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

Contribution à l'étude des mouvements de masse dans le bassin de la riviere Gikoma

Niyondiko, Hermes; Sous la direction de : Prof. Nkurunziza Pascal

2017-07
UB, FACULTE DES SCIENCES
https://repository.ub.edu.bi/handle/123456789/1011

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

UNIVERSITE DU BURUNDI

FACULTE DES SCIENCES

DEPARTEMENT DES SCIENCES DE LA TERRE

CONTRIBUTION A L'ETUDE DES MOUVEMENTS DE MASSE DANS LE BASSIN VERSANT DE LA RIVIERE GIKOMA



Par

NIYONDIKO Hermès

Sous la direction de :

Prof. NKURUNZIZA Pascal

Mémoire présenté et défendu publiquement en vue de l'obtention du Grade de Licencié **en Sciences Géologiques et Minéralogiques**

Bujumbura, juillet 2017

DEDICACE

A Dieu tout puissant ;

A mes parents ;

A mon épouse ;

A mes enfants ;

A mes frères et sœurs ;

A mes oncles et tantes ;

A tous ceux qui me sont chers.

Je dédie ce mémoire

REMERCIEMENTS

Au terme de ce travail, il m'est très agréable de présenter mes sincères remerciements de gratitude à toutes les personnes qui, de près ou de loin, par leurs aides et leurs critiques, ont contribué à sa réalisation.

Nous remercions plus particulièrement le Professeur NKURUNZIZA Pascal qui, malgré ses multiples responsabilités, a accepté de diriger notre travail de fin d'études, qu'il daigne considérer ce travail comme le fruit de ses efforts. N'eussent été sa compétence, sa disponibilité, sa clairvoyance, ses conseils si enrichissants, le fruit de ce travail n'aurait pas vu le jour. Ses qualités humaines d'écoute et de compréhension, sa rigueur scientifique m'ont été de grande importance et nous seront toujours utiles.

Nous adressons également nos vifs remerciements au Professeur NAHIMANA Louis et BAKUNDUKIZE Charles pour leurs soutiens matériels ainsi que leurs remarquables conseils.

A tous mes éducateurs, depuis l'école primaire jusqu'à l'université du Burundi, de manière spéciale, à tous les professeurs de la Faculté des Sciences en général, et en particulier ceux du Département des Sciences de la Terre pour leur pleine et bien faite formation qu'ils m'ont donnée.

Que mes parents, mon épouse, mes enfants, frères et sœurs, oncles et tantes, cousins et cousines qui nous ont toujours soutenus matériellement et moralement dans la période de la réalisation de ce travail, trouve ici l'expression de notre reconnaissance.

Enfin, à vous mes camarades d'école, et à toute personne non citée, pour votre assistance tant morale que matérielle à la réalisation de ce travail, nous disons merci.

NIYONDIKO Hermès

SIGLES ET ABREVIATIONS

A : Are
Alt : Altitude
BV : Bassin versant
C : Centre de rotation
Fig : Figure
F.R.M.M : Faible Risque des Mouvements de Masse.
Fr : Frottement
GPS : Global positioning system
IGEBU : Institut géographique du Burundi
H.R.M.M : Haut Risque des Mouvements de Masse
Kc : Coéfficent de Gravelius
Km : Kilomètre
MC : Matériaux de construction
MM : Mouvements de masse
MNT : Modèle Numérique de Terrain
NE : North East
NW : North West
P : Périmètre
Pk : Poteau kilomètrique
RN : Route nationale
S : Surface
TA : Types d'activites
SE : South East
SIG : Système d'Information Géographique
SW : South West
R.I : Risque d'Inondation
X : Longitude
Y : Latitude

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: Vitesse moyenne de mouvements demasse 7
Tableau 2: Superficie des sites d'exploitation des matériaux de construction du bassin versant de la Gikoma 45
Tableau 3:Comparaison de la superficie glissée et exploitée et la superficie non glissé et non exploitée 46
Tableau 4: Nombre de dégats humains par commune selon le rapport de la Banque Mondiale 2014 49
Tableau 5: Coût des dommages dus liés aux mouvements de masse et aux inondations sur RN 1 et RN 9(rapport de la Banque Mondiale 2014) 51
Tableau 6: Dommages aux infrastructures scolaires (rapport de la Banque Mondiale 2014) . 52
Tableau 7: Dégâts dans les ménages, dans l'élévage et dans l'agriculture (rapport de la Banque Mondiale 2014) 53

LISTE DES FIGURES

Figure 1: Schéma d'un glissement rotationnel(A) et un glissement plan(B) 5
Figure 2: Coupe schématique d'un glissement rotationnel s'opposant à la mise en mouvement (force stabilisatrice) 5
Figure 3:Schéma montant l'état stable et instable d'un massifrocheux 9
Figure 4: Carte de localisation du BV de la rivière Gikoma extrait du MNT du Burundi. 9
Figure 5: Carte epysomètrique du bassin versant de la rivière Gikoma (Feuille Bujumbura-Muramvya1/50000 et MNTdu Burundi, précision10m) 11
Figure 6: Carte des réseaux hydrographiques du bassin de la rivière Gikoma extrait sur le MNTdu Burundi, précision10m 13
Figure 7: Carte géologique du BV de la rivière Gikoma extrait de la carte géologique du Burundi..... 15
Figure 8: Graphique montrant des précipitations journalières: Stations Bujumbura-Aéroport, 1984-2014(IGEBU, 2014) 16
Figure 9: Graphique des précipitations journalières 2013-2014: Stations Bujumbura-Aéroport-Mpehe-Maramvya (IGEBU, 2014). 17
Figure 10: Carte des mouvements de masse du BV de la rivière Gikoma (Feuille Bujumbura1/50000) 20
Figure 11: Carte des mouvements de masse de Kwigere et Bona, partie amont du BV de la rivière Gikoma (Feuille Bujumbura1/50000) 21
Figure 12: Glissement de Kwigere 1 et deKwigere2 22
Figure 13: Mouvement de masse de Kwigere3et de Kwigere4 22
Figure 14: Mouvement de masse de Kwigere 5 de Kwigere6 23
Figure 15: Mouvement de masse de Kwigere 7et de Kwigere8 24
Figure 16: Mouvement de masse de Kwigere 9 et de Kwigere10 24
Figure 17: Mouvement de masse deKwigere 11et deKwigere12 25
Figure 18:Mouvement de masse de Bona 1et de Bona2 (Scheet érosion) 26
Figure 19:Mouvement de masse de Bona3 et deBona4 (Scheet érosion) 27
Figure 20: Mouvements de masse de Bona5 et de Bona6 (Scheet érosion) 28
Figure 21:Mouvement de masse de Bona 7 28

Figure 22: Eboulements de Kwigere et Eboulements de Bona 29
Figure 23: Carte de mouvements de masse Gikoma et Buhayira, partie aval du BV de la rivière Gikoma (Feuille Bujumbura1/50000) 29
Figure 24: Mouvement de masse de Buhayira1 et de Buhayira2 30
Figure 25 : Mouvement de masse de Buhayira 3 et Buhayira 4 31
Figure 26: MM de Gikoma 1(Sheet érosion), de Gikoma 2(glissement) et affaissements surRN1 31
Figure 27: Affouillement sur le pont RN1 :partie amont et partie aval 32
Figure 28: Mouvement de masse de Gikoma 3 et de Gikoma 4 32
Figure 29: Glissement de Gikoma 5 et de Gikoma 6 33
Figure 30: Mouvement de masse de Gikoma 7 et de Gikoma 8 34
Figure 31: Glissement de Gikoma 9 34
Figure 32 : Eboulements sur la rivière Gikoma 35
Figure 33: Carte de mouvements de masse de Muberure, Benga, Mbirira, Tenga et sur la RN1 (Feuille Bujumbura1/50000). 35
Figure 34 : Mouvement de masse deMbirira1, de Mbirira 2 et Mbirira3 36
Figure 35: Mouvement de masse de Muberure 1etMuberure 2 37
Figure 36: Mouvement de masse de Muberure 3 et Muberure 4 37
Figure 37: Mouvement de masse de Benga 1 et de Benga 2 38
Figure 38: Glissement Benga 4 et Tenga 39
Figure 39: Alluvionnements 39
Figure 40 : Disposition des roches dans la rivière Gikoma 40
Figure 41: Carte des pentes du BV de la rivière Gikoma extrait sur MNT du Burundi deprécision10m. 41
Figure 42: Vallée en Vdans les Mirwa et en U à la sortie des Mirwa 42
Figure 43: L'état des méthodes culturales dans le sens de la pente sur le versant de Mbirira 43
Figure 44: Extraction de carrières à Buhayiraet à Benga partie amont 44
Figure 45: Extraction du sable, moellons, gravier à Gikoma, Rubirizi etTenga: partie aval 44
Figure 46: Carte des sites d'explotation des matériaux de construction dans le BV de la rivière Gikoma (feuille Bujumbura1/50000) 45
Figure 47: Carte des zones du BV de la rivière Gikoma à risque des mouvements de masse et à risque d'inondations extrait du MNT du Burundi 47
Figure 48: Infrastructures exposées aux inondations 48
Figure 49: Effondrement de la RN1 à Muberureet à Benga 50
Figure 50:Glissement de terrain et affouillement sur RN1 à Mbirira 50
Figure 51 Affouillement sur pont de la RN9 au pk6 50
Figure 52: Ecole paramedicale inondée lors de fortes precipitations de 2014 51
Figure 53: Une maison en briques adobes détruite par un glissement de terrain 52

RESUME

Le bassin versant de la rivière Gikoma traverse deux types de régions naturelles différentes : la région de contreforts de Mirwa surplombant la ville de Bujumbura et la plaine de l'Imbo. Il est très vulnérable face aux mouvements de masse. Cette vulnérabilité est liée aux caractéristiques physiques, géologiques et géographiques de la région des Mirwa et de la région de la plaine l'Imbo.

Chaque année pendant la période de fortes précipitations, on observe des mouvements de masse dans les contreforts des Mirwa et des inondations dans la plaine l'Imbo.Ces derniers causent des dégâts tant sur les infrastructures publiques que privées et même occasionent la perte de vies humaines.

Notre présent travail **(Contribution à l'étude des mouvements de masse dans le bassin versant de la rivière Gikoma)** s'est occupé à cartographier des mouvements de masse et a contribué dans l'analyse des facteurs influençant ces mouvements de masse et les dégâts liés à ces derniers.

En outre, Il propose aussi des mesures efficaces dans l'atténuation et la gestion de ces mouvements de masse

ABSTRACT

The Gikoma watershed includes two types of different natural regions: the region of the Mirwa counterfort over looking the city of Bujumbura and the Imbo plain. It is highly vulnerable to geological and hydrological risks. This vulnerability is related to the physical, geological and geographical caracteristics of the Mirwa region and the Imbo plain region.

Every year, during the period of heavy precipitations, the mass movements are observed in the counterfort of the Mirwa on the one hand and by the other hand flooding in the Imbo plain.The latter caused many damages not only by public but also by private infrastructures without forgeting that they affect equally the human being.

Our present work **(Contribution to the study of mass movements in the Gikoma river watershed)** tries to map areas which are exposed to these mass mouvements and to contribute by the analysis of the factors on which those mass movements are based and also to evaluate the damages caused by the latter.

In addition, this work will propose some ways to mitigate and to manage such the mass mouvements.

TABLE DES MATIERES

DEDICACE i
REMERCIEMENTS ii
SIGLES ET ABREVIATIONS iii
LISTE DES TABLEAUX iv
RESUME v
ABSTRACT vi
TABLE DES MATIERES vii
CHAPITRE 0: INTRODUCTION GENERALE 1
0.1.But du travail 1
0.2. Importance du sujet 1
0.3. Hypothèses de recherches 2
0.4. Cadre de travail 2
0.5. Matériels et méthodologie de récolte des données 2
CHAPITRE I: GENERALITES SUR LES MOUVEMENTS DE MASSE 4
I.1. Définitions ou généralités 4
I.1.1. Mouvements de masse 4
I.1.2. Description des principaux types de mouvements de masse 4
I.1.2.1. Glissement plan 4
I.1.2.2. Glissement rotationnel 4
I.1.2.3.Niche d'arrachement et la loupe 5
I.1.2.4. Affaissement 6
I.1.2.5.Eboulement 6
I.1.2.6. Effondrement 6
I.1.2.7. Sheet érosion 6
I.1.2.8.Affouillement 6
I.1.3. Origine de mouvements de masse 6
I.1.3.1. Importance de l'eau dans les mouvements de masse 7
I.1.3.2. Terrains nécessitant une attention particulière face aux mouvements de masse:terrains gonflants 7
I.1.3.3. Analyse de la stabilité des pentes 7
I.2. Localisation du bassin versant de la rivière Gikoma 9

CHAPITRE II: CONTEXTE GEOMORPHOLOGIQUE ; GEOLOGIQUE ETCLIMATIQUE DU BASSIN VERSANT DE LA RIVI ERE GIKOMA 10

II.1. Contexte géomorphologique du bassin versant de la rivière Gikoma 10

II.2. Hydrographie de la rivière Gikoma 11

II.2.1. Délimitation du bassin versant de la rivière Gikoma 11

II.2.2.Les caractéristiques physiographiques du bassin versantde la rivière Gikoma 12

II.2.2.1.La superficie et le perimètre 12

II.2.2.2.Indice de compacité de Gravelius 12

II.2.2.3.Le rectangle équivalent 12

II.3.Végétation 13

II.4. La nature pédologique du sol 14

II.5. La nature lithologique du BV de la rivière Gikoma 14

II.5.1.Relation entre la nature lithologique et les mouvements de masse dans le bassin versant de rivière Gikoma 15

II.6. Contexte climatique du bassin versant de la rivière Gikoma 15

II.6.1. Précipitations 15

II.7.Température 18

CHAPITRE III: PRESENTATIONS DES MOUVEMENTS DE MASSECARTOGRAPHIES DANS LE BASSIN VERSANT DE LA RIVIERE GIKOMA 19

III.1. Caractéristiques des mouvements de masse cartographiés 19

III.1.1. Les mouvements de masse de Kwigere et de Bona dans la partie amont du bassin versant de la rivière Gikoma. 20

III.1.1.1. Mouvement de masse de Kwigere 1 21

III.1.1.2. Mouvement de masse de Kwigere 2 21

III.1.1.3. Mouvement de masse de Kwigere 3 22

III.1.1.4. Mouvement de masse de Kwigere 4 22

III.1.1.5. Mouvement de masse de Kwigere5 23

III.1.1.6. Mouvement de masse de Kwigere 6 23

III.1.1.7. Mouvement de masse de Kwigere 7 23

III.1.1.8. Mouvement de masse de Kwigere 8 23

III.1.1.9. Mouvement de masse de Kwigere 9 24

III.1.1.10. Mouvement de masse de Kwigere 10 24

III.1.1.11. Mouvement de masse de Kwigere 11 25

III.1.1.12. Mouvement de masse de Kwigere 12 25

III.1.2 Mouvements de masse de Bona 25
III.1.2.1. Mouvement de masse de Bona 1 25
III.1.2.2. Mouvement de masse de Bona 2 26
III.1.2.3. Mouvement de masse de Bona 3 26
III.1.2.4.Mouvement de masse de Bona 4 26
III.1.2.5. Mouvement de masse de Bona 5 27
III.1.2.6. Mouvement de masse de Bona 6 27
III.1.2.7. Mouvement de masse de Bona7 28
III.1.3. Les éboulements de Kwigere et Bona 28
III.1.4. Mouvements de masse de Buhayira et de Gikoma dans la partie aval du bassin versant de la rivière Gikoma 29
III.1.4.1. Mouvement de masse de Buhayira 1 30
III.1.4.2. Mouvement de masse de Buhayira 2 30
III.1.4.3. Mouvement de masse de Buhayira 3 30
III 1.4.4. Mouvement de masse de Buhayira 4 30
III 1.5. Mouvement de masse de la Gikoma 31
III.1 5.1. Les mouvement de masse de la Gikoma 1 et de la Gikoma 2 31
III.1.5.1.1.Affouillement sur le pont Gikoma de la RN1 32
III.1.5.2. Mouvement de masse de Gikoma 3 32
III.1.5.3. Mouvement de masse de Gikoma 4 32
III.1.5.4. Mouvement de masse de Gikoma 5 et Gikoma 6 33
III 1.5 5. Mouvement de masse de Gikoma 7 et Gikoma 8 33
III 1.5 6. Mouvement de masse de Gikoma 9 34
III.1 6. Les éboulements sur la rivière Gikoma 35
III 1.7 Mouvements de masse de Mbirira, Muberure, Benga, et Tenga sur la RN1 35
III.1 7 1. Mouvement de masse de Mbirira 1 et 2 36
III.1.7.2. Mouvement de masse de Mbirira 3 36
III 1.8. Mouvements de masse de Muberure 36
III.1.8.1. Mouvement de masse de Muberure1 et Muberure 2 36
III.1 8 2. Mouvement de masse de Muberure 3 37
III.1.8.3. Mouvement de masse de Muberure 4 37
III.1.9. Mouvement de masse de Benga 38
III.1.9.1. Mouvement de masse de Benga 1 38
III.1.9.2. Mouvement de masse de Benga 2 38

III.1 9 3 Mouvement de masse de Benga 3 38
III.1.10. Mouvement de masse deTenga 38
III.2. L'alluvionnement 39
CHAPITRE IV : LES CAUSES DES MOUVEMENTS DE MASSE DANS LE BV DE LA RIVIERE GIKOMA. 40
IV.1. Les facteurs influençants les mouvements de masse dans le BV de la rivière Gikoma 40
IV.1.1.La nature lithologique 40
IV.1.2. Le relief 40
IV.1 3. La pente 41
IV.1 4.L'érosion 42
IV.1.5.Les réseaux hydrographiques 42
IV.1.6. Les causes mécaniques 42
IV 1.7.Les causes anthropiques 42
IV.1.7.1. La croissance démographique 42
IV.1.7.2.Les méthodes culturales dans le sens de la pente 43
IV.1.7. 3. L'exploitation anarchique des matériaux de construction 43
IV.1.8. Les anomalies pluviométriques 46
IV.2. Les zones à risque de mouvements de masse et à risque des inondations du bassin versant de la rivière. 46
IV.2.1. Exemples de quelques infrastructures exposées aux mouvements de masse et auxinondations 47
CHATITRE V:LES DEGATS LIES AUX MOUVEMENTS DE MASSE DANS LE BASSIN VERSANT DE LA RIVIERE GIKOMA EN 2014 49
V.1. Dégâts humains 49
V.2. Les dommages sur les Infrastructures 49
V.2 1. Les dommages sur les Infrastructures routières 49
V 2.1.1. Evaluation de coût des dommages dus aux mouvements de masse et auxinondations sur RN 1 et RN9 51
V.2.2. Les dommages aux infrastructures scolaires 51
V.2.2.1.Evaluation des dégats liés aux mouvements de terrain et aux inondations dans les secteursdes infrastructures scolaires 52
V 2.3. Les dommages aux champs agricoles, à l'élevage et aux ménages 52
V.2.3.1. Evaluation des dommages dans le domaine agricole, d'élevage et danslesménages 53
CHAPITRE VI:GESTION DES MOUVEMENTS DE MASSE 54
VI 1. Objectif de la protection 54
VI.2. Les mesures constructives pour lutter contre les mouvements de masse 54

VI.3. La gestion des inondations 54
CHAPITRE VII: CONCLUSION GENERALE ET RECOMMANDATIONS 55
LES REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES 57

CHAPITRE 0: INTRODUCTION GENERALE

Dans le monde entier, chaque année, on assiste à des phénomènes naturels meurtriers de causes différentes qui menacent la population avec leurs biens et leurs environnements

Le Burundi aussi comme ailleurs dans le monde, est un pays exposé à ces phénomènes naturels comme par exemple les mouvements de masse surtout dans les contreforts des Mirwa et les inondations dans la plaine de l'Imbo.Ces derniers sont souvent catastrophiques et meurtriers et leurs origines sont différentes. Ils engendrent de multiples dégâts dont la perte de vies humaines, de matériels, la destruction des infrastructures et la destruction des habitations (Nkurunziza, P ,2005).

L'exemple est celui du mois de février 2014 où une pluie torrentielle a provoqué des mouvements de masse dans les contreforts des Mirwa surplombant la ville de Bujumbura. Par le biais de la rivière Gikoma, Muzazi et Gasenyi, des inondations dans les communes d'Isare, Mutimbuzi et dans les quartiers de Carama, Mubone, Kinama et Buterere, en Mairie de Bujumbura. ont causé la mort de plus de 70 personnes avec beaucoup de dégâts matériels.

