UNIVERSITÉ DU BURUNDI
GRENIER DU SAVOIR DU BURUNDI
Dépôt institutionnel officiel
https://repository.ub.edu.bi

Dynamique des glissements de terrain dans la zone des piémonts de la ville de Bujumbura : cas de Mugoboka

Niragira, Espérance

2023-04
UB, Faculté des Sciences
https://repository.ub.edu.bi/handle/123456789/373

Document téléchargé depuis le **Grenier du Savoir du Burundi** — https://repository.ub.edu.bi

UNIVERSITE DU BURUNDI

FACULTE DES SCIENCES

MASTER EN SCIENCES ET GESTION INTEGREE DE L'ENVIRONNEMENT

OPTION : GENIE DE L'ENVIRONNEMENT

DYNAMIQUE DES GLISSEMENTS DE TERRAIN DANS LA ZONE DES PIEMONTS DE LA VILLE DE BUJUMBURA : CAS DE MUGOBOKA

Mémoire présenté et défendu publiquement en vue de l'obtention du diplôme de
Master en Sciences et Gestion intégrée de l'Environnement

Par

NIRAGIRA Espérance

Sous la direction de :

Prof. Louis NAHIMANA

Bujumbura, Avril 2023

MEMBRES DU JURY

Prof SINDAYIHEBURA Anicet	: Président
Dr NTIHARIRIZWA Seconde	: Secrétaire
Prof Ir NIJIMBERE Severin	: Membre
Prof NAHIMANA Louis	: Directeur

DEDICACE

A ma regrettée mère et à mon père pour tout effort qu'ils ont fourni afin que je sois ce que je suis ;

A mon époux pour le soutien et la compréhension ;

A mes enfants pour leur patience ;

A mes frères et sœurs, leurs épouses et époux ainsi que leurs progénitures pour la solidarité et le courage qu'ils témoignent ;

A ma belle-famille ;

A tous ceux qui me sont chers.

Je dédie ce mémoire

REMERCIEMENTS

Au terme de ce travail, il m'est opportun de présenter mes sincères remerciements à toutes les personnes qui, de près ou de loin ont contribué à sa réalisation.

Mes remerciements s'adressent en premier lieu au Professeur Louis NAHIMANA promoteur de ce thème de recherche et qui, malgré ses multiples occupations a accepté de guider notre recherche. Sa rigueur scientifique et ses conseils m'ont été d'une importance notable dans la progression de ce travail.

Mes remerciements vont ensuite aux membres de jury : pour avoir accepté de présider le jury de mon mémoire et qui m'ont fait l'honneur d'accepter d'être mes examinateurs. Leurs idées me seront sans doute très utiles pour la suite de cette recherche.

Je tiens à exprimer mes sincères remerciements ainsi que ma grande gratitude envers tous mes enseignants du cycle de Master et en particulier ceux de « Génie de l'Environnement » à l'Université du BURUNDI.

Que mes parents, mon époux, mes frères et sœurs, pour leurs sacrifices et soutien tant matériel que moral qu'ils n'ont jamais cessé de me témoigner au cours de ma formation trouvent dans ce travail le couronnement de leurs efforts.

Nous tenons particulièrement à exprimer notre profonde reconnaissance à la famille du regretté SAKUBU Manassé et celle de MWARI Justin pour leur concours dans notre scolarité. Leurs conseils et leur encouragement nous ont été d'une grande utilité. Je souhaite également remercier mes collègues et amis pour leur esprit fraternel et avec qui j'ai passé des bons moments.

A tous et à chacun, pour vos contributions respectives, nous réitérons notre profonde et indéfectible gratitude.

NIRAGIRA Espérance

RESUME

La zone d'étude qui est la partie de la ville de Bujumbura et située aux piémonts entre la plaine et les contreforts des Mumirwa est favorable à de nombreux mouvements de terrain et autres phénomènes érosifs. Parmi ceux-ci, les glissements de terrain sont un phénomène brusque, imprévisible et souvent catastrophique au point de vue socio-environnemental.

L'objectif de ce travail est de mieux appréhender l'évolution et la dynamique des glissements de terrain localisés de part et d'autre de MUGOBOKA.

La nature lithologique des terrains sujets à ces glissements sont des formations gneissiques très altérées en amont et des dépôts argileux en aval. L'évolution de ces glissements de terrain a été analysée sur une période de 15ans, c'est à dire entre 2007 et 2022. A l'aide des outils de QGIS et GOOGLE EARTH, on a parvenu à digitaliser les anciennes cartes topographiques de Bujumbura et à déduire des modèles numériques de terrain des années antérieures ainsi que le modèle numérique de terrain actuel.

Par calcul, la surface de terre glissée correspond à 32944.79m^2 sur une période de 15ans et on en déduit la surface glissée par an qui équivaut à 2196.32m^2 /an soit 0.219632ha/an. Avec ces valeurs on peut prédire l'évolution de ces glissements dans les années à venir.

Les causes de ces glissements de terrain peuvent être naturelles (géologie du terrain, géomorphologie, dérèglement climatique) ou anthropiques comme extraction des matériaux dans et au bord des rivières, déforestation.

ABSTRACT

The study area which is part of Bujumbura city, located in the foothills in the region of Mumirwa is favorable to many landslides and other erosive phenomena. Among these, landslides are a sudden, unpredictable and often catastrophic phenomenon from a socioenvironmental point of view.

The objective of this work is to better understand the evolution and dynamics of landslides located on either side of MUGOBOKA.

The lithological nature of the land subject to these landslides is highly altered gneissic formations upstream and clayey deposits downstream. The evolution of these landslides was analyzed over a period of 15years, between 2007 and 2022. Using the tools of QGIS, GOOGLE EARTH, we managed to digitize the old topographic maps of Bujumbura and to deduce digital terrain models from previous years as well as the current digital terrain model.

By calculation, the surface of land slipped is corresponds to 32944.79m2 over a period of 15 years and we deduce the surface slipped per year which is equivalent to 2196.32m2 / year or 0.219632ha / year. Which these values, we can predict the evolution of these shifts in the years to come.

The causes can be natural (the land's geology, geomorphology, climate deregulation) or anthropogenic such as (extraction of materials in the rivers, deforestation).

The causes of these landslides can be natural (geology of the land, geomorphology, climate change) or anthropogenic extraction of materials in and on the banks of rivers, deforestation.

TABLE DES MATIERES

MEMBRES DU JURY i

DEDICACE ii

REMERCIEMENTS iii

RESUME iv

ABSTRACT v

TABLE DES MATIERES vi

LISTE DES SIGLES ET ABREVIATIONS ix

LISTE DES TABLEAUX x

LISTE DES FUGURES x

AVANT-PROPOS xi

CHAPITRE I : INTRODUCTION GENERALE 1

I.1. Cadre de l'étude 2

I.2. Objet de l'étude 2

I.3. Problématique 3

I.4. Approche méthodologique 3

I.5. Matériels 3

CHAPITRE II : THEORIE GENERALE SUR LES MOUVEMENTS DE TERRAIN ... 4

II.1. Concepts et définitions 4

II.1.1. Risques naturels 4

II.1.2. Risques hydrologiques 5

II.1.3. Risques géologiques 5

II.2. Typologies et classification des mouvements de terrain 6

II.2.1. Introduction 6

II.2.2. Types des mouvements de terrain 6

II.2.3. La classification des mouvements gravitaires 11

II.2.3.1. Classification de Varnes 11
II.2.3.2. Déclenchement des mouvements de terrain 12
II.3. Les facteurs de déclenchement des mouvements de terrain 13
II.4. Contexte de la zone d'étude 13
II.4.1. Localisation géographique 13
II.4.2. Le contexte géologique 14
CHAPITRE III : CONTEXTE DES MOUVEMENTS DE MASSE DE MUGOBOKA 16
III.1. Contexte général 16
III.2. Contexte géologique 17
III.2.1. Lithologie 17
III.2.2. Tectonique 17
III.3. Contexte climatique 17
III.4. Contexte géomorphologique 18
III.5. Occupation du sol 19
CHAPITRE IV: DESCRIPTION DES GLISSEMENTS DE MUGOBOKA 20
IV.1. Glissement 1 de Mugoboka I 21
IV.2. Le glissement 2 de Mugoboka 1 22
IV.3. Les glissements de Mugoboka 2 25
IV.4. Le glissement de Sororezo 27
CHAPITRE V: EVOLUTION DES GLISSEMENTS DE TERRAIN DE MUGOBOKA 30
V.1. Introduction 30
V.2. Méthodologie 30
V.3. Présentation des résultats et discussion 30
Conclusion 34
CHAPITRE VI : LES CAUSES DE GLISSEMENTS DE TERRAIN DE MUGOBOKA 35

VI.1. Les paramètres naturels 35
VI.1.1. Paramètres naturels géologiques 35
VI.1.2. Paramètres naturels géomorphologiques 35
VI.1.3. Paramètres naturels liés à l'eau et le climat 36
VI.1.3.1. L'eau 36
VI.1.3.2. Le climat 36
VI.2. Les paramètres anthropiques 37
CHAPITRE VII : CONCLUSION GENERALE ET SUGGESTIONS 38
VII. 1. Conclusion générale 38
VII. 2. Suggestions 39
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES 41
ANNEXE 44

LISTE DES SIGLES ET ABREVIATIONS

℃ : Degré Celsius

LCND : Lycée Clarté Notre Dame

LNBTP : Laboratoire National du Bâtiment et des Travaux Publics

OFEV : Office Fédérale de l'Environnement

ORRM : Observatoire Régional de Risques Majeurs

RRC : Réduction des Risques de Catastrophe

UNDRR : Bureaux des Nations Unies pour la Réductions des Risques

OBM : Office Burundais des Mines et Carrières

IGEBU : Institut Géographique du Burundi

LNBTP : Laboratoire National du Bâtiment et des Travaux Publics

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Les mouvements de terrain selon la vitesse de déplacement 10

Tableau 2 : Classification des mouvements gravitaires selon Varnes (1978)..... 12

Tableau 3 : Valeurs des pentes de certaines zones instables..... 36

LISTE DES FUGURES

Figure 1 : Type de mouvements de terrain (NAHIMANA dans le cours : Risques géologiques et hydrogéologiques, 2019). 8

Figure 2: Compétition entre la contrainte de cisaillement motrice et la contrainte de cisaillement résistante le long de la ligne de glissement. 13

Figure 3 : Carte de localisation de la zone d'étude 14

Figure 4 : Extrait de la carte géologique (Feuille Bujumbura) Source : Office Burundais des Mines et Carrières (OBM) 15

Figure 5 : Relief caractéristique du périmètre urbain de Bujumbura 16

Figure 6 : Carte des précipitations au voisinage de Bujumbura..... 18

Figure 7 : Paysages urbains de la ville de Bujumbura 19

Figure 8: Les glissements de Mugoboka sur la Carte topographique (Auteur) 20

Figure 9 : Glissement 1 de Mugoboka I..... 21

Figure 10 : Glissement 1 de Mugoboka I sur la carte topographique (Auteur) 22

Figure 11 : Glissement 2 de Mugoboka I..... 23

Figure 12 : Glissement de Mugoboka II sur la carte topographique (Auteur) 24

Figure 13 : Glissement de Mugoboka 2 (Auteur) 25

Figure 14: Glissement de Mugoboka II sur la carte topographique..... 26

Figure 15: Glissement de Sororezo sur la carte topographique..... 27

Figure 16 : Délimitation des glissements de terrain de Mugoboka..... 31

Figure 17 : Délimitation des glissements de terrain de Mugoboka..... 32

Figure 18 : Evolution des glissements de terrain de Mugoboka et Sororezo entre 2007 et 2022 33

Figure 19 : Les glissements de Mugoboka et Sororezo sur la Carte topographique..... 34

AVANT-PROPOS

Au cours de mon cursus dans la faculté des sciences, j'étais passionnée par les domaines de la gestion des risques naturels et en particulier les glissements de terrain.

Les glissements de terrain, les éboulements et autres phénomènes érosifs restent un problème sérieux dans la zone des piémonts de la ville de Bujumbura et constituent une menace aux populations et à leurs biens.

Ce mémoire rentre dans le cadre d'un travail de recherche qui a été menée en vue de l'obtention du Diplôme de **Master en Sciences et Gestion Intégrée de l'Environnement** à l'Université du Burundi.

L'objectif était de contribuer à comprendre la dynamique des glissements de terrain menaçant la ville de Bujumbura et surtout ceux de Mugoboka et proposer des solutions pour atténuer et gérer les risques de glissements de terrain.

La deuxième partie de ce mémoire est rédigée à l'aide des photos et cartes pour une meilleure illustration des modèles numériques de terrain.

Je remercie très vivement ceux qui ont contribué à la réussite de cette présente recherche.

Mes remerciements vont de ce pas à tous ceux qui liront, comprendront, et surtout ceux qui trouveront un intérêt scientifique dans ce travail.

Je ne peux pas oublier de remercier les futurs chercheurs, ceux qui seront motivés par ce travail et se contenteront de l'améliorer par des études complémentaires.

CHAPITRE I : INTRODUCTION GENERALE

Les glissements de terrain sont connus comme le mouvement de roches, de débris ou de sol sur une pente sous l'influence de la gravité (Laribi, 2015).

Le phénomène de glissement de terrain est considéré comme danger naturel permanent rencontre dans tous les pays du monde car l'importance des effets des glissements pouvant engendrer des dégâts humains et matériels peut se chiffrer en plusieurs millions de dollars dont les gouvernements doivent prêter beaucoup d'attention.

Dans le périmètre urbain de Bujumbura, il y a beaucoup de glissements de terrain surtout dans la zone des piémonts entre les contreforts et la Plaine. La présente étude est focalisée sur les glissements de terrain situés de part et d'autre du quartier Mugoboka.

Compte tenu de la géomorphologie des paysages des Mirwa, on comprend directement le caractère très sensible de ces versants aux glissements de terrain et à l'érosion du sol. En outre, cette région qui connaît une croissance démographique importante, notamment avec le développement de la ville de Bujumbura, ressort comme un des endroits les plus touchés par les glissements de terrain. Face à une forte croissance démographique et en l'absence de planification urbaine adéquate, les populations sont souvent forcées de s'installer sur des pentes instables et cela fait que certains versants glissent avec des habitations qu'ils portent. De plus, les habitants ne sont pas toujours au courant de la présence de glissements de terrain dans la région et ne réalisent pas toujours que leur intervention peut affecter la stabilité d'un site. Les glissements de Mugoboka, connus pour être actif depuis plusieurs années, sont de taille assez représentative par rapport à d'autres glissements de terrain dans la région.

Pour cela, il faut voir le dynamisme du glissement afin d'évaluer le danger qu'il représente dans un futur proche afin de prendre les préoccupations et trouver les meilleures solutions de protections.

Pour bien mener cette étude, le travail est divisé en six chapitres :

Chapitre I : Introduction générale

Chapitre II : Theorie générale sur les mouvements de terrain

Chapitre III : Contexte des mouvements de masse de Mugoboka

Chapitre IV: Description des glissements de Mugoboka

Chapitre V: Evolution des glissements de terrain de Mugoboka

Chapitre VI : Les causes de glissements de terrain de Mugoboka

Chapitre VII : Conclusion generale et Suggestions

I.1. Cadre de l'étude

Le travail ici présent va s'intéresser aux glissements de terrain de Mugoboka. En général, les glissements de terrain observés dans la localité de Mugoboka sont liés aux facteurs intrinsèques du sol et à des pentes. Ils sont plus localisés le long des cours d'eau et dans les parties en amont situés sur les contreforts des Mirwa.

