL SUR L'ETUDE DE RIVIERES DANS LA ZONE D'INTERVENTION DU PROJET ATEDD



Août 2022

TABLE DE MATIÈRES

LISTE DES TABLEAUX	IV
LISTE DES FIGURES	V
INTRODUCTION.....	1
Chap I. CONCEPTION DE LA RECHERCHE ET METHODOLOGIE.....	3
I.1. Conception de la recherche	3
I.1.1. Approche rétrospective	3
I.1.2. Approche descriptive	3
I.2. Méthodologies.....	4
I.2.1. Matériels utilisés	4
I.2.2. Méthodes.....	5
I.3. Travail de terrain et observations	8
Chap II. PRÉSENTATION DES RÉSULTATS	10
II.1. Caractéristiques de bassins versants	10
II.1.1. Bassin versant de Bushushu.....	10
II.1.2. Bassin versant de Nyamukubi.....	11
II.1.3. Bassin de Renga.....	12
II.1.4. Bassin versant de Mubimbi.....	14
II.2. Analyse de l'occupation et l'utilisation de terres dans les différents bassin versants.....	15
II.3. Erosion de sols.....	19
II.4. Analyse du taux de sédimentation	22
II.5. Moteurs du changement d'occupation et d'utilisation de terres dans la zone d'étude.....	23
II.6. Comprendre le phénomène des crues dans les bassins d'étude	24
II.7. Mesures préventives de phénomène de crues de rivière	26
II.7.1. Les mesures mécaniques.....	26
II.7.2. Mesures agronomiques	27
II.7.3. Mesures biologiques	27
II.8. Types d'aménagements des rivières	29
II.8.1. Rivière Mweya.....	29
II.8.2. Rivière Renga	31
II.8.3. La rivière Kahirira	33

II.8.4. Rivière Mubimbi.....	35
II.8.5. Rivière Kilalo/Luoma	36
II.8.6. Rivières Chishova et Nyamukubi	36
II.8.7. Rivière Nyalunkumba	37
II.8.8. Rivière Lukungula	38
<i>Figure 25 : Présentation de la Rivière Lukungula</i>	38
II.8.9. Caniveau de Budondo	39
CONCLUSION	40

LISTE DES TABLEAUX

<i>Tableau 1: Les classes de pentes du Bassin versant de Bushushu</i>	10
<i>Tableau 2: Les classes de pentes du Bassin versant de Nyamukubi</i>	12
<i>Tableau 3: Les classes de pentes du Bassin versant de Renga</i>	13
<i>Tableau 4: Les classes de pentes Bassin versant de Mubimbi</i>	14
<i>Tableau 5: Le changement d'occupation des sols dans le bassin de Bushushu</i>	17
<i>Tableau 6: Le changement d'occupation des sols dans le bassin de Nyamukubi</i>	17
<i>Tableau 7: Le changement d'occupation des sols dans le bassin de Renga</i>	18
<i>Tableau 8: Le changement d'occupation des sols dans le bassin de Mubimbi</i>	19
<i>Tableau 9: La matrice des mesures de contrôle de l'érosion du sol</i>	28
<i>Tableau 10: Le nombre d'arbres à planter selon les pentes</i>	28

LISTE DES FIGURES

<i>Figure 1: Distribution spatiales de l'hydrologie et de pente dans le bassin versant de Bushushu</i>	11
<i>Figure 2: Distribution spatiales de l'hydrologie et de pente dans le bassin versant de Nyamukubi</i>	12
<i>Figure 3: Distribution spatiales de l'hydrologie et de pente dans le bassin versant de Renga.....</i>	13
<i>Figure 4: Distribution spatiales de l'hydrologie et de pente dans le bassin versant de Renga.....</i>	15
<i>Figure 5: Analyse spatiale de l'occupation de terre dans le bassin versant de Bushushu</i>	17
<i>Figure 6: Analyse spatiale de l'occupation de terre dans le bassin versant de Nyamukubi</i>	18
<i>Figure 7: Analyse spatiale de l'occupation de terre dans le bassin versant de Renga.....</i>	19
<i>Figure 8: Analyse spatiale de l'occupation de terre dans le bassin versant de Mubimbi</i>	19
<i>Figure 9: Taux moyen de perte en sol par érosion (Tonnes/ha/an)</i>	20
<i>Figure 10: Perte totale en sol pendant la période d'étude.....</i>	21
<i>Figure 11: Dynamique de risque d'érosion dans les différents bassins versants en étude</i>	22
<i>Figure 12: Variation du taux de sédimentation total en tonnes/an</i>	23
<i>Figure 13: Feu de brousse</i>	25
<i>Figure 14: Mauvaises pratiques agricoles sur de pentes très raides</i>	26
<i>Figure 15: Présentation de la rivière Mweya</i>	29

La présente étude a été réalisée dans le cadre du Projet Action Territoriale pour un Développement Durable au Kivu (ATEDD-Kivu) exécuté dans les territoires de Kalehe (Sud Kivu) et Masisi (Nord Kivu) ; financé par Fonds d’Innovation pour le Développement (FID) de l’Agence Française de Développement (AFD).

Elle a été réalisée pour le compte du consortium d’exécution du projet ATEDD par le Centre Régional d’études interdisciplinaires appliquées au développement durable (CEREIAD), attaché à l’Université Catholique de Bukavu (UCB).

Septembre 2022.

INTRODUCTION

Le Kivu montagneux est en général caractérisé par un relief accidenté constituant ainsi un danger permanent et un environnement fragile en cas des pluies diluviennes. A titre d'exemple, dans les territoires de Kalehe et de Masisi (au Sud et Nord Kivu respectivement), au niveau de la partie littorale de Mbinga-Sud et Nord, plusieurs dégâts ont été rapportés, liés aux catastrophes naturelles dont le débordement des lits des rivières lors des fortes pluies. Toutes ces rivières tirent leur origine dans les hauts plateaux et collines surplombant le lac Kivu, dans la dorsale du Kivu (massif du mont MITUMBA). Beaucoup des sédiments sont détachés et entreposés dans les bas-fonds et le lac avec diverses conséquences. La géologie de ces zones montagneuses, en plus de ses hautes pentes, est fortement occupée par plusieurs grosses roches et par les pierres qui affleurent parfois à la surface terrestre et qui constituent un danger permanent pour les habitations se trouvant en aval sur le littoral du lac Kivu. Ainsi, toutes les zones des vallées sont fortement touchées en cas de détachement de ces matériaux rocheux en amont qui dévalent les pentes et deviennent très destructifs de toutes les infrastructures retrouvées en aval (maisons d'habitation ; écoles ; route, etc.). Malheureusement, depuis un peu plus d'une décennie, ces catastrophes deviennent de plus en plus fréquentes et se produisent de manière répétitive dans différents villages des territoires de Kalehe et de Masisi causant en période pluvieuse de dégâts sur la vie humaine et sur l'écosystème tout entier.

De plus, dans ces entités, toutes ces atrocités sont encore exacerbées par d'autres difficultés socio-économiques. Déjà, la zone connaît une pénurie en termes de disponibilité de terres arables; plusieurs champs cultivés ont été endommagés, les cultures détruites et les parcelles agricoles transformées presque en terres inertes ne pouvant plus servir aux besoins primaires des communautés. De même, la situation sécuritaire dans cette zone est très précaire, ce qui handicape ainsi le développement intégral de toute cette zone.

Ainsi, au-delà des avantages que peuvent procurer les paysages du Kivu montagneux riches en hydrographie qui pourraient constituer une importante source pour l'eau de boisson et pour l'agriculture, il faudrait noter que le long de ces cours d'eau, différents aménagements y sont installés et impactent négativement la qualité de l'eau et sont la cause d'autres dégâts qu'on observe sur les zones du littoral. Il en résulte que la gestion des bassins versants constitue aussi une limite

dans ces zones et mériterait également une attention particulière pour une gestion durable des rivières dans cette zone du littoral du Sud et Nord-Kivu.

C'est dans ce cadre qu'une étude sur les rivières a été diligentée au sein du projet ATEDD (Action territoriale pour un développement durable) pour analyser tous les contours en rapport avec la gestion des rivières dans toute la zone d'action dudit projet. Cette étude portera donc sur l'évaluation du niveau de dégradation des zones où passent ces rivières ainsi que sur les éventuelles interventions existantes ou pouvant être mises en place pour atténuer les dangers qu'elles peuvent représenter. A l'issue de cette étude, les propositions des solutions allant des travaux d'ingénieries, des interventions mécaniques, de maçonnerie voir même des pratiques agricoles à usage multiples dont l'agroforesterie, le reboisement, l'installation des terrasses... devront être engagés permettant ainsi d'atténuer les dégâts ou de vivre avec les rivières au sein de cette zone d'étude.

Aussi, étant donné que l'aménagement des cours d'eau nécessite des actions communautaires et intégrées avec l'implication de plusieurs acteurs, cet aspect sera incorporé dans l'analyse des solutions à proposer pour garantir une bonne réussite des actions à mener. Ceci fait comprendre que ces actions doivent être faites en synergie pour éradiquer tous les types de dégradations pouvant être observés le long de ces cours d'eau.

Chap I. CONCEPTION DE LA RECHERCHE ET METHODOLOGIE

I.1. Conception de la recherche

Cette étude a utilisé deux approches méthodologiques pour comprendre la relation entre les différentes variables à savoir une approche rétrospective¹ et celle descriptive². Elle a concerné trois sites dont Bweremana (territoire de Masisi, Nord-Kivu), Minova et Bushushu (territoire de Kalehe, Sud Kivu); et dans chacun de ces sites (localités), deux rivières ont fait l'objet des observations. Celles-ci ont été choisies sur bases de l'importance de dégâts qu'elles causent au niveau des communautés.

I.1.1. Approche rétrospective

Cette approche a permis de regarder dans le passé afin d'analyser le changement qui s'est déroulé dans le temps suite aux différentes activités anthropiques et qui seraient l'une des causes majeures de la survenue de différentes catastrophes naturelles dans la zone d'étude. Cette approche a consisté en l'utilisation des données spatiales historiques (1986 à 2022) issues de la télédétection dans le système d'information géographique.

I.1.2. Approche descriptive

Cette approche a permis de collecter des informations sur le terrain pour décrire systématiquement les phénomènes de dégradation et identifier les actions compatibles (types d'aménagement) pour chaque niveau de dégâts. Plus précisément, elle nous a permis de répondre à des questions telles que : quel est le problème ? Où (localisation géographique de certains phénomènes spécifiques) et comment y remédier (type d'aménagement). Pour cette partie, il était question de faire une cartographie participative impliquant certaines personnes ressources ayant une bonne connaissance de la zone. Ces entretiens étaient réalisés sous forme individuelle et à travers de focus groupes dans chaque village concerné par l'étude.

Ces éléments scientifiques et techniques ont été complétés par les informations recueillies lors de l'enquête de base et du diagnostic participatif.

¹ [A retrospective study of environmental predictors of dengue in Delhi from 2015 to 2018 using the generalized linear model | Scientific Reports \(nature.com\)](#)

² [Case study in disaster relief: A descriptive analysis of agency partnerships in the aftermath of the January 12th, 2010 Haitian earthquake - ScienceDirect. <https://doi.org/10.1016/j.seps.2011.08.002>](#)

I.2. Méthodologies

I.2.1. Matériels utilisés

Le changement d'occupation et d'utilisation des sols a été détecté par les données satellitaires de 3 périodes dont la période initiale de 1986, 2003 et 2022, c'est-à-dire respectivement Landsat 5, Landsat 7 et Landsat 8³. Ces données dans la colonne 173 et la ligne 061 ont été fournies par USGS Earth Explorer. Les données de précipitations mensuelles de 1986 à 2022 ont été obtenues à partir de la grille CHIRPS⁴ (Climate Hazards Group InfraRed Precipitation). Les caractéristiques du bassin versant ont été extraites du modèle numérique de terrain (MNT) Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) acquis par USGS Earth Explorer⁵. Les propriétés des sols ont été extraites de la base de données SOTER (Soil and Terrain Database for Central Africa) fournie par la FAO⁶.

En outre des récepteurs GPS, des décimètres et des caméras ont été utilisés sur le terrain, pour prélever des coordonnées géographiques, faire quelques mesures et prendre quelques images importantes respectivement. Pour mesurer le débit de chaque cours d'eau, un chronomètre a été utilisé.

Comme les différentes données secondaires ont été fournies dans différentes résolutions spatiales, elles ont été ré-échantillonnées à une résolution spatiale commune de $30 \times 30 \text{ m}^7$ et projetées sur le même Mercator transverse universel 35S, WGS Datum.

³ U.S. Geological Survey (USGS). U.S. Geological Survey Earthexplorer. Disponible sur: <https://earthexplorer.usgs.gov>

⁴ [The Centennial Trends Greater Horn of Africa precipitation dataset | Scientific Data \(nature.com\)](#)

⁵ U.S. Geological Survey (USGS). U.S. Geological Survey Earthexplorer. Disponible sur: <https://earthexplorer.usgs.gov>

⁶ SOTER-based soil parameter estimates for Central Africa – DR of Congo, Burundi, and Rwanda (SOTXIScaf, ver. 1.0). Report 2007/02, ISRIC- World Soil Information, Wageningen.

⁷ [Spatial Resolution - an overview | ScienceDirect Topics](#)

I.2.2. Méthodes

a) Analyse cartographique

L'étude a commencé par une modélisation hydrologique utilisant des MNT dans l'extension ArcHydro du logiciel ArcGIS 10.7⁸. Cela a consisté à:

- Délimiter les micro-bassins pertinents (surface, périmètre et longueur du micro-bassin),
- Délimiter leurs réseaux hydrologiques,
- Déterminer leurs caractéristiques topographiques,
- Déterminer la densité de drainage et la fréquence d'écoulement.

La modélisation hydrographique démontre son importance dans le fait que l'approche du bassin versant est holistique et relie les zones en amont et en aval. C'est une approche pratique de la planification visant la préservation, la conservation, le développement, la gestion et l'exploitation des ressources naturelles au profit de communautés.