C'est dans ce contexte que notre sujet de mémoire intitulé : « **Contribution à l'étude des mouvements de masse dans le bassin versant de la rivière Gikoma**» a vu le jour. Il aidera la population à localiser les zones exposées aux inondations, aux mouvements de masse et leurs causes afin de prendre des mesures préventives.Il permettra aussi aux organes administratifs et humanitaires de préconiser des moyens financiers;des interventions, des aides et des constructions pouvant résister aux mouvements de masse.

0.1. But du travail

Le but de notre travail consiste à :

-Délimiter le BV de la rivière Gikome à l'aide des données prises sur terrain avec GPS, ArcGis10.2 et le MNT de précision10m

- Cartographier et décrire les mouvements de masse dans le BV de la rivière Gikoma,

-.Analyser les causes qui sont à la base des mouvements de masse,

-Délimiter les zones à risques des mouvements de masse et à risque des inondations du BVde la rivière Gikoma,

-Répertorier les impacts environnementaux et socio-économiques de ces derniers afin de proposer des mesures de prévention dans la gestion de ces mouvements de masse.

0.2. Importance du sujet

Les mouvements de masse peuvent mettre en danger la vie des personnes et occasionner des dégâts aux biens assurés et aux biens non assurés.Les pertes qui en résultent sont très considérables. Notre sujet permet de :

-Identifier les types de mouvements de masse pouvant se produire dans le BV de la rivière Gikoma localisés dans les Mirwa et leurs conséquences sur les régions situées en aval.

- Proposer des mesures pouvant atténuer les mouvements de masse et les inondations dans le BV de la rivière Gikoma.

-Proposer mes suggestions aux organes administratifs comme méthodes à utiliser pour stabiliser le BV de la rivière Gikoma

0.3. Hypothèses de recherches

En débutant ce travail nous nous sommes posés les questions suivantes:

- Pourquoi observe-t-on fréquemment et chaque année des mouvements de masse dans les contreforts des Mirwa de façon générale et dans le bassin versant de la rivière Gikoma en particulier ?
- Au contraire, nous observons des inondations dans la plaine lors de fortes précipitations qui causent beaucoup de dégâts matériels et humains.

Pour répondre à ces deux questions, nous avons posé les hypothèses suivantes :

- Les caractéristiques géologiques, géographiques et physiques des contreforts des Mirwa sont à l'origine de la fréquence de mouvement de masse ;
- Le dynamisme fluvial de la rivière Gikoma a une influence sur les mouvements de masse observés dans le bassin versant de cette rivière ;
- Il existe une relation entre la nature lithologique et les activités anthropiques avec les mouvements de masse dans les contreforts des Mirwa.

0.4. Cadre de travail

Notre travail s'inscrit dans un cadre plus large d'un projet appelé « GeoRisca » dont les promoteurs sont le Musée Royal de l'Afrique Centrale (MRAC) et l'Université du Burundi.
Ce dernier s'intéresse à cartographier des mouvements de masse et de faire un inventaire des pertes en vie humaines et en infrastructures.Ce projet est conçu pour deux phases successives:
-Une première phase est limitée à une cartographie des mouvements de masse affectant la ville de Bujumbura et ses environs (les contreforts du Mirwa),
-Une seconde phase s'intéresse au reste du pays.
Notons ce pendant que notre travail ne concernera que la première phase et sera également limitée dans le bassin versant de la rivière Gikoma.

0.5. Matériels et méthodologie de récolte des données

Pour bien mener à bout notre travail, l'étape préliminaire a consisté à collecter les données sur terrain et une exploitation des documents déjà existants comme les photographies aériennes, les fonds topographiques (feuille Bujumbura et feuille Muramvya), une carte géologique (feuille Bujumbura et Feuille Muramvya), la consultation de travaux antérieurs et de la population rencontrée dans le bassin versant de la rivière Gikoma.
Le matériel de collecte des données sur terrain était composé de:

- GPS de marque garmin oregon 550t pour la prise des coordonnées géographiques (longitude, latitude et altitude),

-Appareil photos.

a) Travail de terrain

La tâche de collecte des données a été avant tout la reconnaissance du bassin versant de la rivière Gikoma.Elle est suivie d'une cartographie détaillée avec un GPS des :
-Mouvements de masse,
- Sites d'exploitations des matériaux de construction,
-Zones à risque d'inondations et les zones à risques des mouvements de masse.

A l'aide de l'outil de cartographie (GPS) et grâce son option «Area Calculation», nous avons calculé l'aire (en are) occupée par ces derniers.
Notre travail a essayé d'identifier macroscopiquent la nature lithologique en se basant aussi sur la carte géologique (feuille Bujumbura) afin de faire le lien entre les mouvements de masse et la nature de la roche.

b) Taitement des données

Les coordonnées géographiques récoltées à l'aide d'un GPS ont été transférées dans un ordinateur pour être traitées dans un classeur Excel.Après un enregistrement dans un répertoire, ces points ont été superposés sur un fond de carte topographique , géologigique (feuille Bujumbura et Muramvya) et MNT du Burundi et à l'aide d'un logiciel ArcGIS10.2 ce qui nous a permis de faire carte du relief, de pentes, carte des lithologie,carte de localiation,carte des mouvements de masse ,cartes des zones à risques des mouvements de masse et à risque d'inondations et la carte du BV de la rivière Gikoma.La création des shapefiles nous a été d'une grande utilité car avec ceux-là, nous avons pu relier les points les plus proches nous donnant ainsi des polygones.

CHAPITRE I: GENERALITES SUR LES MOUVEMENTS DE MASSE

I.1. Définitions ou généralités

I.1.1. Mouvements de masse

On appelle mouvement de masse, tout déplacement des matériaux induit par la gravité. C'est le transport des matériaux rocheux vers l'aval par suite d'un phénomène naturel ou les actions anthropiques de l'homme.Dans notre zone d'étude, ils sont plus fréquents dans les Mirwa et leurs vitesses de rupture sont très variables. Le passage de l'état stable à l'état instable des matériaux rocheux est lies à deux types de facteurs:

-Les prédispositions qui sont considérés comme des facteurs passifs ou les causes indirectes: contexte géologique, topographique et géographique ;

-Les facteurs préparatoires et déclenchant qui sont considérés comme des facteurs actifs ou les causes directes: causes mécaniques (sismicité, vibrations, modifications de la géométrie du massif rocheux) http://www.geotech.fr.org/../160.pdf.

I.1.2. Description des principaux types de mouvements de masse

I.1.2.1. Glissement plan

En général, la ligne rupture suit une couche mince de mauvaise caractéristique sur laquelle s'exerce l'action de l'eau.

Ce type de glissement se produit lorsque le massif en pente est constitué des sols meubles reposant sur un substratum ou encore lorsque la longueur de la surface de rupture potentielle est très grande par rapport à l'épaisseur du terrain. La taille de tel glissement est très variable et peut comprendre des surfaces allant de quelques mètres à plusieurs kilomètres carrés. Les formations schisteuses, ou les schistes métamorphiques et les gneiss sont plus sujettés à ce genre de glissement (Kert C. ,1999).

I.1.2.2. Glissement rotationnel

Pour un glissement rotationnel, la surface de glissement est de forme circulaire et concave, donc la masse se déplace vers l'aval le long d'une surface de rupture circulaire ou concave. La zone de départ est appelée escarpement et la partie en aval est appelée pied du glissement Habituellement, les glissements de ce type sont de faibles volumes et le déplacement des matériaux est limité. Ils se produisent principalement dans les terrains meubles homogènes et surtout les sols argileux. (Kert C. ,1999).

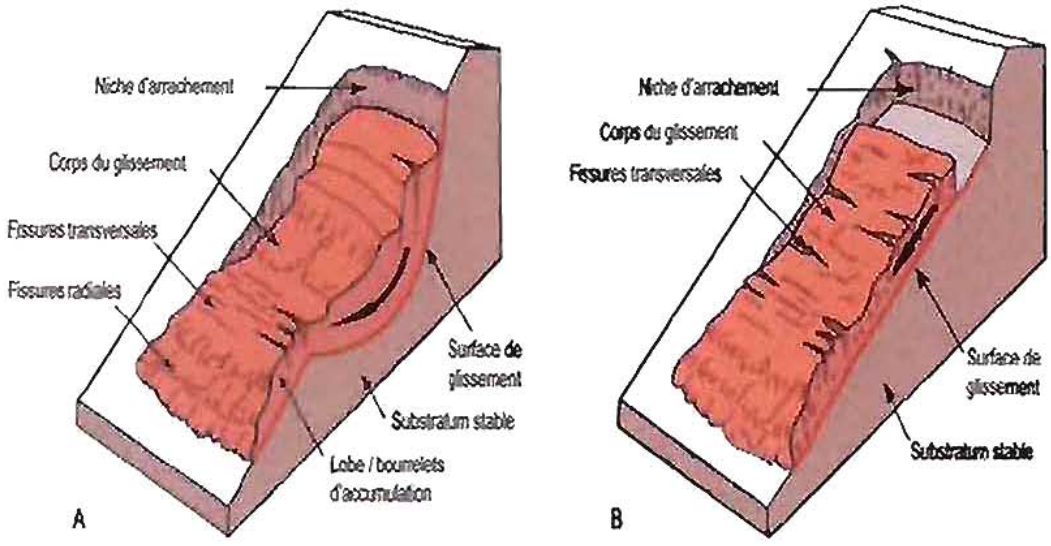


Figure 1: Schéma d'un glissement rotationnel(A) et un glissement plan(B)

https://www.unifr.ch/geoscience/geographie/ssgm/fiches/gravitaire/4101.php.

I.1.2.3.Niche d'arrachement et la loupe

Elle est la surface de rupture en partie supérieure d'un glissement de terrain tandis que la loupe est la surface incurvée selon laquelle se produit un glissement de terrain.

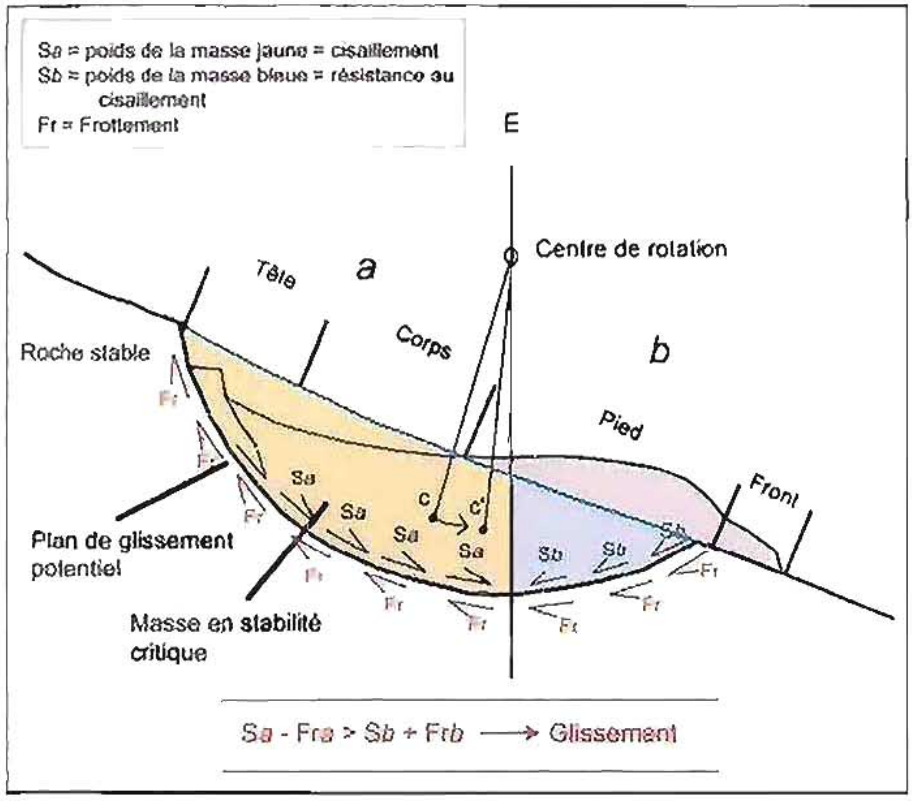


Figure 2: Coupe schématique d'un glissement rotationnel s'opposant à la mise en mouvement (force stabilisatrice)

Le poids de la tête (Sa) exerce une action motrice. Si Sa – Fra > Sb + Frb, alors il y a un glissement, sinon la masse est stable. Les infiltrations de (pluie, fonte des neiges) ont un effet négatif et une distribution des forces. Le poids du corps du glissement (Sb) et le frottement (Fr) sur la cohésion du terrain et contribuent à accentuer l'activité du glissement. https://www.unifr.ch/geoscience/geographie/ssgmfiches/gravitaire/4101.php.

I.1.2.4. Affaissement

L'affaissement correspond à un phénomène progressif et lent qui matérialise en surface une dépression topographique de faible profondeur et à grand rayon de courbure. Il marque l'aboutissement d'une déformation souple, correspondant au réarrangement continu des matériaux éboulés du sous-sol et à la résorption des vides (Lefevre, 2007).

I.1.2.5.Eboulement

Les éboulements sont dus à l'action mécanique s'excerçant sur une pente forte.Ils conduisent immédiatement au détachement immédiat de bloc et à leur chute sur la pente.Ils sont favorisés par certaines structures de roches (plans de stratification; diaclases) et par certaines conditions climatiques (Lefèvre, 2007).

I.1.2.6. Effondrement

L'effondrement se traduit par l'apparition brutale d'une ouverture ponctuelle, généralement cylindrique et de profondeur variable (de quelques mètres à quelques dizaines de mètres). Ces crevaisons du sol sont fréquemment qualifiées de fontis et résultent de la rupture brusque d'un horizon rigide qui, par sa résistance propre, a permis la constitution d'une voûte stable sous laquelle la cavité a pu se créer et s'étendre (Kerisel, 1956).

I.1.2.7. Sheet érosion

La sheet érosion est une forme complexe du mouvement de masse, une érosion en nappe.Elle se définit comme étant le détachement et le transport des matériaux rocheux de son amplacement d'origine par le les différents agents.Ces derniers peuvent être les ruissellements et les fortes précipitations.En d'autres termes, c'est une érosion hydrique.Elle entraine la dégradation du sol sur l'ensemble de la surface (https://www.reseachgate.net/profil).

I.1.2.8.Affouillement

Il désigne une érosion par la base provoquée par un cours d'eau.Il se produit dans le lit de la rivière et se traduit par un approfondissement local au niveau de la berge ou dans le lit mineur (Guy, 2005).

I.1.3. Origine de mouvements de masse

En règle générale les mouvements de masse sont dus à des modifications soit dans les moments résistants, soit dans les moments moteurs.Il y a rupture lorsque les moments moteurs sont supérieurs ou égaux aux moments résistants d'origine naturelle ou anthropique.Les mouvements de masse se différencient aussi par leur vitesse et par leur profondeur estimée de la surface glissée.

Tableau 1: Vitesse moyenne de mouvements demasse

Glissement	Vitesse de mouvement de masse
Substabilisé, très lent	0 - 2 cm/an
Peu actif, lent	2 - 10 cm/an
Actif (ou lent avec phases rapides)	> 10 cm/an

(Flageller, 1989)

I.1.3.1. Importance de l'eau dans les mouvements de masse

Le rôle d'eau dans les mouvements de masse est donc primordial.Sa présence au niveau de la surface de mouvement de masse semble être un facteur clef du processus de mouvement de masse.

L'eau a deux effets principaux sur la bonne tenue du terrain:

- Le premier se manifeste par une variation éventuellement très grande des propriétés mécaniques de résistance.
- Le second est de nature purement hydraulique pour les terrains immergés et se sépare en deux:

a) Effet hydrostatique

Il est caractérisé par la réduction de pression de contact entre les grains de sols et en conséquence la résistance au frottement du terrain.

b) Effet hydrodynamique

Il se traduit par un effort sur les particules du terrain et dirigé suivant le sens d'écoulement (Boussinesq ,1885).

I.1.3.2. Terrains nécessitant une attention particulière face aux mouvements de masse:terrains gonflants

Ce sont des sols argileux, principalement ceux contenant de la montmorillonite, gonflent par l'absorption d'eau pendant la période pluvieuse et inversement se contractent pendant la période sèche. Ce phénomène de gonflement et de contraction peut être responsable des mouvements gravitaires suivant la topographie du terrain (Kerisel ,1956).

I.1.3.3. Analyse de la stabilité des pentes

La gravité est la principale force entrant en action dans le cadre des mouvements de masse. A part la gravite, les propriétés mécaniques et physiques du massifs rocheux entrent également en scène.

a) **Détermination des forces agissant sur une couche de terrain**

Pour déterminer les forces agissant sur une couche de terrain, il est possible d'assimiler une couche de terrain à un bloc reposant sur une pente d'angleα:

-Le poids P de ce bloc est égal au produit de sa masse m et de la gravite (p=m.g).

-La pression normale qui est une force perpendiculaire à la surface de pente et qui tend à maintenir l'objet en place. Q=P.cosα.

-La force de cisaillement qui est parallèle à la pente et qui tend à provoquer la mise en mouvement:S=P.sinα.

-La résistance au cisaillement. C'est une force stabilisante exprimée par la loi de coulomb:

R=C+.Q .Tanα avec C=Cohésion du matériel force qui maintient les particules du terrain ensemble.

Q =pression effective normale ou pression normale dépendant essentiellement de la teneur en eau du matériau.

α=angle de frottement interne c'est-à-dire l'angle d'équilibre naturel d'un tas du terrain, angle au delà duquel les particules de terrain seront mobilises par le simple effet de la gravite (AntoineP., et FabreD., 1980).

b) Passage de l'état stable à l'état instable

Le passage de l'état stable à l'état instable s'exprime par certaines conditions:

-S>R, c'est la rupture.

-La diminution de la cohésion ou de la pression effective normale conduit à une diminution de la résistance au cisaillement ce qui peut être à l'origine d'une mise en mouvement du terrain (Masekanya., 2005).

c) Détermination du coefficient de sécurité

Le calcul consiste à comparer les contraintes de cisaillement du sol dont on admet un comportement rigide-plastique. On admet également que la rupture se produit simultanément en tout point de la pente.Le coefficient de sécurité a été défini comme étant le rapport de la somme des moments résistants maximaux sur la somme des moments moteurs.

$$FS=\frac{\sum desmomentsresistantsmaximaux}{\sum desmomentsmoteurs}$$

avec moment moteur qui est défini comme celui du poids de la terre(w) et de surcharges éventuelles tendant à provoquer les glissements.

Les moments résistants sont définis comme ceux des réactions s'opposant globalement aux mouvements de masse. Ce sont les réactions sur le plan vertical et que l'on peut décomposer en réactions horizontales et en réactions verticales (Boussinesq ,1885).

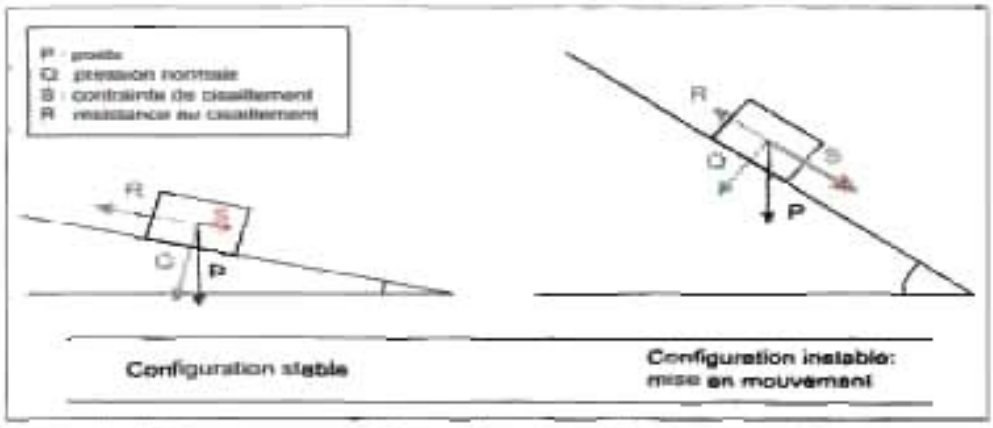


Figure 3: Schéma montant l'état stable et instable d'un massif rocheux

(http://www.geotech.fr.org/../160.pdf)

I.2. Localisation du bassin versant de la rivière Gikoma

Le bassin versant la rivière Gikoma est situé dans les contreforts des Mirwa de la crête-Congo-Nil surplombant la ville de Bujumbura en commune d'Isare et dans la plaine de l'Imbo.Il est localisé dans partie Ouest de la crête-Congo-Nil et aux coordonnées géographiques X=29°26'52,5", Y=-3°21'21,3"et l'altitude est comprise entre 780m et 2100m. Dans la plaine, il est localisé dans les quartiers du Nord de la ville de Bujumbura,en commune de Ntahangwa et dans la commune de Mutimbuzi.Dans les Mirwa,il est localisé dans la commune d'Isare de la province de Bujumbura. Il est limité au Sud par le bassin versant de Gasenyi et au Nord par le bassin versant de Muzazi et à l'Ouest, la rivière Mutimbuzi.