Des dégâts causés par les glissements de terrain sont enregistrés dans certaines localités de Bujumbura. Le cas le plus frappant est la destruction d'un village de 12 maisons à Mugoboka 1, l'abandon du LCND de Vugizo avant de citer d'autres tel que les maisons de grande valeur détruites ou fissurés à Mogoboka et à Kigobe le long de la rivière Ntahangwa. Les cultures vivrières en sont aussi victimes chaque fois qu'il s'est produit un glissement de terrain. Il peut s'en suivre les conflits fonciers au sein des communautés locales puisque les parcelles se confondent.

I.2. Objet de l'étude

Le but de notre travail est d'étudier l'évolution et rechercher les causes et les facteurs responsables de ces glissements de terrain.

En effet, la nature lithologique des terrains en question, l'activité anthropique, le décalage brusque de l'altitude entre les contreforts des Mirwa et la plaine de l'Imbo ainsi que d'autres paramètres sont aussi à considérer comme causes de ces instabilités de terrain.

Les glissements de terrain de Mugoboka évoluent de façon alarmante et présentent des impacts importants pour les activités socio-économiques. L'étude de ces risques naturels est nécessaire parce que peut permettre aux institutions chargées d'acquérir les espaces à bâtir auprès du Ministère en charge de l'environnement, de délimiter les zones d'instabilités et à appliquer les procédés et méthodes pour minimiser les dégâts pouvant survenir et/ou valoriser ces zones.
Le choix de la localité de MUGOBOKA est lié au fait que les glissements de terrain de Mugoboka ont causé beaucoup de dégâts comme destruction des maisons d'habitation ou

d'autres infrastructures que ce soient public ou privés. Il y a également des parcelles et autres propriétés qui sont supprimées ou disparues avant leur mise en valeur. De plus, la région de la Capitale nationale constitue un endroit stratégique, cette région faisant face à une importante expansion urbaine, les nouveaux quartiers empiètent de plus en plus sur des zones d'instabilité.

I.3. Problématique

Depuis quelques décennies, les phénomènes catastrophiques semblent advenir à un rythme plus accéléré et potentiellement plus dangereux et plus dévastateurs (les Catastrophes, la pression foncière en rapide augmentation liée à un accroissement démographique important).

L'exacerbation des conséquences des catastrophes est liée à deux facteurs majeurs : les dérèglements climatiques (pour l'augmentation de l'occurrence des phénomènes) et l'expansion urbaine, conséquence de la croissance démographique (pour l'augmentation de personnes et des infrastructures affectées par ces phénomènes).

Dans certains cas, une catastrophe peut remettre en cause le processus de développement et effacer des années d'efforts, faisant parfois régresser les populations à des niveaux de pauvreté inférieurs.

I.4. Approche méthodologique

Mon travail est plus centré sur le travail de terrain pour observation et prise de données et coordonnées, les enquêtes écrites, la consultation de la documentation existante, analyse des données fournies par les cartes géologiques et topographiques, les photos aériennes ainsi que des observations à partir des images satellitaires qui nous sont gratuitement disponibles, traitement des données et interprétation.

I.5. Matériels

- GPS : Global Positionning System pour localiser le phénomène et collecter les données sur terrain ;
- Appareil photo ;
- Les cartes de Bujumbura ;
- Les photographies aériennes ;
- Les imageries satellitaires.

CHAPITRE II : THEORIE GENERALE SUR LES MOUVEMENTS DE TERRAIN

II.1. Concepts et définitions

II.1.1. Risques naturels

Une définition communément admise du risque naturel est l'équation : risque naturel = phénomène naturel générateur de dommage x vulnérabilité (Thouret et al, 2015).

Un risque naturel implique l'exposition des populations humaines et de leurs infrastructures à un évènement catastrophique d'origine naturelle.

On y distingue principalement : les avalanches, les inondations, les mouvements de terrain, les éboulements rocheux, les coulées boueuses, les séismes et éruptions volcaniques. Un risque naturel est donc la rencontre entre un aléa d'origine naturelle et des enjeux humains, économiques ou environnementaux. On parle de risque majeur lorsque les dégâts et le nombre de victimes sont importants.

Entre 2005 et 2015, les catastrophes naturelles ont touché 1,5 milliard de personnes, faisant 700 000 morts, 1,4 million de blessés et 23 millions de sans-abri, selon le Cadre d'action de Sendai pour la réduction des risques de catastrophe 2015-2030 élaboré par le Bureau des Nations Unies pour la prévention des catastrophes (UNDRR).

Un glissement de terrain est un phénomène où une masse de terre descend sur une pente, suivant une surface de glissement plus ou moins continu, plan ou incurvé (Yannick et al., 2008) .

Les glissements de terrain sont connus comme le mouvement de roches, de débris ou de sol sur une pente sous l'influence de la gravité.

Le terme "glissement de terrain" décrit une grande variété de processus qui entraînent le mouvement descendant et extérieur des matériaux formant des pentes, notamment la roche, le sol, le remblai artificiel ou une combinaison de ceux-ci (NAHIMANA dans le cours : Risques géologiques et hydrogéologiques, 2019). Les matériaux peuvent bouger en tombant, en basculant, en glissant, en se répandant ou en coulant.

Aléas : Les aléas sont désignés sous le vocable "mouvements de masse'' et correspondent aux glissements de terrain, coulées de boue, coulée de débris, éboulements, écroulement, ravinement. En général, il s'agit de déplacement en masse de matières rocheuses et terreuses

sous l'effet de la gravité, suite à un déséquilibre. Elles résultent d'une géologie particulière des terrains (pente, faille, altération, érosion), accentuée par des facteurs hydrologiques.

Une catastrophe est définie par (Oussama, 2016) comme un événement brutal, d'origine naturelle ou humaine, ayant généralement des dégâts de grande ampleur, entrainant avec elle des situations tragiques pour les populations entières, ce terme est souvent utilisé pour les risques naturels majeurs.

La « Catastrophe » est redéfinie comme une perturbation grave du fonctionnement d'une collectivité ou d'une société à toute échelle à cause d'un interagissant avec des conditions d'exposition, de vulnérabilité et d'incapacité, entrainant une ou plusieurs des choses suivantes : pertes et impacts humains, matériels, économiques et environnementaux (Damienne P., 2008). L'enjeu est l'ensemble des personnes, des biens et des activités susceptibles d'être affecté par un mouvement de terrain.

II.1.2. Risques hydrologiques

C'est une probabilité de dommages occasionnés aux personnes et aux biens par les eaux, dans des situations d'occurrence aléatoire (Muhindo, 2012).

Dans la pratique, le principal risque hydrologique généralement reconnu est le risque d'inondation. Les risques naturels liés à l'eau, tout particulièrement les risques d'inondation, sont inséparables des décisions qui déterminent la vulnérabilité des sujets exposés : formes d'occupation et d'utilisation des zones inondables, efforts de défense liée eux-mêmes à l'appréciation du risque.

II.1.3. Risques géologiques

Un risque géologique est un événement incident menaçant qui peut se produire suite à des phénomènes qui regroupent des déplacements et des mouvements de terrain qui peuvent être plus ou moins brutaux concernant soit des éléments se trouvant dans le sous-sol ou dans le sol (Amini et al, 2014).

Les risques géologiques comprennent deux types majeurs qui sont : les risques naturels directement liés à l'activité de notre planète et les risques liés aux activités humaines.

Les risques liés à la lithosphère (séismes, volcans, tsunamis, glissements de terrains) sont typiquement géologiques et ceux liés à l'hydrosphère (inondations) sont mixtes. Ils peuvent

aussi être liés au transport en masse des matériaux rocheux avec comme facteurs : la nature géologique du terrain, la géomorphologie, l'eau, l'action de l'homme (Harmouzi H., 2018).
Il est à noter que les glissements de terrain sont généralement mixtes : géologiques et hydrologiques.

II.2. Typologies et classification des mouvements de terrain

II.2.1. Introduction

Les mouvements de terrain englobent l'ensemble des déplacements, plus ou moins brutaux, du sol ou du sous-sol tels les glissements de terrain, les éboulements, les ravinements. Ils provoquent des risques tels que les coulées de boue, les inondations ravageant causées par la rupture des barrages ou par des glissements de terrain qui barrent souvent des vallées ou des cours d'eau.

C'est une action mécanique s'exerçant sur des terrains de pente, on observe des détachements de bloc et à leur chute sur la pente. Tous les mouvements de terrain ci-haut cités peuvent mettre les populations en danger et provoquer la destruction des infrastructures et des cultures. Ils peuvent aussi causer au fur du temps des dégâts énormes à l'environnement.

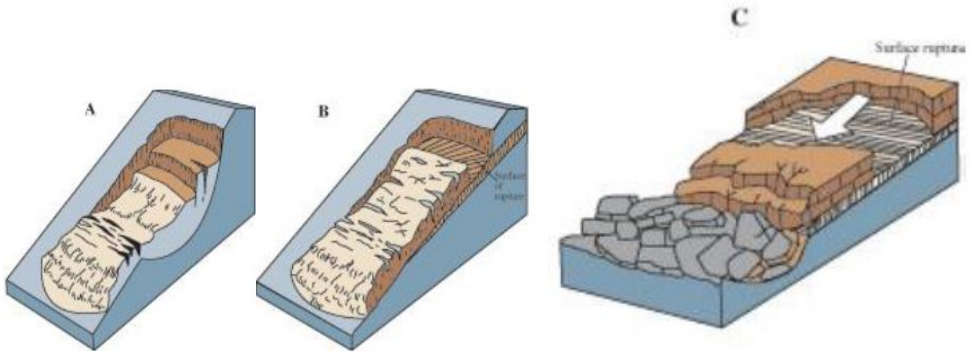
II.2.2. Types des mouvements de terrain

Le terme mouvements de terrain regroupe plusieurs types de phénomènes bien différents : les affaissements et les effondrements liés aux cavités souterraines, les éboulements et les chutes de pierres et de blocs, les glissements de terrain ; le retrait-gonflement des sols argileux (Locat et al., 20008).

Bien que de nombreux types de mouvements de masse soient inclus dans le terme général "glissement de terrain", l'utilisation plus restrictive du terme ne concerne que les mouvements de masse, où il existe une zone de faiblesse distincte (BELLE, 2014). Il s'agit de :

- Glissement rotationnel : Il s'agit d'une glissière dans laquelle la surface de rupture est courbée de manière concave vers le haut et le mouvement de glissement est approximativement rotatif autour d'un axe parallèle à la surface du sol et transversal à la glissière (fig. A).
- Glissement translationnel : dans ce type de glissière, la masse du glissement de terrain se déplace sur une surface à peu près plane avec peu de rotation ou de basculement vers l'arrière (fig. B).

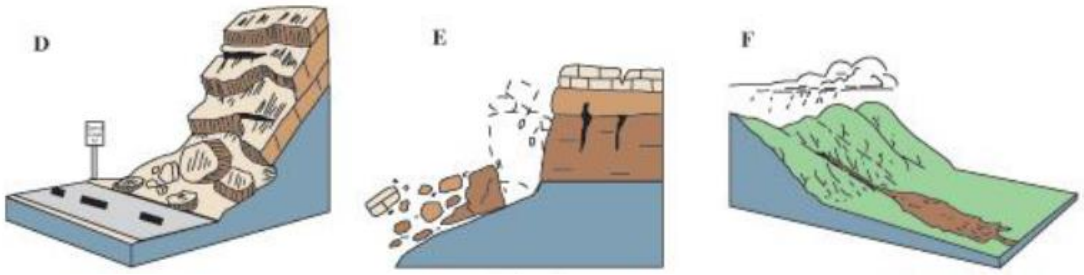
- Glissement de blocs : la masse en mouvement se compose d'une seule unité ou de quelques unités étroitement apparentées qui se déplacent vers le bas en tant que masse relativement cohérente (fig. C).
    - Les chutes sont des mouvements brusques de masses de matériaux géologiques, tels que des roches, qui se détachent des pentes abruptes ou des falaises (fig. D). La séparation se produit le long des discontinuités telles que les fractures, les articulations et les plans de literie, et le mouvement se produit par chute libre, rebondissement et roulement. Les chutes sont fortement influencées par la gravité, l'altération mécanique et la présence d'eau interstitielle.
    - Les basculements se distinguent par la rotation en avant d'une ou de plusieurs unités autour d'un point pivot, inférieur ou supérieur dans l'unité, sous l'action de la gravité et des forces exercées par les unités adjacentes ou par les fluides dans les fissures (fig. E).
    - Écoulement de débris : est une forme de mouvement de masse rapide dans lequel une combinaison de sol meuble, de roche, de matière organique, d'air et d'eau se mobilise comme une boue qui coule vers le bas (fig. F).



Glissement de terrain rotationnel

Glissement de terrain translationnel

Glissement de blocs



Les chutes de roches Les basculements Écoulement de débris

Figure 1 : Type de mouvements de terrain (NAHIMANA dans le cours : Risques géologiques et hydrogéologiques, 2019).

Selon la vitesse de déplacement, on peut distinguer : les mouvements lents, qui entraînent une déformation progressive des terrains, pas toujours perceptible par l'humain et les mouvements rapides qui entrainent une déformation brusque et parfois perceptible (DJERBAL, 2010).

Les mouvements lents

Leur déformation est progressive et peut être accompagnée de rupture mais en principe d'aucune accélération brutale :

- Les affaissements consécutifs à l'évolution de cavités souterraines naturelles ou artificielles (carrières ou mines), évolution amortie par le comportement souple des terrains superficiels ;
- Les tassements par retrait-gonflement de sols argileux en fonction de leur teneur en eau et par consolidation de certains terrains compressibles (vases, tourbes) ;
- Le fluage de matériaux plastiques sur faible pente ; ce type de mouvement apparaît lorsqu'un sol malléable est soumis à une charge importante en amont, souvent un massif rocheux. Il subit de la part de celle-ci une pression importante, qui va le pousser à fluer. Le fluage est souvent très visible, les troncs des arbres sont distordus et les poteaux électriques penchés ;
- Les glissements, qui correspondent au déplacement en masse, le long d'une surface de rupture plane, courbe ou complexe, de sols cohérents (argiles).

Les mouvements rapides

Ils peuvent être scindés en deux groupes, selon le mode de propagation des matériaux, en masse, ou à l'état remanié.

Le premier groupe (propagation en masse) comprend :

- Les effondrements, qui résultent de la rupture brutale de voûtes de cavités souterraines naturelles ou artificielles, sans atténuation par les terrains de surface ;
- Les chutes de pierres ou de blocs provenant de l'évolution mécanique de falaises ou d'escarpements rocheux très fracturés ;
- Les éboulements ou écroulements de pans de falaises ou d'escarpements rocheux selon les plans de discontinuité préexistants ; un massif rocheux généralement en surplomb s'écroule sous son propre poids ou sous les effets d'une charge à son sommet (Parriaux et al., 2010).
- Certains glissements rocheux

Le second groupe (propagation en état remanié) comprend :

- Les laves torrentielles, qui résultent du transport de matériaux en coulées visqueuses ou fluides dans le lit de torrents, surtout en montagne ;
- Les coulées boueuses, qui proviennent généralement de l'évolution du front des glissements.

D'après CROISIER (1986) et FLAGEOLLET (1988), les mouvements rapides et les mouvements lents sont différenciées en fonction de leur vitesse de déplacement (Tableau 1).