Ensuite, à l'échelle du bassin versant, une modélisation environnementale a été effectuée. Cela comprenait :

b) Analyse de la dynamique de l'occupation et de l'utilisation des sols

L'évaluation de la dynamique du changement d'occupation et d'utilisation de terres dans un environnement sensible tel que le littoral du Lac Kivu est importante pour la conservation de la biodiversité, l'orientation des efforts de boisement, l'amélioration de l'aménagement du territoire et la gestion des terres. La compréhension de ces altérations de la surface terrestre et de sa couverture biotique nécessite de prêter l'utilisation des terres et de leur couverture (LULC) en tant que système couplé homme-environnement. En bref, cette analyse lie l'homme aux phénomènes naturels (crues, glissements de terrain, érosions, etc) qui le menacent.

L'enquête de base a confirmé que l'espace occupé par les arbres a considérablement diminué avec le temps, et le diagnostic participatif a rajouté que, ce changement a été visiblement observé autour des années 1990 pour certaines raisons. Ainsi, la période de 1986 a été considérée comme la

⁸ [Esri Support ArcMap 10.7 \(10.7.1\)](#)

période initiale ou de référence sur la base de laquelle le changement historico-spatial a été examiné.

Les images Landsat utilisées ont subi des corrections radiométriques et atmosphériques⁹ afin de les rendre plus précises. Ainsi, six classes d'occupation ont été identifiées en fonction de leurs signatures spectrales, puis elles ont été classées par la méthode de classification supervisée par maximum de vraisemblance (Maximum Likelihood Classification method)¹⁰ dans le logiciel Envi version 5.6.2¹¹. Il s'agit de:

- La forêt dense : Il s'agit d'une végétation mature de hauteur de plus de 5m avec 70% de la surface au sol couverte par des arbres et la canopée est toujours en un feuillage vert ;
- Forêt claire : Il s'agit de plantations ainsi que le peuplement d'arbres ouverts restant dans les terres cultivées. Cette classe comprend également des arbres de petite et moyenne taille dont les cimes sont moins jointives ;
- Eau : Il s'agit d'une surface avec une couverture d'eau à plus de 95% ;
- Végétation : Les zones sont couvertes d'herbes longues et courtes, de terres humides annuelles qui sont utilisées pour le pâturage, avec un mélange d'arbustes et de buissons, ainsi qu'une couverture, principalement avec des ravins classiques et des rochers exposés, y compris des affleurements rocheux.
- Agriculture : Zones utilisées pour la culture de plantes saisonnières et annuelles. Cette catégorie comprend les surfaces actuellement cultivées, les jachères, les terres en préparation, les vastes collines dénudées et fortement dégradées.
- Habitation ou terre bâtie : Cette classe se compose d'environ 80 à 100% de structures en béton ou en terre et des huttes ainsi que de petits espaces ouverts aux alentours (y compris des arbres et des herbes).

La validation des classes d'occupation du sol de 1986 et 2003 a été effectuée à l'aide d'anciennes

⁹ [Automatic and improved radiometric correction of Landsat imagery using reference values from MODIS surface reflectance images - ScienceDirect](#)

¹⁰ [Analysis of Maximum Likelihood classification technique on Landsat 5 TM satellite data of tropical land covers | IEEE Conference Publication | IEEE Xplore](#)

¹¹ [What's New in ENVI 5.6.2 \(13harrisgeospatial.com\)](#)

images *Google Earth*, tandis que la validation de 2022 a été effectuée à l'aide d'une matrice de coefficients¹² de points collectés de manière aléatoire lors de l'enquête sur le terrain.

c) Analyse de la dynamique de la dégradation

L'étude a cherché à établir une relation entre le changement d'utilisation des terres et la dégradation des sols. Cette dégradation des sols (ou érosion) a été estimée à l'aide du modèle RUSLE¹³ (Equation Universelle de Perte de Sol Révisée). Cette équation est l'expression de 5 facteurs qui favorisent l'érosion :

$$A = R \times K \times LS \times C \times P$$

Où A est le taux d'érosion potentielle (Tonne/ha/an) ; R est le facteur d'érosivité (MJ × mm/ha × h × an) ; K est le facteur d'érodibilité (Tonne × ha × h/ha × MJ × mm) ; LS représente la longueur et l'inclinaison de la pente ; C représente la couverture végétale et P représente les pratiques de conservation du sol.

- Facteur R: L'érosivité ou l'effet du volume de la force cinétique des précipitations sur le détachement et le transport des particules du sol,
- Facteur K: L'érodibilité décrit le niveau de susceptibilité (détachement et transport) des propriétés du sol aux effets du ruissellement,
- Facteur LS: Décrit l'effet de la longueur et de l'inclinaison de la pente sur l'accélération du ruissellement,
- Facteur C: La couverture du sol reflète l'effet de l'utilisation des terres et des pratiques agricoles sur l'érosion,
- Facteur P: Il décrit l'effet des pratiques de conservation sur la réduction de l'érosion.

Les facteurs K, LS et P sont restés constants, tandis que les facteurs R et C ont changé en fonction de la période d'étude.

¹² [Field Validation of Land Cover and above Ground Carbon Mapping Using the Landsat OLI in Tropical Region \(scialert.net\)](#)

¹³ Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the revised universal soil loss equation (RUSLE). <https://naldc.nal.usda.gov/download/CAT10827029/PDF>

d) Estimation du Taux de sédimentation (TS)

Le taux de sédimentation (TS) est la quantité de sédiments érodés qui atteint un cours d'eau et ses affluents de toute la zone qu'il draine. Généralement, le taux de sédimentation est calculé à l'aide de courbes d'évaluation (rating curve), or cette courbe nécessite des mesures périodiques de la concentration de sédiments et du débit du cours d'eau. Comme il n'y a pas de mesures périodiques détaillées dans les bassins versant en étude, le TS a été déterminé en utilisant le coefficient d'apport en sédiments (CAS) et la perte totale de sol en utilisant l'équation qui a été par Ouyang and Bartholic¹⁴. Ainsi après avoir calculé la perte totale et le CAS, le taux de sédimentation a été calculé à l'aide de l'outil d'analyse spatiale ArcGIS 10.7.

$$TS = CAS \times A$$

$$CAS = 0,627 \times (\text{Pente})^{0,403}$$

TS: Taux de sédimentation (Tonne/ha/an) ; A : Taux de perte de sol par érosion (Tonne/ha/an) ; CAS : Coefficient d'apport en sédiments qui représente la fraction de l'érosion brute livrée à l'exutoire du bassin versant dans une période de temps donnée. La valeur du CAS montre la capacité topographique de la zone de drainage pour le transport et la sédimentation des sols érodés. Ce facteur est fonction de la longueur de la pente, la taille des particules, le ruissellement, la pluviométrie, ainsi que la gestion d'occupation et d'utilisation des sols.

I.3. Travail de terrain et observations

Cette partie complémentaire à la cartographie s'est déroulée dans les différents villages où intervient le projet ATEDD et où les effets de dégradation de l'environnement dues aux rivières sont très prononcées. Les données qualitatives obtenues devraient donc répondre à différents objectifs entre autres:

- Valider les résultats obtenus par l'utilisation du système d'information géographique et de la télédétection,
- Comprendre les risques notamment la survenue de crue de rivières,

¹⁴ [The impact of land use and land cover \(LULC\) dynamics on soil erosion and sediment yield in Ethiopia - ScienceDirect](#)

- Examiner le niveau d'exposition à un danger potentiel,
- Obtenir des informations supplémentaires à partir de la cartographie participative avec les communautés,
- Identifier les actions compatibles (types de gestion) avec la particularité de chaque rivière et l'estimation des coûts y afférents.

Avec ces différentes données, il est donc nécessaire de proposer le plan d'aménagement de chaque rivière avec des actions durables et participatives où toutes les parties prenantes doivent conjuguer ensemble des efforts. En plus de focus groupes et discussion avec les personnes clés, d'autres données ont été obtenues en parcourant chaque rivière concernée sur une certaine distance en vue de s'enquérir de certaines caractéristiques particulières. Par ailleurs, des échanges complémentaires ont été organisés avec les communautés riveraines pour certaines explications des phénomènes observés.

Chap II. PRÉSENTATION DES RÉSULTATS

II.1. Caractéristiques de bassins versants

II.1.1. Bassin versant de Bushushu

Le bassin de Bushushu se localise sur une position géographique comprise entre $-1,992533^{\circ}$ à $-2,098366^{\circ}$ de Latitude Sud et entre $28,862830^{\circ}$ à $28,946163^{\circ}$ de Longitude Est. Il couvre une surface d'environ $59,24 \text{ km}^2$ (5924,4 ha) sur un périmètre de 55,9 km. Le bassin regorge un réseau dense des cours d'eaux qui coulent sur une distance totale de 42,50 km de long selon les analyses de la cartographie et les observations sur terrain (Fig 1). Tenant compte du rapport longueur d'écoulement et la surface totale du bassin, on estime une densité de drainage d'environ 0.72 km/km^2 . Le bassin se trouve à cheval entre deux villages où il tire sa source à une altitude de 2662 m dans les hauts plateaux et passe par le village de Bushushu vers l'Est pour se déverser dans le Lac Kivu à une altitude de 1453 m. La partie occidentale du bassin versant est occupée par des zones de collines avec des pentes raides allant jusqu'à 149% avec une pente moyenne de 30% comme décrit au tableau 1.

Tableau 1: Les classes de pentes du Bassin versant de Bushushu

<i>Classe de Pente en %</i>	<i>Surface en ha</i>	<i>Surface en %</i>
0-6%	362,57	6,12
6-16%	1021,00	17,23
16-40%	2883,71	48,68
40-60%	1358,71	22,93
>60%	298,41	5,04
Total	5924,40	100

Les hautes terres dans la partie occidentale du bassin sont caractérisées par des pentes très raides (>16%) qui représentent 3/4 de la superficie totale du bassin tandis que 25% de la superficie totale comprennent des pentes faibles à nulles. La figure 1 donne la distribution de l'hydrologie en fonction des pentes dans le bassin versant de Bushushu.

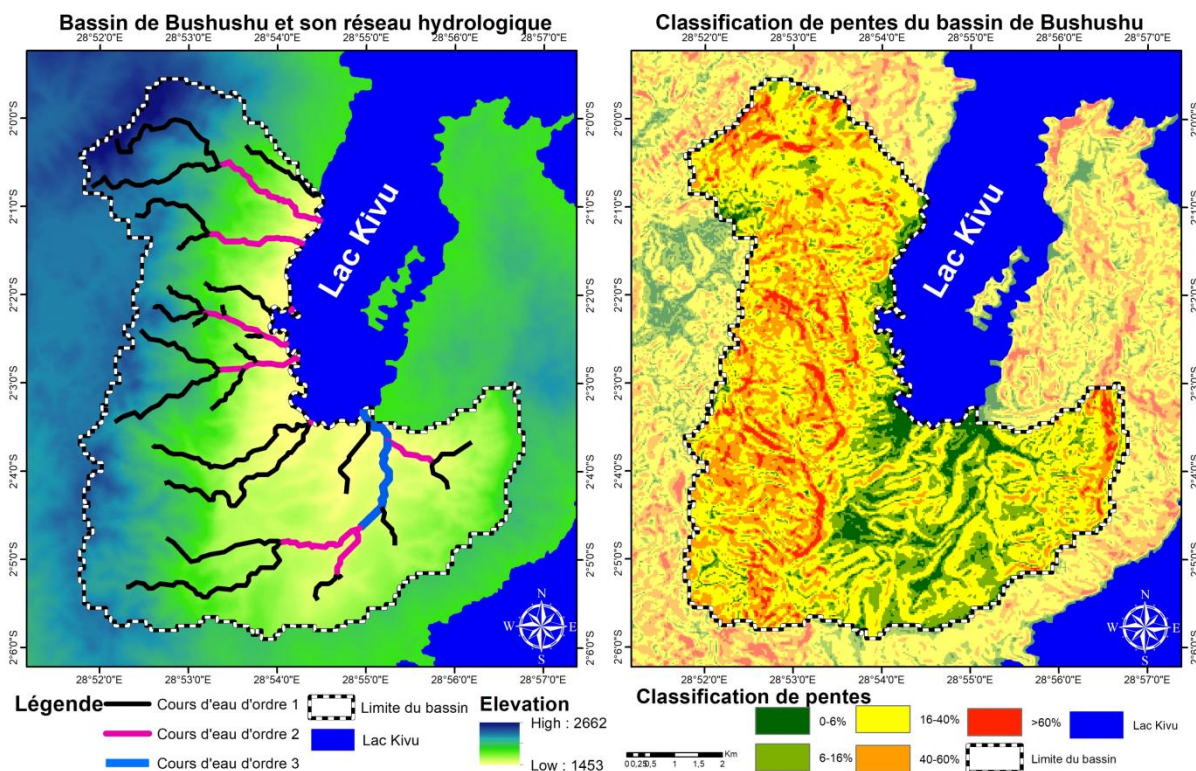


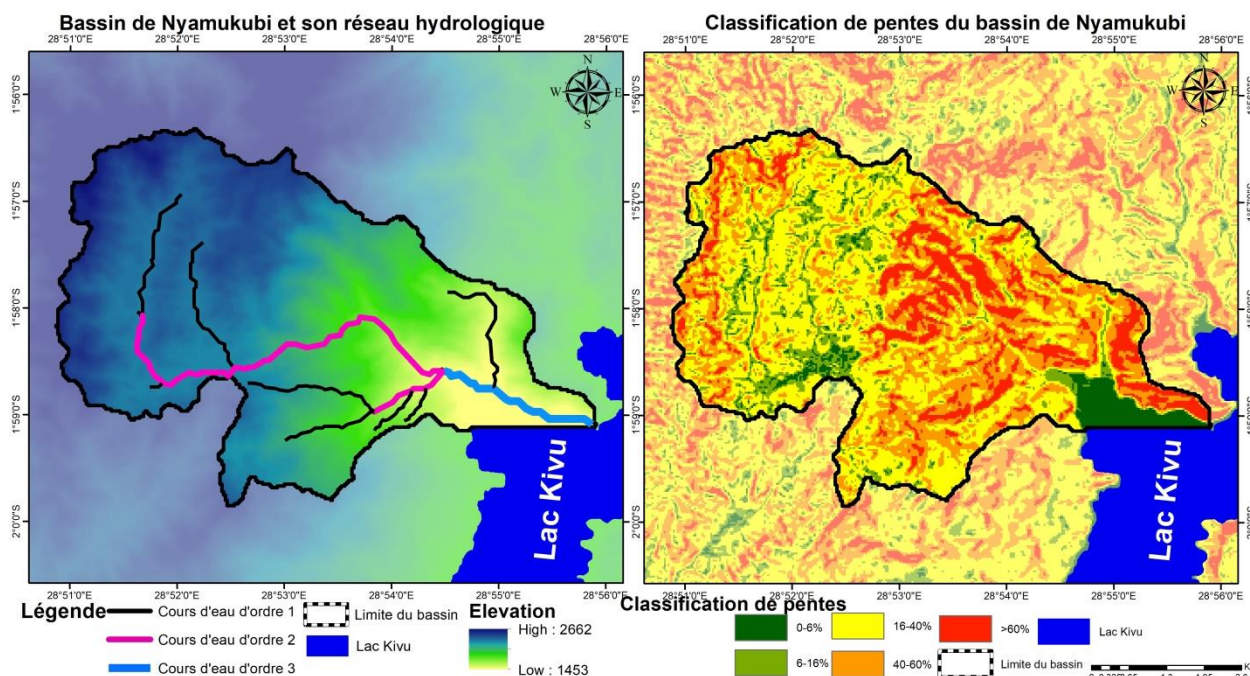
Figure 1: Distribution spatiales de l'hydrologie et de pente dans le bassin versant de Bushushu