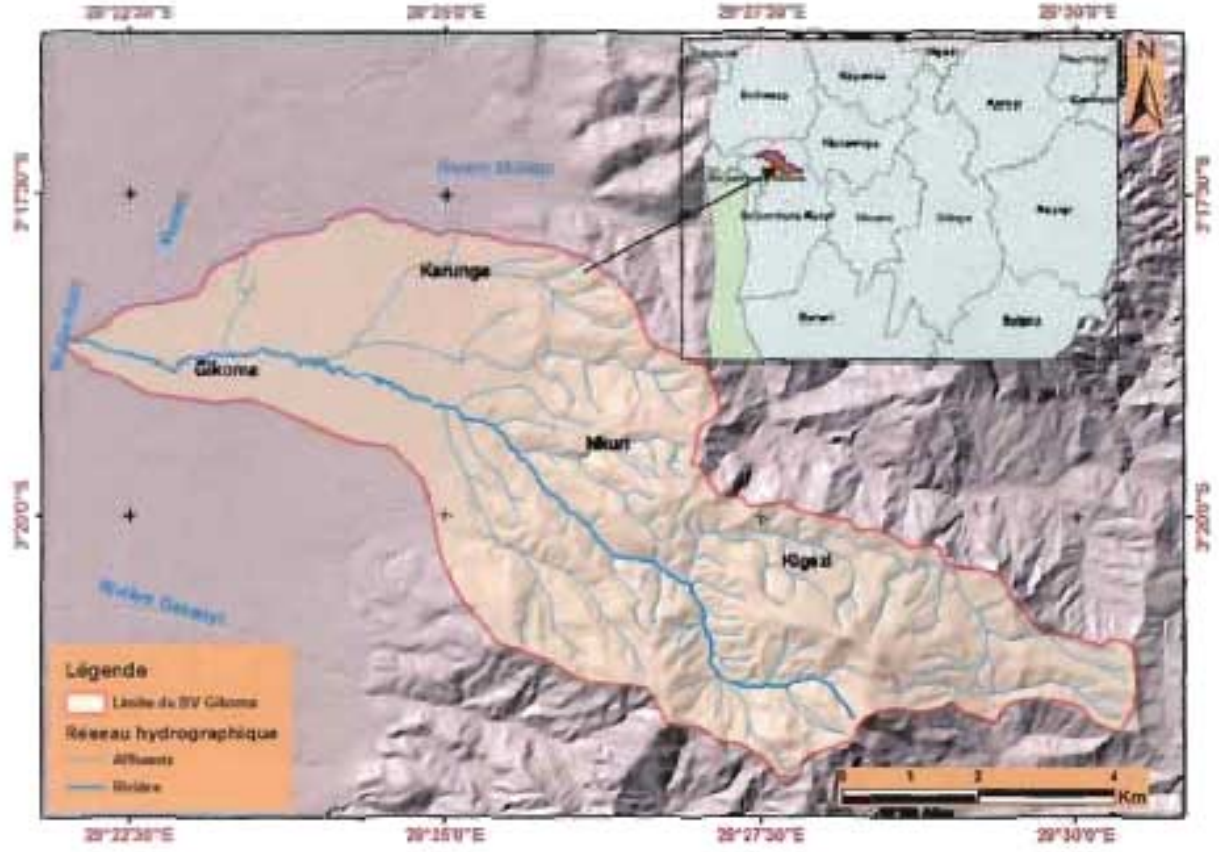


Figure 4: Carte de localisation du BV de la rivière Gikoma extrait du MNT du Burundi.

CHAPITRE II: CONTEXTE GEOMORPHOLOGIQUE ; GEOLOGIQUE ET CLIMATIQUE DU BASSIN VERSANT DE LA RIVIERE GIKOMA

II.1. Contexte géomorphologique du bassin versant de la rivière Gikoma

Le relief vers l'amont du BV de la rivière Gikoma, est caractérisé par des montagnes à pentes fortes avec des vallées encaissées (Bona, Buhayira, Kwigere et Mbirira) ce qui favorise les mouvements de masse et des courants d'eau torrentiels très rapides. Vers l'aval, les pentes sont faibles.

La géomorphologie du bassin versant de la rivière Gikoma s'etend sur trois ensembles de géomorphologies:

a)La zone haute des Mirwa

La zone haute des Mirwa est approximativement localisée à une altitude comprise entre 1700m à 2100m.Elle est le siège des fortes précipitations pendant la période pluvieuse.Elle est caractérisé par des pentes fortes. C'est dans ce contexte géomorphologique que la rivière de Gikoma prend sa source et dévale les escarpements des Mirwa. Ces derniers forment des vallées encaissées en forme de V.

b) La zone moyenne des Mirwa

Elle est localisée à une altitude qui varie entre 1000m et 1300m. Cette géomorphologie est caractérisée par de mouvements de masse tout au long de la rivière Gikoma.Cette rivière s'écoule dans la plaine de la Rusizi en contrebas après avoir traversée des roches précambriennes altérées.

c) La zone basse

Il s'agit d'une plaine avec une altitude variant entre 780m et 1000m. Elle est caractérisée par des inondations localisées ou parfois généralisées ainsi que par des alluvionnements surtout pendant le période des pluies.

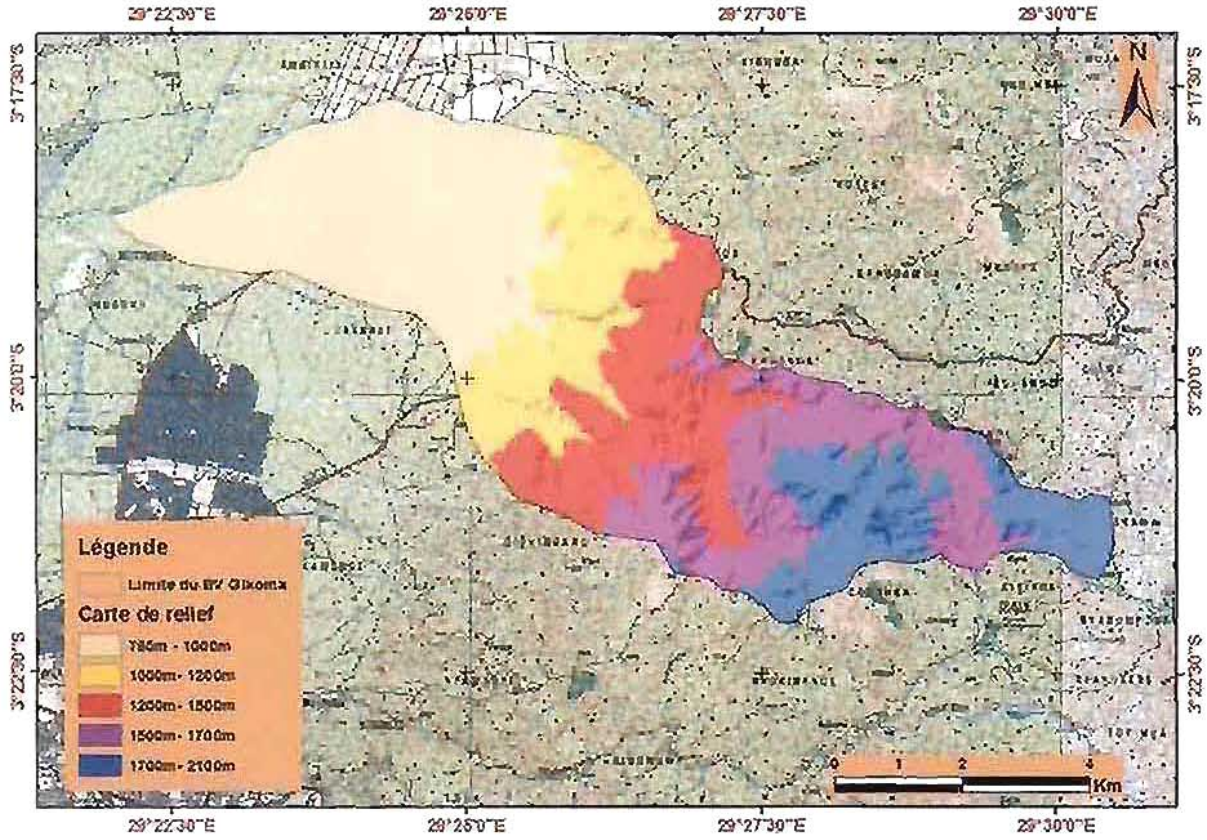


Figure 5: Carte epysométrique du bassin versant de la rivière Gikoma (Feuille Bujumbura-Muramvya1/50000 et MNTdu Burundi, précision10m)

II.2. Hydrographie de la rivière Gikoma

Le BV de la rivière Gikoma est un espace drainé par ses affluents vers un exutoire commun.Il a une superficie de 492454ares et un contour 40588.1m (figure6).Selon l'ordre de grandeur, nous avons distingué trois grands affluents de la rivière Gikoma : Kigezi, Karunga et Nkuri.D'autres sont des petits affluents. L'ensemble de toutes les eaux de tous ces affluents de la rivière Gikoma convergent vers un meme point à la sortie des Mirwa à Mutimbuzi appelé exutoire.C'est approximativement à ce point que la rivière Mutimbuzi commence avec ses deux affluents principaux : Gikoma, et Muzazi.Notons que la rivière Gikoma est captée pour irriguer les champs du riz et après avoir quitté les champs du riz, elle se diverse dans la rivière Gasenyi. Le debordement de ces deux rivières surtout pendant la période de fortes précipitations se rencontrent à Buterere. La rivière Mutimbuzi après avoir collecté les eaux de la Gikoma, Muzazi et la Murago, se jettent à son tour dans le Lac-Tanganyika. Les trois rivières Gikoma, Murago et Muzazi, qui forment ensemble la Mutimbuzi, sont responsables des inondations localisées dans la plaine.

II.2.1. Délimitation du bassin versant de la rivière Gikoma

Pour delimiter le basin versant de la rivière Gikoma et selon les notions acquises sur l outils Arc.Gis10.2 et le MNT, nous avons suivi les étapes suivantes:

-Travail du terrain avec un GPS en prenant des points et en observant la topographie et les lignes de partages des eaux (lignes de divergences des pentes)

-Identifier tous les cours d'eau, affluents de la rivière Gikoma afin de determiner l'exutoire à la sortie des Mirwa,
-Déteminer les caractéristiques morphologiques du BV de la rivière Gikoma,
-Déterminer la forme du BV de la rivière Gikoma,
-Extraire automatiquement une carte des réseaux hydrographiques du BV de la rivière Gikoma avec Arc Gis10.2 et le MNT du Burundi de précision10m

II.2.2.Les caractéristiques physiographiques du bassin versantde la rivière Gikoma

II.2.2.1.La superficie et le perimètre

Au cours du calcul de la superficie et du perimètre de notre zone d'etude, nous avons fait le recours à un outil informatiqueArcGis10.2.Nous sommes parvenus à dégager la superficie et le perimètre du bassin versant de la rivière Gikoma. La superficie est de 492454ares tandis que le perimètre du bassin versant de la rivière Gikoma est de40588, 5m.

II.2.2.2.Indice de compacité de Gravelius

Cet indice traduit la manière dont les eaux de ruissellement pour une pente donnée atteignent rapidement ou non l'exutoire.Il est déteminé à patir d'une carte topographique en mesurant son périmètre et sa surface.Il est inférieur ou égal à un pour BV de forme circulaire et supérieur à un pour un BV de forme allongée. Il est donné par la formule suivante:

$K_c = \frac{P}{2\sqrt{A\pi}} = 0,28\frac{P}{\sqrt{A}}$(https://www.reseachgate.net/profil).

Avec

K_c : indice de compacité de Gravelius
P : périmètre équivalente du B.V
A : surface équivalente du B.V
Pour le B.V de la rivière Gikoma

$K_c = \frac{P}{2\sqrt{A\pi}}$

$=0,28\frac{P}{\sqrt{A}}$

$=0,28\frac{40.6}{\sqrt{49.3}}$

1,62

$K_c > 1$ indique que le bassin versant de la rivière Gikoma a une forme allongée. Cette forme allongée favorise la collecte des eaux vers l'exutoire commun avec des pentes raides. D'où la formation des crues est moins importante.

II.2.2.3.Le rectangle équivalent

On désigne par ce terme de rectangle équivalent, le rectangle de largeur l et de longueur L de sorte que sa superficie S et son périmètre P soient les mêmes que ceux du bassin considéré.

$2*(L+l)=P=K_c\frac{\sqrt{A}}{0,28}$ (1)

$L*l=A$(2)

Ces deux expressions aboutissent à la résolution d'un système de deux équations à deux inconnues L et l dont la solution est obtenue de la manière suivante :

$$L=\left(\frac{k_c*\sqrt{A}}{1,12}\right)*\left(1+\sqrt{1-\left(\frac{1,12}{k_c}\right)^2}\right)$$

$$L=\left(\frac{1,81*\sqrt{41}}{1,12}\right)*\left(1+\sqrt{1-\left(\frac{1,12}{1,81}\right)^2}\right)$$

L=17,3

$$I=\frac{P}{2}-L$$

$$I=\frac{40,4}{2}-16,2$$

I=3.1

En regardant les valeurs de la longueur et de la largeur, il s'agit d'un bassin versant à forme allongée.

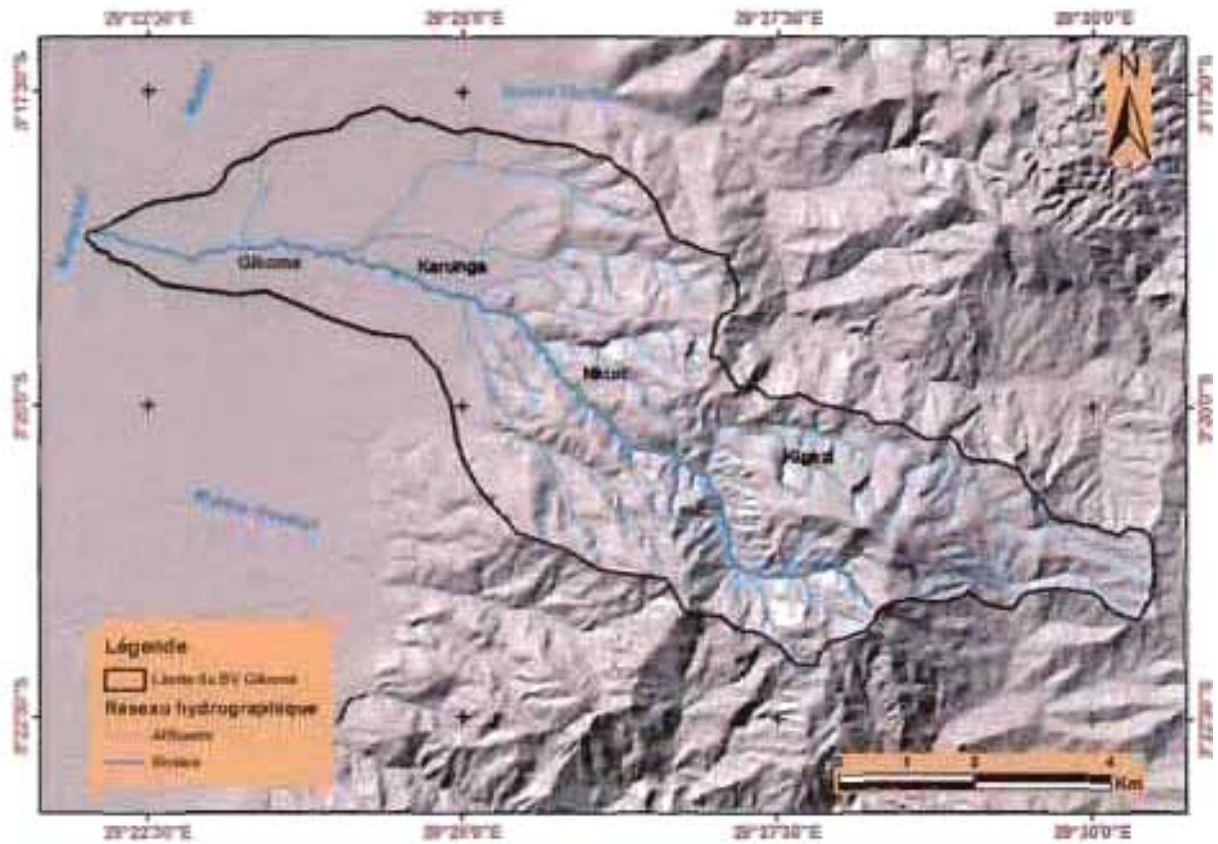


Figure 6: Carte des réseaux hydrographiques du bassin de la rivière Gikoma extrait sur le MNTdu Burundi, précision10m

II.3.Végétation

La végétation naturelle est en cours de disparition à cause de la croissance démographique nécessitant des terres agricoles. Les activités agricoles et la surexploitation des terres dans notre zone de travail favorisent la dégradation du couvert végétal.Elles contribuent à l'érosion, aux inondations, aux mouvements de masse et à la formation des ravins

Les hautes terres dans le bassin versant de la rivière Gikoma sont caractérisées par des cultures vivrières comme les haricots, le manioc, la patate douce et le bananier.
Les basses terres sont dominées par des cultures de riz, de maïs, de palmier à huile, de manguiers et d'avocatiers. Ces dernières sont favorables à l'irrigation. C'est ainsi qu'on y observe une série des canaux d'irrigation (Barantwarariţse, 1992).

II.4. La nature pédologique du sol

Trois grands ensembles pédologiques couvrent la région des Mirwa à savoir :

- Des lithosols auxquels s'associent les affleurements rocheux ;
- Des lands qui caractérisent surtout les versants à pente forte ;
- Des sols ferralitiques sur les versants à pente moins raide, sur les replats et sur les sommets des collines qui forment l'essentiel des terres cultivées.

Ce sont souvent des sols immatures et contiennent beaucoup de minéraux argileux qui sont favorables aux glissements de terrain (Sindayihebura, 2005).
C'est un sol dominé par les argiles et des alluviaux au niveau de Rushubi, Tenga, Mutimbuzi, Mbirira et Buhayira.

II.5. La nature lithologique du BV de la rivière Gikoma

Notre zone d'étude est constituée par deux grandes entités géologiques principales :

-Le cénozoique: il est localisé généralement dans les basses terrasses et dans la plaine.Il est constitué par des alluvions et des dépots fluvio-lacustres (Carama, Rubirizi, Tenga, Mubone et Mbirira).

-Le précambrien: il est constitué par un ensemble des roches métamorphiques, des intrusions granitiques, des intrusions basiques, des gnéiss et le complexe de Buhonga (granites gnéissiques, quartzites, granitoides et des schistes) (Nzojibwami, 1987).

Les roches précambriennes sont observées à la partie des Mirwa (Mbirira, Buhayira, Bona, Kwigere, Benga et Muberure).

