

## Susceptibilité aux glissements de terrain: cas de la Commune d'Ibanda / Bukavu / République Démocratique du Congo

[ Sensitiveness to landslides: case of the Ibanda Urban district / Bukavu / DRC ]

*S. Butara<sup>1</sup>, S. Fiama<sup>2</sup>, B. Espoir Mugisho<sup>3</sup>, and A. Mongane<sup>3</sup>*

<sup>1</sup>Géologie environnementale, Centre de Recherches Géologiques et Minières, Bukavu, RD Congo

<sup>2</sup>Géophysique, Centre de Recherche en Sciences Naturels, Bukavu, RD Congo

<sup>3</sup>Géologie, Université Officielle de Bukavu Bukavu, RD Congo

---

Copyright © 2015 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

**ABSTRACT:** Bukavu has always been subject to natural processes of erosion, transport of large masses of materials and deposit-sedimentation. The natural causes of these phenomena are the important relief and tropical rains, the weathering of rocks related to the tropical climate and the presence of active faults and earthquakes connected to the rift activity. The present work focuses on the landslides of Ibanda, in Bukavu town. An inventory of 14 landslides has been completed. A statistical analysis of various parameters (slope, slope orientation, distance to drainage and distance to slope) was made using GIS (Geographic Information System) to describe their influence in triggering landslides. We found that all these parameters do not have more influence on landslides activation, people are playing a big role on activation by looking for ground to build house. The weighting of these parameters allowed us to map the landslide hazard.

**KEYWORDS:** Landslide risk, susceptibility, vulnerability, GIS, Uvira and its southern part, Tanganyika, East Rift African.

**RÉSUMÉ:** Depuis toujours la ville de Bukavu en général et plus particulièrement la commune d'Ibanda a été l'objet de phénomènes naturels (érosion, éboulement, glissement de terrain, ...). Ces phénomènes sont liés à des causes naturelles telles que les reliefs importants, les pluies tropicales avec l'altération des roches en climat tropical et la présence de failles actives et de séismes liés au rift.

Le présent travail se focalise sur les glissements de terrain de la commune d'Ibanda dans la ville de Bukavu. Un inventaire de 14 glissements a pu être réalisé lors de différentes descentes sur terrain.

Grâce à l'outil SIG (Système d'Informations Géographiques), une étude statistique des différents paramètres (pentes, orientation des pentes, la distance aux réseaux de drainage et drainage aux réseaux des failles) a été faite afin de qualifier leur influence dans le déclenchement des glissements. Nous avons trouvé que tous ces paramètres n'ont pas assez d'influence sur le déclenchement des glissements de terrain, plutôt l'action anthropique qui joue un grand rôle sur le déclenchement. La pondération de ces paramètres nous a permis d'établir une carte de l'aléa par rapport aux glissements de terrain.

**MOTS-CLEFS:** Risque de glissement de terrain, susceptibilité, vulnérabilité, SIG, Ibanda, Lac Kivu, Rift Est Africain.

## 1 INTRODUCTION GÉNÉRALE

Suite à l'occupation du sol sans tenir compte des normes urbanistiques, les aléas naturels tels que les glissements de terre accentués par les facteurs naturels comme la géologie (lithologie) et la topographie, le séisme lié au rift et le climat, contribuent à la recrudescence de la vulnérabilité des populations et de leurs biens par le déclenchement et l'amplification des dégâts.

Les glissements de terrain sont des processus géologiques et géomorphologiques naturels qui contribuent de manière significative à façonner les paysages de la Terre (Keefer, 1994; Hovius *et al.* 1997; 2000; Dadson *et al.*, 2003; 2004; Malamud *et al.*, 2004b). Ils deviennent des processus dangereux à partir du moment où ils interfèrent avec les activités humaines (Alexander, 1995), lesquelles parfois, comme, par exemple, la déforestation et l'expansion urbaine, peuvent accélérer ces processus de versant. A l'échelle globale, on pourrait penser en voyant les statistiques avancées par Gares *et al.* (1994) et Alcántara-Ayala (2002) que les glissements de terrain ne sont responsables que d'un pourcentage très faible des victimes et des dégâts causés par les catastrophes naturelles. Cependant, comme le souligne Schuster (1996), les glissements de terrain sont responsables de pertes socioéconomiques beaucoup plus importantes que celles qui leur sont communément imputées.