II.1.2. Bassin versant de Nyamukubi

Le bassin de Nyamukubi se situe sur une position géographique comprise entre $-1,938687^{\circ}$ à $-1,997525^{\circ}$ de Latitude Sud et entre $28,847714^{\circ}$ à $28,931715^{\circ}$ de Longitude Est. Administrativement, il se localise dans le village de Bushushu dans le Territoire de Kalehe. Le bassin couvre une surface totale d'environ $33,77 \text{ Km}^2$ ($3376,958 \text{ ha}$) avec un périmètre de $39,9 \text{ Km}$. Le bassin regorge un réseau hydrographique qui est composé de 6 rivières qui coulent sur une longueur totale de $23,93 \text{ Km}$. Ainsi le rapport longueur d'écoulement et la surface totale indique une densité de drainage de 0.64 km/km^2 (Fig 2). La rivière Nyamukubi coule sur une distance de $12,7 \text{ Km}$ dans une direction d'Ouest à l'Est où il tire sa source à une altitude maximale de 2956 m et se jette dans le lac Kivu à une altitude de 1458 m . Topographiquement, le bassin est fait de collines et de vallées dont la pente varie entre 0 et $129,57\%$ avec une moyenne de $37,42\%$. Tel qu'illustre le Tableau 2, une vaste étendue soit 75% du bassin de Nyamukubi est composé par de collines caractérisées par de pentes très raides supérieure à 16% tandis qu'un environ 15% du bassin est couvert par une pente faible à claire.

Tableau 2: Les classes de pentes du Bassin versant de Nyamukubi

Classe de Pente en %	Surface en ha	Surface en %
0-6%	173,87	5,14886
6-16%	339,19	10,04422
16-40%	1417,25	41,96828
40-60%	993,88	29,43132
>60%	452,76	13,40732
Total	3376,96	100

**Figure 2: Distribution spatiales de l'hydrologie et de pente dans le bassin versant de Nyamukubi**

II.1.3. Bassin de Renga

Situé sur la partie occidentale du Golf de Kabuno, le bassin de Renga est positionné entre $-1,626015^{\circ}$ à $-1,722137^{\circ}$ de Latitude Sud et $28,940533^{\circ}$ à $29,032988^{\circ}$ de Longitude Est. Le bassin draine sur une surface de $69,7 \text{ Km}^2$ (6969,73 ha) et un périmètre d'environ 52 Km. Le bassin présente un réseau de cours d'eau composé par 5 rivières dont la rivière Renga, Mweya, Kahirira, Chungiri et Kilalo qui toutes combinées ont une longueur totale de 46,07 Km (Fig 3). Ainsi, la densité de drainage qui est calculée comme un rapport entre la longueur totale d'écoulement des eaux et la surface montre qu'il y a $0,6 \text{ km/km}^2$. C'est qui revient à dire que chaque unité de kilomètre carré correspond à environ 0,6 km de longueur de cours d'eau. Les rivières coulent depuis le haut plateau en sa partie occidentale à 2928 mètre et elles se jettent à 1454 m à l'Est dans

le golf de Kabuno. Le bassin est caractérisé par une topographie très accidentée avec une pente moyenne de 39,31%.

Tableau 3: Les classes de pentes du Bassin versant de Renga

Classe de Pente en %	Surface en ha	Surface en %
0-6%	369,68	5,30
6-16%	625,87	8,98
16-40%	2680,13	38,45
40-60%	2316,51	33,24
>60%	977,54	14,03
Total	6969,74	100,00

Il ressort de ce Tableau qu'une proportion de 5,3% (369,68 ha) de la surface totale du bassin a une pente inférieure à 6%, et près de 9% soit 625,87 ha est caractérisée par une pente claire qui varie entre 6 à 16%. Néanmoins, il a été observé que la majeure partie est accidentée avec une pente de plus de 16% qui occupe près de 85,68% de la surface totale soit 5974,18 ha.

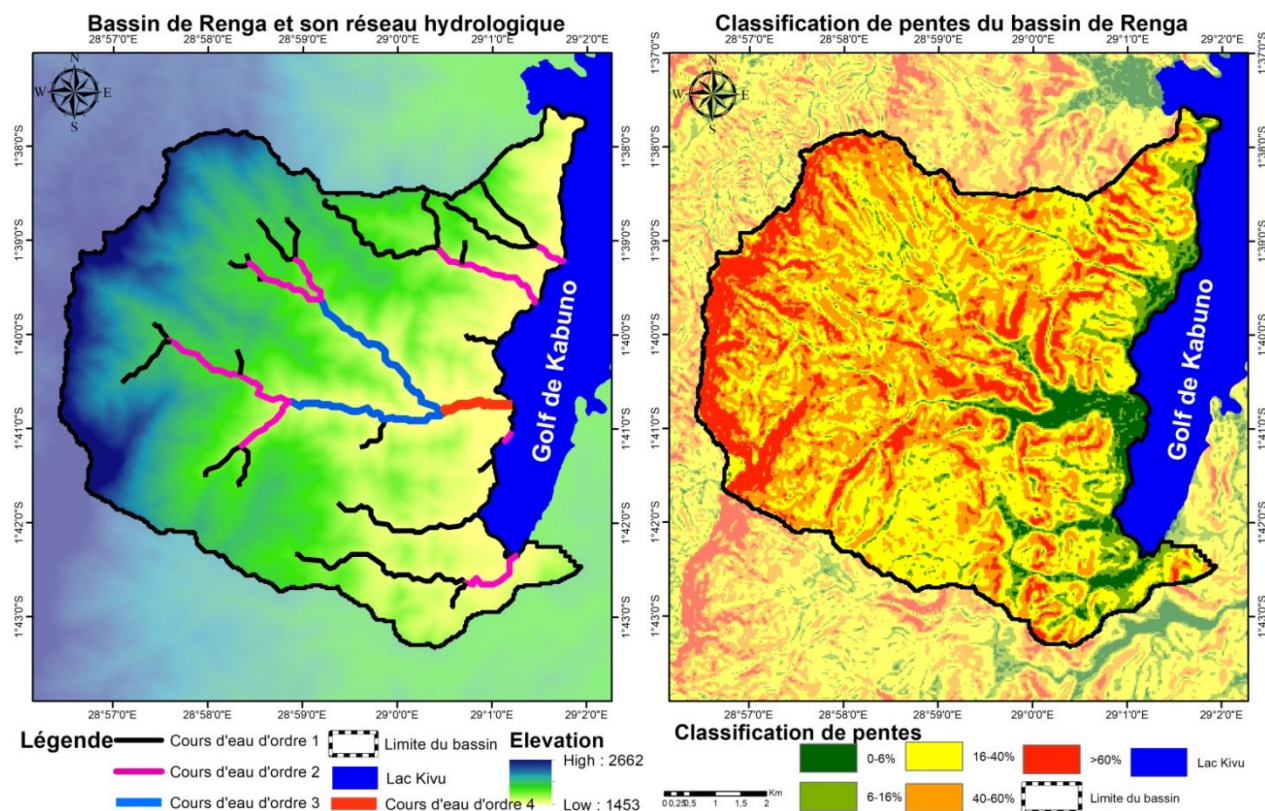


Figure 3: Distribution spatiales de l'hydrologie et de pente dans le bassin versant de Renga

II.1.4. Bassin versant de Mubimbi

Géographiquement le bassin de Mubimbi se situe entre $-1,694036^{\circ}$ à $-1,772399^{\circ}$ de Latitude Sud et entre $28,914265^{\circ}$ à $29,053980^{\circ}$ de Longitude Est. Le bassin a une superficie totale estimée à $68,51 \text{ Km}^2$ (6850,98 ha) et d'un périmètre de 59,9 Km. Son réseau hydrographique est riche et comporte au total 14 cours d'eaux de différents ordres dont la longueur totale d'écoulement est d'environ 47 Km. La rivière Mubimbi étant la plus grande s'écoule sur une distance de 15,37 Km à travers le bassin, dans une direction Ouest-Est depuis sa source dans le haut plateau sur une altitude de 2917 Km jusqu'à son déversement dans le grand lac Kivu sur une altitude de 1455 m (Fig 4). Le rapport entre la longueur d'écoulement et la surface totale indique une densité de drainage de presque 0.78 km/km^2 . Ce qui renseigne qu'il y a environ 0.78Km de longueur de cours d'eau pour chaque unité de km^2 .

La topographie du bassin est caractérisée par une pente accidentée qui est estimée à 36,39% en moyenne. Les classes de pente sont reprises dans le Tableau 4.

Tableau 4: Les classes de pentes Bassin versant de Mubimbi

<i>Classe de Pente en %</i>	<i>Surface en ha</i>	<i>Surface en %</i>
0-6%	224,29	3,27
6-16%	695,31	10,15
16-40%	3194,35	46,63
40-60%	1989,11	29,03
>60%	747,91	10,92
Total	6850,98	100

Le Tableau 2 renseigne qu'une étendue plus large du bassin d'environ 86,6% (5931,38 ha) indique la présence des chaînes de collines qui sont caractérisées par de forte et extrême pentes tandis qu'une petite portion 13,4% (919,6 ha) indique une topographie plate de moins de 16%.

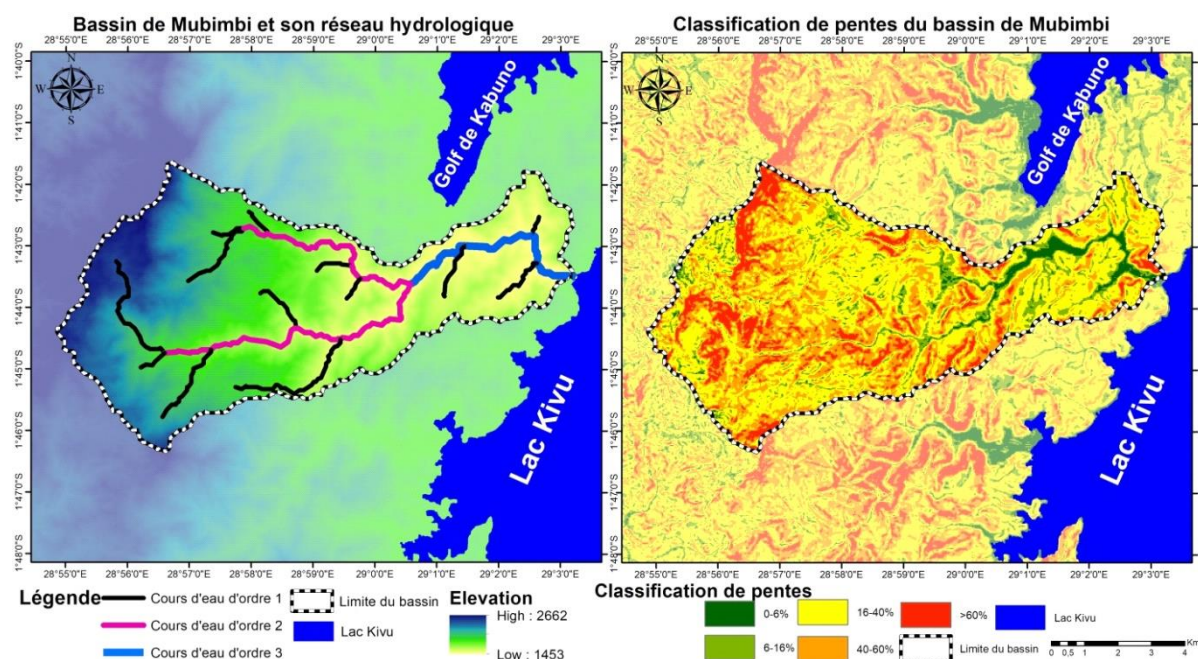


Figure 4: Distribution spatiales de l'hydrologie et de pente dans le bassin versant de Renga

II.2. Analyse de l'occupation et l'utilisation de terres dans les différents bassin versants

Les différentes classes des d'occupation de terre sont celles définies dans la partie méthodologique cette étude. Chaque bassin versant est caractérisé individuellement pour analyser ce facteur de dynamique d'occupation de terre.