Tableau 1 : Les mouvements de terrain selon la vitesse de déplacement

Vitesses / Mouvements	3m/s ER	0,3m/mi TR	1,5m/j R	1,5m/m M	1,5m/a L	0,3m/5 ans TL	EL
Chutes, écroulements de rocher	■						
Avalanches de débris	■	■					
Coulées de terre de débris		■	■	■	■		
Glissement de roches	■	■	■	■	■		
Glissements - de roches rotationnels				■	■	■	■
- de sol		■	■	■	■	■	■
Glissements - de blocs plans				■			
- de sol					■		
Glissements de débris			■	■	■	■	

- (m /s : mètre par seconde
- m/min : mètre par minute
- m/j : mètre par jour
- m/m : mètre par mois
- m/a : mètre par an
- m/5a : mètre par 5ans
- ER : extrêmement rapide
- TR : très rapide

- R : rapide
- M : modéré
- L : lent
- TL : très lent
- EL : extrêmement lent.

II.2.3. La classification des mouvements gravitaires

Plusieurs classifications sont possibles selon les critères de choix motivé par la spécialité des auteurs (critère géologique, critère mécanique…) (Demers D. et al, 2003). En fait la classification n'est pas une fin en soi, mais un moyen de dénombrer les principaux types de mouvement, de façon à pouvoir évoquer certaines de leurs caractéristiques essentielles ou de les retrouver.

Parmi ces classifications, on peut citer celle de Varnes (1978).

II.2.3.1. Classification de Varnes

Cette classification est la plus communément employée, elle présente deux aspects : le matériau entrainé en mouvement et le mode de sa génération (Tableau 2). On distingue pour les matériaux : la roche, les débris (sols grossiers) ou les sols fins. Le mouvement se fait par chute, basculement, glissement (en rotation ou en translation), expansion latérale, écoulement ou de manière plus complexe. Cette classification très simple et universelle ne tient compte que du processus de rupture. Ce mode de génération ne perdure pas forcément durant la propagation. Dans la majorité des cas, les mouvements gravitaires rapides de grandes masses rocheuses doivent être classés dans la catégorie des mouvements complexes de la classification de Varnes (1978) comme l'indique le tableau suivant (tableau 2).

Tableau 2 : Classification des mouvements gravitaires selon Varnes (1978).

Type de mouvement			Type de matériau		
			Roche	Sols	
				Grossiers	Fins
Chutes			Écroulement rocheux *Rock fall*	Écroulement de débris *Debris fall*	Écroulement de terrain *Earth fall*
Basculements			Basculement rocheux *Rock topple*	Basculement de débris *Debris topple*	Basculement de terrain *Earth topple*
Glissements	rotation	Peu d'unités	Affaissement rocheux *Rock slump*	Affaissement de débris *Debris slump*	Affaissement de terrain *Earth slump*
	translation	Peu d'unités	Masse rocheuse en glissement *Rock block slide*	Débris en glissement *Debris block slide*	Terrain en glissement *Earth block slide*
	translation	Unités multiples	Glissement rocheux *Rock slide*	Glissement de débris *Debris slide*	Glissement de terrain *Earth slide*
Etalements latéraux			Etalement de roches *Rock spread*	Etalement de débris *Debris spread*	Etalement de terrain *Earth spread*
Écoulements			Avalanche de roches *Rock flow*	Lave torrentielle *Debris flow*	Coulée de terrain *Earth flow*
Complexes			Combinaison de deux ou plusieurs types de mouvements principaux		

II.2.3.2. Déclenchement des mouvements de terrain

Lorsque les forces de friction internes de la masse susceptible de se déplacer sont dépassées ou une contrainte supérieure à la résistance du substratum s'exerce sur la roche ou la formation superficielle, alors cette roche ou formation superficielle se trouve mobilisée (Desodt et al, 2017).

On considère donc qu'il y a glissement de terrain (c'est-à-dire rupture le long de la ligne de glissement) lorsque la contrainte de cisaillement mobilisée (ou motrice) τ moteur le long de la ligne de glissement est égale ou supérieure à la contrainte de cisaillement résistante τ résistant (soit la contrainte de cisaillement à la rupture).

Le facteur de sécurité

Les calculs consistent à évaluer sur une surface de glissement les contraintes de cisaillement, provoquées par les actions motrices et à les comparer à la résistance au cisaillement du sol. Un coefficient de sécurité au glissement F qualifiant la stabilité du sol pour une ligne de glissement donnée est défini tel que :

$$F = \frac{\tau_{résistant}}{\tau_{moteur}}$$

Pour une pente donnée, une multitude (voire une infinité) de lignes de glissements sont possibles. Une pente sera considérée comme stable si le facteur de sécurité F est suffisamment grand pour chacune des lignes de glissement. Autrement dit, vérifier la stabilité d'une pente revient à rechercher la ligne de glissement conduisant à la plus petite valeur de F. Pour les cas courants, la valeur minimale généralement admise est F=1,5 pour avoir une sécurité suffisante (Sibille, 2017).

Si F <1, l'instabilité est quasi inévitable ; si F >1,5, la stabilité est toujours assurée.

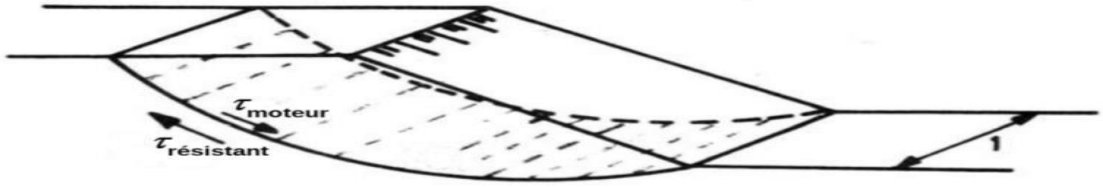


Figure 2: Compétition entre la contrainte de cisaillement motrice et la contrainte de cisaillement résistante le long de la ligne de glissement.

II.3. Les facteurs de déclenchement des mouvements de terrain

- La saturation de la pente par l'eau Cet effet peut se produire sous forme de pluies intenses, de fonte des neiges, de changements des niveaux des eaux souterraines et des changements de niveau d'eau le long des côtes, des barrages en terre et des rives de lacs, canaux et rivières.
- Érosion fluviale du talus
- Soulèvement tectonique

II.4. Contexte de la zone d'étude

II.4.1. Localisation géographique

Notre zone d'étude se situe au Nord-Est de la ville de Bujumbura et s'étend sur deux ensembles morphologiques à savoir la plaine de l'Imbo et les contreforts des Mirwa, région surplombant le fossé du rift et très escarpée. Cette zone se trouve dans le bassin versant de la rivière Ntahangwa.

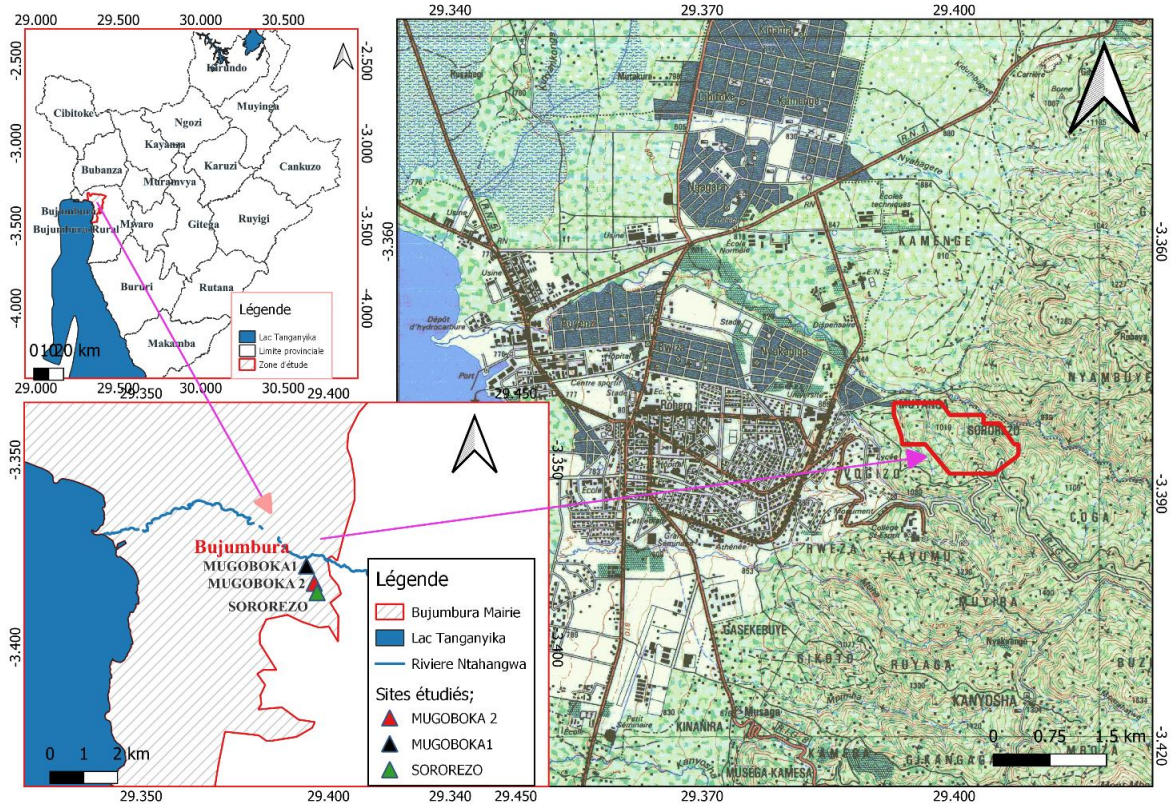


Figure 3 : Carte de localisation de la zone d'étude

II.4.2. Le contexte géologique

Nos observations sur terrain associées aux données de la carte géologique, feuille Bujumbura, 1989, qui indique la présence d'un gneiss migmatique dans la zone étudiée, confirment que la zone d'étude est constituée par des dépôts meubles.

En effet, nous pouvons signaler l'affleurement des gneiss sur les talus des ruisseaux Mugoboka 1 et 2 vers l'amont ainsi que sur les petites zones relativement stables et en amont des glissements de Mugoboka 2 et le glissement de Sororezo. Les recherches ont prouvé que cette zone est constituée par des formations précambriennes et des formations récentes peu consolidées (Ilunga, 1984). Ce gneiss est altéré et les argiles issues forment des dépôts argileux recouverts de limons et sont à l'origine des instabilités présentes (gonflement-rétraction).

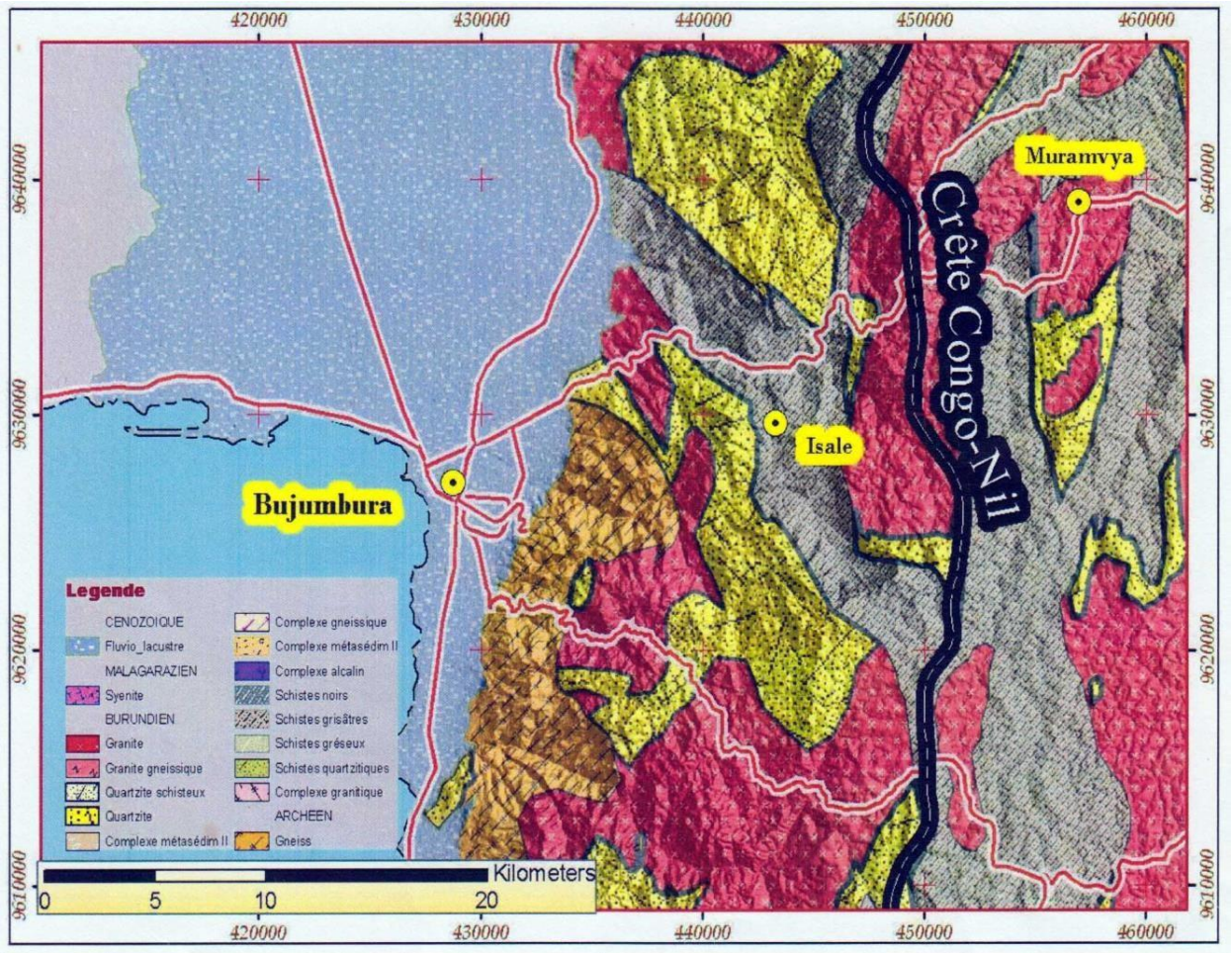


Figure 4 : Extrait de la carte géologique (Feuille Bujumbura) Source : Office Burundais des Mines et Carrières (OBM)

CHAPITRE III : CONTEXTE DES MOUVEMENTS DE MASSE DE MUGOBOKA

III.1. Contexte général

Le périmètre urbain de Bujumbura s'étend sur les parties des piémonts, cette zone se trouve dans la région bordant le grand fossé Est- africain et qui est constitué par des pentes très raides. Elle connaît un réseau de ravins trop fort et une généralisation des espaces d'érosion ce qui explique ainsi la vulnérabilité grandissante des Mirwa, associé directement aux mouvements de terrain (Figure 8).