Il est désigné comme un mouvement lent ou rapide des matériaux de l'écorce terrestre, vers le bas de la pente, dû à une augmentation de poids, perte de consistance des matériaux ou autres facteurs qui génèrent un déséquilibre dans le versant. (CNE : Commission Nacional de Emergencias, 2003). Ce mouvement résulte le plus souvent d'une rupture par cisaillement à la limite inférieure de la masse en mouvement (Rapport du Département de l'Environnement au Maroc, 2003

La Commune d'Ibanda faisant partie des trois entités urbaines de la ville de Bukavu est touchée par les glissements de terrain et ces glissements affectent les talus et versants naturels provoquant ainsi des dommages très importants aux constructions, aux ouvrages et causent parfois des victimes. Ces glissements surviennent suite aux événements naturels comme de fortes pluies, des érosions, séisme ou les conséquences directes de l'activité de l'homme tel que les travaux de terrassements des chantiers de construction, déboisement intempestif. A part ces facteurs externes de déclenchement, les glissements de terrain se produisent sur la plupart des pentes dont la susceptibilité est inhérente aux propriétés mécaniques des sols. Ces glissements sont facilités par les conditions géologiques et topographiques du site.

Cette étude se base sur la géologie, la géomorphologie et la tectonique de la zone cible. L'idée qui sous-tend cette démarche vise à déterminer les zones exposées aux risques de glissements.

Suite à cette situation préoccupante, l'identification des risques potentiels passant par la production d'une cartographie de l'aléa « glissement de terrain » de la commune d'Ibanda est très importante. Ces risques potentiels à identifier sont liés aux infrastructures. Cette cartographie devrait constituer un élément clé pour l'urbanisme et pour la réduction considérable du danger pour la population.

## 2 OBJECTIFS DU TRAVAIL

L'objectif global de cette étude est de parvenir à démontrer les processus tant naturels (tectonique, morphologie, géologie, climatique, ...) qu'anthropiques du déclenchement des glissements de terrains tout en mettant en place une carte d'aléa glissement de terrain de la commune d'Ibanda.

En ce qui concerne les objectifs spécifiques, ce travail va permettre de:

- Identifier, localiser et délimiter les différents glissements de terrains dans notre secteur d'étude ;
- Repérer les zones susceptibles de subir des glissements de terrains afin de proposer un moyen de traitement ;
- Contribuer à l'amélioration de la compréhension du binôme imbriqué «Urbanisation-risques naturels » dans la gestion de la cité ;
- Mettre à la disposition du monde scientifique et des autorités des données de base sur une bonne gestion des sols.

## 3 CLIMAT, VEGETATION, HYDROGRAPHIE, GEOMORPHOLOGIE, GEOLOGIE ET TECTONIQUE

Chef-lieu de la province du Sud-Kivu, la ville de BUKAVU est localisée entre 2° 33.1' et 2°28.3' de latitude sud et à 28°48.4' et 28°53.6' de longitude. Elle est parmi les villes les plus élevées de la République Démocratique du Congo du point de vue altitude (1614m).

Elle est limitée :

- Au nord par le lac Kivu ;
- Au Sud et Ouest par le territoire de Kabare ;
- A l'Est par la rivière Ruzizi qui la sépare de la République Rwandaise.

Le secteur dans lequel nous avons effectué notre étude est limité:

- Au nord par le lac Kivu ;
- Au sud par le territoire de Kabare ;
- A l'est par la rivière Ruzizi ;
- A l'ouest par la commune de Kadutu.

#### CLIMAT ET VÉGÉTATION DU TERRITOIRE D'UVIRA

La ville de Bukavu est dotée, de par son altitude variant entre 1500 et 2000m, d'un climat tropical humide avec une alternance des saisons, la saison sèche et la saison de pluies. La saison sèche ne dure que trois mois, soit de juin à août alors que la saison des pluies dure 9 mois, soit de septembre à mai.

Le climat est considéré comme un facteur déclencheur de l'instabilité, car l'alternance de ces saisons n'est pas sans conséquences géomorphologiques sur la ville. En effet, l'alternance saisonnière du climat en une saison humide et une saison sèche associée à une diminution de couverture végétale favorise grandement l'érosion et les mouvements de terrain. Pendant la saison sèche, le sol se dessèche et se crevasse ; ce qui facilite la tâche des eaux de ruissellement pendant la saison humide (Tréfois et al. In SADIKI 2009).

La végétation de la ville de Bukavu serait du type forestier, même si elle a disparu à la suite de l'action humaine. Pour preuve, certains vestiges de ces forêts se rencontrent par-ci par-là présentant une tropophilie marquée (ILUNGA, 1991).