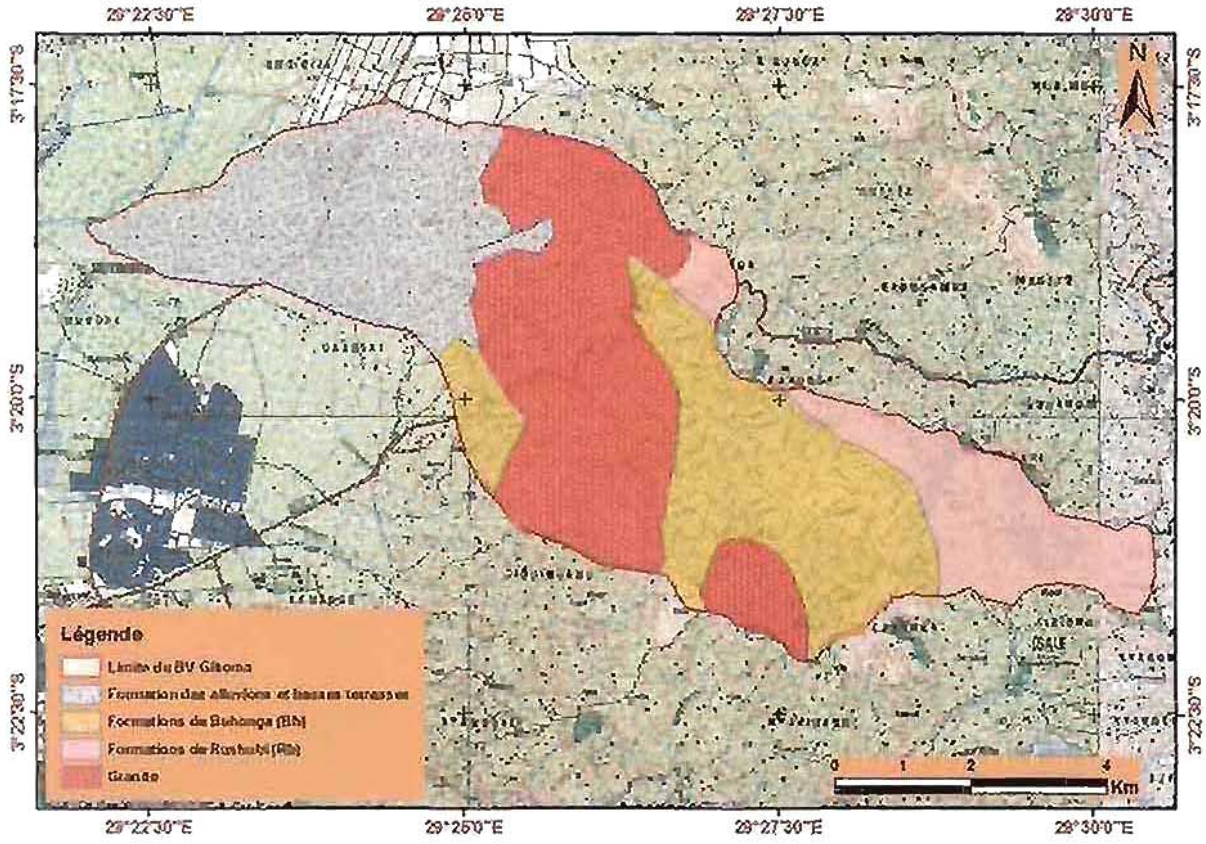


Figure 7: Carte géologique du BV de la rivière Gikoma extrait de la carte géologique du Burundi

II.5.1.Relation entre la nature lithologique et les mouvements de masse dans le bassin versant de la rivière Gikoma

La dynamique fluviale de la Gikoma est fortement influencée par la nature lithologique du substrat en place.Cette lithologie est dominée par des roches precambriènnes comme par exemple les gnéiss, les granites et les schistes. Elles sont sont constituées par des plans de faiblesse comme, les diaclases, les plans de foliations et des plans de schistosité.La région des Mirwa connait aussi une forte pluviosité et ces plans de faiblesse favorisent une intense infiltration de l'eau qui accélère l'altération des roches; d'où la manifestation de différents mouvements de masse.

La zone basse du bassin versant de la Gikoma, est constituée par des alluvions fluviatiles anciennes et récentes de la plaine où on observe peu de mouvements de masse.

II.6. Contexte climatique du bassin versant de la rivière Gikoma

II.6.1. Précipitations

Le bassin versant de la rivière Gikoma s'etend sur deux ensembles morphologiques : la région de la plaine de l'Imbo à courte saison des pluies et la région des Mirwa à longue saison des pluies. Les Mirwa dans notre zone de travail sont les sièges des fortes précipitations pendant la période pluvieuse. Elles contribuent de façon importante aux mouvements de masse dans les contreforts des Mirwa et aux inondations dans la plaine.

Selon la figure8 ci-dessous, nous constatons que depuis en 1984 au 2014, des fortes précipitations considérées comme anomaliés sont observées en :

- Avril en1986 (84mm/j),
- Février en1990 (78mm/j),
-Décembre en 2009(140mm/j)
-Février2014 (80mm/j)

Selon le temoignage des chefs des collines rencontrés à Mbirira et à Benga et le rapport de la Banque Mondiale de 2014, nous avons constaté que beaucoup de mouvements de masse dans le BV de la rivière Gikoma sont produits pendant ces périodes des anomalies pluviomètriques.Cela nous a permis de conclure qu'il existe une relation entre les mouvements de masse et les anomalies pluviomètrique dans le BV de la rivière Gikoma.

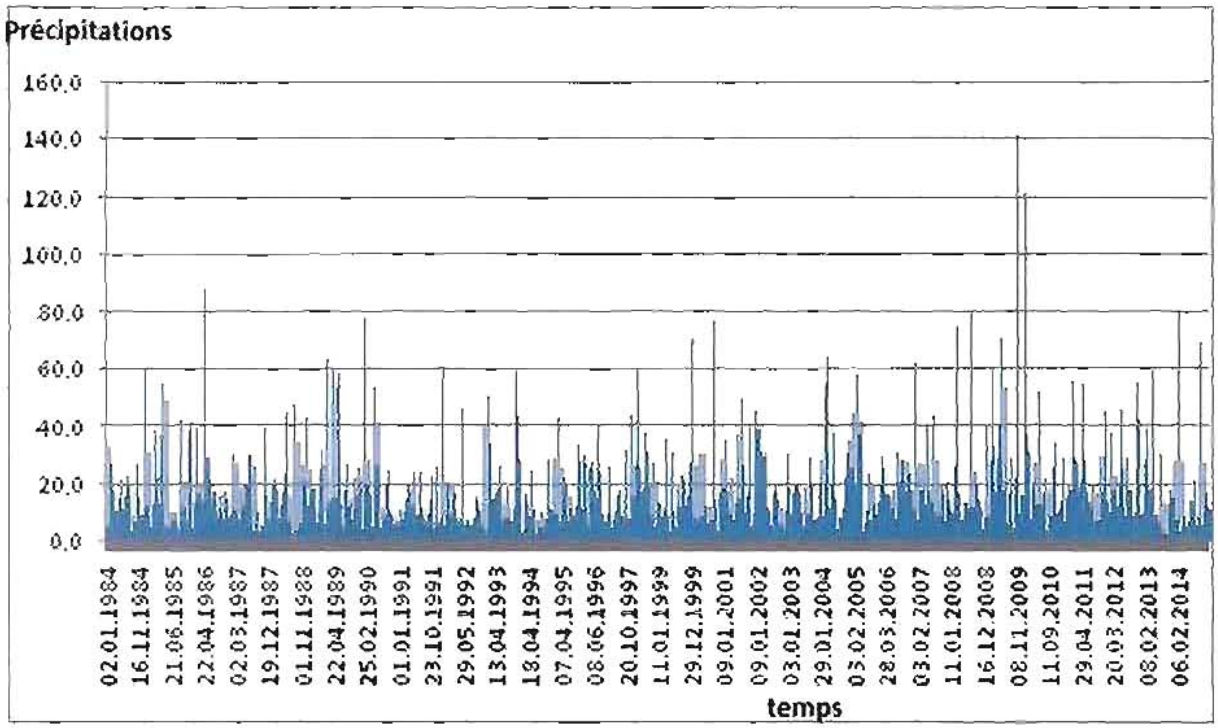


Figure 8: Graphique montrant des précipitations journalières: Stations Bujumbura-Aéroport, 1984- 2014(IGEBU, 2014)

Selon la figure9 ci-dessous, les fortes précipitations successives au mois de février en 2014 sont responsables des mouvements de masse qui sont produit dans les Mirwa du bassin versant de la rivivière Gikoma.Elles ont atteint 80mm/j.Elles ont fait beaucoup des dégats dans les Mirwa et dans la plaine.Elles ont fait la mort de plus 70 personnes avec beaucoup de dégâts de matériels et des infrastructures (Rapport de la Banque mondiale de 2014)

Selon les stations de Maramvya et Mpehe2015-2016, les précipitations anormales responsables des mouvements de masse ont continué à se produire et sont observés aussi en février..

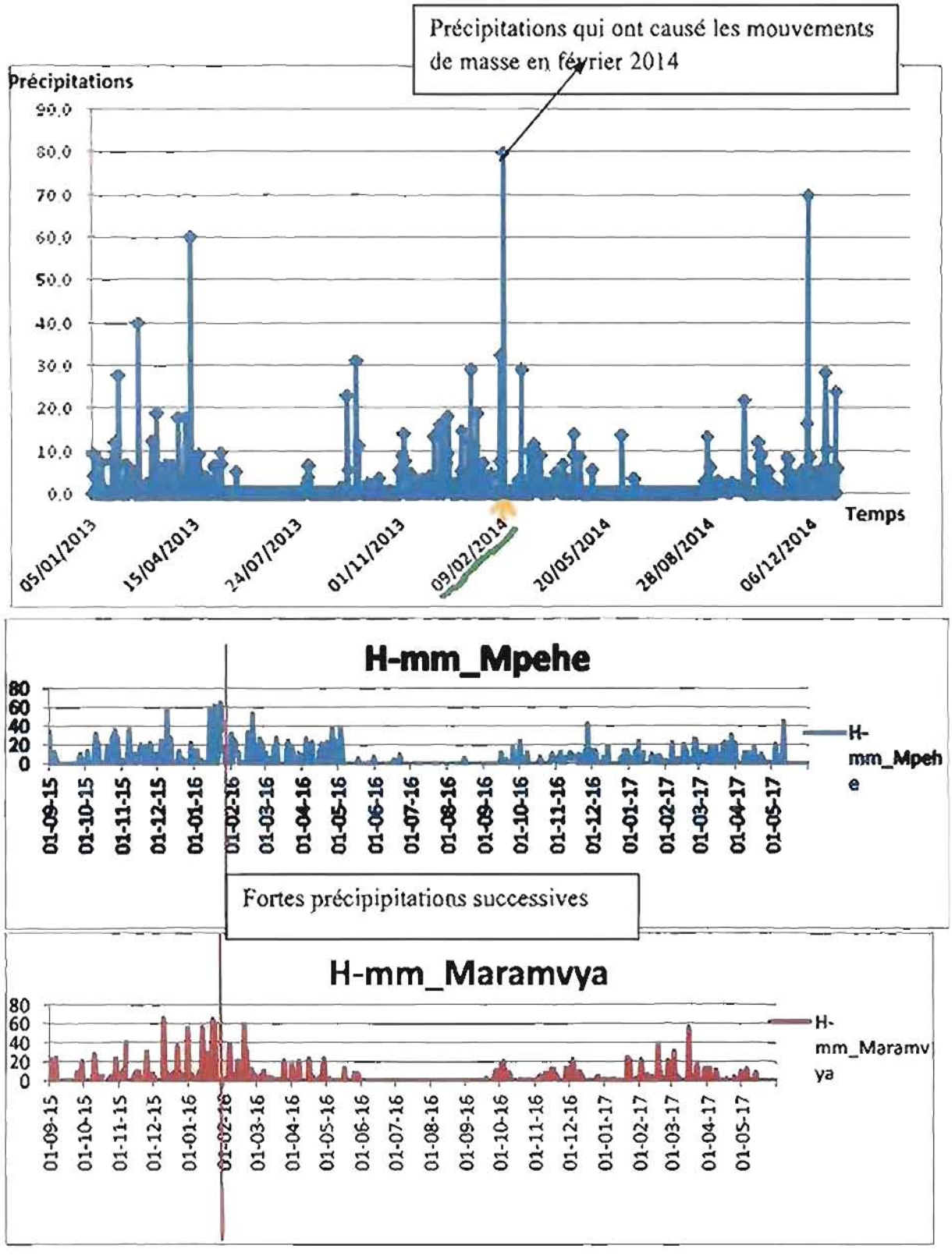


Figure 9: Graphique des précipitations journalières 2013-2014: Stations Bujumbura-Aéroport-Mpehe-Maramvya (IGEBU, 2014).

(http://imvura.minagrie.gov.bi/export/exportpublicbase)

II.7. Température

Les températures diminuent de la plaine vers les contreforts de la crête Congo-Nil où elles peuvent descendre en dessous de 15°C. Dans la plaine de l'Imbo, les températures maximales peuvent dépasser 30°C. Les variations de température sont fonctions de l'altitude. La température moyenne annuelle est de l'ordre de 23°C (Hakiza, 2002).

CHAPITRE III: PRESENTATIONS DES MOUVEMENTS DE MASSE CARTOGRAPHIES DANS LE BASSIN VERSANT DE LA RIVIERE GIKOMA

III.1. Caractéristiques des mouvements de masse cartographiés

Les mouvements de masse sont taillés pour la plupart des fois dans un substrat géologiquement altérable.Ils sont classés en trois catégories :

-Les glissements de terrain pouvant être rotationnel ou translationnels,

-Les éboulemens,

-Les sheets érosions (érosion hydrique).

Ils constituent un élément important dans la dégradation du milieu naturel et de l'amplification de la dynamique fluviale. La lithologie dominante de notre zone d'étude est constituée par des schistes, des gneiss et des granites.

Les matériaux érodés sur les versants et qui se déversent dans la rivière Gikoma confèrent à cette dernière une dynamique fluvial plus importante. Ces derniers vont alors constituer des alluvionnements dans la plaine.

On constate que, quelque soit l'échelle, les mouvements de masse cartographiés apparaissent très petits sur les fonds topographiques. C'est pour cela que nous avons essayé de les décrire en subdivisant cette carte générale de tous les mouvements de masse en cartes individualisées pour mieux rendre visible ces derniers.Nous avons trouvé 3cartes :

-Carte des mouvements de masse dans la partie amont de Mirwa localisés à Kwigere et à Bona (figure12),

- Carte des mouvements de masse dans la partie aval des Mirwa localisés à Buhayiraet à Gikoma (figure24),

- Carte des mouvements de masse dans la partieaval et amont de la route RN1 (figure34).

Selon la carte de tous les mouvements de masse du bassin versant de la rivière Gikoma (figure11), les mouvements de masse sont plus fréquents dans la partie amont que dans la partie aval de la route.

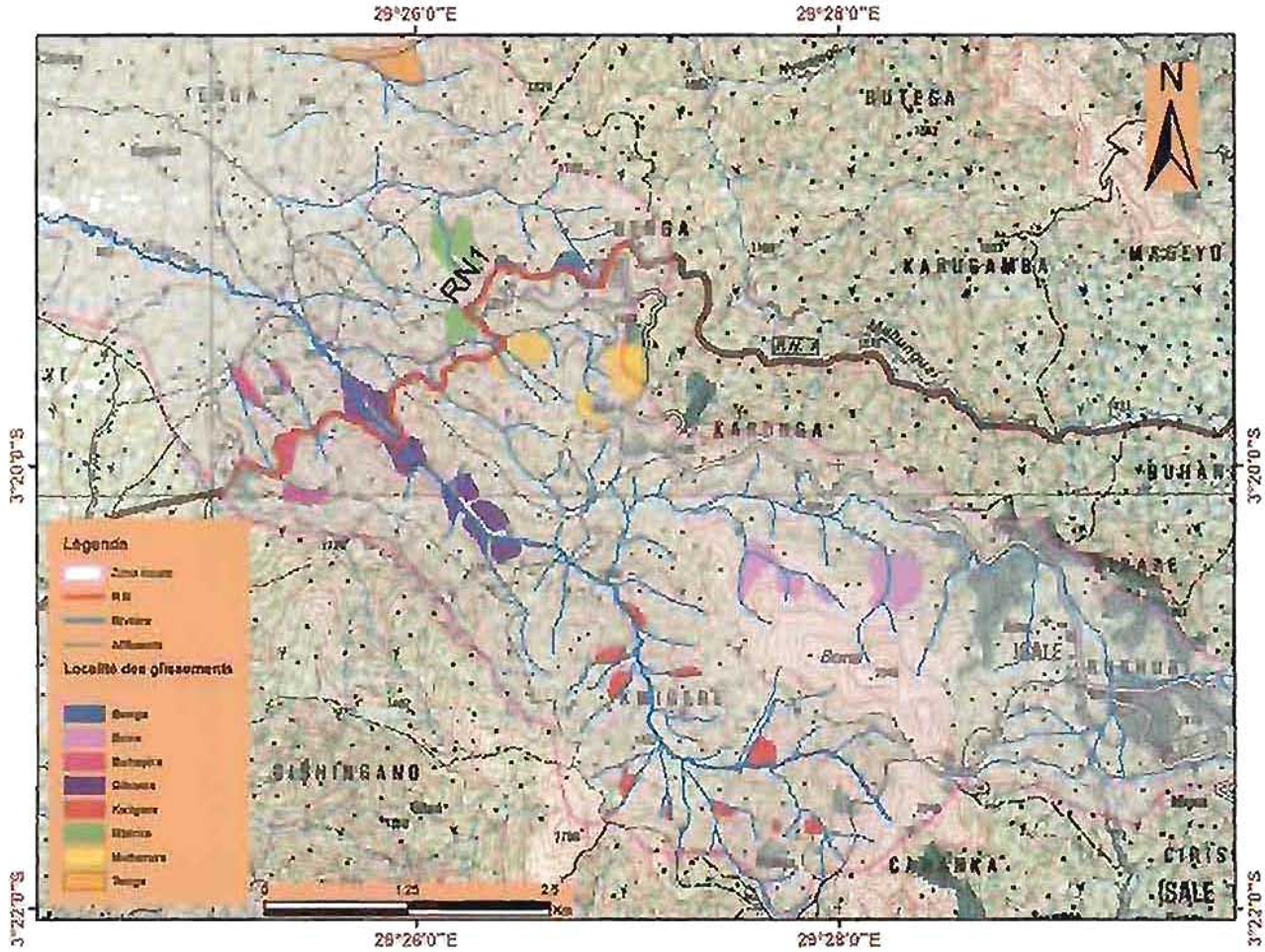


Figure 10: Carte des mouvements de masse du BV de la rivière Gikoma (Feuille Bujumbura1/50000)

III.1.1. Les mouvements de masse de Kwigere et de Bona dans la partie amont du bassin versant de la rivière Gikoma.

Les mouvements de massé observés à Kwigere et Bona sont localisés dans la patie amont du bassin versant de la rivière Gikoma.Ils sont classés en quatre catégories :

-Des glissements rotationnels,

-Des glissements translationnels,

-Des éboulements,

-Des sheets érosions.

Ils sont au nombre de 12 à Kwigere et de 7 à Bona.Ils constituent un impact négatif majeur aux habitations, auxcultures, à la végétation, à la rivière Gikoma et meme à l'environnement.

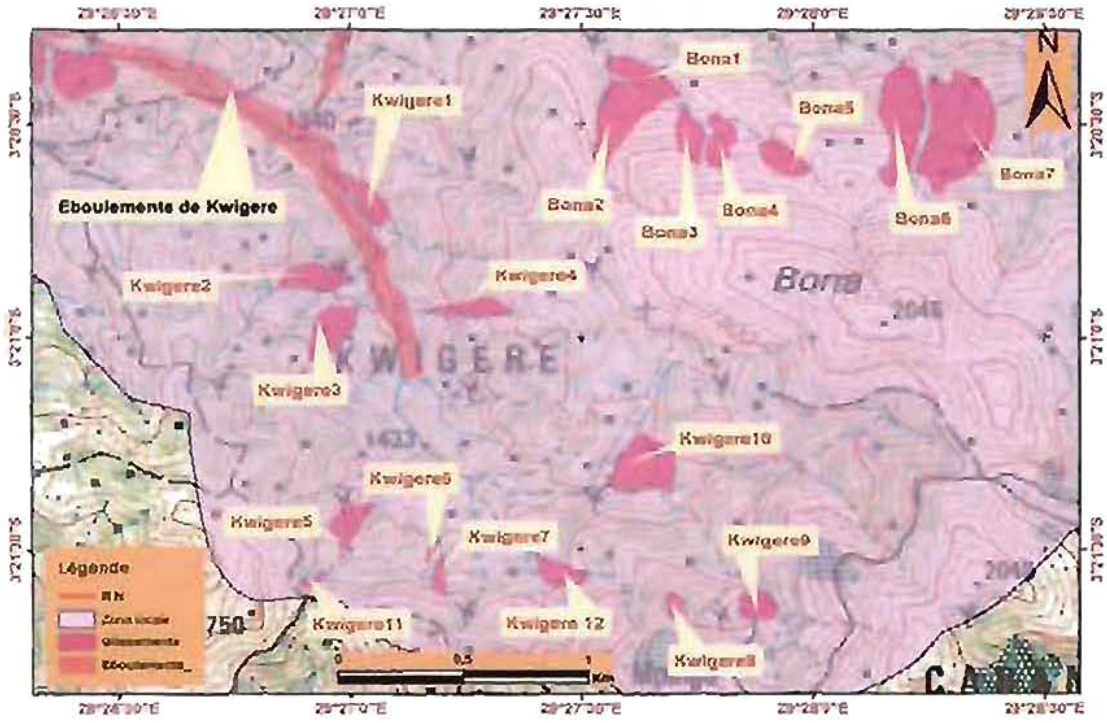


Figure 11: Carte des mouvements de masse de Kwigere et Bona, partie amont du BV de la rivière Gikoma (Feuille Bujumbura1/50000)

III.1.1.1. Mouvement de masse deKwigere 1

C'est un glissement de terrain rotationnel localisé aux coordonnées géographiques X=29,450291° et Y=-3,344193°. Il est taillé dans les argilee et menace dangereusement les cultures de maniocs mais aussi d'autres végétations sans parler d'une forte érosion qui emporte des terres en grande quantité.Il est activé par une source d'eau qui tarit pendant la saison sèche. La niche d'arrachement est estimée à une profondeur de moins de 3m. La loupe était encore visible bien qu'une partie ait été déjà emportée par les eaux pluviales.Il a une source d'eau dans son corps.