En effet, au niveau de Bushushu, les précisions globales des cartes d'occupation des sols pour 1986, 2003 et 2022 étaient respectivement de 82,2%, 82,7% et 87,3% (Fig. 5). Ces précisions sont acceptables par rapport à la précision de classification globale recommandée d'au moins 75%. Au cours des trois dernières décennies, le littoral du lac Kivu a subi une conversion significative de sa couverture végétale comme l'indiquent les résultats d'analyse.

Dans ce site, les années 1986, la forêt dense et la forêt claire représentaient près de 88% et 88,5% de la superficie totale des bassins de Bushushu et de Nyamukubi. Plus précisément, environ 58,89 % et 29,2 % et 70,74 % et 17,76 % des terres étaient couvertes de forêt dense et claire dans les bassins de Bushushu et de Nyamukubi respectivement (Tables 5 & 6). Dans le même ordre, les autres catégories d'utilisation des terres telles que la végétation, l'agriculture et les terres bâties occupaient environ 12 % et 11,5 %. En 2003, il y a presque une décennie et demie, un grand changement s'est produit où les terres forestières ont perdu plus de la moitié de leur espace.

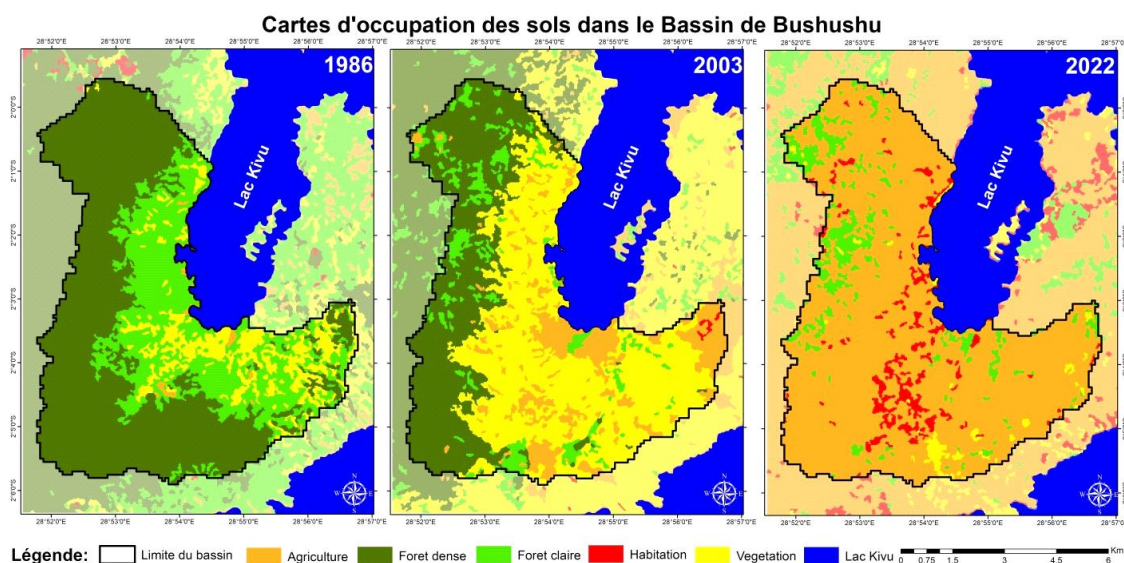
Tableau 5: Le changement d'occupation des sols dans le bassin de Bushushu

Classes	1986		2003		2022	
	ha	%	ha	%	ha	%
Agriculture	45,75	0,77	879,09	14,84	4985,37	84,15
Forêt dense	3488,76	58,89	1918,90	32,39	0,46	0,01
Forêt Claire	1729,67	29,20	497,65	8,40	496,63	8,38
Habitation	2,05	0,03	11,36	0,19	328,30	5,54
Vegetation	658,18	11,11	2617,41	44,18	113,65	1,92
Surface totale	5924,41	100	5924,41	100	5924,41	100

En 2022, il ressort clairement des cartes que la couverture forestière ne représente plus un quart de la superficie totale, contrairement à l'agriculture qui devient le principal type d'utilisation des terres dans ces bassins en occupant près de 84% et 70,22% de la superficie totale des bassins de Bushushu et Nyamukubi respectivement.

Tableau 6: Le changement d'occupation des sols dans le bassin de Nyamukubi

Classes	1986		2003		2022	
	ha	%	ha	%	ha	%
Agriculture	133,9852	3,97	23,08	0,68	2371,46	70,22
Forêt dense	2388,852	70,74	1835,54	54,35	4,17	0,12
Forêt Claire	599,8431	17,76	1091,91	32,33	501,62	14,85
Habitation	1,520913	0,05	6,66	0,20	148,21	4,39
Vegetation	252,757	7,48	419,77	12,43	351,51	10,41
Surface totale	3376,96	100	3376,96	100	3376,96	100

**Figure 5: Analyse spatiale de l'occupation de terre dans le bassin versant de Bushushu**

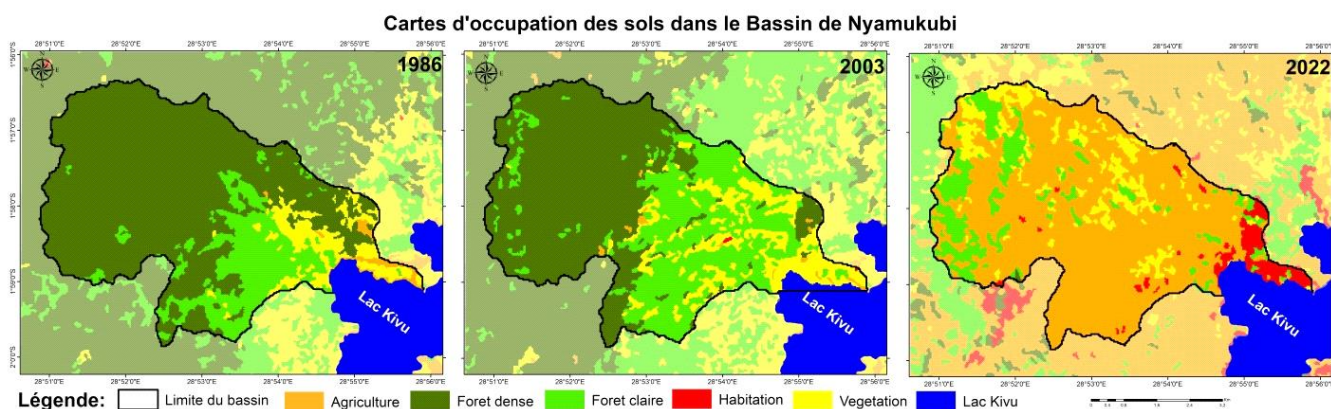


Figure 6: Analyse spatiale de l'occupation de terre dans le bassin versant de Nyamukubi

Tableau 7: Le changement d'occupation des sols dans le bassin de Renga

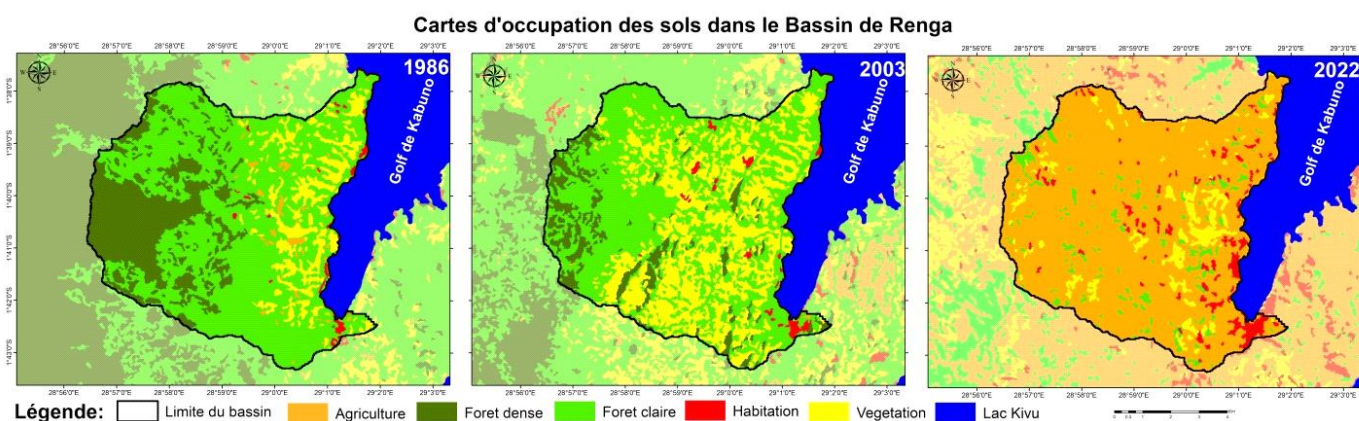
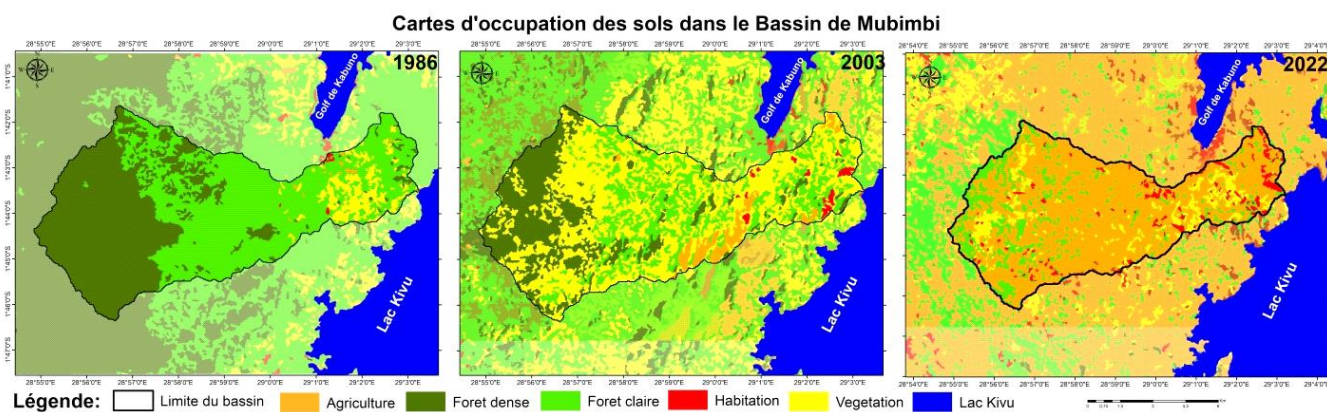
Classes	1986		2003		2022	
	ha	%	ha	%	ha	%
Agriculture	81,68861	1,17	19,90	0,29	5898,72	84,63
Forêt dense	1631,151	23,40	645,76	9,27	4,86	0,07
Forêt Claire	4461,221	64,01	3892,97	55,86	323,51	4,64
Habitation	73,7676	1,06	105,33	1,51	318,99	4,58
Vegetation	721,9099	10,36	2305,78	33,08	423,65	6,08
Total	6969,74	100	6969,74	100	6969,74	100

Le même changement drastique dans la perte de couverture forestière a été observé dans les bassins de Renga et de Mubimbi. Initialement, ces bassins étaient dominés par des espèces ligneuses dans une proportion de 87,4% et 93,8% respectivement. Cependant, le changement a été observé en 2003, période pendant laquelle les forêts occupaient 65,13% et 71% de la superficie totale des bassins de Renga et de Mubimbi respectivement. Deux décennies plus tard, entre 2003 et 2022, la courbe de tendance de la superficie forestière tend vers 0 car on constate que les zones boisées ont presque disparu où les forêts n'occupent plus que 4,71% et 8,94% de la superficie totale des bassins de Renga et de Mubimbi respectivement.

Contrairement à la régression observée du couvert forestier, les courbes des surfaces agricoles et les terres bâties sont ascendantes, puisque la surface agricole est passée de 1,17% en 1986 à 84,63% en 2022 dans le bassin de Renga, et de 0,77% en 1986 à 72,34% en 2022 dans le bassin de Mubimbi. Il en est de même pour l'habitat qui, au cours des trois dernières décennies, est passé de 1,06% à 4,58% et de 0,17% à 4,63% de la superficie totale des bassins de Renga et de Mubimbi respectivement.

Tableau 8: Le changement d'occupation des sols dans le bassin de Mubimbi

Classes	1986		2003		2022	
	ha	%	ha	%	ha	%
Agriculture	52,96724	0,77	3253,14	47,48	4956,30	72,34
Forêt dense	3014,412	44,00	1612,01	23,53	0,07	0,00
Forêt Claire	3384,64	49,40	281,30	4,11	612,48	8,94
Habitation	11,73325	0,17	77,73	1,13	317,08	4,63
Vegetation	387,2295	5,65	1626,79	23,75	965,04	14,09
Total	6850,98	100	6850,98	100,00	6850,98	100

**Figure 7: Analyse spatiale de l'occupation de terre dans le bassin versant de Renga****Figure 8: Analyse spatiale de l'occupation de terre dans le bassin versant de Mubimbi**

II.3. Erosion de sols

Les résultats de l'étude confirme l'hypothèse selon laquelle le changement d'occupation de sols aurait un impact sur la variation de l'érosion et d'autres phénomènes naturelles qui en découlent. Du fait qu'au cours de ces trois dernières décennies une variation significative des taux d'érosions s'est observée dans tous les bassins et cette variation est attribuée surtout au changement de

l'occupation car tous les facteurs déterminatifs sont restés constants sauf le facteur décrivant l'effet de l'occupation de sol ou Facteur C qui a changé avec le temps et cela à cause de la déforestation.