#### HYDROGRAPHIE

D'orientation générale NE-SW, presque la totalité des cours d'eau drainant la ville de Bukavu se concentrent dans la partie Ouest et sont la plupart des affluents du lac Kivu (Kawa, Bwindi, Nyamuhinga, Tchuma, Weshu,...) ; d'autres se jettent dans la rivière Ruzizi (Kamagema, Luganda, Mukukwe, ...) (ILUNGA, 1991). Les rivières qui se jettent dans le lac Kivu connaissent des débits forts variables qui charrient d'importantes masses de terre provenant de l'érosion et des immondices. La rivière Kawa traverse la ville dans toute sa longueur avec un dédit d'étiage de 1 à 2.2m<sup>3</sup>/s tandis qu'elle atteint 14m<sup>3</sup>/s en cas de crue (Tondeur, in SADIKI 2009).

Quatre cours d'eau sont présents dans notre secteur d'étude à savoir: la rivière kawa, la rivière Mukukwe, la rivière Kamagema et la rivière Luganda. La rivière Kahwa apporte de grandes quantités d'eau qui cause des inondations dans la partie située au niveau de SNCC. Aussi appert-il de noter que c'est dans cette même partie où l'on trouve son exutoire. Cette rivière se trouve à la limite entre la commune d'Ibanga et la commune de Kadutu. Les trois autres rivières (Mukukwe, Luganda, Kamagema) se jettent dans la rivière Ruzizi reliant le lac Kivu au lac Tanganyika.

#### MORPHOLOGIE

La ville de Bukavu présente un site montagneux dont la mise en place a été dicté par des phases tectoniques et volcaniques qui lui ont conféré une configuration en paliers dissymétriques. Ces derniers ont été érigés au Tertiaire, à la suite des mouvements tectoniques ayant donné lieu aux horsts et grabens du rift occidental Africain sur lequel est érigée la ville de Bukavu (ILUNGA, 1987).

Les collines, les plateaux et des pentes escarpées dominent le relief de la ville de Bukavu et ce dernier est géomorphologiquement partagée en 4 régions de superficies inégales notamment (MIRINDI, 1988) :

- Les hauts plateaux du Mont Bangwe (2154m) descendant vers l'Est et vers le Nord par plusieurs replats.
- Les bas plateaux de Bagira et d'Ibanga s'élevant à des niveaux variés dont celui de Bagira est de 1630m, de 1570-1560m entre l'ISP et la cathédrale notre Dame de la Paix.
- Le littoral du Lac Kivu qui est confiné à une bande étroite du terrain longeant la rive et le niveau d'eau moyen se situe à 1460m.

- La vallée de la Ruzizi : à Bukavu, elle présente une gorge profonde de 100m environ. Plus loin vers l'aval, la profondeur de cette gorge est encore plus grande. Les versants raides y sont marqués par des formes fraîches du mouvement de masse (ALIMASI M. et TSHUMA I. 2002).

Du point de vue géomorphologique, quatre escarpements sont nettement visibles et dominants à l'échelle de la ville, à savoir :

- Le versant droit de la Ruzizi ;
- La colline de Karhale ;
- Le palier de Funu ;
- Le palier de Cimpunda ; mais aussi deux dépressions, le quartier industriel et la vallée sèche de Mukukwe.

## **4 GÉOLOGIQUE ET TECTONIQUE**

### **4.1 CADRE GÉOLOGIQUE**

Du point de vue géologique, on distingue trois ensembles structuraux dans la région du lac Kivu : un socle précambrien, une couverture volcanique au sud et au nord du lac Kivu et enfin des dépôts lacustres qui tapissent le fond des vallées principales (Villeneuve, 1980).

#### **LE SOCLE PRÉCAMBRIEN**

Trois groupes précambriens séparés par des discordances majeures sont définis au sud de Bukavu (Villeneuve, 1977). Du plus récent au plus ancien on distingue :

- Le groupe de l'Itombwe : les roches de ce groupe ont été plissées suivant des axes N-S et constituent le synclinal d'Itombwe s'étendant sur tout le bord occidental du lac Kivu. Il est attribué au Précambrien Supérieur.
- Le groupe de Nyangezi : son matériel a été plissé lors de deux phases tectoniques, la première donnant des plis de direction SE-NW et la seconde correspondant à la phase tectonique qui a déformé en même temps les roches du groupe de l'Itombwe selon des plis de direction N-S. Ce groupe a été attribué au Précambrien Moyen.
- Le groupe de Bugarama : ses roches ont été aussi plissées par les deux phases qui ont affecté le groupe précédent. Il a été attribué au Précambrien Moyen ou Inférieur.

#### **LA COUVERTURE VOLCANIQUE**

Trois zones volcaniques sont différenciées :

- La zone de Virunga au nord du lac Kivu : volcanisme basique ayant probablement débuté au Pléistocène.
- La zone de Bukavu au sud du lac Kivu : volcanisme trachytique et basaltique d'âge pliocène à actuel.
- La zone de Mwenga : volcanisme essentiellement basaltique d'âge supposé Pléistocène.