III.1.1.2. Mouvement de masse de Kwigere 2

Il est localisé aux coordonnées géographiques X=29,448539°, Y=-3,347556°. Il est taillé dans des argiles. Il présente une source d'eau qui sort du pied du glissement. Pendant la saison sèche, ce drainage tarit mais reste humide. Il détruit les terres, les arbres et les herbes. La zone d'accumulation des matières glissées était visible même si elle est érodée. Son escarpement est estimé à une hauteur inférieure à 3m. C'est un glissement rotationnel.



Figure 12: Glissement de Kwigere 1 et deKwigere2

III.1.1.3. Mouvement de masse de Kwigere 3

Il est localisé aux coordonées géographiques x =29,449249°, Y=-3,349546°.C'est un glissement qui est encore actif et taillé dans les gneiss.Il présente une zone de décharge dans la tête de l'escarpement.Pendant la saison séche, ce dernier tarit mais reste humide.La loupe du glissement est encore visible même s'il est érodé et la hauteur du glissement est estimée à 4m.Il détruit les terres, les arbres et les herbes. Ce glissement est translationnel.

III.1.1.4. Mouvement de masse de Kwigere 4

Situé aux coordonnées géographiques X=29,454507°, Y=-3,348835°, ce glissement est taillé dans une lithologie faite essentiellement d'argile et est estimée à une profondeur variant entre 1à3m. Il est un glissement translationnel et le couvert végétal est partiel. Il a une source d'eau qui sort de son corps ce qui augmente leur réactivation. Il a détruit les terres, les cultures, les bambous, les arbres et les herbes.



Figure 13: Mouvement de masse de Kwigere3et de Kwigere4

III.1.1.5. Mouvement de masse de Kwigere5

C'est un glissement de terrain translationnel localisé aux coordonnées géographiques X=29,449818°;Y=-3,357314°. Il s'est produit dans anciens glissement. La nature lithologique est faite de gneiss et des argiles. Le couvert végétal est partiel. Les facteurs influençant ce glissement de terrain sont la topographie, la nature lithologique et les ravinements. C'est un glissement translationnel et il détruit les terres, les arbres, les herbes et la fontaine. Pas de zone d'accumulation, car les matériaux glissés finissent dans la rivière Gikoma à cause de forte pente et de ravinement.

III.1.1.6. Mouvement de masse de Kwigere 6

C'est un glissement de terrain translationnel localisé aux coordonnées géographiques X=29,452802°, Y=-3,358309°.Il s'est produit dans les roches gneissiques avec une profondeur estimée de moins de 1m.Il est activé par les eaux du ravinement. Il a endommagé les cultures de maniocs, les bananiers et les terres.La loupe n'est pas visible car les matériaux glissés finissent dans la rivière Gikoma.



Figure 14: Mouvement de masse de Kwigere 5 de Kwigere6

III.1.1.7. Mouvement de masse de Kwigere 7

Il se situe aux coordonnées géographiques X=29,453276° ; Y=-3,3595883°. A voir la morphologie de terrain, c'est un ancien glissement avec un couvert végétal partiel. Il est activé par des ravinements. La population continue à cultiver dans ces glissements sans s'en rendre compte.Il est rotationnel et taillé dans les gneiss et les argiles. La masse déplacée finit dans la Gikoma.Il a détruit les terres, les maniocs, les bananiers, les herbres et la fontaine.

III.1.1.8. Mouvement de masse de Kwigere 8

Il se localise aux coordonnées suivantes: X=29,461707°; Y=-3,360488°. Il est difficile à prendre des photos dans cet endroit à cause de fortes pentes et une plantation dense.

C'est un glissementde terrain translationnel et la nature lithologique est faite des argiles. Il a détruit les terres, les cultures, les arbres agroforestiers et les palmiers à l'huile.

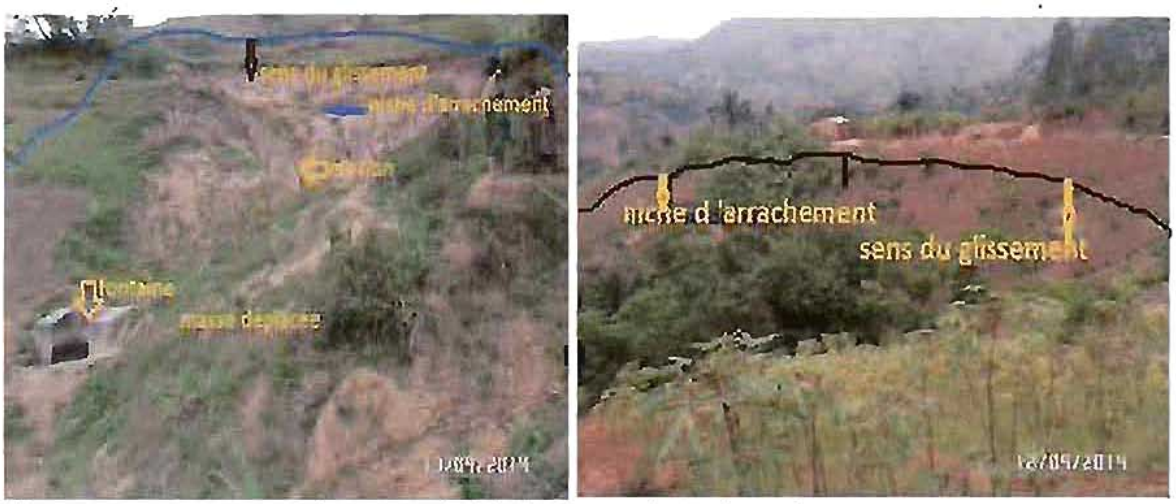


Figure 15: Mouvement de masse de Kwigere 7et de Kwigere8

III.1.1.9. Mouvement de masse de de Kwigere 9

C'est un glissement translationnel et se localise aux coordonnées suivantes: X=29,464502°; Y=-3,360678°.Il s'est produit dans un sol argileux et les gneiss.Il a détruit les terres, un champ de manioc, les herbes et les arbres. Ce dernier est intensifié par un ravinement et les activités agricoles.

III.1.1.10. Mouvement de masse de Kwigere 10

C'est un glissement translationnel et se localise aux coordonnées suivantes: X=29,460476°;Y=-3-355467°. Il a détruit les terres, les cultures de caféiers, de bananiers et de maniocs et sa profondeur est de moins de 3m. Il est activé par un ravinement et la nature lithologique est faite des gneiss. Les matériaux glissent sont emportés par les eaux du ravinement et vont continuer jusqu' à la rivière Gikoma.



Figure 16: Mouvement de masse de Kwigere 9 et de Kwigere10

III.1.1.11. Mouvement de masse de Kwigere 11

C'est un mouvement de masse localisé aux coordonnées géographiques X=29,448728° et Y=-3,359541° taillé dans le sol argileux et dans les gneiss.Il est une sheet érosion car les roches sont remontées à la surface.La niche d'arrachement est estimé à une profondeur inférieure à 4m est accéléré par les eaux du ravinement qui creusent et qui transportent les matériaux vers la rivière Gikoma. Dans cette zone, le sol est couvert de végétaux. Il détruit les terres, un champ de culture de manioc et les herbes.

III.1.1.12. Mouvement de masse de Kwigere 12

Il se localise aux coordonnées géographiques X=29,457255°; Y=-3,359304°.Il est produit dans un sol argileux avec une profondeur estimée inférieure à 3m.Le sol est couvert de végétation partielle. Il a détruit la terre, les herbes et un champ de culture de manioc.Les matières déplacées sont encore couverts de végétaux et la niche d'arrachement est visible.C'est un glissement rotationnel.



Figure 17: Mouvement de masse deKwigere 11et deKwigere12

III.1.2. Mouvements de masse de Bona

III.1.2.1. Mouvement de masse de Bona 1

Il est situé aux coordonnées géographiques X=29,460334° et Y=-3,339503° sur le pied du mont Bona. La nature lithologique est composée des roches gneissiques.

C'est une zone susceptible aux mouvements de masse car le relief de cette zone est très abrupt. Il est caractérisé par l'absence de zone d'accumulation car les matériaux glissés finissent dans la rivière Gikoma.C'est une sheet érosion car :

-Les roches sont remontées à la surface,

-Les matériaux sont entrainés par les eaux de pluie vers Gikoma

Il est translationnel. Il a endommagé la terre, les berbes et les arbres.C'est un phénomène qui nécéssite d'autres recherches et des études approfondues.

III.1.2.2. Mouvement de masse de Bona 2

Il est situé aux coordonnées géographiques X=29,422773° et Y=-3,326663°. Les matériaux tombent directement dans la rivière Gikoma. La lithologie dominante dans laquelle est taillé ce mouvement de masse est constituée de roches gneissiques mélangées avec des argiles, Le relief de cette zone est abrupt.Le bed rock est visible.C'est une sheet érosion car :
-Les roches sont remontées à la surface,
-Les matériaux sont entrainés par les eaux de pluie vers Gikoma.
La surface de rupture est plane. La végétation dominante est constituée d'une brousse claire, des herbes et d'un boisement de cédres et d'eucaptus qui couvrent totalement le sol. Cette végétation a été endommagée par ce mouvement de masse.



Figure 18: Mouvement de masse de Bona 1et de Bona2 (Scheet érosion)

III.1.2.3. Mouvement de masse de Bona 3

Il est localisé aux coordonnées géographiques X= 29,423201° et Y=-3,332223°. Le substrat géologique en place est le gneiss. Ecologiquement, une grande masse de terre est emportée et les cultures menacées par cet aléa sont les maniocs, les cannes à sucre. En amont le sol est couvert partiellement par les bananiers, les patates douces, les palmiers à huile, les herbes, les eucalyptus et l'avocatier. C'est une sheet érosion car :
-Les roches sont remontées à la surface,
-Les terres fines sont entrainées par les eaux de pluie vers Gikoma

III.1.2.4.Mouvement de masse deBona 4

Il s'agit d'un mouvement de masse localisé aux coordonnées géographiques X=29,463271° et Y=-3,342156°.Il est translationnel. C'est une sheet érosion car :
-Les roches sont remontées à la surface,
-Les terres fines sont entrainées par les eaux de pluie vers Gikoma
Il se trouve dans une zone où l'affouillement est très actif pendant la période de crues. Le bed rock est visible. La masse détachée est erodée et elle est constituée par les cultures de maniocs et les terres.

En amont, le sol est couvert par les cultures de maniocs, les herbes et les arbres mais de manière partielle.Toutes ces cultures, les terres etles arbres ont été detruit par ce mouvement de masse.



Figure 19: Mouvement de masse de Bona3 et deBona4 (Scheet érosion)

III.1.2.5. Mouvement de masse de Bona 5

Il se localise aux coordonnées géographiques X=29,465497° et Y=-3,343009°. Le relief sur lequel est affecté ce mouvement de masse a une pente forte. C'est une sheet érosion car :
-Les roches sont remontées à la surface ;
-Les terres fines sont entrainées par les eaux de pluie vers Gikoma.
La lithologie est essentiellement constituée de gneis. Il a détruit un champ de culture de maniocs, les herbes, les arbres et les terres.C'est un mouvement translationnel, un phénomène particulier qui nécéssitent d'autres recherches et des études approfondues.

III.1.2.6. Mouvement de masse de Bona 6

Il est localisé aux coordonnées géographiques : X=29,447175° et Y=-3,341635°. Il est produit dans les roches gneissiques avec une niche d'arrachement de plus de 2m.La masse déplacée est déjà emportée vers la rivière Gikoma.Il a détruit les terres, un champ de culture de manioc, les herbes, les bananiers et les arbres.C'est une sheet erosion caractérisée par :
-La remontée des roches à la surface ;
-Les terres fines qui sont entrainées par les eaux de pluie vers Gikoma.



Figure 20: Mouvements de masse de Bona5 et de Bona6 (Scheet érosion)

III.1.2.7. Mouvement de masse de Bona7

Il est localisé aux coordonnées géographiques : X=29,447176° et Y=-3,341645°.Il est produit dans un champ non cultivé. La masse déplacée est emportée par l'érosion.Il a détruit les terres, un champ non cultivé et les herbes.C'est un glissement rotationnel.



Figure 21: Mouvement de masse de Bona 7

III.1.3. Les éboulements de Kwigere et Bona

Les photos ci-dessous montrent des éboulements à Kwigere et à Bona sur le long de la rivière Gikoma.Les gros matériaux éboulées s'accumulent ensemble et tentent de provoquer la deviation de la rivière Gikoma.Cela peut conduire à la formation des crues torrentiels qui par la suite peut causer des inondations toute au long de cette rivière.



Figure 22: Eboulements de Kwigere et Eboulements de Bona

III.1.4. Mouvements de masse de Buhayira et de Gikoma dans la partie aval du bassin versant de la rivière Gikoma

Ils sont observés tout au long de la rivière Gikoma.Ce sont de glissements de terrain, des éboulements, des affaissements sur RN1, et des sheet érosion.Ils constituent une ménace aux habitations, aux menages, aux cutlures, à l'environnement et meme aux infrastructures comme par exemple la route RN1.

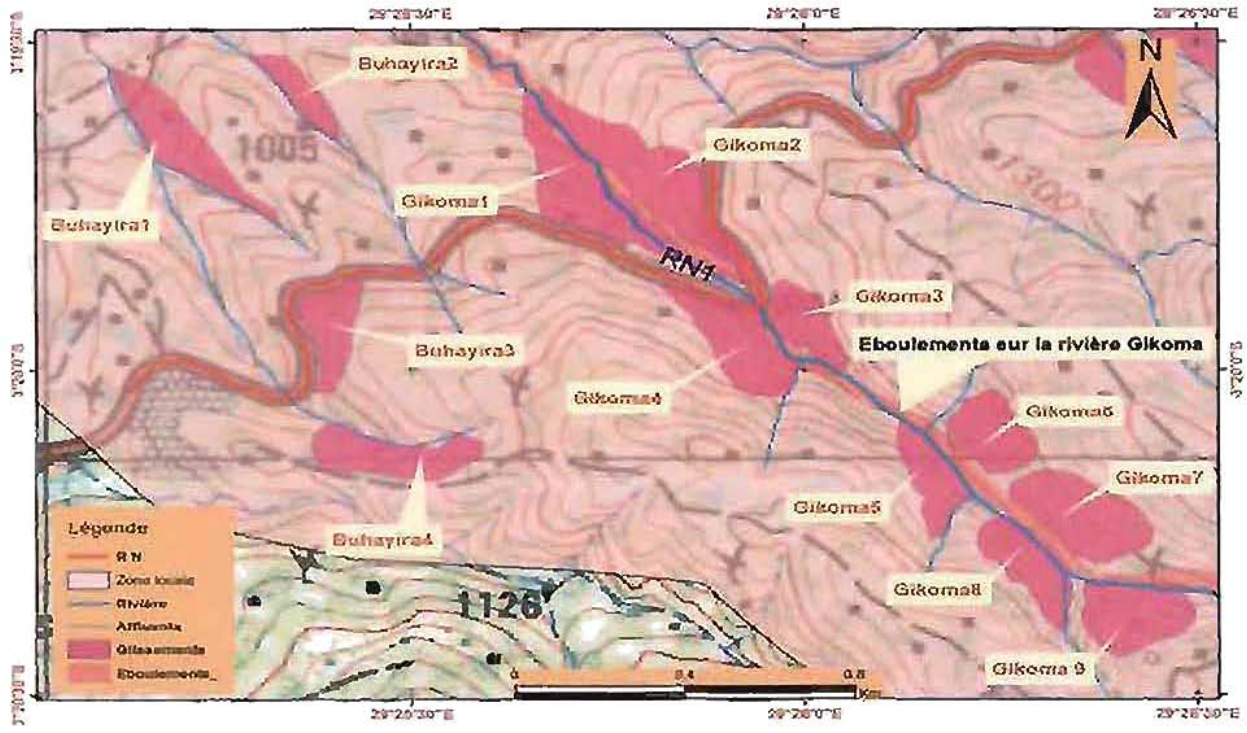


Figure 23: Carte de mouvements de masse Gikoma et Buhayira, partie aval du BV de la rivière Gikoma (Feuille Bujumbura1/50000)

III.1.4.1. Mouvement de masse deBuhayira 1

Il se localise aux coordonnées géographiques X=29,419905° et Y=-3,327493°.Il est taillé dans les gneiss. Il a un escarpement de moins de 3m de hauteur. C'est un glissement rotationnel et actif. Il a affecté la terre, la brousse, les cultures de manioc et les palmiers à huile.

III.1.4.2. Mouvement de masse de Buhayira 2

Il est localisé aux coordonnées géographiques : X=29,422773°, Y=-3,326663°.Son niche d'arrachement est de moins de 3m. C'est un glissement translationnel et long de plus de 50m.Il est activé par un ravin. Il est lithologiquement taillé dans les gneiss. Il a affecté les bananiers, les cultures de maniocs, les patates douces, palmiers à huile terres et les herbes.



Figure 24: Mouvement de masse de Buhayira1 et de Buhayira2

III.1.4.3. Mouvement de masse de Buhayira 3

Il se localise aux coordonnées géographiques X=29,423201°; Y=-3,332223°. Il est produit dans sédiments enlevés lors de l'extraction des carrières. Il a affecté les bananiers à son pied avec un escarpement en haut de moins d'1m. Il est un glissement rotationnel. Il a détruit un champ de manioc et sur la masse glissée, les bananiers sont inclinés vers l'amont. Ce glissement a affecté la route RN1 même si il est couvert de végétaux.

III.1.4.4. Mouvement de masse de Buhayira 4

Il se localise aux coordonnées géographiques suivantes: X=29,424257°; Y=-3,335494°. Il est aussi taillé dans sédiments enlevés lors de l'extraction des carrières. Il a affecté les terres et un reboisement naturel d'eucarytus à son pied avec un escarpement en haut de moins d'1m. Il est un glissement rotationnel.



Figure 25 : Mouvement de masse de Buhayira 3 et Buhayira 4

III.5. Mouvement de masse de la Gikoma

III.1.5.1. Les mouvement de masse de la Gikoma 1 et de la Gikoma 2

Ces mouvements de masse se trouvent respectivement aux coordonnées géographiques X =29,428182° et Y=-3,329053° en amont du pont et X =29,430773° et Y=-3,329305. Ils sont tous produits dans les roches gneissiques.Ils sont des glissements de terrain (figB), des sheets érosions (figA) etdes affaissements (figC). Un grand dépôt de blocs de roches et de sédiments arrachés sur la rive droite et gauche finit dans la rivière Gikoma.Ils ont endommagé la route RN1(affaissements), le pont, les terres, la végétation et la fibre optique qui était enterrée tout au long de la RN1.Une petite ouverture du dalot se trouvant sur le pont de Gikoma, sur la RN1, ne laisse pas passer une grande quantité de blocs de roches et des sédiments de grand volume. Le tassement de ces différents matériaux en amont du pont pendant de gros orages endommage la RN1 et bloque la rivière Gikoma en amont. L'infiltration des eaux combinée avec des mouvements de masse, menace dangereusement la partie aval du dalot et le bord gauche de la RN1. La surface de rupture est plane.



Figure 26: MM de Gikoma 1(Sheet érosion), de Gikoma 2(glissement) et affaissements surRN1

III.1.5.1.1.Affouillement sur le pont Gikoma de la RN1

L'affouillement sur le pont Gikoma est causé par l'erosion.Cette érosion est due au courant de la rivière Gikoma.Il est caractérise par un approfondissement local au niveau de la berge et dans le lit de cette rivière.



Figure 27: Affouillement sur le pont RN1 :partie amont et partie aval

III.1.5.2. Mouvement de masse de Gikoma 3

Il se situe aux coordonnées géographiques: X=29,433541° et Y=-3,332525°. Il est en contacte direct avec la rivière Gikoma. Son escarpement est de moins de 3m. C'est un mouvement translationnel et actif. Il est lithologiquement taillé dans les gneiss dans une vallée en gorge. Il a affecté les terres, les bananiers, les cultures de maniocs, les palmiers à huile et les herbes. La masse glissée finit dans la rivière Gikoma.C'est un mouvement rapide, un éboulement.