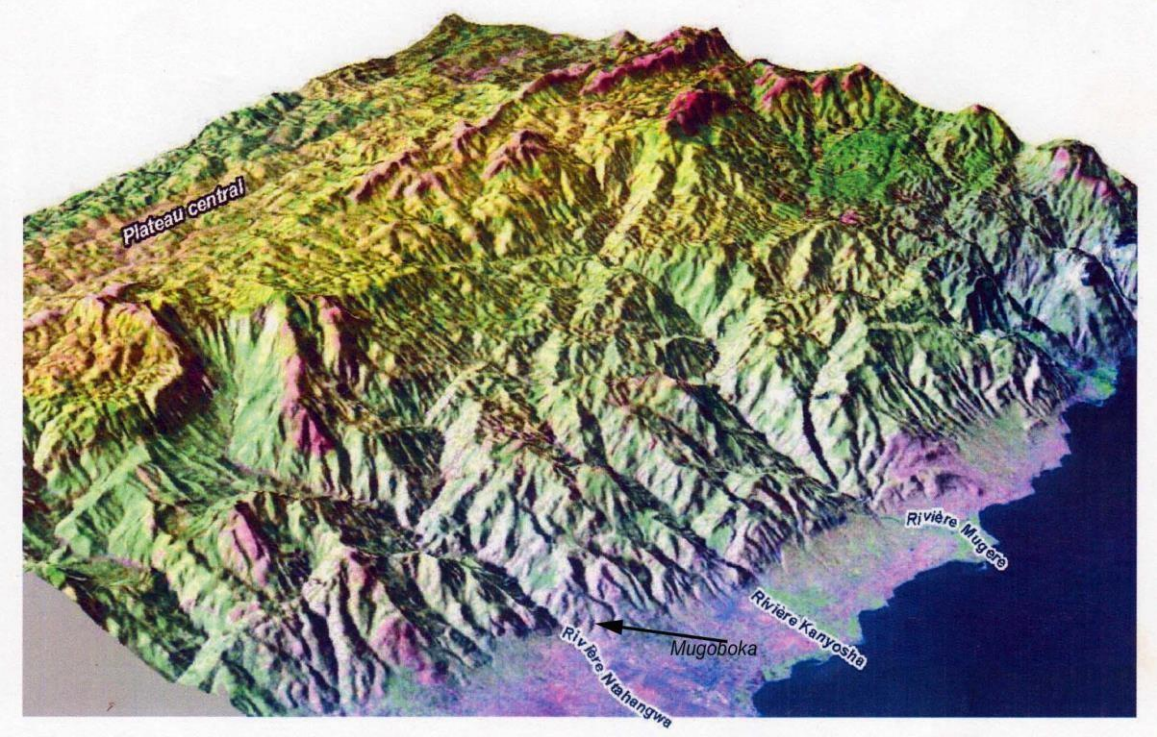


Figure 5 : Relief caractéristique du périmètre urbain de Bujumbura

(Image satellitaire Landsat de la région de Mumirwa, traitement réalisé par Prof. L. NAHIMANA)

III.2. Contexte géologique

III.2.1. Lithologie

La lithologie des bassins versants de la région d'étude est très favorable à des crises morphogénétiques à cause de leur vulnérabilité. Rappelons au passage que la zone des piémonts est constituée de roches marquées parfois par une puissante altération.

La nature des roches des piémonts, est classée généralement dans la catégorie des roches tendres.

 La partie est de la ville avec les collines des piémonts correspond à des formations du pléistocène moyen et supérieur composés de dépôts lacustres et fluviolacustres. Selon la carte géologique, notre zone d'étude est située à cheval entre les contreforts des Mirwa et la plaine de l'Imbo.

III.2.2. Tectonique

La zone d'étude (Mugoboka) est située dans la branche occidentale du fossé tectonique de l'Afrique orientale. Le contact entre faille et précambrien est masqué par des sédiments, des études néotectoniques visant l'identification du mécanisme de mise en place du rift ont été effectuées (Theunissen et al, 1989).

III.3. Contexte climatique

L'ensemble du Burundi est soumis à un climat tropical inégalement tempéré par l'altitude. La zone d'étude se trouvant entre les contreforts des Mirwa et la plaine, connait généralement environ quatre mois de saison sèche entre juin et septembre, suivi d'une longue saison des pluies (octobre - Mai), c'est un climat tropical humide de montagne (Bidou et al., 1991). Ces deux saisons alternent et les mois de Mai et Septembre enregistrent des précipitations supérieures á 100mm (Hakiza, 2002).

Les précipitations moyennes annuelles sont de l'ordre de 1400mm et les précipitations maximales varient de 1650mm (Figure 4).

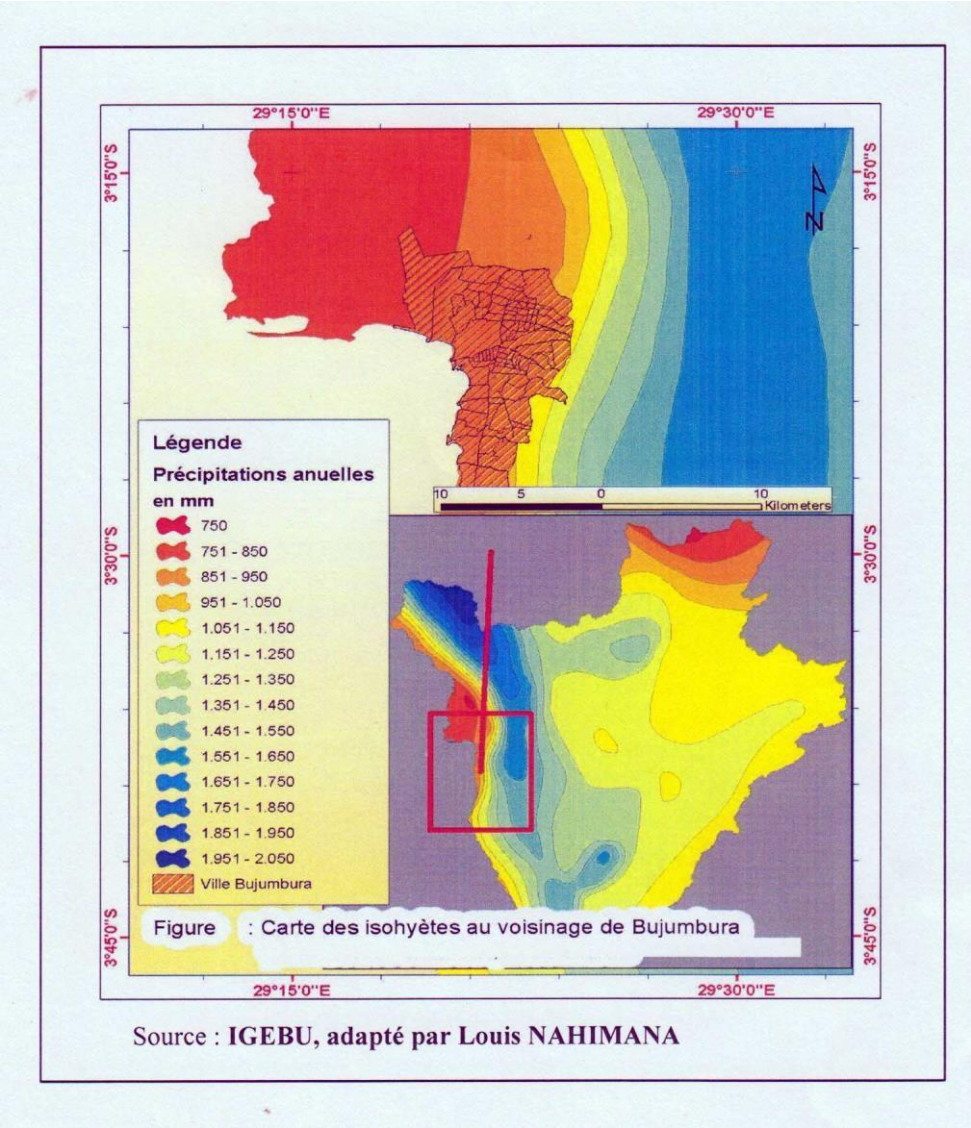


Figure 6 : Carte des précipitations au voisinage de Bujumbura

III.4. Contexte géomorphologique

Le relief de la zone étudiée marque une transition entre les contreforts (à relief accidentée de pente moyennement forte) et les dépressions de l'Imbo (à pente régulièrement inclinée vers le Lac Tanganyika).

Elle présente deux types de géomorphologie à savoir :

- La géomorphologie du piémont où l'altitude varie entre 800 et 900m.
- La géomorphologie du Mirwa où l'altitude varie entre 900 et plus de 1000m.

Sur terrain ou sur les photos aériennes, on observe que les collines sont entrecoupées par de vallées à caractère torrentiel.

III.5. Occupation du sol

L'occupation du sol regroupe des informations à la fois sur la description physique du territoire et sur l'utilisation du sol (description fonctionnelle du territoire). Cette distinction permet de différencier les surfaces (naturelles, anthropisées) et pour cela les observations faites sur terrain montrent que la végétation naturelle a été presque supprimée. Notre zone d'étude est en grande partie occupée par les cultures vivrières intensives plus ou moins annuelles (haricot, maïs, patates douce, etc.) ou pérennes (manioc, palmier à l'huile, arbre fruitier) ainsi que les boisements domaniaux. L'urbanisation de la ville de Bujumbura a entraîné la conversion des terres agricoles en terrain de constructions des nouveaux quartiers. Donc le versant de Mugoboka est affecté par les effets de la dégradation du sol au détriment des habitations (ce qui réduit les surfaces d'infiltration) et des cultures.

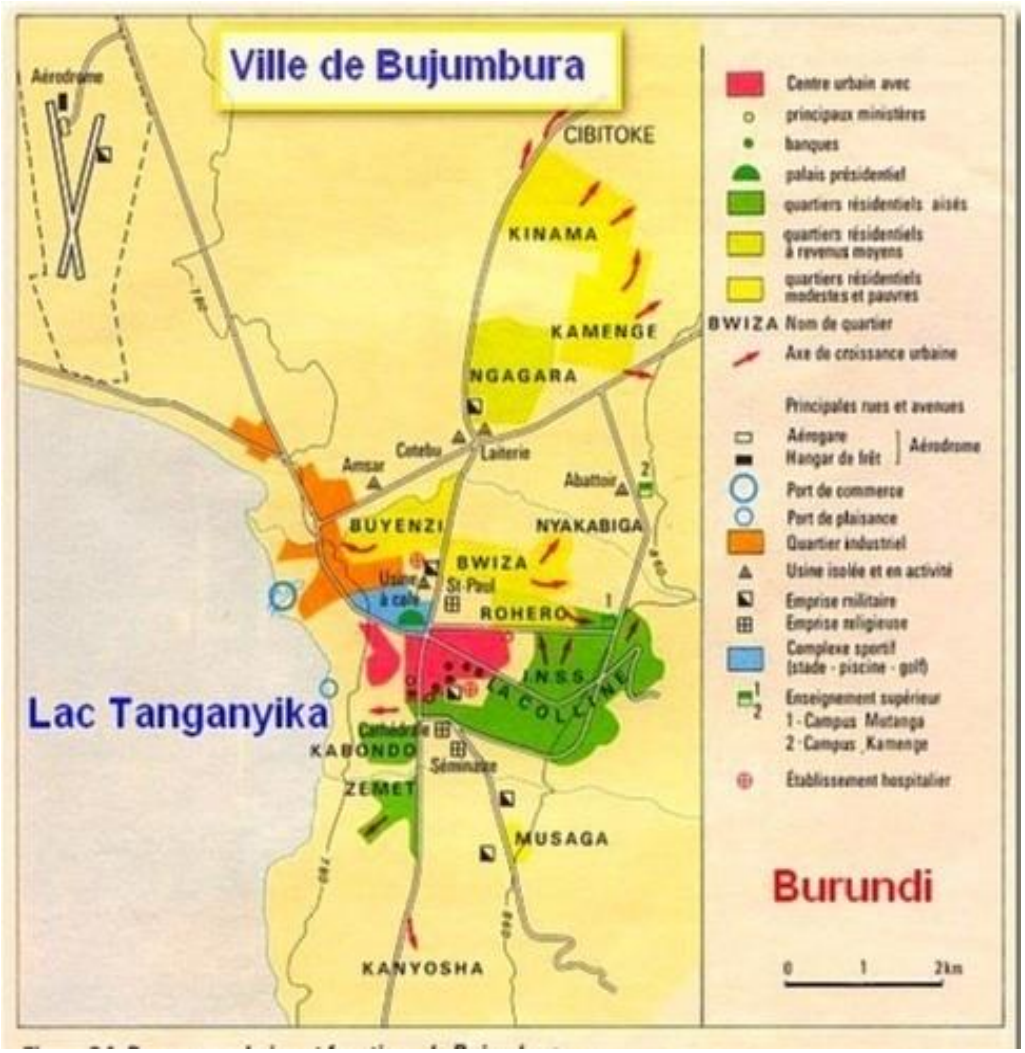


Figure 7 : Paysages urbains de la ville de Bujumbura

(https://www.flickr.com/photos/pgkivu/5833691942**)**

CHAPITRE IV: DESCRIPTION DES GLISSEMENTS DE MUGOBOKA

Des glissements de terrain observés dans le quartier Mugoboka de la Commune Mukaza sont comptés parmi les instabilités de terrain qui menacent le périmètre urbain de Bujumbura du point de vue socio-économique. On peut signaler la destruction des maisons, la rupture de la route reliant Mutanga sud et Mugoboka, destruction des tuyaux d'eau de la REGIDESO qui alimentent certains quartiers en passant par Mugoboka ainsi que la destruction des maisons d'habitation se trouvant á proximité de ces glissements.

Les champs de culture ne sont pas aussi épargnés lors de la réactivation des anciens glissements de terrain si ces champs sont aménagés dans les loupes de ces glissements.

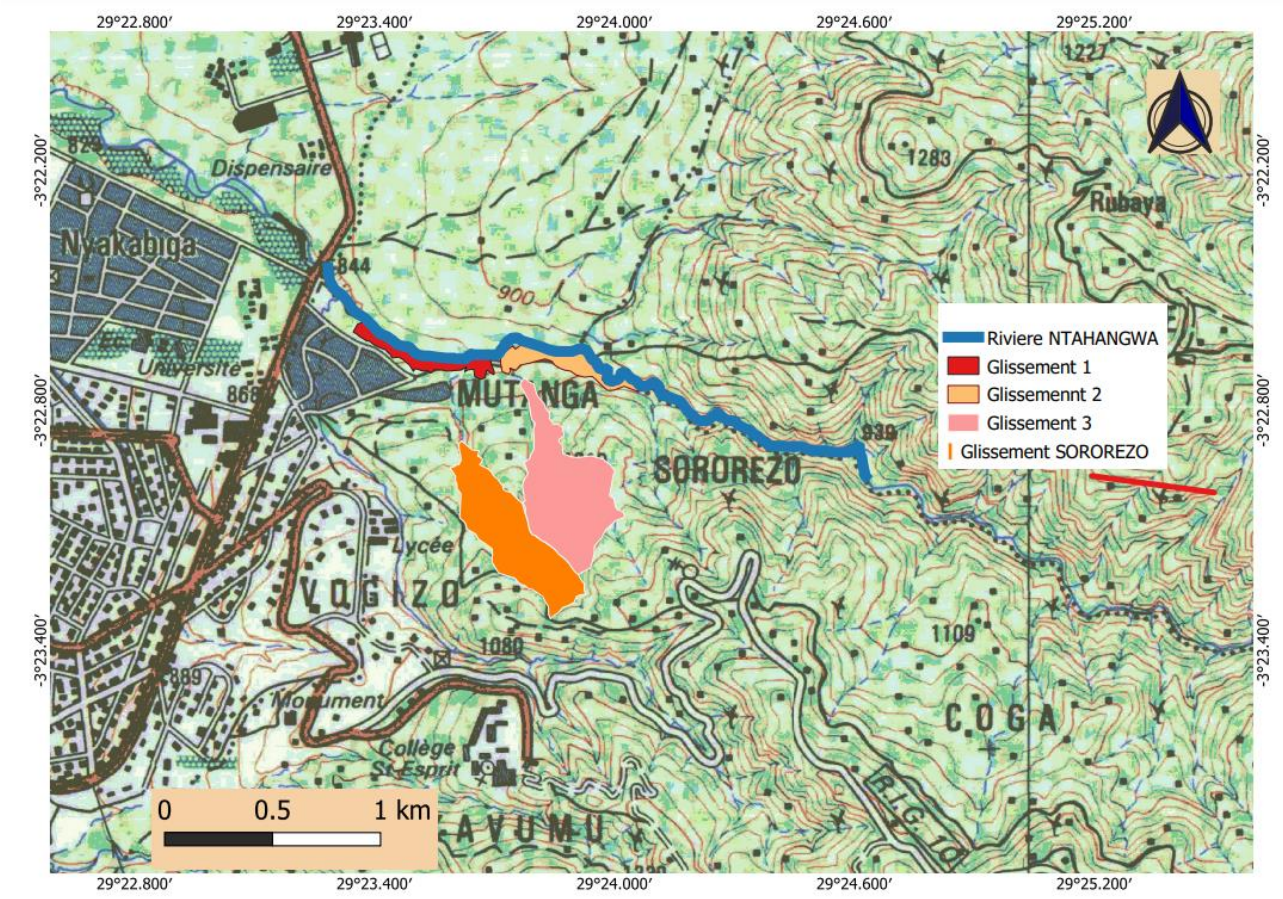


Figure 8: Les glissements de Mugoboka sur la Carte topographique (Auteur)

IV.1. Glissement 1 de Mugoboka I

C'est un gigantesque glissement translationnel qui s'est développé sur la rive gauche de la rivière Ntahangwa dans des matériaux altérés (argiles graveleuses ou sableuses). Ce glissement de terrain qui a ravagé presque un village de 12 maisons; des bistrots et un pont qui a été construit par les missionnaires vers les années 1954 entre Mugoboka et Gikungu. Ce glissement est très actif, le sol au-dessus du glissement est fissuré.