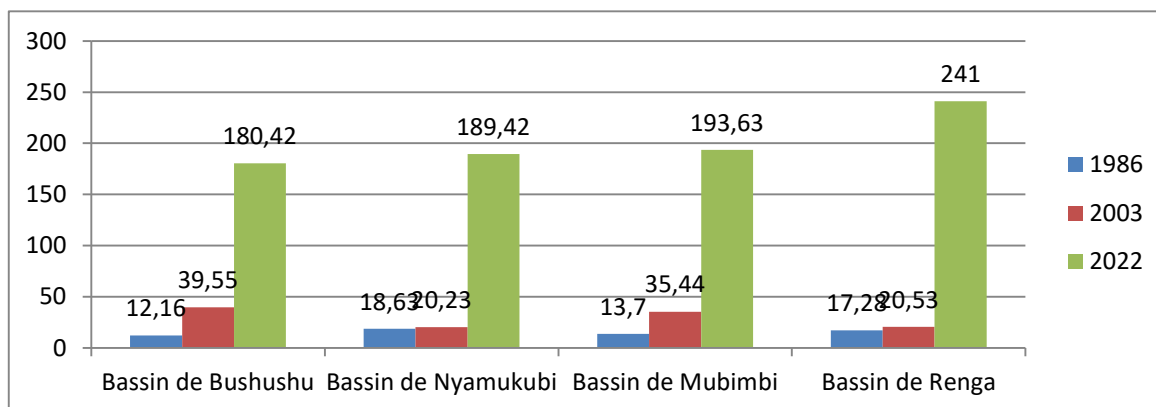


Figure 9: Taux moyen de perte en sol par érosion (Tonnes/ha/an)

Le taux moyen par hectare et par an dans le bassin de Bushushu est passé de 12,16 ton/ha/an, 39,55 ton/ha/an, à 180,42 ton/ha/an en 1986, 2003 et 2022 respectivement. Dans le même ordre d'idées, la perte moyenne dans le bassin de Nyamukubi est passée de 18,63 ton/ha/an, 20,23 ton/ha/an, à 189,42 ton/ha/an. Dans le bassin de Mubimbi, la perte en sol par érosion a été estimée à 13,7 ton/ha/an, 35,44 ton/ha/an, et 193,63 ton/ha/an, en 1986, 2003 et 2022 respectivement. Quant au Bassin de Renga, le taux moyen de perte en sol est passé de 17,28 ton/ha/an, 20,53 ton/ha/an, à 241 ton/ha/an, en 1986, 2003, et 2022 respectivement.

A part la variation du taux moyen de perte en sol, les résultats indiquent également une variation en perte totale qui est estimée en ton/ha. Ainsi, dans le bassin de Bushushu, la perte totale par an est passée de 524188,42 tonnes/an, 1704454,47 tonnes/an, à 7774047,07 tonnes/an en 1986, 2003, et 2022 respectivement. Dans le bassin de Nyamukubi cette perte totale est passée de 652279,62 tonnes/an, et 708233,11 tonnes/an à 6630525,93 ton/an. Dans le bassin de Mubimbi, cette perte est passée de 766242,34 tonnes/an, et 1981240,03 tonnes/an, à 10823110,52 tonnes/an en 1986, 2003 et 2022 respectivement. Dans le bassin de Renga, cette perte est passée 714950,66 ton/an, 849686,86 ton/an à 9970971,3 ton/an.

En gros, ces bassins ont perdu environ 2657661,04 tonnes, 5243614,47 tonnes et 35198654,82 tonnes en 1986, 2003 et 2022 respectivement.

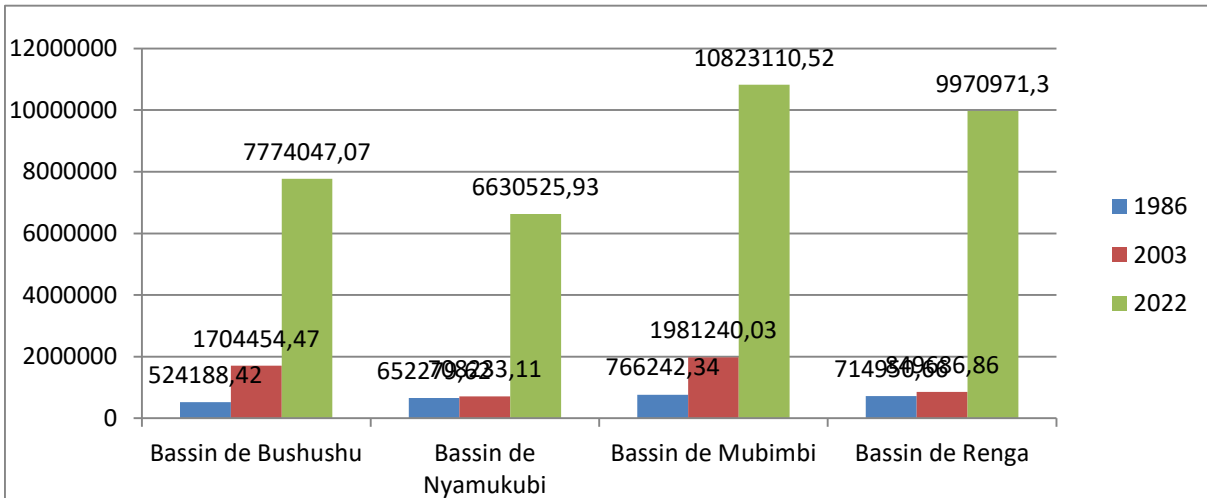
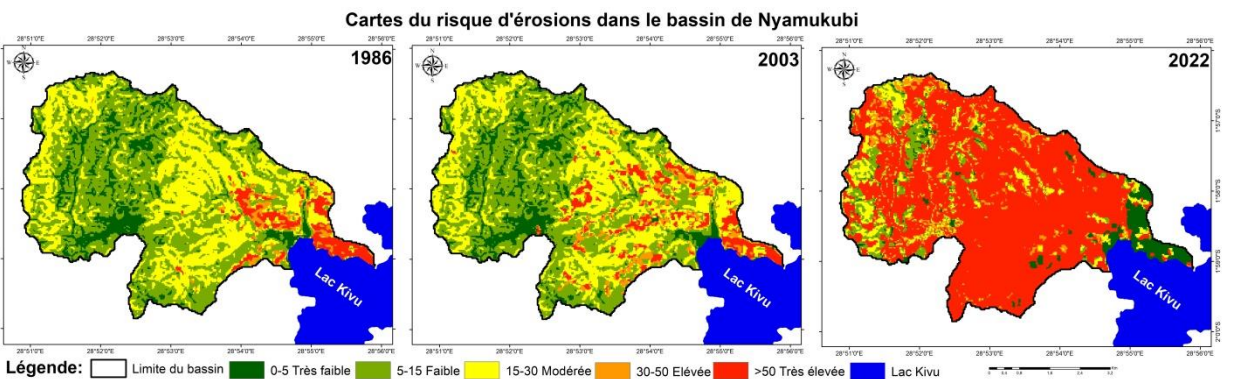
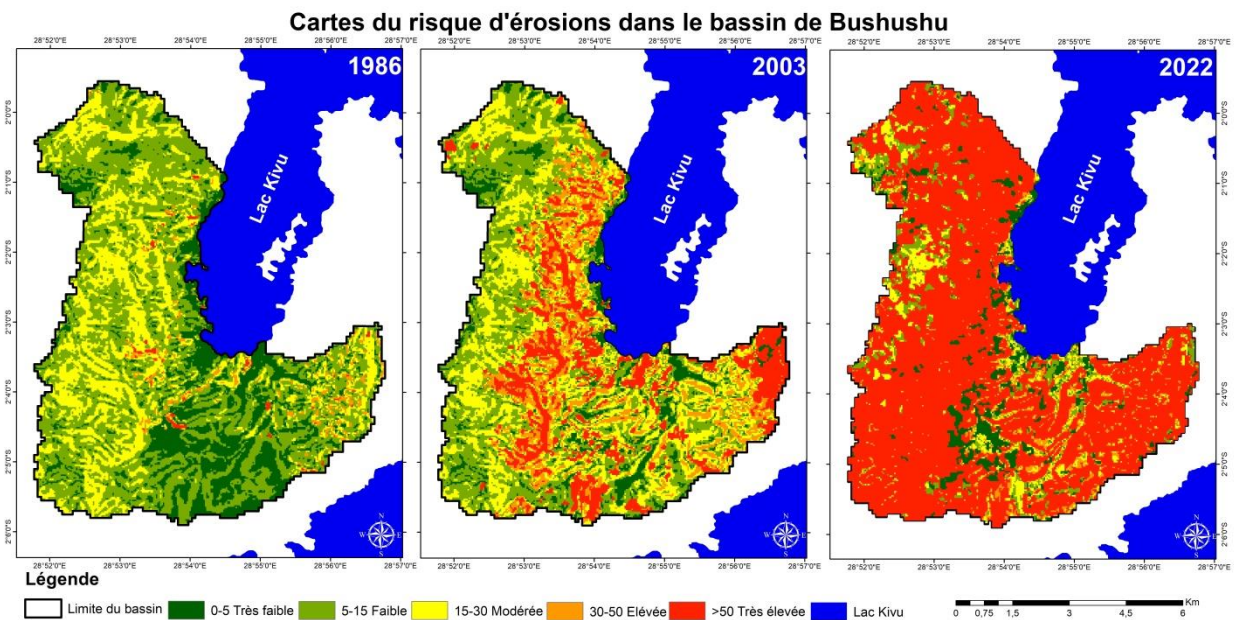


Figure 10: Perte totale en sol pendant la période d'étude



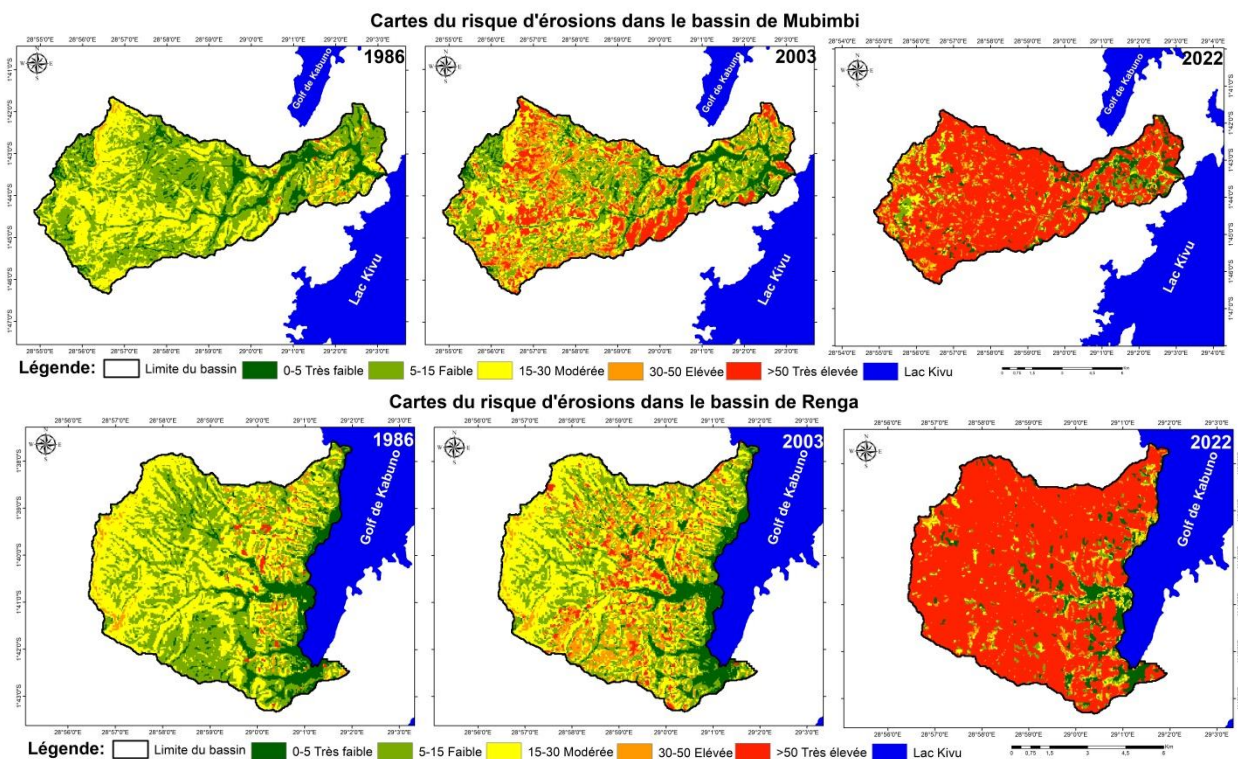


Figure 11: Dynamique de risque d'érosion dans les différents bassins versants en étude

II.4. Analyse du taux de sédimentation

Le TS du réseau hydrographique est déterminé par le CAS pour chaque bassin versant. Pour cette étude, le CAS a été calculé à l'aide d'une équation empirique en considérant la pente moyenne du réseau hydrographique. Le résultat montre que le CAS se situe entre 0 et 0,25 ; 0 et 0,22 ; 0 et 0,19 ; 0 et 0,23 de bassins versants de Bushushu, Renga, Mubimbi et Nyamukubi respectivement. Cela signifie que jusqu'à 25%, 22%, 19% et 23% de la perte totale de sol dans les bassins versant de Bushushu, Renga, Mubimbi et Nyamukubi atteint le réseau hydrographique. En d'autres termes, les matériaux érodés et transportés par le ruissellement dans les bassins versant de Bushushu, Renga, Mubimbi et Nyamukubi se sédimentent jusqu'à 25%, 22%, 19% et 23% respectivement. D'autre part, 75%, 78%, 81% et 77% de matériaux de la perte brute de sol sont redéposés dans les zones en aval des bassins versants. Bien que la perte brute de sol sur le bassin versant ait été plus élevée, les quantités de matériaux du sol qui atteignent le lit des rivières dépendent de la valeur de CAS.

Ainsi, le résultat a indiqué une variation dans le temps du taux moyen des sédiments qui a été également due par le changement d'occupation et d'utilisation des sols pendant les périodes étudiées.

Ainsi, le taux moyen de sédiments qui s'est entreposé dans les rivières du bassin de Bushushu est passé de 3,6 ; 9,9 ; et 53,7 tonne/ha/an pendant la période de 1986, 2003 et 2022 respectivement. Celui de bassin versant de Renga est passé de 2,9 ; 4,4 ; et 50,5 tonne/ha/an ; celui de bassin versant de Mubimbi a varié à partir de 2 ; 3,6 à 30,8 tonne/ha/an et enfin celui de bassin versant de Nyamukubi est passé de 4,4 ; 4,6 à 49,6 tonne/ha/an en 1986, 2003 et 2022 respectivement.