III.1.5.3. Mouvement de masse de Gikoma 4

Il se situe aux coordonnées géographiques : X=29,463271° et Y=-3,342156°.Il est taillé dans les roches gneissiques avec une hauteur de 4m.La zone d'accumulation est encore visible.Il a détruit les terres, les cultures de manioc, les manguiers, les bananiers, les arbres et les herbes.Les matériaux arrachés tombent directement dans la rivière Gikoma.C'est un glissement rotationnel.



Figure 28: Mouvement de masse de Gikoma 3 et de Gikoma 4

III.1.5.4. Mouvement de masse de Gikoma 5 et Gikoma 6

Ces mouvements de masse se localisent respectivement aux coordonnées géographiques X=29,435981°, Y=-3,336148° et X=29,437491°, Y=-3,335041°. Ils sont dus en grande partie au dynamisme de la rivière Gikoma. Ils se sont produits tous dans les gneiss et sont actifs.Le mouvement de masse de Gikoma 5 est un glissement translationnel.Il a détruit les terres, les herbes et les arbres.Le mouvement de masse de Gikoma est un decolement.Il a détruit aussi les terres, les herbes et les arbres.

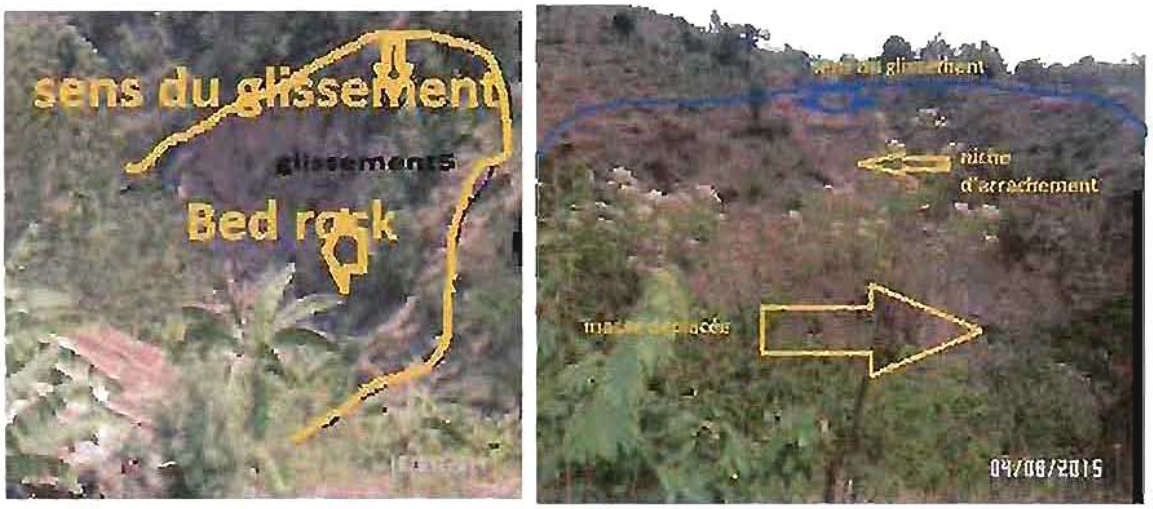


Figure 29: Glissement de Gikoma 5 et de Gikoma 6

III.1.5.5. Mouvement de masse de Gikoma 7 et Gikoma 8

Ces mouvements de masse se localisent respectivement aux coordonnées géographiques X=29,437491°; Y=-3,33 8664° ; X=29 ,439025° et Y=-3 ,337531°. Ils sont produits dans les roches gneissiques.Les matériaux déplacés arrivent dans la rivière Gikoma.

Ils se sont produits dans les gneiss et ont détruit les terres, les cultures de manioc, les bananiers, les herbes et les arbres.Le numéro7 est une sheet érosion et se trouve dans la partie gauche de la Gikoma tandisque le mouvement de masse 8 est un glissement de terrain.

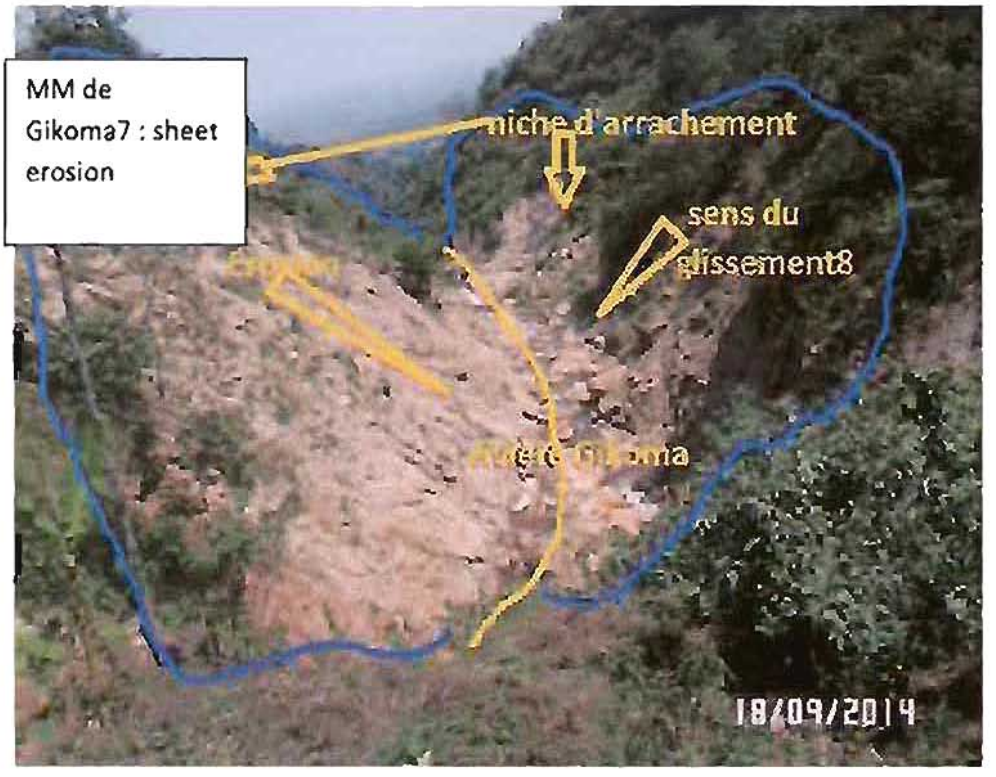


Figure 30: Mouvement de masse de Gikoma 7 et de Gikoma 8

III.1.5.6. Mouvement de masse de Gikoma 9

Ce glissement de terrain est localisé aux coordonnées géographiques: X=29,4 37491 et Y=-3,3339771°.Il est taillé dans les roches gneissiques avec un escarpement de moins 4m.Il a endommagé les terres, les herbes, la brousse et les palmiers à l'huile. Les matériaux arrachés par ce glissement progressent jusqu' à la rivière Gikoma.C'est un glissement translationnel et actif.



Figure 31: Glissement de Gikoma 9

III.1.6. Les éboulements sur la rivière Gikoma

La figure33 montre aussi comment les éboulements se manifestent sur le long de la rivière de Gikoma.Ils sont en continuités sur le long de la rivière Gikoma.Les éboulis finissent dans la rivière Gikoma et barrent parfois cette rivière ce qui favorise la formation des crues torrentiels



Figure 32 : Eboulements sur la rivière Gikoma

III.1.7. Mouvements de masse de Mbirira, Muberure, Benga, et Tenga sur la RN1

Ils sont observés en aval et en amont de la route RN1.Ce sont des glissements de terrain et constiuent aussi un impact negatif aux habitations, à l'environnement, aux champs de cultures et aux infrastructures.

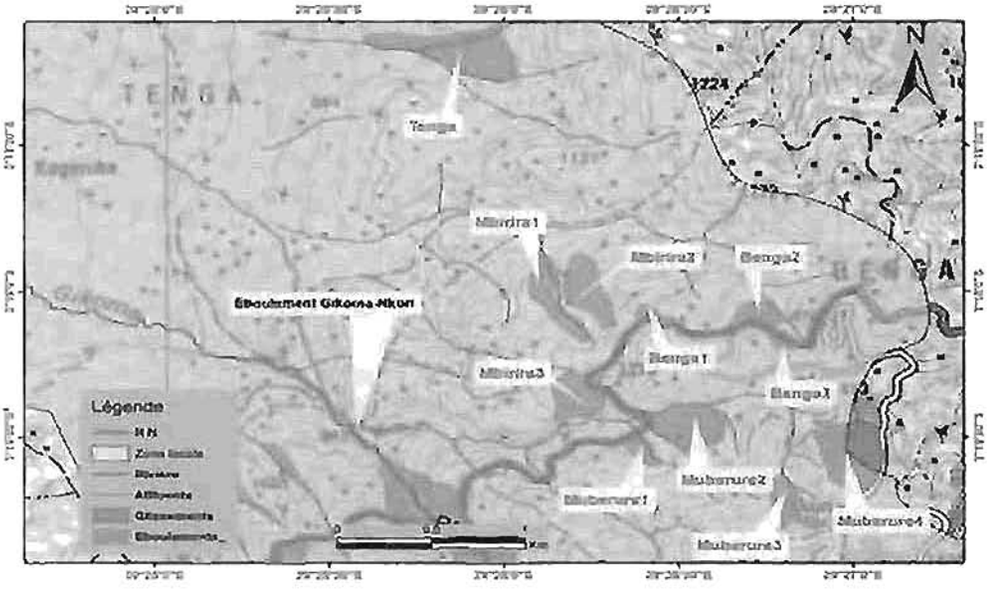


Figure 33: Carte de mouvements de masse de Muberure, Benga, Mbirira, Tenga et sur la RN1 (Feuille Bujumbura1/50000)

III.1.7.1. Mouvement de masse de Mbirira 1 et 2

Ils sont localisés respectivement aux coordonnées géographiques:X=29,4 37491° et Y=-3,3339771°, X=29 ,435193° et Y=3,31774°.Ils sont taillés dans les gneiss avec une niche d'arrachement est estimé de moins de 3m. La masse déplacée subit l'érosion. Ils ont détruit les terres, les herbes, les bananiers, culture de manioc et les arbres.

III.1.7.2. Mouvement de masse de Mbirira 3

Il se localise aux coordonnées géographiques X=29 ,436597°; Y=-3,322826°.Il est produit sur le côté remblais de la RN1 et constitue un réel danger, pour la route, pour la maison et ses latrines situées à proximité de la RN1. A son pied, il y a une source d'eau et les matériaux glissés sont des sédiments déposés lors du traçage de la route RN1. La masse déplacée est emportée par les eaux du ravinement vers la rivière Gikoma.

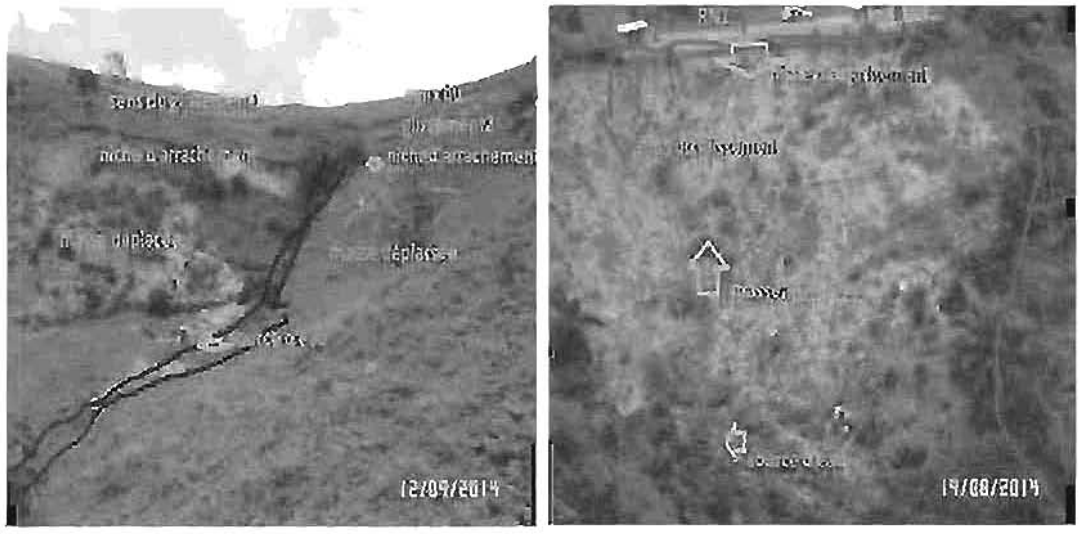


Figure 34 : Mouvement de masse deMbirira1, de Mbirira 2 et Mbirira3

III.1.8. Mouvements de masse de Muberure

III.1.8.1. Mouvement de masse de Muberure1 et Muberure 2

Ils se localisent respectivement aux coordonnées géographiques X=29 ,439599°; Y=-3,325683° et X=29,44162°, Y=-3,32432°.Ils se sont produits sur le bord droit de la route et les matériaux glisses sont constitués de sols-terre mélangés avec de blocs gneissiques. La hauteur de son escarpement est moins de 3m.Cette zone est susceptible aux glissements de terrain et cela est confirmé par la présence des affaissements et des instabilités observés sur les talus et sur la RN1.Tous ces glissements ont détruit les terres, les herbes, les arbres, les cultures de manioc et ont provoqué des affaissements de la RN1.



Figure 35: Mouvement de masse de Muberure 1etMuberure 2

III.1.8.2. Mouvement de masse de Muberure 3

Il se localise aux coordonnées géographiques X=29 ,446378°; Y=-3,3328104°.Il est produit dans les roches gneissiques mélanges avec des argiles.Il a détruit les terres, les herbes, les arbres, les bananiers et un champ de culture de manioc.

III.1.8.3. Mouvement de masse de Muberure 4

Il se localise aux coordonnées géographiques X=29, 450203°, Y=-3,3328104°. Il est produit dans les roches gneissiques et dans sols argileux.Il a détruit les terres, les herbes, les cultures de manioc, les bananiers et les palmiers à l'huile.



Figure 36: Mouvement de masse de Muberure 3 et Muberure 4

III.1.9. Mouvement de masse de Benga

III.1.9.1. Mouvement de masse de Benga 1

Il se localise aux coordonnées géographiques X=29 ,439938°; Y=-3,317742°. Il est produit sur le bord gauche de la RN1 et a provoqué des affaissements.Il a détruit la route, la buse, la fibre optique et les arbres.

III.1.9.2. Mouvement de masse de Benga 2

Il se localise aux coordonnées géographiques X=29,446424°; Y=-3,319729°.Il est produit dans les roches gneissiques.Il a détruit les terres, les herbes et les arbres.C'est un glissement translationnel.

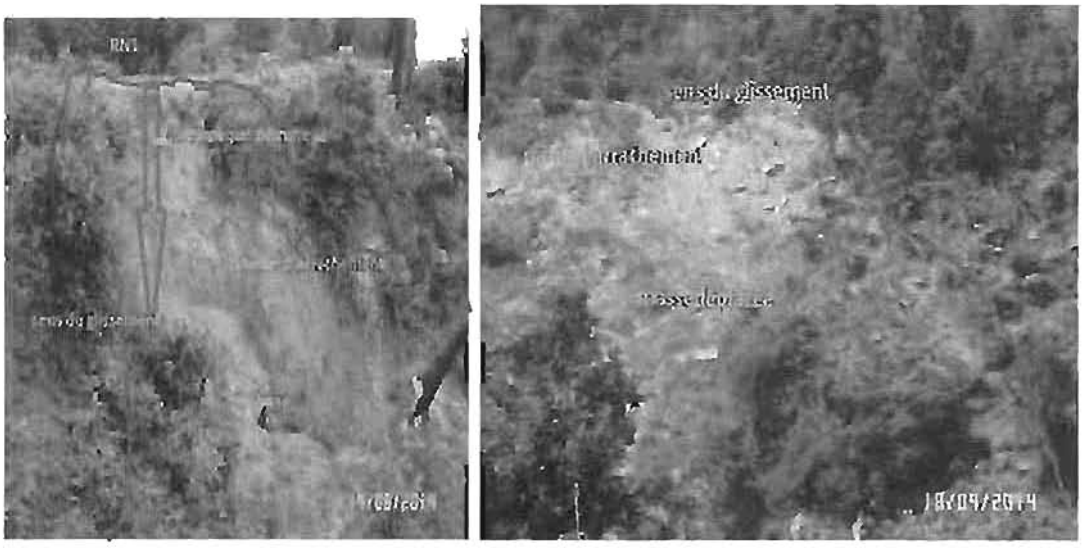


Figure 37: Mouvement de masse de Benga 1 et de Benga 2

III.1.9.3. Mouvement de masse de Benga 3

Il se localise aux coordonnées géographiques X=29 ,446424° Y=-3,319729°.Il est produit sur le bord droit de la route RN1 dans les roches gneissiques.Il a détruit les terres, les herbes, les bananiers, la routeRN1et les cultures de maniocs.

III.1.10. Mouvement de masse deTenga

Ce glissement se localise aux coordonnées géographiques X=29°24'81,7'' et Y=-3°19'07,6''. C'est un glissement complexe et à cause de la spéculation foncière. Ce glissement est produit dans un champ en culture de riz. Ainsi, les gents rencontrées sur les lieux nous avaient affirmé que ce glissement est survenu dans la nuit du 9-10 février 2014 et a emporté les cultures de riz. Stratigraphiquement ce glissement est taillé respectivement de haut en bas dans sol argileux mais vers le bas, c'est un sol graveleux.



Figure 38: Glissement Benga 4 et Tenga

III.2. L'alluvionnement

L'alluvionnement dans notre zone d'étude est causé par le transport des matériaux de taille différente par la rivière Gikoma de l'amont vers l'aval.Il s'observe dans les zones basses notamment à Tenga; Rubirizi; Carama et Mubone. A la sortie des Mirwa; la pente devient faible et la rivière Gikoma se débarrasse de sa charge dans une vallée étroite.L'accumulation des dépôts (fig40) dans la rivière Gikoma a deux effets :

-Effet positif dans l'exploitation des matériaux de construction,

-Effet négatif si le curage n'est pas bien fait.C'est un impact négatif majeur(les inondations) aux cultures; aux habitations et aux infracturessituées dans la partie aval du bassin versant de la rivière Gikoma.Les photos suivantes ullistrent ce phénomène.

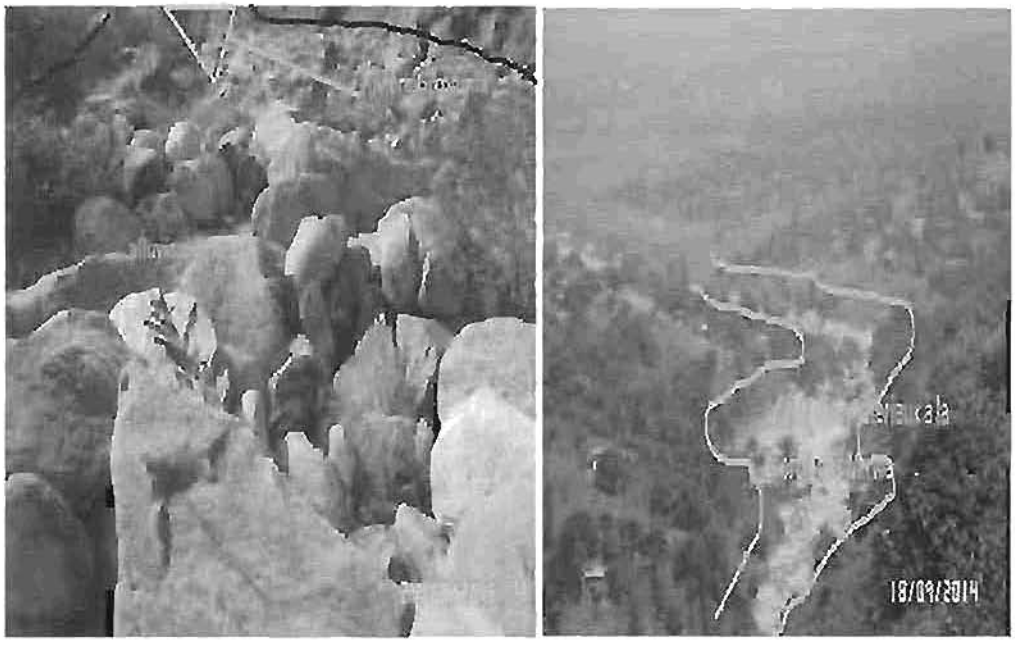


Figure 39: Alluvionnements

CHAPITRE IV : LES CAUSES DES MOUVEMENTS DE MASSE DANS LE BV DE LA RIVIERE GIKOMA.