Photo nr 1	X =-3, 378172	Y=29,393808
		
Observations : Observations : Le glissement 1 de Mugoboka I a détruit des habitations constituant presque un village, le CDS KENGURUKA et l'Eglise de la paix qui sont plus proches de la niche d'arrachement sont aussi menacés.		

]

Figure 9 : Glissement 1 de Mugoboka I

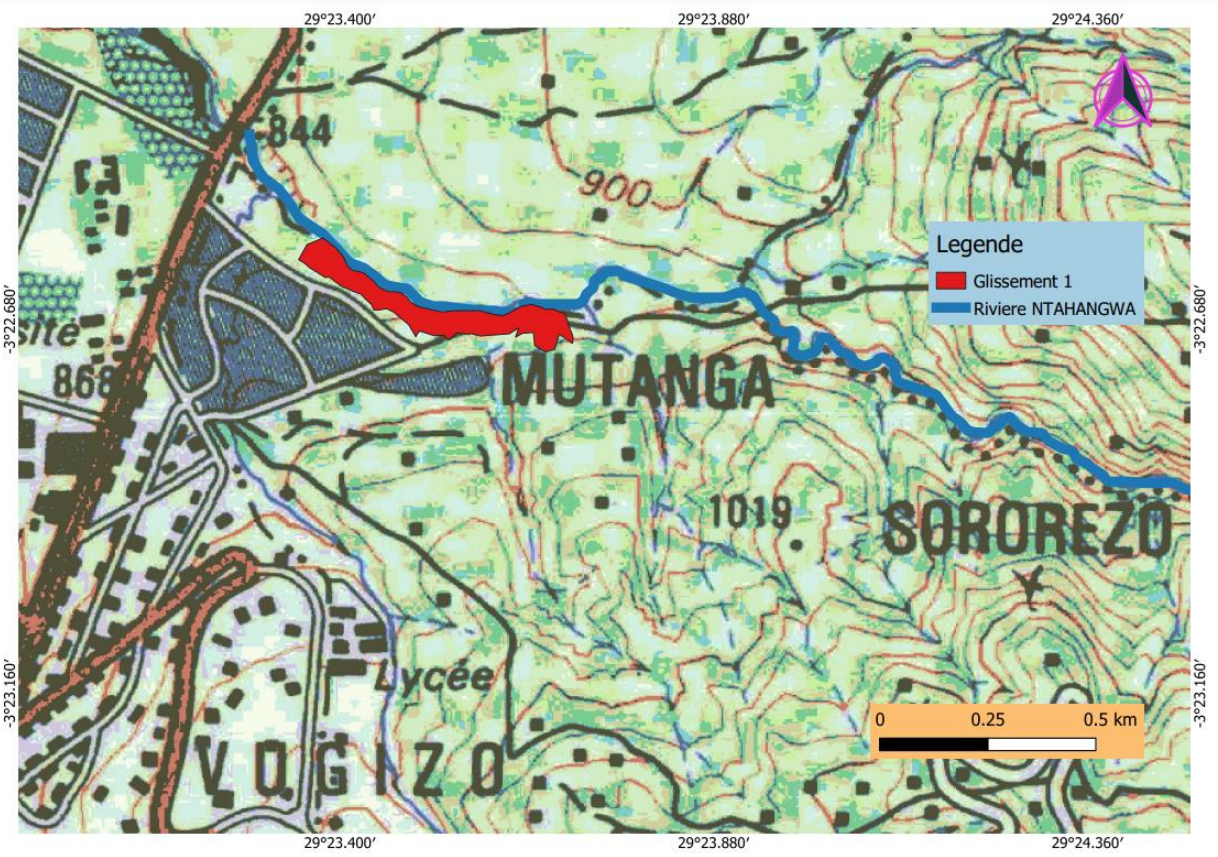


Figure 10 : Glissement 1 de Mugoboka I sur la carte topographique (Auteur)

IV.2. Le glissement 2 de Mugoboka 1

Ce glissement a été apparu à la même période que le glissement 1. Il a été décrit que certaines infrastructures sont parties avec les glissements, notamment la route reliant les quartiers Mugoboka I et Mugoboka II, certaines maisons d'habitation qui étaient proches de cette route ainsi que les tuyaux de raccordement de l'eau alimentant les deux quartiers. Un autre constat est que les propriétaires des maisons proches de celles emportées par les glissements ont déjà déménagé de cet endroit en danger. On a également constaté que suite à ces glissements de terrain qui ont même emporté les poteaux d'installation électrique, les fils conducteurs d'électricité sont fixés sur de petits arbres pouvant eux aussi tomber avec les prochaines réactivations qui augmentent du jour au jour.

Photo nr 2	X =-3,378256	Y= Y=29,393812
		
Observations: Le glissement 2 de Mugoboka I a détruit une maison et des tuyaux d'alimentation d'eau en provenance d'infrastructures de la Regideso, il ya aussi risque de coupure des fils conducteurs d'électricité.		

Figure 11 : Glissement 2 de Mugoboka I



Figure 12 : Glissement de Mugoboka II sur la carte topographique (Auteur)

IV.3. Les glissements de Mugoboka 2

Ils se sont produits de part et d'autre du ruisseau Mugoboka 2 entre le nouveau quartier de Sororezo et la colline Mugoboka.

Sur le côté Mugoboka, on observe des glissements très actifs qui s'opèrent sur un terrain constitué de graviers quartzito-latéritiques et de limon rougeâtre sus-jacent aux argiles.

C'est un glissement ancien qui a été apparu vers les années 1960, il a endommagé les champs de bananiers et de manioc ce qui constitue une régression alimentaire énorme dans les familles. Ce glissement se réactive de temps en temps.

Photo nr 3	X =-3.386545	Y=29.398996	
			
Observations : Au cours de sa réactivation, il entraine des tombeaux car il y avait un cimetière à sa tête. Il y a aussi des maisons, des cultures et des parcelles qui sont en danger.			

Figure 13 : Glissement de Mugoboka 2 (Auteur)



Figure 14: Glissement de Mugoboka II sur la carte topographique (Auteur)

IV.4. Le glissement de Sororezo

Le glissement de terrain de Sororezo a commencé petit à petit vers les années 1962 et il est parmi les glissements très fréquents dans les piémonts et ses conséquences étaient remarquables et lamentables. Le glissement de Sororezo et celui de Mugoboka 2 pourront se confondre car se sont rapprochés de quelques centimètres.

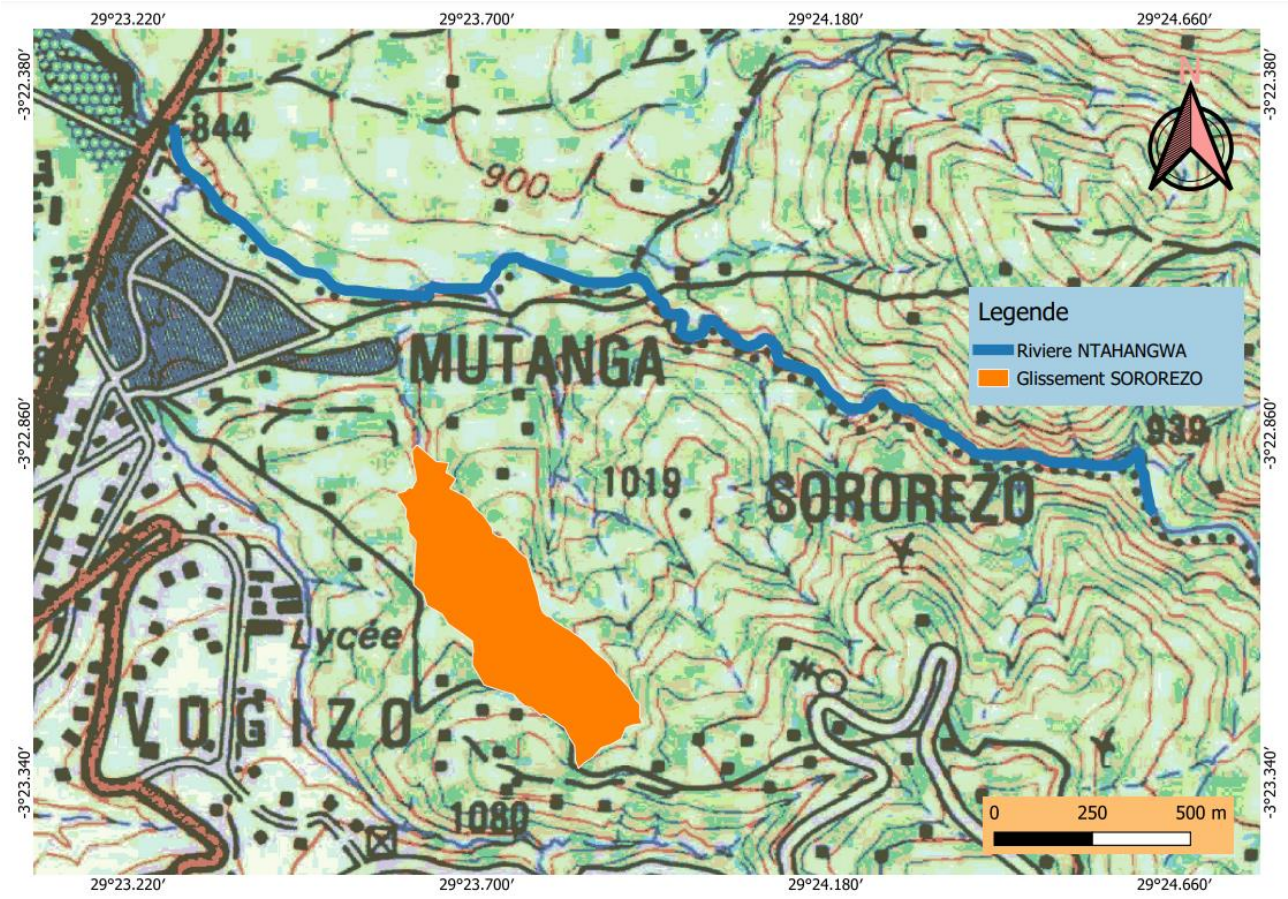


Figure 15: Glissement de Sororezo sur la carte topographique (Auteur)

Plusieurs maisons sont menacées par ce glissement de terrain

Photo nr 4	X =-3,388446	Y=29,397637



Observations : Toute une partie de la maison a été emporté par le glissement de terrain et des fissures sont aussi présentes. Cela prédit que même les autres parties de la maison finiront par s'écrouler si rien ne se fait pour protéger la maison.

Photo nr 5	X =-3,385039	Y=29,394294



Observations : Maison ménacée car construite sur le glissement de terrain, à cet endroit le terrain a glissé et un éboulement a tué 6 personnes sur le champ (chef de famille, sa femme et leurs quatre enfants). C'était le 21 janvier 20219

Photo nr 6	X = X =3,388667	Y= Y=29,397325



Observations : Les fissures dans une clôture d'une maison suite au glissement de terrain

Photo nr 7	X = X =-3,387070	Y= Y=29,396285



Observations : Grande fissure dans une Clôture d'une maison en étage abandonnée suite à ce glissement de terrain sur la sous-colline Ruyange. Même presque toute la maison est fissurée d'après les informations émanant des proches.

CHAPITRE V: EVOLUTION DES GLISSEMENTS DE TERRAIN DE MUGOBOKA

V.1. Introduction

Les glissements de terrain de Mugoboka se classent parmi les instabilités de terrain qui menacent le périmètre urbain de Bujumbura au plan socio-économique. Par exemple on peut citer la rupture de la route reliant Mutanga Sud à Mugoboka, la destruction des tuyaux d'eau alimentant certains quartiers de Bujumbura en passant par Mugoboka et destruction de quelques maisons se trouvant à proximité de ces glissements de terrain.

Les champs de cultures sont détruits souvent par de nouveaux glissements de terrain qui s'amorcent au-delà des anciennes niches d'arrachement principales ou par réactivation des anciens glissements de terrain si ces champs sont aménagés dans ces glissements.

Ces glissements évoluent très spectaculairement comme nous l'avons observé sur terrain et d'après les propos des populations locales. La partie de notre travail va étudier l'évolution de ces glissements à l'aide des outils de QGIS.

V.2. Méthodologie

La collecte des données, les observations sur terrain et récolte des informations issues des populations environnantes, la consultation des documents existants nous a facilité la connaissance de la zone d'étude et des limites des anciens glissements de terrain de cette localité.

La récolte des coordonnées géographiques de terrain a été exécutée avec un système de positionnement global (GPS en sigle) et leur téléchargement à l'aide des programmes de QGIS qui ont permis de mieux représenter les glissements de terrain sur les cartes.

La digitalisation de ces glissements de terrain sur la carte topographique et satellitaire, la superposition des données de terrain ont servi de base pour la détermination de l'évolution des glissements de terrain de Mugoboka.

V.3. Présentation des résultats et discussion

Dans ce travail, l'évolution des glissements de terrain de Mugoboka a été calculée sur une période de 15 ans, c'est-à-dire entre 2007 et 2022. Nous nous sommes servis des outils de QGIS, Google Earth pour calculer la surface glissée pour un glissement de terrain considéré pour un temps déterminé.

Ainsi, la délimitation des glissements de terrain de Mugoboka sur une image satellitaire de 2007, nous donne une figure qui illustre les limites de chaque glissement de terrain (Figure 14) et (figure 15).