En outre, en 1986, 2003 et 2022 le TS total est passé de 6167,4 ; et 17092,4 à 92601,9 tonnes/an dans le bassin de Bushushu ; de 3199,85 ; et 4816,1 ; à 54357,8 dans le bassin de Renga ; de 2924,09 ; et 5354,6 ; à 44705,9 tonnes/an dans le bassin de Mubimbi ; et de 4222,08 ; et 4529,3, à 47339,8 tonnes/an dans le bassin de Nyamukubi.

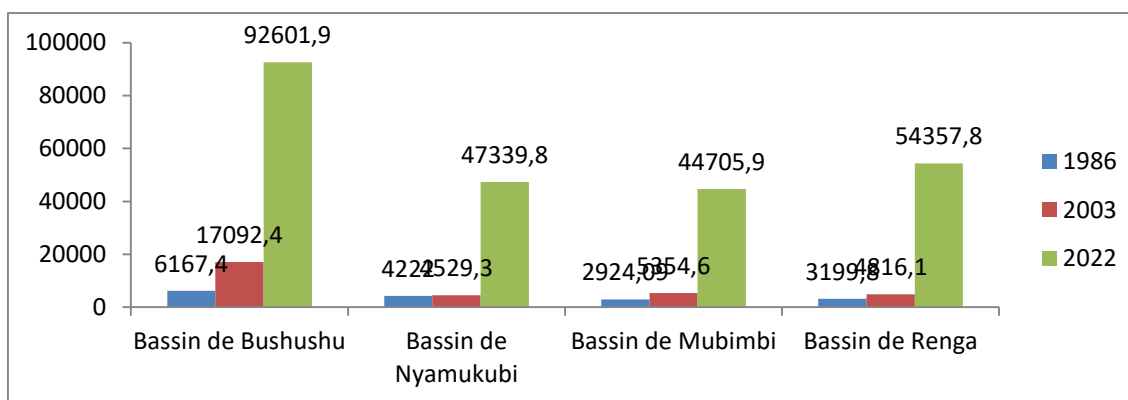


Figure 12: Variation du taux de sédimentation total en tonnes/an

II.5. Moteurs du changement d'occupation et d'utilisation de terres dans la zone d'étude

Depuis deux décennies, le littoral du Lac Kivu est sujet de la dégradation de ces ressources naturelles se traduisant par une déforestation généralisée. Le fait que la majorité des terres forestières aient été perdues, cette conversion des forêts en terres agricoles en raison de la déforestation a entraîné au fil du temps une homogénéisation du paysage, comme on le constate déjà sur les cartes produites. Par ailleurs tel qu'indique le rapport de diagnostic participatif, l'arbre a moins de valeur d'un bananier.

Les principaux facteurs de changement dans l'occupation et l'utilisation des terres dans ces zones sont les conséquences de l'explosion démographique (Plus de 400 personnes par kilomètre carré selon une estimation de 2010) et l'augmentation des activités humaines. En particulier, l'utilisation du bois de chauffage, l'utilisation du bois comme source de revenu, matériau de construction et la

fabrication de charbon de bois sont à l'origine du changement de la couverture forestière dans tous les bassins d'après les résultats d'enquête et les observations faites sur terrain. S'il y a une augmentation de la demande en bois de chauffage, en charbon de bois pour répondre aux besoins énergétiques domestiques, et en bois de construction, dans ces bassins et dans les villes voisines, davantage d'arbres seront coupés. Ce besoin en bois exerce une forte pression sur les ressources locales en bois. Les enquêtes de base ont montré que le pourcentage de la population utilisant du bois de chauffage et du charbon de bois dans les villages d'intervention est de 100 % et que près de 75 % ont déclaré n'avoir jamais participé à une campagne de reboisement communautaire. L'accès à des sources d'énergie alternatives moins chères doit être encouragé pour être utilisé dans la région.

Les conflits ont également entraîné des changements substantiels dans ces bassins. Ces changements dus aux conflits ont été les plus rapides au cours des années 90 dans la région avec l'arrivée des réfugiés comme l'indique différents rapports des DP. Ils auraient eu des impacts négatifs sur la biodiversité, car les zones installées par les réfugiés sont souvent dégradées en raison du défrichage et d'une gestion inappropriée des terres.

II.6. Comprendre le phénomène des crues dans les bassins d'étude

L'observation des faits sur le terrain a permis de modéliser le risque, c'est-à-dire de comprendre tous les aspects liés à l'occurrence régulière des catastrophes naturelles, notamment celles liées aux crues de rivières et les inondations. Après observation, il a été constaté que les caractéristiques géomorphologiques ou les facteurs naturels sont à la base de ce phénomène. Cette géomorphologie du bassin est caractérisée par une partie supérieure dominée par une topographie très abrupte, une roche non fracturée traduite par un faible taux d'infiltration de l'eau, occasionnant ainsi plus de ruissellement de l'eau en grande quantité vers la seconde partie caractérisée par une marge de vallée avec une forte densité de population. C'est-à-dire que le relief joue un rôle important dans l'apparition fréquente des crues des rivières dans ces bassins. Il a également été constaté que l'homme lui-même par la coupe irraisonnée des arbres et la construction sur des sites inadaptés a joué un rôle important dans l'apparition des catastrophes qui le menacent. Ceci s'expliquerait par une déforestation extensive qui a été observée au cours des trois dernières décennies.

Les forêts, avec toute la canopée d'arbres, de buissons et de végétation de couverture, ont pu

couvrir le sol et la terre des collisions avec la pluie, ce qui a diminué le taux de ruissellement de surface ainsi que sa vitesse. Les particules du sol étaient ainsi maintenues en place et la capacité du sol à absorber l'eau était accrue, ce qui empêchait l'érosion du sol. Avec le temps, cependant, cette forêt a disparu, laissant la surface du sol exposée aux effets du ruissellement.

La masse du sol dans une agriculture purement traditionnelle se décompose en particules individuelles ou en particules non cohésives qui, sous l'effet de l'érosion, sont transportées en très grandes quantités d'un endroit à l'autre, généralement du haut vers le bas, où une partie se redépose au pied des montagnes tandis qu'une autre atteint le réseau hydrographique. La quantité qui atteint le système hydrographique dépend principalement du coefficient d'apport sédimentaire, qui est une constante, et du taux d'érosion, qui varie dans le temps. Au fil de temps, cette accumulation de sédiments (sable, limon, pierres, gravier) dans les cours d'eau réduisait la capacité volumétrique de transport de l'eau des cours d'eau, car la saturation des berges se produisait. Ainsi, les cours d'eau et les rivières ne pouvaient pas faire face aux volumes d'eau supplémentaires qui se répandent alors latéralement. L'exploitation extensive de berge de rivières ajoute également une force de compression au sol au-delà de sa capacité et provoque une érosion de berges qui également modifie la direction d'écoulement.

Ainsi, dans ces bassins, l'érosion est le principal problème car elle a un double effet, d'une part elle emporte la couche supérieure du sol qui est riche en nutriments pour la croissance des plantes et d'autre part elle provoque l'accumulation de substrats et de sédiments dans le lit ce qui réduit le lit de la rivière et entraîne le débordement d'un grand volume d'eau.



Figure 13: Feu de brousse



Figure 14: Mauvaises pratiques agricoles sur de pentes très raides

II.7. Mesures préventives de phénomène de crues de rivière

Il s'agit de différentes mesures qui doivent être entreprises pour restaurer l'état physique des bassins versants de leurs états actuels à un état futur ainsi que la stabilisation des lits des rivières. Ces mesures qui mettent principalement l'accent sur la réduction de l'érosion des sols, l'amélioration de la productivité des sols et de l'eau et contrôle le débordement de l'eau dans le lit des rivières, contribuent au développement durable du bassin versant car elles visent la conservation de sol qui joue un rôle important dans la vie socioéconomique et environnement de ces milieux. Ces mesures visent à :

- Augmenter le temps de concentration du ruissellement et permettre ainsi à une plus grande quantité d'eau de ruissellement d'être absorbée et retenue par le sol,
- Intercepter une longue pente en plusieurs courtes de manière à maintenir une vitesse inférieure à la vitesse critique pour l'eau de ruissellement,
- Protéger les berges contre les dommages dus à un écoulement excessif de l'eau.

Ces mesures peuvent être classées en trois groupes dont les mesures mécaniques (ingénierie), les mesures agronomiques, et les mesures biologiques. Ainsi, les mesures d'ingénierie constituent la première ligne de défense car elle a un effet direct sur la réduction de débordements des eaux alors que les mesures agronomiques et biologiques constituent la deuxième et la troisième ligne de défense qui ont respectivement un effet à court, moyen et long termes.

II.7.1. Les mesures mécaniques

Les mesures d'ingénierie/mécaniques comprennent diverses techniques et structures d'ingénierie

construites en travers de la direction de l'écoulement des eaux dans le but de diviser les longues pentes en une série de plus courtes, également dans le but d'augmenter la capacité de rétention de grand volume d'eau par les travaux de maçonnerie et de curage manuel.

Il existe diverses mesures mécaniques dont certaines des mesures importantes sont : Le barrage de retenu d'eau, réhabilitation de ravines, et le terrassement. En plus de ces actions au niveau des bassins versants et de cours d'eau, certaines activités nécessitent des interventions de génie civil pour aménager et entretenir les ponts au niveau de la route afin de faciliter le mouvement de l'eau ainsi que la circulation routière.

II.7.2. Mesures agronomiques

Les mesures agronomiques de conservation des sols et de l'eau permettent de réduire l'impact des gouttes de pluie par interception et donc de réduire l'érosion par effet splash. Ces pratiques permettent également d'augmenter le taux d'infiltration et donc de réduire le ruissellement et le débit de surface. La réduction du ruissellement et des pertes de sol est obtenue grâce aux pratiques de gestion des terres et aux pratiques agronomiques associées. Le couvert végétal protège le sol de l'impact des gouttes de pluie et les graminées et légumineuses produisent un gazon dense qui contribue à réduire l'érosion du sol et la végétation fournit de la matière organique. Il s'agit principalement de : Contours ou courbe de niveau, cultures en bande alternées, paillages, etc.

L'application effective de ces mesures diminuerait l'érosion à plus de 60% .

II.7.3. Mesures biologiques

Les mesures biologiques sont privilégiées car elles sont écologiques, durables et rentables. Le principe est que le sol ne s'érode que s'il est nu et exposé aux forces érosives et que si le sol peut être maintenu sous une couverture végétale permanente ou quasi permanente, alors peu ou pas d'érosion se produira. Par ces mesures, le sol est protégé car l'énergie des plantes ou la percolation jusqu'à la nappe phréatique. Il s'agit de l'agroforesterie, et le reboisement. Ces mesures comportent d'autres avantages dont :

- Restauration des services éco-systémiques
- Restitution de la fertilité du sol par l'apport en matières organiques et la fixation de l'azote atmosphérique,

- Conservation de l'eau et préservation de la biodiversité,
- Réduction de l'érosion jusqu'à 90% par la cimentation de la surface ou la cohésion,
- Séquestration de carbone (le CO₂ du golf de Kabuno),
- Donnera plus de bois pour différents usages.

Tableau 9: La matrice des mesures de contrôle de l'érosion du sol

<i>Classes de pente</i>	<i>Mesures de conservation</i>
0-6%	Courbe de niveau, Cultures en bandes alternées, agroforesterie, labourage en courbes de niveau et culture en couloirs avec bandes herbeuses. Forêts où la profondeur du sol est trop limitée et inadaptée aux cultures
6-16%	Terrasses progressives qui sont renforcées par des haies agroforestières et des bandes herbeuses. Installation des arbres fruitiers.
16-40%	Terrasses en banc; terrasses progressives qui sont renforcées par des haies agroforestières et des bandes herbeuses; arbres fruitiers ; Reboisement (mesures biologiques);
40-60%	Terrasses étroites; Terrasses progressives; Reboisement (mesures biologiques);
>60%	Reboisement (mesures biologiques), arbres fruitiers

Suite aux différentes catégories des pentes et les besoins en arbres selon chaque classe de topographie, les valeurs suivantes (Table 10) peuvent être déduites :

Tableau 10: Le nombre d'arbres à planter selon les pentes

	<i>Priorité 1</i>	<i>Priorité 2</i>	<i>Priorité 3</i>	<i>Besoin par bassin</i>
<i>Pente</i>	>60%	Entre 40 et 60%	Entre 16 et 40%	
Bassin de Renga	1086046,99	2573647,86	2977623,87	6637318,72
Bassin de Mubimbi	830932,40	2209902,09	3548926,19	6589760,68
Bassin de Nyamukubi	503015,88	1104204,36	1574566,07	3181786,31
Bassin de	331536,36	1509523,73	3203796,54	5044856,62

Bushushu			
Total selon la pente	2751531,62	7397278,05	11304912,67

Le nombre d'arbres à planter en fonction de la pente a été estimée en tenant compte de deux facteurs qui sont : la pente de plus de 16% car non recommandable pour les activités agricoles, les cartes actualisées de l'occupation et l'utilisation des sols (excluant les terres bâties, et les zones dominées par les forêts claires).

II.8. Types d'aménagements des rivières

En général, les deux zones d'étude: Masisi et Kalele sont dans deux zones agro-écologiques différentes selon la qualité des sols qui va fortement influencer les actions et les mouvements des cours d'eau étudiés. Toutefois, toutes les rivières tirent leurs sources dans les hauts plateaux en traversant ainsi différents zones agro-écologiques. Au niveau de Bweremama, les rivières vers la partie de la vallée traversent des vastes zones agricoles où en grande partie ce sont les bananiers et les maniocs qui occupent les premiers rangs. Ceci a d'influence directe sur la stabilité des berges qui sont facilement détachés avec les travaux de sol. Certaines espèces agricoles sont fortement détruites et d'une période à une autre les rivières déplacent leurs bassins donnant ainsi même naissance à des conflits fonciers.