IV.1. Les facteurs influençants les mouvements de masse dans le BV de la rivière Gikoma

IV.1.1.La nature lithologique

La partie amontdu bassin de la rivière Gikomaest formée par des roches précambriennes.Ces rochessont susceptibles à l'altération.Ces roches sont par exemple les gneiss, lesgranites, les schistes, les granites gneissiques et les alluvions.Elles occupent une grande partie des Mirwa du bassin versant de la rivière Gikoma. Elles sont facilement altérables et présentent beaucoup de plans de faiblesses comme comme la figure41le montre. Ces plans de faiblesses sont par exemples : les diaclases, les fissures, les foliations, les fracturarions et les schistosités.



Figure 40 : Disposition des roches dans la rivière Gikoma

IV.1.2. Le relief.

Le relief dans notre zone de travail se subdivise en deux parties:

-Les Mirwa localisés dans la partie amont qui est le siège des fortes précipitations pendant la période pluvieuse,

-La plaine localisée dans la zone basse, zone à faibles precipitations.

IV.1.3. La pente

Selon la carte des pentes (figure 42) notre zone d'étude est caractérisée par :

- Une zone à faible pente comprise entre 0°-7°.Elle est localisée à la sortie des Mirwa généralement dans la plaine caractérisée des vallées en U (figure43) et l'absence des mouvements de masse.Elle favorise les inondations pendant la période des fortes précipitations.C'est une zone à risque d'inondation.

-Une zone à pente moyenne comprise entre 7°-25° et à forte pente comprise entre 25°-55° localisée dans les Mirwa qui sont caractérisés aussi par des valles en V.La figure 43 illustre le type de vallée en V drainée par la rivière Gikoma dans un relief accidenté avec des pentes fortes, longues et régulières entre les collines Mbirira, sur la rive droite, et Buhayira, sur la rive gauche. Les versants tombent directement dans la Gikoma.

Les fortes pentes favorisent la concentration des eaux de surface du bassin versant et les mouvements de masse vers la rivière Gikoma. Nous les avons observées à Bona, Buhayira, Kwigere, Mbirira et Benga.

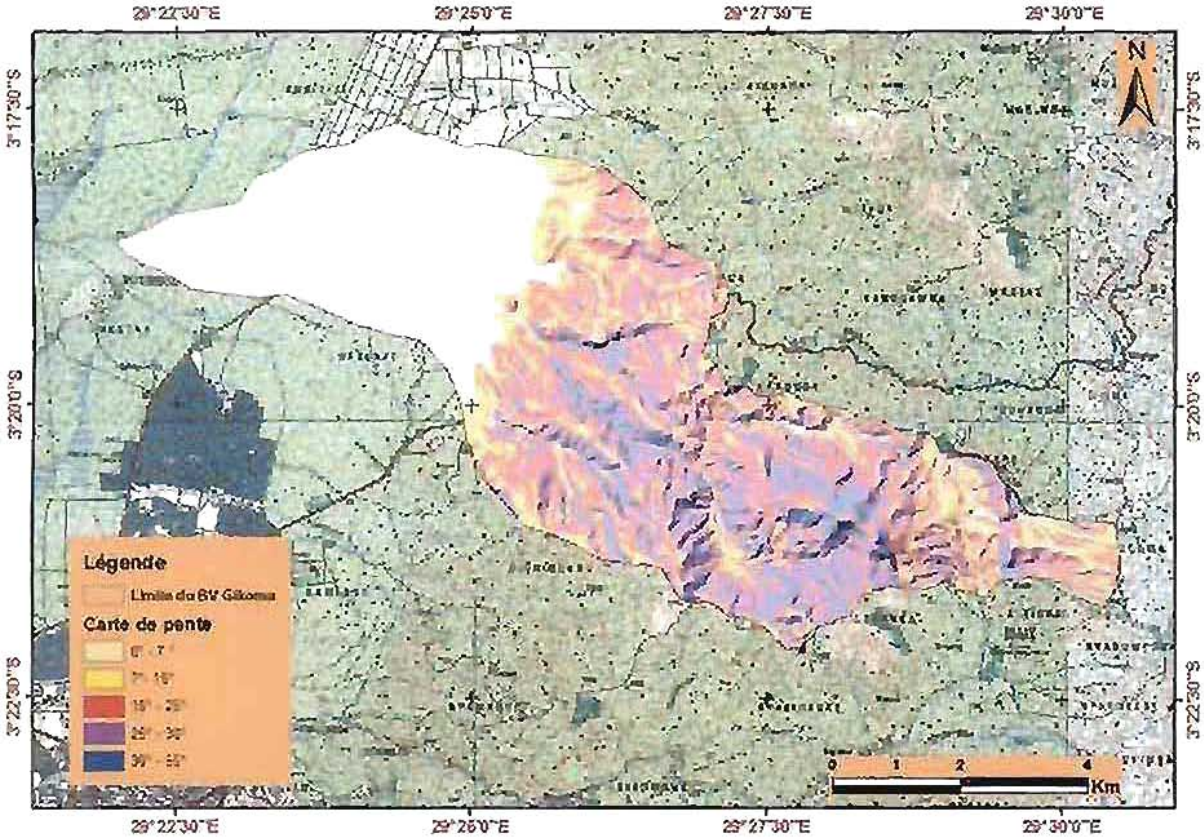


Figure 41: Carte des pentes du BV de la rivière Gikoma extrait sur MNT du Burundi deprécision10m.



Figure 42: Vallée en Vdans les Mirwa et en U à la sortie des Mirwa

IV.1.4.L'érosion

Le bassin versant de la rivière Gikoma est un milieu naturel qui est sensible à l'érosion. Les pentes fortes, la nature lithologique, les pluies abondantes et les actions anthropiques sont des facteurs qui sont à l'origine de l'érosion dans notre zone d'étude.

IV.1.5.Les réseaux hydrographiques

Selon la figure6, les réseaux hydrographiques sont plus fréquents dans les Mirwa que dans la plaine.Selon la figure11, les mouvements de masse sont plus fréquents aussi dans les Mirwa. Cela nous permet de conclure que dans notre zone d'étude les mouvements de masse sont influencés par les réseaux hydrographiques combinés aussi avec les eaux de ruissellement.Ils favorisent l'infiltration dans les terrains argileux et meubles et le débit de la rivière Gikoma.

IV.1.6. Les causes mécaniques

Les causes mécaniques dans notre zone d'étude sont expliquées par :
-Les talus de la route RN1
- L'enlèvement des matériaux de construction en amont et en aval
- La modification de la géométrie qui provoque le déséquilibre des pentes.
- Une surcharge causée par le passage des engins lourds sur RN1et même un séisme dérange l'équilibre des pentes naturelles dans un massif.

IV.1.7.Les causes anthropiques

IV.1.7.1. La croissance démographique

A côté des phénomènes naturels, l'homme participe activement à l'amplification des mouvements gravitaires et de la dégradation des milieux naturels du bassin versant de la rivière Gikoma.

La poussée démographique à une allure exponentielle influence sur les terres cultivables dans la partie des Mirwa du bassin versant de la rivière Gikoma et une forte urbanisation dans la plaine. D'où le déferlement de la ville de Bujumbura vers les zones interdites et à haut risque. Cette dynamique démographique aboutit par conséquent à la dégradation du couvert végétal et aux différentes modifications de la géométrie par l'exploitation de la carrière et les différents matériaux de construction sur les Mirwa, au pied des Mirwa et dans la rivière Gikoma. Cela favorise l'érosion hydrique et les mouvements de masse sur l'ensemble du bassin versant de la rivière Gikoma.

IV.1.7.2.Les méthodes culturales dans le sens de la pente

Les mouvements de masse dans le bassin versant de la rivière Gikoma sont de plus influencés en grande partie par les méthodes culturales. Partout dans le bassin versant faisant l'objet d'étude, les champs de cultures épousent le sens de la pente sur les versants sans protection fiable du sol contre l'érosion.Ces méthodes culturales orientées dans le sens de la pente sont observées à Benga, Buhayira, Mbirira et Muberura.



Figure 43: L'état des méthodes culturales dans le sens de la pente sur le versant de Mbirira

IV.1.7. 3. L'exploitation anarchique des matériaux de construction

Les principaux sites d'extraction dansnotre zone d'étude se localisent principalement à Buhayira, à Benga, à Rubirizi, à Tenga et dans le lit de la rivière Gikoma.La superficie occupée par ces derniers est de 70808,6ares ; soit 15% de la superficie totale du bassin versant de la rivière Gikoma.

Tous les matériaux glissés et les sédiments enlevés lors de l'exploitation des matériaux de construction finissent dans la rivière Gikoma par érosion. Elle devient trop chargée et s'en débarrasse dans la zone basse, la plaine, d'où la récurrence des inondations.

Les photos suivantes montrent l'état des sites d'éxtraction des matériaux de constuction dans notre zone d'étude surtout dansla partie amont et dans la partie aval des Mirwa.



Figure 44: Extraction de carrières à Buhayiraet à Benga : partie amont



Gikoma **Rubirizi** **Gikoma**



Figure 45: Extraction du sable, moellons, gravier à Gikoma, Rubirizi etTenga: partie aval

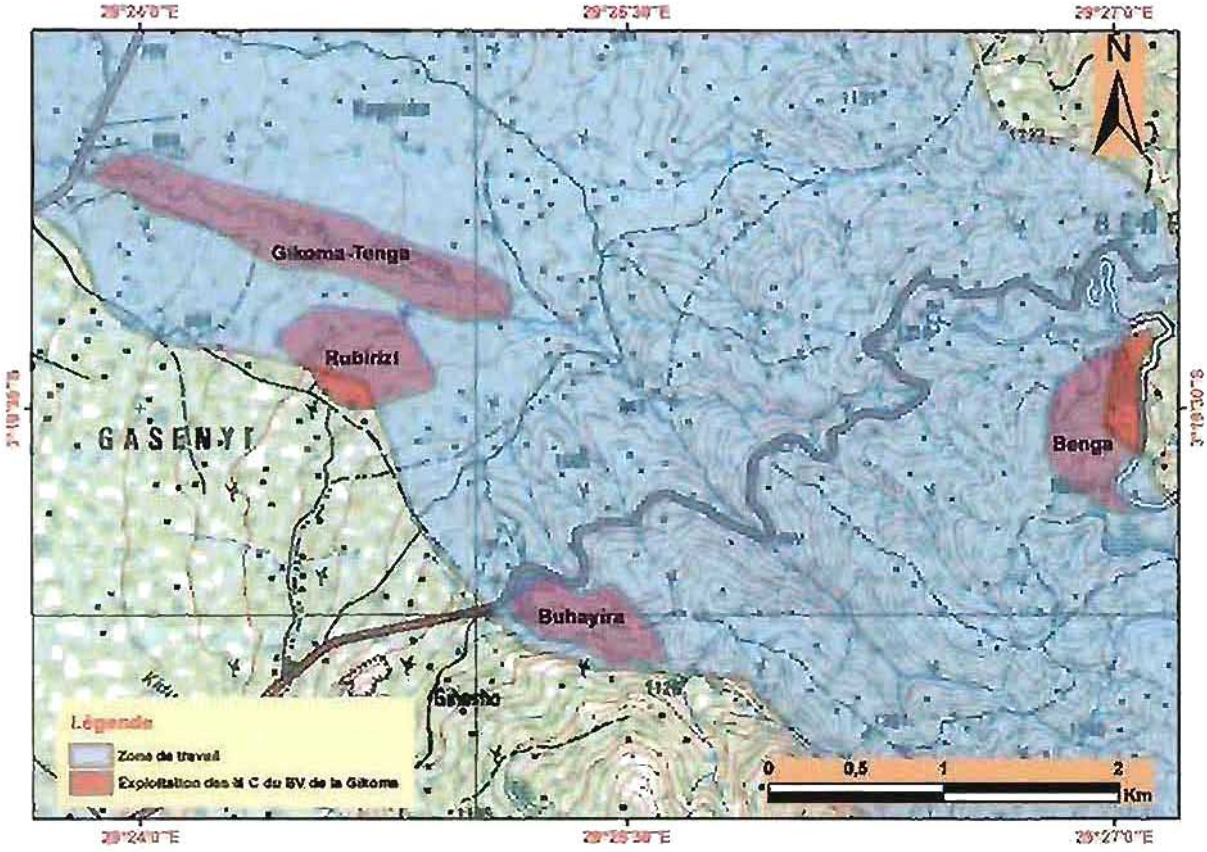


Figure 46: Carte des sites d'explotation des matériaux de construction dans le BV de larivièreGikoma (feuille Bujumbura1/50000)

Tableau 2: Superficie des sites d'exploitation des matériaux de construction du bassin versant de laGikoma

Nom	Superficie en are
Gikoma-Tenga	6200,7
Benga	25002,2
Rubirizi	23104,06
Buhayira	16401,2
Total	70808,10

En comparant la superficie glissée etla superficie en exploitation anarchique des matériaux de construction, on estime que:

-56%représentent la superficie de la terre non glissée et non exploitée,

-29% représentent la superficiede la terre glissée,

-15% représentent la superficie de la terre en exploitation anarchique des matériaux de construction.

Tableau 3:Comparaison de la superficie glissée et exploitée et la superficie non glissé et non exploitée

Nom	Superficie totale en are	Pourcentage%
Zone de travail	492454	100
Superficie glissée	128305.5	29
Superficie exploitée	70808.16	15
Superficie non glissée et non exploitée	293340.34	56
Superficieglissée et exploitée	199113.66	44

IV.1.8. Les anomalies pluviomètriques

Selon la figure 9, nous avons constaté que les Mirwa sont le siège des fortes précipitations pendant la période pluvieuse.Elles ont atteint 1650mm/an en 2014.Les anomalies pluviomètriques sont des facteurs très importants des mouvements de masse dans BV de la rivière Gikoma. L'exemple est celui du mois de février 2014 où les précipitationsont atteint 80mm/j (figure10).Elles ont causé les mouvements de massedans les Mirwa qui ont provoqué la formation des crues torrentielles et qui ontpar conséquent inondés la partie aval de notre zone d'étude(les quartiers du Nord de la ville de Bujumbura). Les mouvements de masse et les inondations ont causé beaucoup de dégats dans la partie amont et dans la partie amont.

IV.2. Les zones à risque de mouvements de masse et à risque des inondations du bassin versant de la rivière.

Le bassin versant de la rivière Gikoma est subdivisée en deux zones principales : zone des Mirwa, région à risque des mouvements de masse et zone de la plaine, région à risque d'inondation. Les communes localisées dans ces zones sont Mutimbuzi et Isare dans la province de Bujumbura et Ntahangwa située en Bujumbura Mairie. Certaines sont à risque des mouvements de masse et d'autres sont à risque des inondations. Ces différentes communes connaissent ces risques selon le contexte géologique et géographique rencontré.

La zones à risque des mouvements de masse:Elle occupe la partie des Mirwa du bassin versant de la rivière Gikoma et se subdivise en deux parties : la zone à haut risque des mouvements de masse et la zone à faible risque des mouvements de masse.Elles sont localisées dans les Mirwa, dans la commune d'Isare et une partie de la commune Mutimbuzi.Les cause principales dans cette zone sont :

- Les Mirwa, siège de fortes précipitations,
- Le relief accidenté,
- La pente forte,
- Les roches précambriennes

La zone à risque des inondations: Elle occupe la partie de la plaine de l'Imbo, à l'exutoire du BV de la rivière Gikoma.elle est localisée dans la commune de Mutimbuzi et de Ntahangwa.

Ces inondations sont dues au débordementde la rivière Gikoma et aux accumulations des matériaux provenant de l'amont pendant la pérode des fortes précipitations si le curage n'est pas bien fait.Notons que les inondations est l'une des conséquence des mouvements de masse qui se produisent dans les Mirwa.

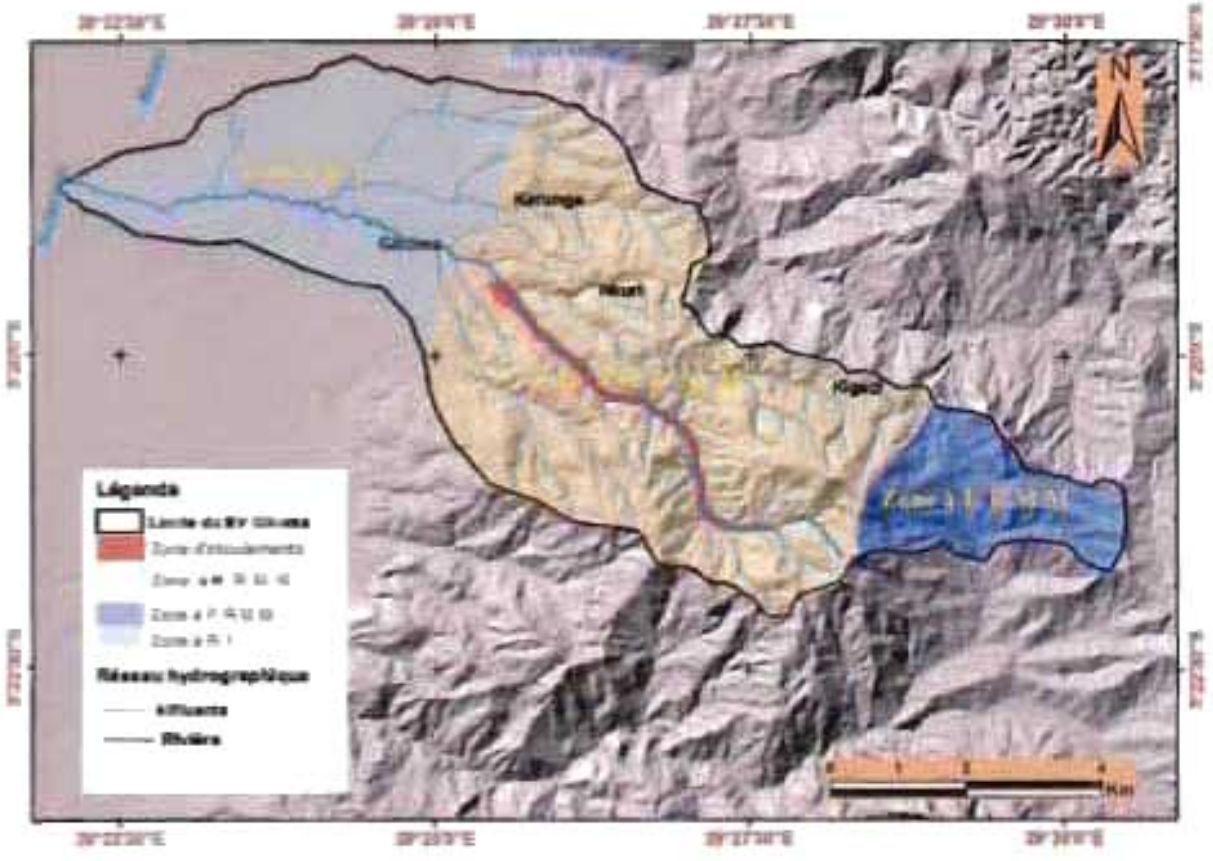


Figure 47: Carte des zones du BV de la rivière Gikoma à risque des mouvements de masse et à risque d'inondations extrait du MNT du Burundi.

IV.2.1. Exemples de quelques infrastructures exposées aux mouvements de masse et aux inondations

Plusieurs facteurs contribuent à l'exposition des infrastructures aux mouvements de masse surtout dans le bassin versant de la rivière Gikoma. Les infrastructures exposées aux mouvements de masse et aux inondations sont : les routes RN1 et RN9, les réseaux d'adductions d'eau, les réseaux d'électricité, les infrastructures scolaires (figA), les menages (figB), les marches et meme les champs de cultures.