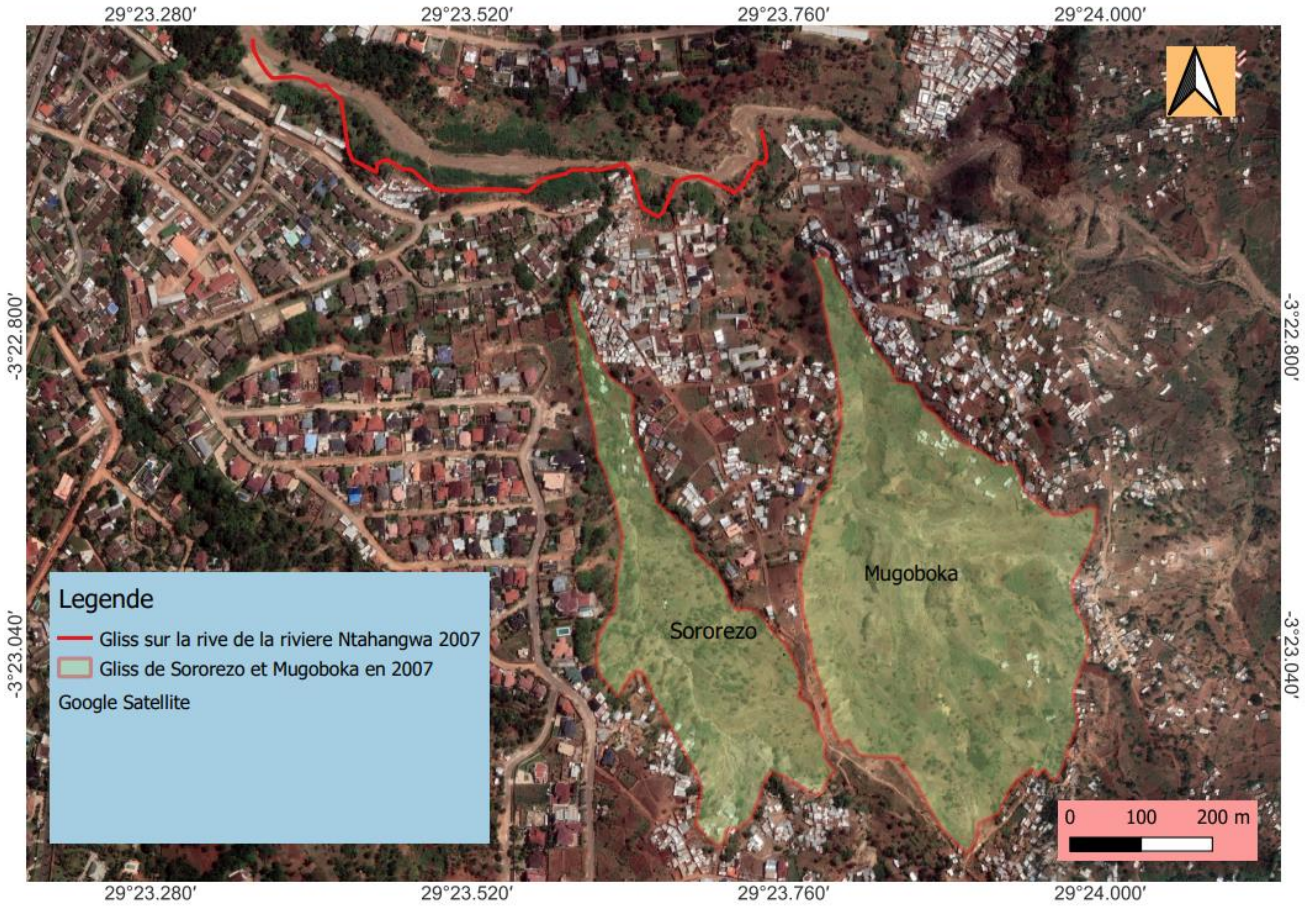


Figure 16 : Délimitation des glissements de terrain de Mugoboka et Sororezo en 2007

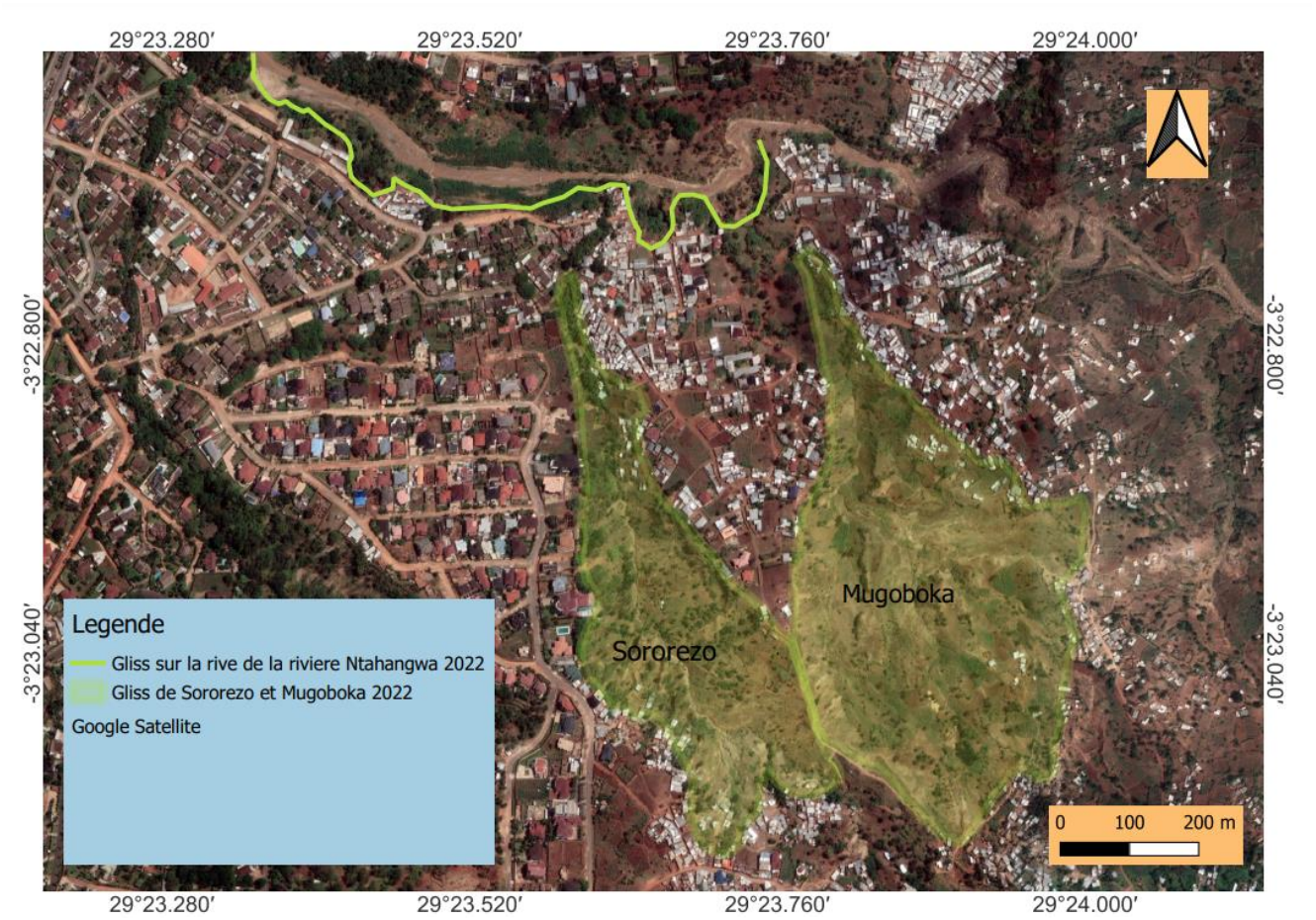


Figure 17 : Délimitation des glissements de terrain de Mugoboka et Sororezo en 2022

Sur ces images on peut identifier la surface de ces deux glissements de terrain en 2007 à l'aide des outils de QGIS, la surface trouvée est de 90143.27m^2 soit 9.0143.27ha.

Nous avons procédé de la même manière pour délimiter les glissements de terrain de Mugoboka après 15ans, donc en 2022 et on obtient la figure suivante (figure 17) avec la surface de 123088.06 m^2 soit 12.3088.06ha.

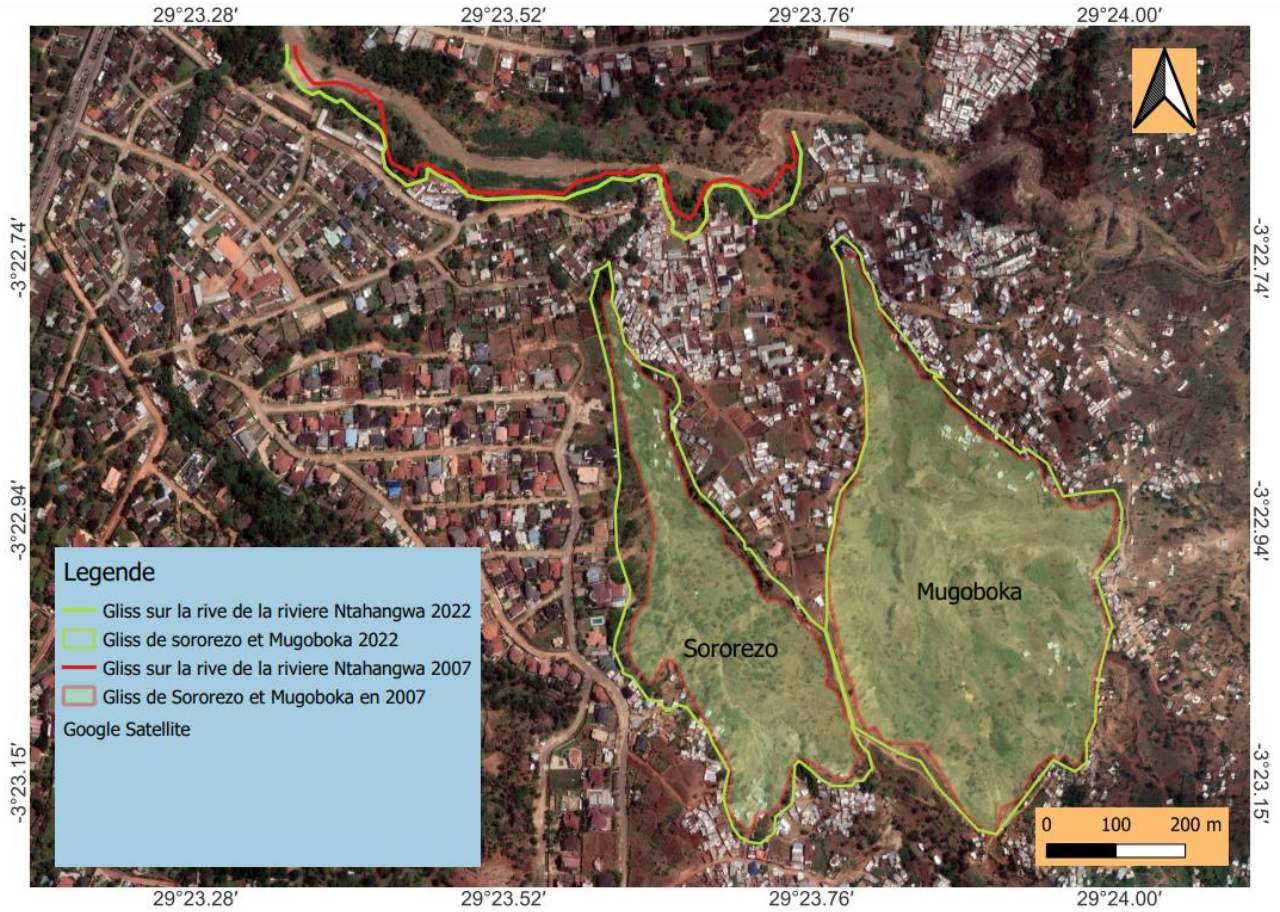


Figure 18 : Evolution des glissements de terrain de Mugoboka et Sororezo entre 2007 et 2022

La superposition des données sur la carte satellitaire de 2007 et de 2022 nous a permis de comparer les variations de ces glissements entre cette période. Le contour en couleur rouge montre les limites des glissements de terrain de Mugoboka et sororezo en 2007 tandis que celui en couleur verte montre les limites de ces glissements en 2022 (Fig. 16). Les glissements de 2022 ont été élargis par rapport à leurs dimensions de 2007 et nous observons que des variations se sont produites et notablement dans les zones les plus élevées à tel point que les deux glissements se sont rencontrés et confondus en partie.

Même si on représente les deux glissements sur la carte topographique avec les coordonnées récoltées sur terrain par délimitation en 2022, on trouve la même image (Figure 18).

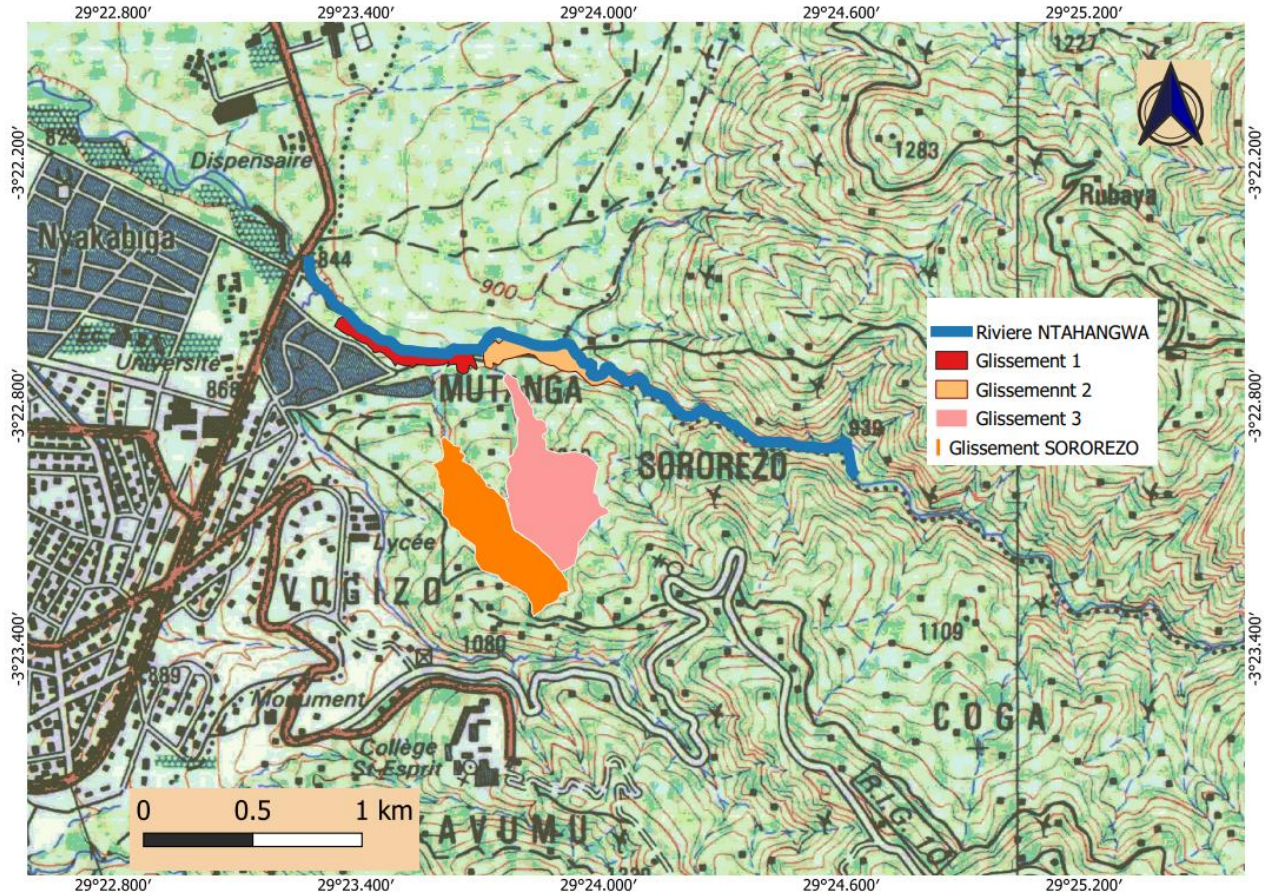


Figure 19 : Les glissements de Mugoboka et Sororezo sur la Carte topographique

A partir de l'image précédente (figure 17), nous avons calculé la surface glissée pendant ces 15ans, elle correspond à 32944.79m^2 ou 3.294479ha et on en déduit la surface moyenne qui glisse chaque année.