II.8.1. Rivière Mweya

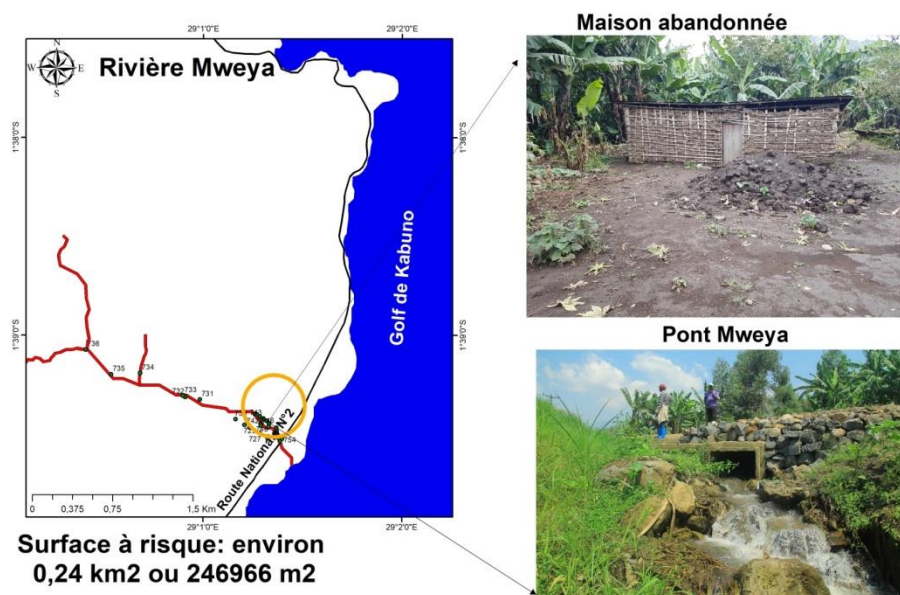


Figure 15: Présentation de la rivière Mweya

Elle ne présente pas de risques particuliers en amont car les berges sont bien stables. C'est à partir de 1 km de la route nationale N°2 que le risque devient imminent du fait de l'exiguïté du lit au fur et à mesure qu'on se rapproche de la route. Ceci constitue un risque majeur lors des fortes pluies car les eaux ne pouvant pas contenir dans la petite conduite et créent ainsi des passages secondaires d'où l'invasion des champs; des habitations et la route. A certains endroits, cette rivière est bouchée par les résidus agricoles et lorsqu'il pleut, ces derniers forment des barrières pour les écoulements où ils se répandent perpendiculairement en occasionnant ainsi de danger aux infrastructures (maisons d'habitation, écoles, église et champs) sur une surface de près de 0,24 km².

Pour la gestion et l'aménagement de cette rivière, quelques travaux sont importants, comme indiqué ci-dessous :

- Sur 500 mètres à partir de l'embouchure; élargir le lit de la rivière ; en augmentant sa profondeur jusqu'à 6 m. Ceci aura pour avantage de réduire l'énergie cinétique des eaux en provenance des hauts plateaux. Mais sur cette section, la partie qui va de la route au lac, il faut toutefois collaborer avec les propriétaires des champs de part et d'autre pour accepter de céder quelques mètres au profit des travaux d'aménagement.
- Sur la partie restante, sensibiliser les exploitants agricoles d'évacuer régulièrement les déchets qui tombent dans l'eau pour éviter les effets néfastes cités ci-haut.
- Ensuite, on peut aussi accompagner les producteurs à installer des arbres agroforestiers ou autres espèces stabilisantes comme les graminées pour maintenir les rives.
- Au niveau du pont sur la route nationale, installer une buse assez large pour pouvoir contenir les masses d'eau qui doivent traverser cette section.





Figure 16: Aperçu du lit de la rivière Mweya et des habitations abandonnées suite aux dégâts de la rivière

On constate que le lit est fortement chargé de différents déchets agricoles et cela influence fortement le mouvement de l'eau. D'où le chavirement de l'eau pendant les périodes de fortes pluies

II.8.2. Rivière Renga

Cette rivière présente un intérêt économique sur la partie de bas-fond au bord de la route. Les sédiments qui sont détachés des collines sont déposés dans cette vallée sous forme de sables exploités continuellement par les habitants. Cela permet de garder cette rivière moins chargée, ce qui évite des dégâts en aval.

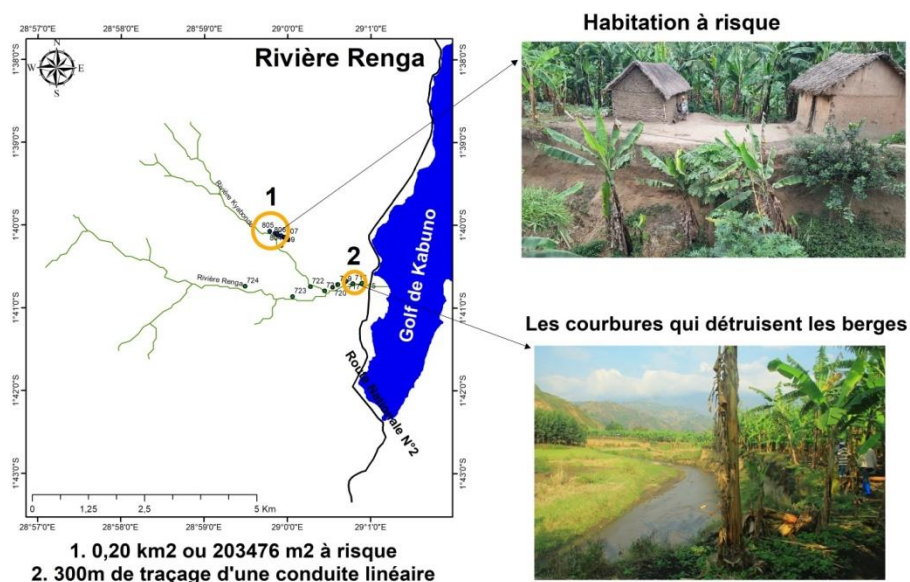


Figure 17: Présentation de la rivière Renga

Toutefois, en vue de renforcer ces mécanismes et garder la rivière hors d'état de nuire, on peut envisager quelques aménagements:

- Le pont Renga est bien solide mais certaines parties sont progressivement envahies par les eaux. Il y a lieu de le renforcer avec des constructions en maçonnerie ou des murailles en pierres.
- La partie en aval du pont est moins aménagée car ne constituant pas un réservoir de sable à exploiter. Ceci constitue un danger car l'eau sort d'un bassin très large où on exploite le sable et rencontre une canalisation réduite en aval. D'où la nécessité d'élargir les berges en ayant la même section que celle des parties faisant l'objet d'exploitation du sable.
- La rivière présente des berges très fragiles qui portent beaucoup de fissures jusqu'au niveau de l'Institut Kichanga. Le cours d'eau change de direction à tout moment en détruisant des vastes étendues agricoles qui deviennent moins apte pour la production agricole car fortement érodées. Il y a lieu de tracer certains conduits linéaires et parallèles au sens initial du cours d'eau, pour réduire les forces de collusion qui fragilisent et détruisent les berges.
- Encadrer les exploitants agricoles riverains à adopter des pratiques agricoles durables ne pouvant pas fragiliser les rives du cours d'eau (ex: laisser quelques mètres sur la rive, y installer des herbes fixatrices du sol; ne pas planter des arbres à fort enracinement pour éviter une accélération de la dégradation).



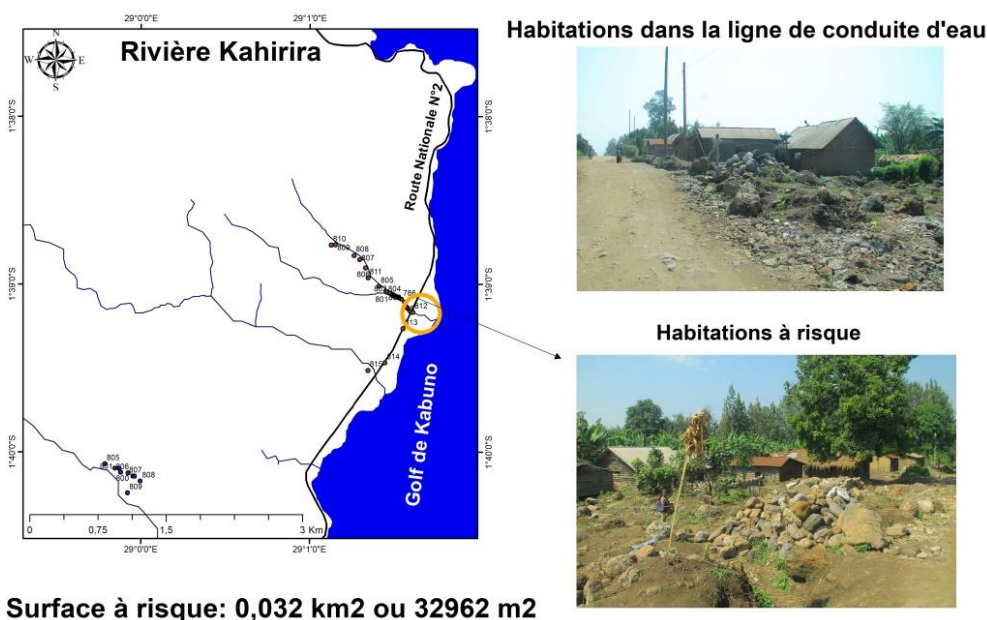
Figure 18: Aperçu du paysage de la rivière Renga ainsi que les dégâts de la rivière

Le sol dans le bassin versant de la rivière est très sablonneux et très fragiles suite à l'érosion. Des champs entiers sont détruits suites aux déviations de ces berges et cela peut même être à la base des tensions foncières entre les communautés. Une bonne partie de l'école est inutilisable suite aux mêmes dangers. Mais aussi, il faut remarquer que la mise en culture de collines surplombant cette rivière constitue aussi un grand risque de dégradation de l'environnement avec le déplacement des sédiments.

II.8.3. La rivière Kahirira

En réalité, Kahirira n'est pas une rivière ; on ne la voit même pas traverser la route pour se jeter dans le lac Kivu. Mais au bord de la route, on voit un gros ravin qui ressemble à une rivière en pleine tarissement. En avançant à 800 m de la route, on s'aperçoit des faibles ruissèlements d'eau qui s'infiltrent en provenance de la partie en amont dans le haut plateau. Cette situation paraît étrange et elle nécessite des analyses et interventions particulières.

En effet, lorsqu'il pleut, ces ravins constituent un réservoir d'eau provenant de part et d'autre de collines et qui coule directement vers les bas (la route). N'ayant pas de sorties jusqu'au lac, l'eau se déverse dans les habitations au-delà de la route en causant ainsi des dégâts énormes.



Surface à risque: 0,032 km² ou 32962 m²

Figure 19: Présentation de la rivière Kahirira

Pour l'aménagement, il est possible d'envisager diverse options:

- En premier lieu, placer une buse sur la route et creuser cette canalisation jusqu'au niveau du lac. Cela permettrait d'orienter uniformément ces masses d'eau venant des hautes terres et qui sont dispersées dans les vallées le long de la route nationale
- Evacuer certains ménages localisés dans la ligne de conduit de ces ravins après la route. Il n'est pas exclu de penser que ce ravin fut une rivière qui a été bouchée avec les sédiments en provoquant ainsi cette infiltration d'eau avant d'atteindre l'embouchure.
- Evacuer les résidus des cultures qu'on rencontre à divers endroits le long de cette canalisation



Figure 20: Quelques dégâts causés la rivière Kahirira

Comme signalé ci-haut, la rivière Kahirira est inerte pendant les périodes sèches. Aucune sortie de la rivière n'est visible jusqu'au niveau de l'embouchure mais cette infiltration totale de l'eau

avant d'arriver au niveau de la route principale est à craindre. Quand il pleut abondamment, l'eau ne pouvant s'infiltrer totalement, elle se déverse sur les parties en amont ; d'où les destructions des maisons et d'autres infrastructures.

II.8.4. Rivière Mubimbi

Cette rivière traverse un vaste marais de cannes à sucre sur une longueur de plus de 10 km avant de se jeter dans le lac. Sur son passage, plusieurs infrastructures sont souvent envahies dont les habitations, les écoles, etc. Elle prend aussi sa source dans les hauts plateaux avant de traverser la route et se jeter dans ce vaste marais où elle a plusieurs courbures qui constituent en soi un danger. Quand il y a collusion dans ces courbures, il y a destruction des berges ainsi que des inondations.