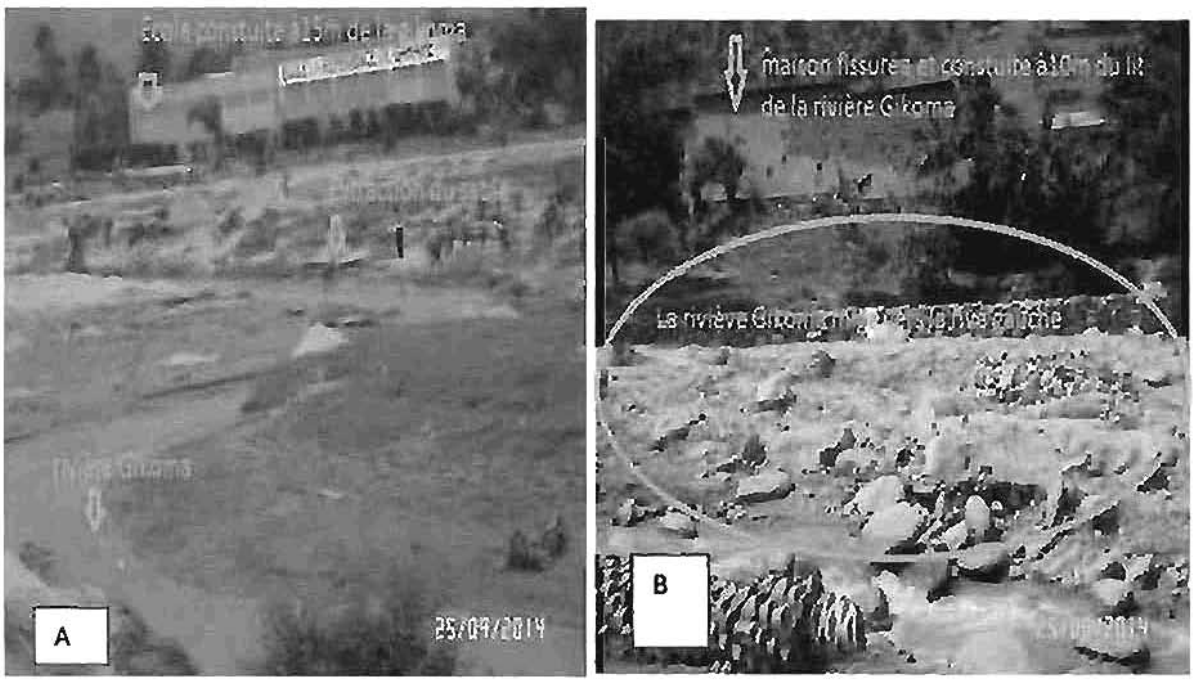


Figure 48: Infrastructures exposées aux inondations

CHAPITRE V: LES DEGATS LIES AUX MOUVEMENTS DE MASSE DANS LE BASSIN VERSANT DE LA RIVIERE GIKOMA EN 2014

Les dégats observés dans les Mirwa sont causés par les mouvements de masse et la rivière Gikoma mais dans la plaine selon rapport de la Banque Mondiale de 2014, ils sont dus aux débordements de la rivière Gikoma, Gasenyi et Mutimbuzi.Notons que beaucoup de dégats humains sont observés dans quartiers du nord de la ville de Bujumbura dans notre zone de travail.

V.1. Dégâts humains

Selon le témoignage des habitants, les rapports des organes administratifs, de la Banque du Développement Africain et de la Banque Mondiale, on constate que les glissements de terrain et les inondations du mois de février2014 ont provoqué des dégâts lourds sur la vie humaine. Plus de 70 personnes sont morts dans la commune de Ntahangwa (Kinama, Carama, Buterere).Le gouvernement a dépensé des frais liés à l'enterrement de ces personnes et celles qui sont blessées. Le tableau suivant montre des chiffres probables des victimes dans la commune de Ntahangwa, Isare et Mutimbuzi.

Tableau 4: Nombre de dégats humains par commune selon le rapport de la Banque Mondiale 2014

Identification des communes	Nombre de déces	Nombre de disparues	Nombre des blessés
Isare (Mbirira-Buhayira)	4	2	8
Mutimbuzi(Rubirizi)	2	-	2
Ntahangwa(Carama,Kinama,Buterere,Mubone)	70	4	182

V.2. Les dommages sur les Infrastructures

V.2.1. Les dommages sur les Infrastructures routières

Selon le Projet de Développement du Secteur Routier (PDSR) 2014, les dégâts liés aux mouvements de masse ont été observés sur RN1 et RN9.Ils sont causés par les mouvements de masse et par les inondations. Ils ont entrainé des affaissements, la destruction de la chaussée, la destruction des ponts sur RN1et sur RN9 par affouillement et la destruction des ouvrages d'assainissement et de drainage. Les mouvements de masse sur la route RN1 ont provoqué l'effondrement des remblais à Muberure, la destruction du pont sur la rivière Gikoma et le débordement des eaux à Rubirizi (pont) sur RN9 lors des fortes précipitations en février 2014.Les photos suivantes témoignent que le pays a payé une grosse somme d'argent pour la reparation de la RN1 et de la RN9.



Figure 49: Effondrement de la RN1 à Muberureet à Benga



Figure 50:Glissement de terrain et affouillement sur RN1 à Mbirira



Figure 51 Affouillement sur pont de la RN9 au pk6

V.2.1.1. Evaluation de coût des dommages dus aux mouvements de masse et auxinondations sur RN 1 etRN9

Selon le rapport de la Banque Mondiale2014; le pays a dépensé plus de 40000000fbu pour la réparation de la routeRN1 et de la route RN9 vue l'importance de ces routes.

Tableau 5: Coût des dommages dus liés aux mouvements de masse et aux inondations sur RN 1 et RN 9(rapport de la Banque Mondiale 2014)

Routes	Dégâts	Localisation	Prix de réparation
RN1 : Du PK10 au PK14	Glissements de terrain, affaissements, effondrements, ravinements	Muberure : au pk11+500, pk12+250, pk13+100, et pk14+100 Gikoma (pont) :pk10+500	260000000fbu
RN9 au PK6+700	Erosion progressive, débordement des eaux de la Gikoma sur la chaussée et sur le pont	Rubirizi (pont) :pk6+700	120000000fbu

V.2.2. Les dommages aux infrastructures scolaires

Des salles de classe et des latrines ont été inondées à cause des mouvements de masse dans les Mirwa lors des fortes précipitations de février2014. Les élèves ont été obligés de suspendre temporairement et impatiemment les études. Cela a été observé à Buterere, Mutimbuzi Carama, Kinama et Muberure.La photo suivante montre une école paramédicale de Buterere touchée par les inondations.



Figure 52: Ecole paramedicale inondée lors de fortes precipitations de 2014

V.2.2.1.Evaluation des dégats liés aux mouvements de terrain et aux inondations dans les secteurs des infrastructures scolaires

Le coût des dommages aux infrastructures scolaires mentionné dans le tableau ci-dessous témoigne que l'inondation et les glissements de terrain constituent un impact négatif majeur aux infrastructures scolaires se trouvant dans notre zone d'étude et à celles se trouvant en dehors de cette zone en périodes de crues. Il faudrait revoir le système d'aménagement de telles infrastructures que ce soit dans la partie des Mirwa ou dans la plaine.

Tableau 6: Dommages aux infrastructures scolaires (rapport de la Banque Mondiale 2014)

Dénomination	dégâts	Nature des dommages	Montant de réparation
Buterere : Ecole para-medical	inondations	Destruction des latrines et de la cour intérieure	4 122 080 fbu
Mutimbuzi : EP de Gasenyi	inondations	Toiture endommagée pour 3 salles de classes	78389 520 fbu
Muberure	Inondations, glissements de terrain	Destruction des latrines inondées	14 667 680 fbu

V.2.3. Les dommages aux champs agricoles, à l'élevage et aux ménages

Au-delà des dommages aux infrastructures, un budget aussi consistant de franc burundais a été perdu dans le secteur agricole, dans le secteur d'élevage, dans l'environnement et dans les ménages. La photo suivante montre une maison en briques adobes détruite par un glissement de terrain.



Figure 53: Une maison en briques adobes détruite par un glissement de terrain

V.2.3.1. Evaluation des dommages dans le domaine agricole, d'élevage et dans les ménages

Selon les organes administratifs dans notre zone d'étude et selon le rapport de la banque mondiale 2014, les dégats ont été observés aussi dans les ménages et dans le secteur agro-postoral.Le tableau suivant montre le nombre total des ménages et de la superficié des champs qui ont été endommagés.

Tableau 7: Dégâts dans les ménages, dans l'élévage et dans l'agriculture (rapport de la Banque Mondiale 2014)

Commune	Ménages impactés	Cultures détruites et perte de bétail	Superficies endommagées (Ha)
Isare	4125	Patate douce, Manioc, Palmier à huile, Haricot ; Banane, Plants fruitiers ; Petit élevage (porcs, chèvres, poules).	325
Mutimbuzi	2 550	(Riz, Pépinières de plants fruitiers ; Cultures maraichères ; Haricot, Manioc, bananier ; Germoir de riz ; Petit élevage (porcs, chèvres, poules);	1650
Ntahangwa	2 105	Cultures maraîchères ; Patates douces ; Manioc.	270
TOTAL	8775 menages	-	2245Ha

CHAPITRE VI:GESTION DES MOUVEMENTS DE MASSE

VI.1. Objectif de la protection

L'objectif de la protection exprime la contribution des organes administratifs et les organes humanitaires dans les zones favorables aux mouvements de terrain et aux inondations du BV de la rivière Gikoma.Il sert des paramètres permettant d'évaluer le besoin d'agir dans les zones les plus exposées aux inondations et aux mouvements de masse.Ces organes peuvent identifier ces zones les plus menacées, bénéficiant une aide et une intervention de la part des organes administratifs et de la part des organes humanitaires.

VI.2. Les mesures constructives pour lutter contre les mouvements de masse

Les mesures de protections face aux mouvements de masse dans le BV de la rivière Gikoma sont classées en quatre types:

- Les mesures de prévention passive:elles consistent à cartographier les zones touchées par les mouvements de masse et à les surveiller en tenant compte aussi des activités amplificatrices.
- Les mesures de prévention active:elles comprennent des travaux de défense contre les mouvements de masse.Ces travaux sont:la cartographie des zones susciptibles de glisser, le drainage du sol, les murs de soutènement, le reboisement, les purges et la stabilisation des masses instables.
- La mise en place des comités de secours:elle comprend:la surveillance, la prise en charge des victimes, l'alrte, l'alarme et des interventions planifiées.
- L'aménagement du BV de la rivière Gikoma:Il constitue un moyen efficace et durable pour la prévention des mouvements de masse. Il a pour but d'atténuer les risques naturels déjà existant et de prévenir l'apparition d'un nouveau risque.Il comprend les normes d'affectation des paracelles et l'octroi des permis de construire.

VI.3. La gestion des inondations

L'inondation est l'une des conséquences des mouvements de masse dans le BV de la rivière Gikoma. Elle fait partie des risques naturels les plus meurtriers qui menacent le bassin verant de rivière Gikoma.La gestion des inondations dans le bassin de la rivière Gikona peut se faire par :

-La mise en place des mesures de protections,
-La cartographie des zones susceptibles de subir les inondations
- Le déplacement des sinistrés,
- L'appui à la diversification des sources des revenus des ménages sinistrés,
-Eviter le rejet des eaux usées dans ce bassin ;
-Canaliser les eaux de la partie amont jusqu'au Lac –Tanganyika,
-Eviter la stagnante des eaux tout près des quartiers ;
-Eviter de capter les eaux de la rivière Gikoma qui sont utilisées dans l'irrigation des champs situés tout prés des quartiers.

CHAPITRE VII: CONCLUSION GENERALE ET RECOMMANDATIONS

Le bassin versant de la rivière Gikoma se situe dans la partie du Nord de la ville de Bujumbura.Il est localisé dans la partie Ouest de la crête Congo-Nil.Il s'étend sur deux parties principales:la partie inférieure à 1000 m caractérisée par une topographie moins accidentée, et la partie supérieure à 1000 m caractérisée par une topographie plus accidentée.Il a une supérficie de 492454 ares avec 128308.5ares représentant la surface glissée et70808.16ares de la surface exploitée.Il a une forme allongée.Les dangers naturels observés dans notre zone de travail sont classés en deux catégories:les mouvements de masse et les inondations.Les mouvement de masse sont localisés dans l'amont et parmis ces mouvements de masse, nous avons trouvés un phénomène complexe de mouvement de masse qu'on pourrait appeler sheet erosion.Ce phénomène nécéssite des études approfondues.Les inondations sont localisées dans la partie aval et elles sont dues aux mouvements de masse et aux débordements combinés de la rivière Gikoma,Gasenyi et Mutimbuzi.Elles apparaissent comme conséquence des mouvements de masse localisés dans l'amont.

Tous ces dangers naturels sont liés au contexte géologique, au contexte géographique, au dynamisme fluvial de la rivière Gikoma et aux activités anthropiques du bassin versant de la rivière Gikoma. Ils sont à l'origine des dégâts observés dans les Mirwa et dans la plaine de l'Imbo pendant la période des fortes précipitations.Ces dégâts sont nombreux et différents.Ils peuvent être de grandes portées et irréversibles. Ils sont de nature à compromettre le développement durable si le gouvernement ne les maîtrise pas.

Il est donc urgent et nécessaire d'engager des actions correctives et préventives visant à atténuer les mouvements de masse et les inondations dans le bassin versant de la rivière Gikoma.Pour atténuer les mouvements de masse dans notre zone de travail, nous recommandons:

Au gouvernement de:

- Faire une cartographie détaillée des zones exposées aux mouvements de masse et aux inondations dans le bassin verssant de la rivière Gikoma ;
- Proposer les normes d'occupations du sol dans les zones à risque ;
- Suivre toutes les activités anthropiques du bassin versant de la rivière Gikoma ;
- Limiter l'affectation de paracelles dans les zones à risque ;
- Rononcer les zone interdites à construire ;
- Prévoir un budget pour stabiliser le bassin versant de la rivière Gikoma et pour intervenir en cas d'un phénomène catostrophique déclaré,
- Sensibiliser la population sur dangers des phénomènes naturels ;
- Eviter la circulation des engins lourds sur la RN1ou renforcer la chaussée et les accottements de la RN1 ;
- Canaliser les affluents de la rivière Gikoma, les eaux des toitures des maisons et de ruissellement.
- Alerter la population lors d'un phénomène naturel catastrophique, en l'informant surles mesures préventives et la nature du phénomène.

A la population de:

- Eviter à construire et à cultiver dans les zones instables,
- Reboiser des zones instables ;
- Connaître les moyens d'exploitations non anarchiques des matériaux de construction ;
- Connaître les comportements à adopter en cas d'un risque naturel dangereux.

Aux futurs chercheurs de:

- Faire des recherches sur les types de mouvements de masse appelés sheet érosion.
- Dresser une carte de susceptibilite du BV de la rivière Gikome afin de distinguer les zones stables et les zones instables.
- Faire une étude approfondie de la dynamique de la rivière Gikoma ;
- Evaluer la fréquence et l'intensité des risques naturels dans le bassin versant de la rivière Gikoma ;
- Analyser le contexte géologique, le contexte hydrogéologique et la mécanique du sol dans le bassin versant de la rivière Gikoma avec le but d'agir dans le domaine de construction

LES REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. ANTOINEP. et .FABRE D. 1980, Géologie appliquée au génie civil, Masson, Paris.
2. BARANTWARARITSE C., 1992, Contribution à l'étude du fonctionnement du mumirwa central : cas du B.V. de la Ntahangwa et de Muha, Mémoire, U.B., faculté des sciences agronomiques.
3. BERNARD V., 2009, Géomorphologie dynamique, Paris, Armand Colin.
4. BIGIRIMANA G. et HAVYARIMANA T., 2009, Etude des risques géologiques et hydrologiques autour et dans la ville de Bujumbura : Cas du bassin versant de la rivière Ntahangwa. Faculté des sciences, département des sciences de la terre.
5. BOUSSINESQ J., 1885, Application des potentiels à l'éetude de l'équilibre et des mouvements des solides élastiques.
6. FLAGELLET J.C., 1989, Les mouvements de terrain et leur prévention, Paris, Masson
7. HABARUGIRA D., 2007, La croissance urbaine et son impact sur l'environnement : l'exemple de Bujumbura, Mémoire, U.B., F.L.S.H, Département de géographie.
8. HAKIZA G., 2002, Potentialité aquifère de la plaine de la Rusizi (au nord du lac Tanganyika), Thèse de Doctorat, Liège, Université de Liège
9. Guy D 2005. Manuel de conception hydrolique des ponts
10. I.G.E.BU (sitation Aéroport-Bujumbura.2014), Evaluation climatique actuelle et développement des scenarios de changements climatiques à l'horizon 2050.
11. JEAN PAUL A., 2008, Elément de géographie physique, 2^{e} Edition, Collection Grand Amphi Géographie.
12. KERISEL J., 1956, Historique de la mécanique des sols en France jusqu'au 20éme si
13. KERT C., 1999, Les techniques de prévision et de prévention des risques naturels en France, école Géotechnique.
14. La Confédération Suisse, Département Fédéral de L'environnement, de transport, de l'énergie et de la communication (D.F.E.T.E.C), Division prévention des dangers (Septembre 2009).
15. LASSERE G., 1979, Atlas du Burundi : Association pour l'Atlas du Burundi, Bordeaux-Talen.
16. LEFEVRE C., 2007, et al, Les risques naturels majeurs, Paris, GB, Sciences Publisher.
17. MASEKANYA J., 2005, Route – Fondations-soutenement-RC2005.
18. NDAYIRUKIYE S., 1986, La plaine occidentale du Burundi : Etude régionale, Thèse de doctorat, Nice, Université de Nice.
19. NIYONGENDAKO et SINAMENYE A., 2010, Contribution à l'etude des risques naturels en mairie de Bujumbura, Département des sciences de la terre.

20. NKUNZIMANA A., 2012, Etude de l'influence des changements climatiques sur la torrentialité des rivières de montagnes de l'ouest du Burundi et leurs impacts sur l'aménagement du territoire : cas des bassins versants de la Nyabagere, de la Mugoyi et de la Mutimbuzi, Mémoire, Université du Burundi, F.L.S.H, Département de géographie.

21. NKURUNZIZA P., 2005, Rapport de stage du19 Octobre au 9 Décembre 2009 au Musée Royale de l'Afrique Centrale section géomorphologie et télédétection.

22. NTUNGICIMPAYE A., 1984, Contribution à l'étude du magmatisme basique dans le Kibarien de la partie occidentale du Burundi, Thèse de doctorat de 3ème cycle, Université d'Etat de GHANA

23. NZOJIBWAMI E., 1987, Le précambrien cristallin de la région de Bujumbura-Thèse de doctorat inédit ; Univ.de Liège.

24. Rapport de la Banque Mondiale sur l'évaluation rapide conjointe suite à la catastrophe des 9-10 Février 2014 aux alentours de Bujumbura.

25. Rapport du Projet de Développement du Secteur Routier (PDSR) 2014 sur le Burundi

26. SINDAYIHEBURA B.,2005, De l'Imbo au Mirwa, dynamique de l'occupation du sol, croissances urbaines et risques naturels dans la région de Bujumbura, Toulouse le Mirail, U.F.R.Science, espace et sociétés.

INTERNET

http://www occc/28/01/2016.

http://unifr.ch/geoscience/geographie/ssgmfiches/13/02/2016.

http://www.dictionnaire-environnement.com/erosion-hydrique-en-rigole-ID1535.html le27/01/2016.

https://www.u-picardie.fr/beauchamp/cours-sed/sed-5.htm le 15/02/2016.

http://www.notre-planete.info/terre/climatologie_meteo/changement-climatique-consequences.php le30/09/2015.

https://www.reseachgate.net/profil

http://imvura.minagrie.gov.bi/export/exportpublicbase

23	Glissement de Gikoma 1	630	29,428182	-3,329053	gneiss	culture, plantation	actif
24	Glissement de Buhayira4	393	29,424257	-3,335494	gneiss	culture, plantation	stabilisé
25	Glissement de Buhayira3	281	29,423201	-3,332223	granite	culture, plantation	stabilisé
26	Glissement de Buhayira2	181	29,422773	-3,326663	granite	culture, plantation	actif
27	Glissement de Buhayira1	452	29,419905	-3,327493	granite	culture, plantation	actif
28	Glissement de Bona7	1114	29,47175	-3,341635	granite	cultures, plantation	stabilisé
29	Glissement de Bona6	702	29,47175	-3,341635	granite	cultures herbes	actif
30	Glissement de Bona4	212	29,463271	-3,342156	granite	culture, plantation	actif
31	Glissement de Bona3	176	29,461992	-3,342345	granite	cultures, plantation	actif
32	Glissement de Bona1	250	29,460334	-3,339503	granite	arbustives	actif
33	Glissement de Bona 5	196	29,465497	-3,343009	granite	arbres, plantation	actif
34	Glissement de Bona 2	575	29,459434	-3,341351	granite	culture, plantation	actif
35	Glissement de Benga3	78	29,446426	-3,319727	gneiss	culture, plantation	stabilisé
36	Glissement de Benga2	336	29,445119	-3,317984	gneiss	culture, plantation	stabilisé
37	Glissement de Benga1	140	29,439938	-3,317742	gneiss	culture, plantation	actif
38	Glissement de Gikoma9	448	29,440962	-3,339771	gneiss	culture, plantation	actif
39	Glissement de Gikoma8	358	29,43812	-3,338664	gneiss	arbus, plantation	actif
40	Glissement de Gikoma6	333	29,437491	-3,335041	granite	culture, plantation	actif
41	Glissement de Gikoma5	274	29,435981	-3,336148	gneiss	culture, plantation	actif
42	Glissement de Gikoma4	443	29,432056	-3,333179	gneiss	culture, plantation	actif
43	Glissement de Gikoma3	257	29,433541	-3,332525	gneiss	culture, plantation	actif
Superficie totale		128308.5					





Rhéabilitation de la RN1