La surface glissée chaque année varie autour de 2196.32m^2 soit 0.219632ha/an.

Conclusion

Le traitement des données à l'aide des logiciels QGIS, Google Earth et à partir des images satellitaires disponibles nous a amené à déterminer l'évolution/an des glissements de Mugoboka et Sororezo entre 2007 et 2022.

Ainsi, nous avons trouvé après les calculs, que la zone a connu pendant cette période une perte de terre équivalente à une surface de 0.219632ha/an. Au cas où le dynamisme de ces glissements reste dans les mêmes proportions que celles calculées, et que des mesures adéquates

ne s'étaient pas prises pour protéger cette zone, la prédiction de l'évolution de ces glissements de terrain pourra être facile au bout d'une certaine période des années à venir.

CHAPITRE VI : LES CAUSES DE GLISSEMENTS DE TERRAIN DE MUGOBOKA

Divers paramètres que se soient naturels ou anthropiques sont à la base des glissements de terrain de Mugoboka.

VI.1. Les paramètres naturels

VI.1.1. Paramètres naturels géologiques

Les glissements de terrain sont des mouvements de masse liés aussi bien à la force gravitaire qu'à la nature lithologique du terrain (Cassagne et al., 2003). Ainsi, les argiles qui sont à la base de ces glissements ont des propriétés rhéologiques caractéristiques, à savoir la plasticité, le gonflement et le retrait qui occasionnent un mouvement de masse vers le bas des pentes. Lors des fortes pluies, ces masses de terre peuvent se transformer en coulée boueuse du fait que les particules d'argiles perdent la cohésion entre elles car regorgeant beaucoup d'eau.

En effet, les terrains des versants de Mugoboka ont été étudiés par différents chercheurs et le résultat trouvé est le même. Un exemple concret : le L.N.B.T.P a mené des études sur ces sites, les approches géologiques et géotechniques ont témoigné que la zone est majoritairement constituée par des matériaux fluvio-lacustres contenant du gravier, sable et beaucoup d'argile.

VI.1.2. Paramètres naturels géomorphologiques

Notre zone d'étude connaît une géomorphologie variable :

- La géomorphologie de la plaine à pente faible.
- La géomorphologie du Piémont à pente moyenne.
- La géomorphologie du Mirwa à pente forte.

Ainsi donc, l'importance de la pente va permettre le développement de certains types de glissements :

- Dans la zone de plaine caractérisée par une pente faible, on assiste à des phénomènes de fluages ou de solifluxion.
- Les zones de pente moyenne à forte sont susceptibles à des glissements et des éboulements.

La pente joue un rôle important dans l'évaluation de la stabilité d'un terrain. Alors que la valeur de pente admise pour la stabilité d'un terrain ne dépasse pas 10° (Mohamed K., 2006), les terrains de Mugoboka et d'autres zones instables de Bujumbura ont une pente supérieure à 10° comme le montre le tableau suivant.

Zone	Dénivelé (m)	Dist.horiz. (m)	Pente en %	Pente en degré
Mugoboka 1	84	40	48	25
Mugoboka 2	48	20	42	23
Vugizo	55	20	36	20
Kamesa	62	20	32	18
Kanyosha	64	20	31	17.5
RN7 (Buhonga)	35	20	57	30

Tableau 3 : Valeurs des pentes de certaines zones instables

(Source : NDARIHONYOYE, 2007))

VI.1.3. Paramètres naturels liés à l'eau et le climat

VI.1.3.1. L'eau

L'action mécanique de l'érosion favorise le détachement immédiat de bloc et leur chute sur la pente dans la plupart de bassins versants où la pente est forte. Les glissements de terrain se rencontrent le plus souvent en aval des versants où l'altération chimique prédomine. IIs prennent naissance parfois aux extrémités des ravinements.

Les bassins versants du Mirwa connaissent une grande quantité des eaux pendant la saison pluvieuse. Les terrains argileux comme ceux de Mugoboka sont gorgés d'eau à travers des fentes de dessiccation observable pendant la saison sèche. Dans ces conditions, la pente favorise les phénomènes de glissements sous l'effet de la gravité.

VI.1.3.2. Le climat

 La température et les précipitations sont les principaux facteurs qui caractérisent le climat. Les températures élevées enregistrées au cours de la saison sèche sont à l'origine de la fracturation des roches. Donc, l'alternance de ces deux saisons offre des bonnes conditions de déroulement des réactions physico-

chimiques et favorise par conséquent l'altération des roches. L'élément le plus intervenant de cette altération est l'eau qui circule au profit de la fracturation des roches. En tout, en présence des facteurs climatiques, l'altération d'une roche dépend du degré de sa fracturation ou de sa perméabilité (ABOUBAKAR et al., 2013).

VI.2. Les paramètres anthropiques

Introduction

L'action anthropique peut intervenir dans la déstabilisation d'un fragile équilibre existant du terrain ou variation de sa topographie. Le périmètre urbain de Bujumbura connait beaucoup de dégâts aux infrastructures et à la population environnante ; causés par les rivières qui la traversent. Certaines activités humaines comme le déboisement causé par l'accroissement de la population, exploitation des matériaux et l'aménagement du milieu interviennent souvent dans la variation du dynamisme de ces dégâts d'une période à une autre.

- ✓ **Le surpeuplement**

La croissance démographique galopante a favorisé le surpeuplement du périmètre urbain de Bujumbura ainsi que ses environs y compris notre zone d'étude. Depuis 1993, l'insécurité s'installait et les populations ont quitté les contreforts des Mirwa pour se construire des petites maisons dans la zone urbaine (SINDAYIHEBURA, 2005). Elles commencent à pratiquer les cultures qui laissent le sol à nu au cours des périodes de récolte et cela entrainent l'érosion de sol et le ruissellement pendant les saisons des pluies.

On observe même dans la plaine l'accroissement des constructions rapprochées, ce qui diminuent la surface d'infiltration et augmentent le ruissellement. Et par conséquent les rivières reçoivent des grandes quantités d'eau pendant les périodes pluvieuses. Ce qui engendre des éboulements ou autres dégâts sur ces rivières. De nombreux cas d'instabilité sont ainsi la conséquence directe ou indirecte de l'occupation ou de l'utilisation du sol par l'homme (Picot, 1998).

CHAPITRE VII : CONCLUSION GENERALE ET SUGGESTIONS

VII. 1. Conclusion générale

Le périmètre urbain de Bujumbura est sous menace des instabilités comme les glissements de terrain, les ravinements et les éboulements. Ces instabilités ont pour conséquences la destruction des champs de cultures, la démolition des maisons d'habitation, endommagent des infrastructures publiques ou privés avec un impact socio-économique sensible, et parfois causent des victimes.

Les glissements de terrain s'observent fréquemment dans la zone amont (sur les contreforts des collines des Mirwa) notamment dans les matériaux très altérées constitués d'argiles et de graviers ou des sables d'une part. D'autre part ils sont localisés dans des terrains constitués par des matériaux meubles (graviers quartzito latéritiques, sable et limon) sus-jacents aux couches argileuses.

Ils surviennent à la suite d'un événement naturel comme forte pluie, érosion des berges, séisme, par exemple ou sont la conséquence plus ou moins directe d'actions de l'homme, telles que travaux de terrassements ou déforestation.

Les glissements de terrain sont des phénomènes hétéroclites, parfois difficiles à caractériser, pouvant avoir des conséquences humaines et économiques importantes. Néanmoins, la réalité est telle que la plupart des glissements sont difficiles à suivre et peu de zones à risques peuvent être instrumentées.

L'analyse diachronique a permis de mettre en évidence la dynamique des glissements de terrain de Mugoboka. Selon la durée de la période considerée 15ans (2007-2022), les résultats obtenus peuvent être pris en compte pour délimiter les terrains instables. Il est nécessaire de considérer un cycle d'évolution plus long puisque ces phénomènes sont caractérisés par des variabilités spatiales et temporelles dans leurs évolutions.

Les causes de ces instabilités de terrain et leur dynamisme sont multiples et variées :

- La nature lithologique du sol : le périmètre de Bujumbura repose sur des sols constitués par des matériaux meubles ou argileux susceptibles aux glissements de terrain ;
- La géomorphologie et le climat : les versants des contreforts des collines des Mirwa sont vallonnés et reçoivent des quantités énormes d'eau pendant la saison pluvieuse. La pente favorise le drainage rapide de ces eaux ce qui crée par la suite des instabilités au pied des versants.
- Les interventions inappropriées de nature anthropique (HARMOUZI, 2018) peuvent agir comme facteur déclenchant d'un glissement de terrain ou, plus couramment, comme facteur aggravant en diminuant la stabilité de la pente. Dans ce dernier cas, elles ont pour effet de diminuer le coefficient de sécurité du talus sans causer directement un glissement de terrain. Par la suite, la rupture peut être provoquée par un autre facteur déclenchant d'origine naturelle, comme la pluie ou l'érosion, qui n'aurait pas été suffisant sans ces interventions anthropiques. Plusieurs interventions associées à l'aménagement des terrains, réalisées à proximité ou au sein d'un talus sujet aux glissements de terrain, peuvent compromettre les conditions d'équilibre de ce talus.

VII. 2. Suggestions

Les glissements de terrain de Mugoboka évoluent de manière alarmante et peuvent constituer une menace à la sécurité des personnes et des biens. Pour limiter ces menaces, quelques solutions peuvent être proposées :

Au institutions compétentes :

- Appliquer des mesures institutionnelles, législatives et réglementaires (respect de codes et de normes de construction d'aménagement) ;
- Planifier des investissements dans la recherche fondamentale et appliquée sur les aléas et la vulnérabilité des communautés et de l'environnement ;
- Organiser des campagnes d'information au profit des collectivités territoriales, grand public, établissements scolaires et universitaires ;
- La constitution de stocks et de zones de repli pour communautés des zones à risque ;
- Etablissement des Plans de Prévention de Risques de Catastrophes(PPRC) en milieux urbains et ruraux ;
- Intégration des risques de catastrophes dans les politiques, les plans et les programmes de développement au niveau national, provincial et local ;

- Evaluer systématiquement, enregistrer, partager et rendre publique les pertes liées aux catastrophes et comprendre les impacts économique, social, sanitaire, éducatif, environnemental et de patrimoine culturel ;
- Intégration de l'urbanisme de demain, dans sa réflexion simultanément le bâti et le non bâti s'il veut s'inscrire dans une durabilité

Aux collectivités locales :

- Consulter les experts avant de construire des ouvrages d'art sur des terrains en stabilité précaire
- Demander l'avis de l'ingénieur avant d'acheter une parcelle à bâtir

Aux futurs chercheurs

De continuer les recherches sur l'évolution des glissements de terrain dans les zones enregistrées afin de constituer une base de données qui servira à la gestion du territoire national en tenant comptes des risques probables.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. ABOUBAKAR B. et al, 2013 : Instabilités de terrain dans les hautes terres de l'Ouest Cameroun : caractérisation géologique et géotechnique du glissement de terrain de Kekem
2. AMINI HOSSEINI K., 2014 : Examen des impacts et des causes de glissements de terrain associes aux tremblements de terre récents en Iran
3. BELLE P., 2014 : Contribution des processus hydrologiques et hydrogéologiques aux glissements de terrain de grande ampleur. Application au contexte tropical de La Réunion. Thèse, Université de la Réunion, 359p.
4. BIBENTYO T. M, 2017 : Glissement de terrain de Nyakavogo (Bukavu, RD Congo) : interaction entre facteurs naturels et anthropiques
5. BIDOU J.E et al., 1991 : Géographie du Burundi, Hatier, Paris.
6. BOUGDAL R. et al., 2013 : Les glissements de terrain du quartier Belouizdad, Constantine, Algerie
7. CASSAGNE L. et al., 2003 : Sensibilité des communes de l'Isère aux risques de glissement de terrain et de chutes de blocs
8. CASSAGNE L. et al., 2003 : Sensibilité des communes de l'Isère aux risques de glissement de terrain et de chutes de blocs
9. Demers D. et al., 2003 : La gestion des risques de glissements de terrain dans les sols argileux au Québec
10. DESODT C. et al, 2017 : Les glissements de terrain, modélisation et prévision, Paris
11. DJERBAL L., 2010 : Dynamique d'évolution du glissement de terrain d'Ain El Hammam. Mémoire de Master, 183 p.
12. FLAGEOLET JC., 1989 : Les mouvements de terrain et leur prévention, édit. Masson, 224 p.
13. HAKIZA G., 2002 : Potentialités aquifères de la plaine de la Rusizi (au nord du Lac Tanganyika) Thèse. Université de Liège, 484 p.
14. HARMOUZI H., 2018 : Analyse géomorphologique et géologique du glissement de terrain d'Akchour (Rif, Maroc).
15. ILUNGA.L.K., 1984 : Le quaternaire de la plaine de la Rusizi. Etude morphologique et lithostratigraphique. These,vrije Univ.Brussel, 353p.

16. KHEBIZI M. 2006 : Influences des glissements de terrain de la cité de Boussouf sur les constructions
17. LARIBI A.,2015 : Approche pluridisciplinaire pour l'étude et la modélisation des versants instables : cas du glissement d'El Biar, Algérie
18. MICHEL J., 2011 : Mouvements de terrain : de l'analyse à la gestion
19. MOHAMED K., 2006 : Méthodes d'analyse de la stabilité et techniques de stabilisation des pentes.
20. MUHINDO S., 2012 : Le contexte urbain et climatique des risques hydrologiques de la ville de Butembo (Nord-Kivu /RDC)
21. NAHIMANA L., 2019 dans le cours : Risques géologiques et hydrogéologiques.
22. NDARIHONYOYE, P., 2007. Contribution à l'étude des instabilités de terrain dans le périmètre urbain de Bujumbura à l'aide d'un S.I.G
23. NZOJIBWAMI E., 1987 : Le Précambrien cristallin de de la région de Bujumbura (Burundi), Université de Liège (Belgique), inédite.
24. Oussama B., 2016 : Contribution à la gestion des risques urbains dans la ville de Jijel Etude de cas : le quartier « Belle Vue » Mémoire de Master, 127p
25. PAPON P., 1996 : Etude expérimentale de la stabilisation d'un glissement de terrain par des pieux de gros diamètre
26. PARRIAUX A. et al., 2010 : Glissements de terrain : hydrogéologie et techniques d'assainissement par drainage. Guide pratique. Office fédéral de l'environnement, Berne. Connaissance de l'environnement n° 1023 : 128 p.
27. PICOT B., 1998 : Glissements de terrain et paysages. Système causal d'un risque naturel mineur. Exemples en Limargue (Haut-Quercy, Lot). In : Cahiers du Centre nantais de recherche pour l'aménagement régional, n°49, 1998. Connaissance de l'érosion. pp. 3-35.
28. PROVITOLO D., 2008 : Modélisation et simulation de catastrophe urbaine : le couplage de l'aléa et de la vulnérabilité, Université Nice-Sophia Antipolis.
29. REQUILLART J.P,et al., 2005 : La prise en compte du risque « mouvement de terrain » dans l'urbanisme et l'aménagement du territoire.
30. SIBILE L., 2017 : Eléments de géotechnique : écoulements, stabilité des pentes, parois de soutènement souples IUT Génie Civil et Construction Durable Module MXG6.
31. SINDAYIHEBURA B., 2005 : De l'Imbo au Mirwa, dynamique de l'occupation du sol, croissance urbaine et risques naturels dans la région de Bujumbura

32. Theunissen K. 1989. Carte géologique du Burundi, Feuille Bujumbura. Ministère des Travaux publics, de l'Energie et des Mines, Bujumbura, Burundi.
33. THOURET C. et al. Vulnérabilité aux risques naturels en milieu urbain : effets, facteurs et réponses sociales
34. Varnes, D.J., 1978, Slope movement types and processes: Transportation research board, v. Special Report 176, p. 11–33.
35. YANNICK T., 2008 : Analyse spatiale de la susceptibilité des versants aux glissements de terrain Revue Internationale de Géomatique, 2005, 15 (2), pp.227-245.