Pour entretenir cette rivière; il est possible d'entreprendre certaines mesures :

- Réduire certaines courbures en traçant des conduits linéaires ;
- Stabiliser les berges en installant certaines espèces des graminées et autres arbres à usage multiples ;
- Interdire de labourer la bordure de la rivière au risque de fragiliser les berges

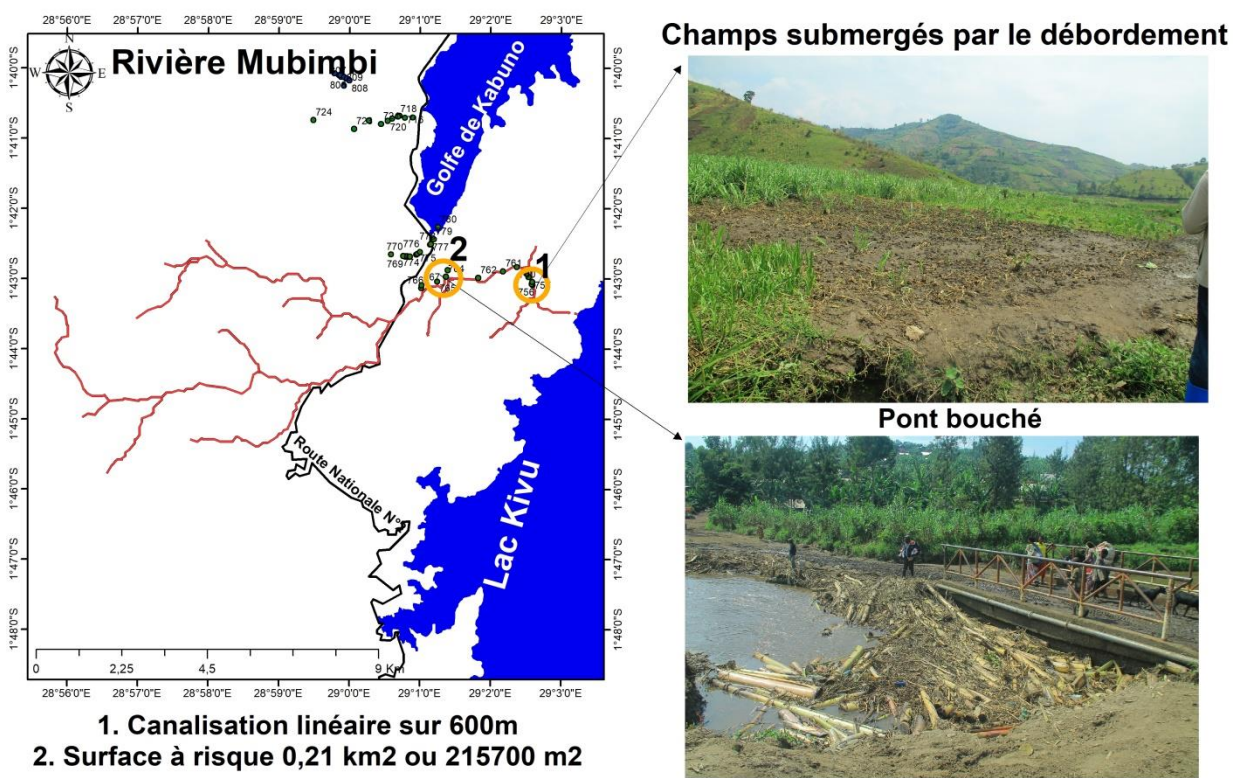


Figure 21: Présentation de la rivière Mubimbi e

II.8.5. Rivière Kilalo/Luoma

Cette rivière qui traverse le centre commercial et le marché de Minova constitue un dépotoir pour des déchets de toute sorte qui sont jetés dans son lit et qui bloquent parfois l'écoulement des eaux. A plus de 500m en amont et à partir du pont situé au centre commercial de Minova, la rivière est sujette aux destructions de berges du fait des éboulements, ce qui engendre des conflits fonciers entre riverains. Il est cependant demandé aux propriétaires de champs aux bords de cette rivière le strict respect de 10m de rive de part et d'autre. Il est aussi impératif que les riverains respectent les bonnes pratiques agricoles qui stabilisent les berges en réduisant ainsi les glissements de terrains.

II.8.6. Rivières Chishova et Nyamukubi

La rivière Chishova qui est l'un des affluents de la Rivière Nyamukubi tire sa source dans les hauts plateaux, et passe par le Centre du sous village Nyamukubi. A son passage, elle représente un gros risque essentiellement pour les champs et les maisons d'habitation. Le long de cette rivière on retrouve de grosses pierres de taille d'une maison qui souvent désorientent la direction des eaux en cas de fortes intensités de pluies et causent ainsi des dégâts en aval. Il est ainsi important qu'il y ait d'intervention des engins pour casser ces pierres.

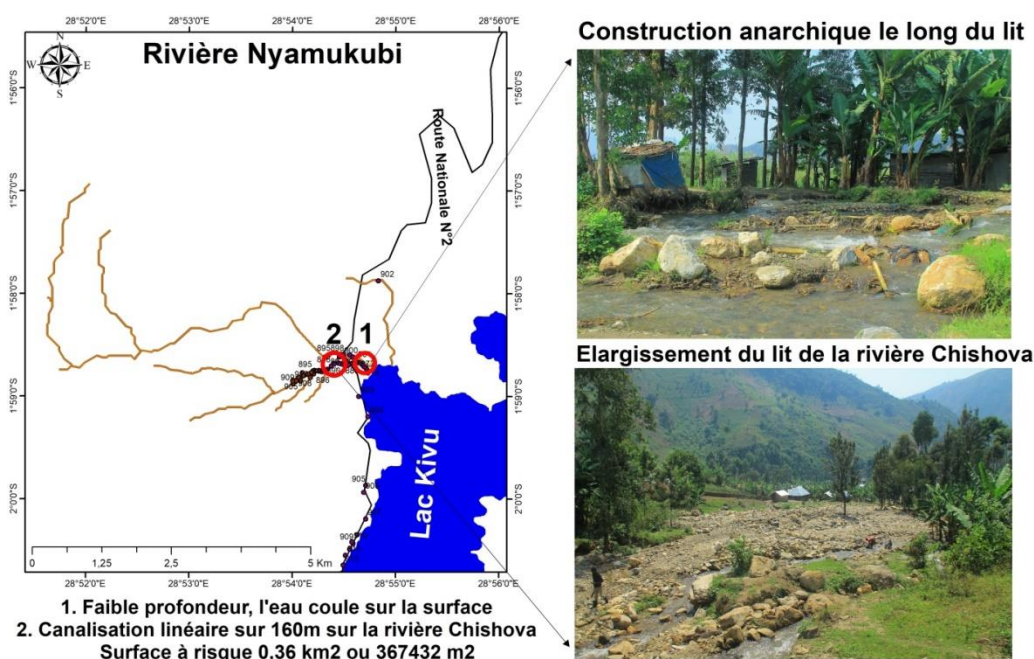


Figure 22: Présentation des rivières Chishova et Nyamukubi ainsi que quelques dégâts

II.8.7. Rivière Nyalunkumba

Cette rivière est connue par son potentiel destructeur et surtout par les dégâts qu'elle a causés lors de la dernière crue en 2012 ayant causé la mort de plusieurs dizaines de personnes. Cette rivière a normalement une largeur de presque 3 m. Dans la dernière crue, on a constaté qu'elle s'est élargie jusqu'à plus de 30m de large.

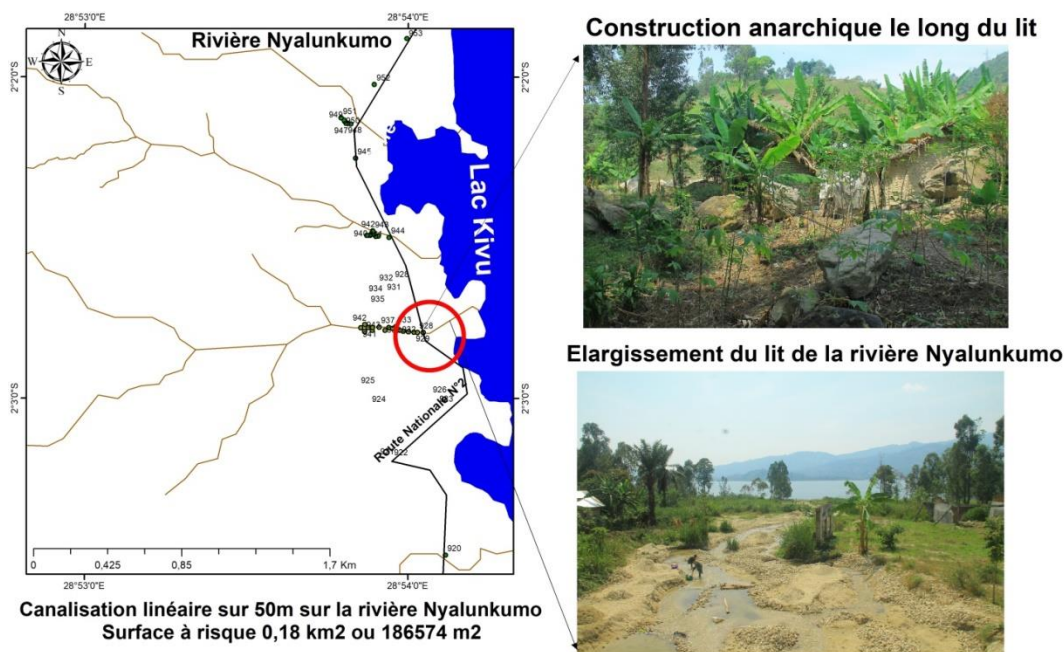


Figure 23: Présentation de la rivière Nyalunkumba

Tout comme la Rivière Renga dans le bassin de Bweremana, cette rivière est entourée de collines sablonneuses ; le sable se déverse dans la rivière et est continuellement exploité par les riverains ; ce qui contribue à son curage. Néanmoins, il est plus important que des gabillons soient installés près du pont afin d'éviter le débordement de l'eau vers la route. Il est aussi important d'augmenter la profondeur de la rivière afin qu'elle contribue à contenir les excès de l'eau dans le lit et éviter ainsi le débordement.



Figure 25: Quelques points dégradés sur la rivière Nyalunkumba

II.8.8. Rivière Lukungula

La rivière Lukungula présente un niveau de danger imminent par la présence de grosses pierres le long de la rivière, de quelques mètres à partir du pont jusqu'à une grande distance en amont. La rivière coule régulièrement sur une largeur de 3 à 4 m mais celle-ci atteint plus de 30m en cas de fortes pluies, mettant ainsi en danger les maisons construites jusqu'à 40 m de part et d'autre de ses rives. En termes d'intervention il est recommandé que les berges soient protégées par une plantation de bambous de long de cette rivière afin de les stabiliser. Il est principalement recommandé l'intervention des engins lourds pouvant déplacer ces grosses pierres du lit d'écoulement et les entreposer le long de berges afin de protéger celles-ci de glissements.

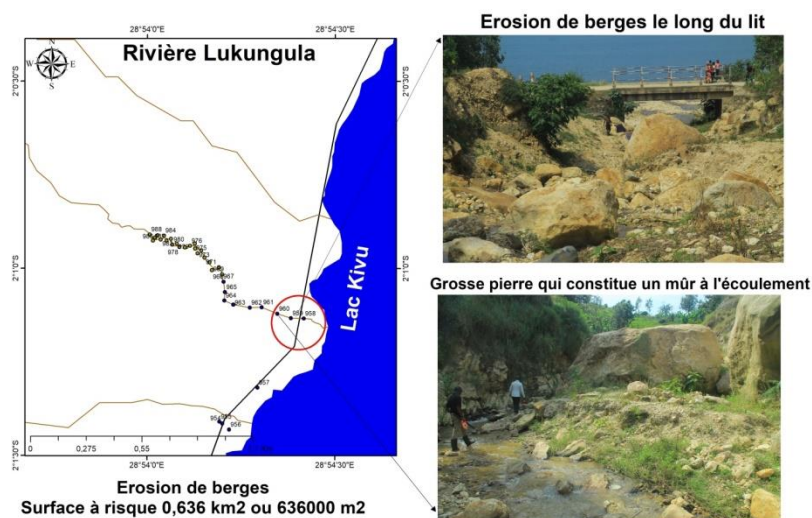


Figure 25 : Présentation de la Rivière Lukungula

II.8.9. Caniveau de Budondo

Ce canal tire sa source dans le sous village Buhumba, traverse le quartier Budondo (au centre de Minova) d'où il se jette dans le lac Kivu. Le caniveau collectionne les eaux de pluies provenant des habitations aux alentours depuis la source jusqu'à son embouchure sur une distance de 1277m soit 1,28 km. La collection de ces eaux présente un danger aux usagers de la route en cas de fortes averses faute d'une mauvaise canalisation et l'absence d'entretien à plusieurs endroits mais aussi à cause de l'exiguïté du caniveau qui ne lui permet pas de contenir le volume des eaux. On notera également la présence des immondices, déchets ménagers, substrats de toute sorte qu'on retrouve dans le caniveau et qui réduit davantage la surface d'écoulement en occasionnant ainsi le débordement. La responsabilité de l'entretien pourrait incomber aux propriétaires des parcelles riveraines du caniveau car ce sont eux qui en tirent plus de conséquences. Il est également important que chaque habitation installe un système de collection des eaux de pluies pour diminuer le ruissellement des eaux de surface.



Figure 27 :Présentation du Caniveau de Budondo

CONCLUSION

Les cours d'eau qui tirent leurs sources dans les collines surplombant le lac Kivu constituent des dangers permanents pour les communautés riveraines. La déforestation observée au cours de ces trois dernières décennies a eu un impact considérable sur la dégradation des sols et l'amplification du danger que représentent ces rivières.

La présente étude inscrite dans le cadre du projet ATEDD avait pour but de caractériser certaines rivières potentiellement dangereuses dans les territoires de Masisi (Nord Kivu) et Kalehe (Sud Kivu), en vue de faire ressortir leur niveau de dangerosité mais aussi de suggérer quelques mesures pouvant permettre aux communautés de continuer à vivre avec ces rivières. Les résultats de l'étude montrent que les actions humaines à travers la déforestation des bassins versants sont parmi les facteurs à la base des dégâts causés par ces dernières. Dans ces conditions, les actions proposées vont dans le sens de la restauration de la verdure à des travaux de grande envergure impliquant ceux de maçonnerie là où le danger se pose avec plus d'acuité. Toutefois, le contexte de la zone d'étude caractérisé par une diversité des paysages que traversent ces rivières, milite pour une approche communautaire pour les différentes actions à entrevoir sur ces rivières.

Pour les rivières qui font l'objet de cette présentation, certains aménagements sont recommandés :

1. Reboisement à grande échelle,
2. Augmentation de la hauteur des rivières (cas de Mweya) par les travaux de curage pour réduire le débordement,
3. Installation d'une buse et la construction des ponts pour permettre une conduite normale du volume d'eau,
4. Protection de berges le long de certaines rivières par l'installation des espèces arbustives comme le bambou pour soutenir les berges
5. Il est recommandé que les engins déplacent les grosses pierres qui souvent désorientent la direction des eaux vers les rives, le rendant ainsi fragile.

Les actions à mener dans ces entités nécessitent des interventions multi-variées avec la participation de divers acteurs. En plus des actions du projet ATEED, les communautés locales ainsi que les structures gouvernementales doivent être activement impliquées. Des interventions à court et long termes sont donc envisageables à tous les niveaux.