ANNEXE

Les coordonnées de MUGOBOKA et SOROREZO

No	Latitude	Longitude	Altitude(m)	
1	-3.377834	29.391151	845	Mutanga Sud
2	-3.377752	29.391016	839	Mutanga Sud
3	-3.377104	29.389784	840	Mutanga Sud
4	-3.377167	29.389833	839	Mutanga Sud
5	-3.377281	29.390012	835	Mutanga Sud
6	-3.377403	29.390319	838	Mutanga Sud
7	-3.37747	29.390458	840	Mutanga Sud
8	-3.377583	29.390551	842	Mutanga Sud
9	-3.377704	29.390651	841	Mutanga Sud
10	-3.377815	29.390719	838	Mutanga Sud
11	-3.377786	29.390794	838	Mutanga Sud
12	-3.37712	29.389695	844	Mutanga Sud
13	-3.376985	29.389504	843	Mutanga Sud
14	-3.376913	29.389363	842	Mutanga Sud
15	-3.376816	29.389255	841	Mutanga Sud
16	-3.37674	29.389124	838	Mutanga Sud
17	-3.378114	29.391462	847	Mutanga Sud
18	-3.378269	29.391659	846	Mutanga Sud
19	-3.378285	29.391797	846	Mutanga Sud
20	-3.378354	29.391615	847	Mutanga Sud
21	-3.378356	29.392022	847	Mutanga Sud
22	-3.378349	29.392122	852	Mutanga Sud
23	-3.378345	29.392228	850	Mutanga Sud
24	-3.378438	29.39232	846	Mutanga Sud
25	-3.378286	29.392472	846	Mutanga Sud
26	-3.378311	29.392687	849	Mutanga Sud

27	-3.378317	29.392804	849	Mutanga Sud
28	-3.378365	29.393024	851	Mutanga Sud
29	-3.378311	29.393608	858	Mutanga Sud
30	-3.378268	29.393677	857	Mutanga Sud
31	-3.378381	29.393789	856	CONTACT ENTRE MUTANGA SUD ET MUGOBOKA
32	-3.378297	29.393871	855	
33	-3.377898	29.393784	858	
34	-3.378172	29.393808	855	
35	-3.378556	29.395763	869	LIMITE ENTRE MUGOBOKA I ET MUGOBOKA II
36	-3.378439	29.395752	858	
37	-3.378323	29.395869	862	
38	-3.378256	29.395973	860	
39	-3.378139	29.39604	857	
40	-3.377982	29.395915	861	
41	-3.377838	29.395554	857	
42	-3.377614	29.395909	856	
43	-3.3774	29.395864	853	
44	-3.377399	29.395734	851	
45	-3.377302	29.395747	853	
46	-3.377362	29.39619	850	
47	-3.377387	29.39632	852	
48	-3.377369	29.396535	852	
49	-3.377825	29.397083	879	
50	-3.377907	29.397354	863	
51	-3.378135	29.397521	856	
52	-3.378237	29.397736	871	
53	-3.378322	29.397939	870	
54	-3.378362	29.398174	876	
55	-3.378549	29.398402	879	

56	-3.3786	29.39873	884
57	-3.378577	29.39901	888
58	-3.378579	29.399006	890
59	-3.378678	29.39918	888
60	-3.378794	29.399497	885
61	-3.379008	29.399535	883
62	-3.37917	29.399684	889
63	-3.37915	29.399988	889
64	-3.37903	29.400433	882
65	-3.37917	29.40095	884
66	-3.379707	29.397354	863
67	-3.378625	29.396234	866
68	-3.378825	29.396463	877
69	-3.378879	29.396608	881
70	-3.378881	29.39662	879
71	-3.379308	29.396751	887
72	-3.379447	29.396854	882
73	-3.379521	29.396901	881
74	-3.379723	29.397073	884
75	-3.379827	29.397107	889
76	-3.380149	29.397253	894
77	-3.380215	29.397311	891
78	-3.380375	29.397334	897
79	-3.381403	29.397817	914
80	-3.381306	29.397678	905
81	-3.381203	29.39769	910
82	-3.381067	29.397869	921
83	-3.380985	29.397904	919
84	-3.380826	29.39783	921
85	-3.380758	29.397864	925
86	-3.380741	29.397833	919

87	-3.380651	29.397766	911	
88	-3.380553	29.397642	915	
89	-3.380565	29.397448	906	
90	-3.380548	29.397284	903	
91	-3.380302	29.397278	901	
92	-3.380099	29.397266	900	
93	-3.379853	29.397104	886	
94	-3.379498	29.39688	874	
95	-3.378874	29.396064	853	
96	-3.379038	29.396072	867	
97	-3.379157	29.396219	871	
98	-3.379547	29.396405	880	
99	-3.379585	29.396556	883	
100	-3.380362	29.396564	910	
101	-3.380526	29.396683	902	
102	-3.380765	29.396622	904	
103	-3.38128	29.396648	916	
104	-3.384935	29.396448	980	GLISS SOROREZO(coté Mugoboka I)
105	-3.384844	29.396439	980	GLISS SOROREZO(coté Mugoboka I)
106	-3.384729	29.396413	979	GLISS SOROREZO(coté Mugoboka I)
107	-3.38447	29.396333	971	GLISS SOROREZO(coté Mugoboka I)
108	-3.384265	29.396288	964	GLISS SOROREZO(coté Mugoboka I)
109	-3.384042	29.396325	959	GLISS SOROREZO(coté Mugoboka I)
110	-3.383837	29.396184	954	GLISS SOROREZO(coté Mugoboka I)

111	-3.383711	29.395991	957	GLISS SOROREZO(coté Mugoboka I)
112	-3.3834	29.395671	952	GLISS SOROREZO(coté Mugoboka I)
113	-3.383373	29.395487	947	GLISS SOROREZO(coté Mugoboka I)
114	-3.383388	29.395567	940	GLISS SOROREZO(coté Mugoboka I)
115	-3.383285	29.395364	942	GLISS SOROREZO(coté Mugoboka I)
116	-3.383153	29.395325	949	GLISS SOROREZO(coté Mugoboka I)
117	-3.382865	29.395136	938	GLISS SOROREZO(coté Mugoboka I)
118	-3.382759	29.395001	934	GLISS SOROREZO(coté Mugoboka I)
119	-3.382665	29.394909	927	GLISS SOROREZO(coté Mugoboka I)
120	-3.382561	29.39486	922	GLISS SOROREZO(coté Mugoboka I)
121	-3.382405	29.394678	915	GLISS SOROREZO(coté Mugoboka I)
122	-3.38238	29.393172	915	GLISS SOROREZO(coté Mugoboka I)
123	-3.382231	29.393445	907	GLISS SOROREZO(coté Mugoboka I)
124	-3.382232	29.394394	898	GLISS SOROREZO(coté Mugoboka I)
125	-3.382124	29.394452	902	GLISS SOROREZO(coté Mugoboka I)
126	-3.382004	29.394503	906	GLISS SOROREZO(coté Mugoboka I)

127	-3.381939	29.394365	905	GLISS SOROREZO(coté Mugoboka I)
128	-3.381909	29.3943	906	GLISS SOROREZO(coté Mugoboka I)
129	-3.381756	29.394327	910	GLISS SOROREZO(coté Mugoboka I)
130	-3.381704	29.394347	905	GLISS SOROREZO(coté Mugoboka I)
131	-3.381652	29.394109	877	GLISS SOROREZO(coté Mugoboka I)
132	-3.384946	29.396495	983	GLISS SOROREZO
133	-3.385	29.396519	981	GLISS SOROREZO
134	-3.38509	29.396534	981	GLISS SOROREZO
135	-3.385161	29.396596	978	GLISS SOROREZO
136	-3.385199	29.396698	976	GLISS SOROREZO
137	-3.385272	29.396792	978	GLISS SOROREZO
138	-3.385336	29.396893	966	GLISS SOROREZO
139	-3.385402	29.396982	972	GLISS SOROREZO
140	-3.385494	29.397114	978	GLISS SOROREZO
141	-3.385582	29.397236	979	GLISS SOROREZO
142	-3.385658	29.397355	982	GLISS SOROREZO

143	-3.385728	29.39747	982	GLISS SOROREZO
144	-3.385859	29.397588	987	GLISS SOROREZO
145	-3.385985	29.39769	997	GLISS SOROREZO
146	-3.386049	29.39779	1001	GLISS SOROREZO
147	-3.386194	29.397961	1001	GLISS SOROREZO
148	-3.386375	29.39812	1005	GLISS SOROREZO
149	-3.386516	29.398211	1005	GLISS SOROREZO
150	-3.386706	29.398355	1011	GLISS SOROREZO
151	-3.386822	29.398493	1015	GLISS SOROREZO
152	-3.387071	29.398648	1017	GLISS SOROREZO
153	-3.387192	29.398734	1019	GLISS SOROREZO
154	-3.387504	29.398728	1024	GLISS SOROREZO
155	-3.387624	29.398792	1026	GLISS SOROREZO
156	-3.387695	29.398569	1027	GLISS SOROREZO
157	-3.387744	29.398432	1025	GLISS SOROREZO
158	-3.38797	29.398326	1019	GLISS SOROREZO

159	-3.388113	29.398079	1022	GLISS SOROREZO
160	-3.388177	29.397828	1024	GLISS SOROREZO
161	-3.388406	29.397637	1027	GLISS SOROREZO
162	-3.388517	29.397488	1039	GLISS SOROREZO
163	-3.388667	29.397325	1035	GLISS SOROREZO
164	-3.38848	29.397233	1024	GLISS SOROREZO
165	-3.38839	29.397252	1032	GLISS SOROREZO
166	-3.388139	29.397243	1031	GLISS SOROREZO
167	-3.387954	29.397134	1027	GLISS SOROREZO
168	-3.387744	29.397005	1022	GLISS SOROREZO
169	-3.387568	29.396782	1021	GLISS SOROREZO
170	-3.387417	29.396532	1015	GLISS SOROREZO
171	-3.387425	29.396444	1013	GLISS SOROREZO
172	-3.387275	29.396225	1009	GLISS SOROREZO
173	-3.387231	29.396105	1011	GLISS SOROREZO
174	-3.387107	29.395928	1002	GLISS SOROREZO

175	-3.386978	29.395816	993	GLISS SOROREZO
176	-3.386882	29.395611	994	GLISS SOROREZO
177	-3.386703	29.395435	996	GLISS SOROREZO
178	-3.386757	29.39518	997	GLISS SOROREZO
179	-3.386617	29.391928	993	GLISS SOROREZO
180	-3.386296	29.394904	989	GLISS SOROREZO
181	-3.386055	29.394895	988	GLISS SOROREZO
182	-3.385993	29.394916	986	GLISS SOROREZO
183	-3.385779	29.394897	983	GLISS SOROREZO
184	-3.385561	29.394665	973	GLISS SOROREZO
185	-3.385362	29.394367	964	GLISS SOROREZO
186	-3.385104	29.394195	962	GLISS SOROREZO
187	-3.38502	29.394026	957	GLISS SOROREZO
188	-3.384956	29.393856	955	GLISS SOROREZO
189	-3.384675	29.39378	953	GLISS SOROREZO
190	-3.384475	29.393556	947	GLISS SOROREZO

191	-3.383518	29.393626	932	GLISS SOROREZO
192	-3.383465	29.393604	938	GLISS SOROREZO
193	-3.383406	29.393574	938	GLISS SOROREZO
194	-3.383354	29.393032	924	GLISS SOROREZO
195	-3.383256	29.393456	925	GLISS SOROREZO
196	-3.383041	29.393444	939	GLISS SOROREZO
197	-3.382895	29.393382	935	GLISS SOROREZO
198	-3.38274	29.393387	929	GLISS SOROREZO
199	-3.382337	29.393381	920	GLISS SOROREZO
200	-3.382258	29.393503	909	GLISS SOROREZO
201	-3.382073	29.39361	902	GLISS SOROREZO
202	-3.381886	29.393582	202	GLISS SOROREZO
203	-3.381677	29.393548	202	GLISS SOROREZO
204	-3.381438	29.393517	899	GLISS SOROREZO
205	-3.38126	29.393628	889	GLISS SOROREZO

No	Latitude	Longitude	Altitude	Description
1	-3,378312	29,394156	857	Glissement 1
2	-3,378335	29,394168	852	
3	-3,378335	29,394168	852	
4	-3,378558	29,394177	856	
5	-3,37866	29,39442	859	
6	-3,378647	29,394584	858	
7	-3,378322	29,394656	857	
8	-3,378444	29,39463	853	
9	-3,37815	29,394877	855	Glissement 2
10	-3,378267	29,394938	860	
11	-3,378416	29,394966	863	
12	-3,378518	29,394989	864	
13	-3,376975	29,395204	865	
14	-3,378516	29,395271	867	
15	-3,378364	29,39535	872	
16	-3,378447	29,395506	859	
17	-3,378364	29,395665	865	
18	-3,378212	29,395649	860	
19	-3,377932	29,395688	832	
20	-3,377878	29,395554	854	
21	-3,382896	29,396227	946	Glissement 3
22	-3,383152	29,396153	969	
23	-3,383494	29,396222	957	
24	-3,383611	29,396245	970	
25	-3,383755	29,396298	971	
26	-3,384085	29,396332	967	
27	-3,384255	29,396295	965	
28	-3,384475	29,396427	980	
29	-3,384758	29,396457	979	
30	-3,385178	29,396723	981	
31	-3,385442	29,397079	988	

B

32	-3,385647	29,397371	979
33	-3,385852	29,397583	989
34	-3,386015	29,397764	1003
35	-3,386354	29,398199	994
36	-3,386538	29,398408	1012
37	-3,386443	29,398497	1013
38	-3,386545	29,398996	1037
39	-3,386016	29,399132	1200
40	-3,385636	29,399159	978
41	-3,385287	29,399444	1002
42	-3,384949	29,399622	1003
43	-3,384575	29,40008	1012
44	-3,38443	29,400455	1002
45	-3,38422	29,400332	1001
46	-3,384132	29,400117	1003
47	-3,383999	29,400024	997
48	-3,383685	29,399969	997
49	-3,38355	29,3998	997
50	-3,38267	29,399922	995
51	-3,382531	29,400007	998
52	-3,382394	29,399907	993
53	-3,382268	29,39981	996
54	-3,382151	29,399629	992
55	-3,382025	29,399521	987
56	-3,381882	29,399009	974
57	-3,381494	29,399031	966
58	-3,381968	29,398459	958
59	-3,381929	29,398214	943

60	-3,38178	29,397839	931	
61	-3,381756	29,397573	920	
62	-3,381415	29,397442	916	
63	-3,381115	29,39717	894	
64	-3,381303	29,396663	919	
65	-3,381618	29,396638	929	
66	-3,38176	29,396556	928	
67	-3,381899	29,396463	926	
68	-3,382005	29,396472	928	
69	-3,382163	29,396257	937	
70	-3,382617	29,396395	944	
71	-3,382683	29,39637	946	