#### **LES ALLUVIONS**

Le fossé du lac Kivu est comblé par des alluvions d'âge pléistocène à holocène 5

### **4.2 CONTEXTE TECTONIQUE**

Repérables par des méthodes de photogéologie ou de télédétection, la plupart des failles de la région du lac Kivu ont été mises en évidence sur le terrain grâce à leurs rejets verticaux souvent importants ou grâce à leur fossilisation par des coulées de laves « jeunes » (Villeneuve, 1980). En effet, la majorité de ces failles sont postérieures aux formations précambriennes et antérieures aux formations volcaniques où des faibles rejets sont observés. Certaines d'entre elles (surtout celles du réseau N-S) ont joué postérieurement à la mise en place des produits volcaniques (volcanisme fissurale). Dans le champ volcanique sud, les centres d'émission connus sont alignés le long des failles N-S, tandis que dans le champ de Virunga (Figure 1.3), les édifices volcaniques sont alignés selon des directions variées (Poulet, 1977).

Les failles du Rift ont donc, dans la région du lac Kivu trois directions principales : SW-NE, N-S, SE-NW. Ces failles généralement normales et subverticales, s'interceptent en délimitant des blocs polygonaux décalés verticalement les uns par rapport aux autres. Les structures qui en résultent sont de type « horst et graben » généralement dissymétriques « touches

de piano » ou « marches d'escalier » (Villeneuve, 1980). La zone de fossés tectoniques (de direction N-S pour la plupart de fois), large de 100 à 200 Km, s'étend du lac Tanganyika au sud jusqu'au lac Edouard au nord. Formées entre la fin du Précambrien et le début du Cénozoïque, ces failles sont actives jusqu'à nos jours comme en témoignent leurs rejets successifs observés dans les laves épanchées au cours du Tertiaire et du Quaternaire et à travers les données sismologiques enregistrées actuellement.

La sismicité de la région découle de la tectonique qui est responsable du rifting dont la distension des compartiments s'accompagne d'une libération d'énergie. La figure 1.4 montre la distribution de la sismicité dans la Branche Ouest (branche la plus active du Rift Est Africain) ainsi que dans la région du lac Kivu. Elle affecte tous les complexes géologiques au tour de ce lac et est ainsi à l'origine des mouvements gravitaires (tassements et glissements de sol) observés dans la région.

Cette sismicité est principalement confinée sur une zone à faible profondeur. Le nombre de séismes augmente avec la profondeur allant de 10 à 15 km au maximum puis décroît jusqu'à une profondeur maximale de 32,2 km (Albaric, 2009). Le mécanisme au foyer des séismes indique une prédominance de failles normales dans la branche Ouest avec des axes de tension approximativement perpendiculaires (d'orientation NNW-SSE) à la direction du Rift ou aux failles locales (Zana et al, 1981). Ceci est illustré sur la figure 1 montrant les mouvements des plaques.

L'extension du Rift se traduit par le volcanisme. Dans la branche Ouest, on retrouve au nord du lac Kivu, la région volcanique de Virunga caractérisée par une très faible sismicité tectonique ( $M \leq 4$ ) (Figure 1.4 B). Ce complexe volcanique est le plus important des complexes volcaniques Cénozoïques dans la région et le seul actuellement actif. Il est subdivisé en 3 groupes de 8 volcans : le groupe oriental (Mahavura, Gahinga et Sabinyo), le groupe central (Visoke, Karisimbi et Mikeno) et le groupe de l'ouest (Nyiragongo et Nyamulagira). La sismicité liée au volcanisme dans la région, principalement à celui du groupe ouest est faible. Toutefois, lors de l'éruption de janvier 2002, on a enregistré des tremblements de terre de magnitude 3,5 ou plus (French-British Scientific Team, 2002). Cette remontée du magma s'accompagne d'une déstabilisation du sol conduisant à des mouvements de terrain. Cette zone d'étude représente le prolongement méridional de la plaine de la Ruzizi. Cette dernière appartient structurellement au système des rifts africains, plus précisément au Western Rift dont la formation aurait débuté à l'Eocène (H. BELLON et A. POUCKET, 1980).

## 5 MÉTHODES, TECHNIQUES D'APPROCHE ET OUTILS

Ce sont des techniques d'analyse spatiale par Systèmes d'Information Géographique (SIG) qui sont de plus en plus utilisées afin d'évaluer la susceptibilité aux glissements de terrain qui sont accompagnés.

Pour arriver à réaliser l'objectif assigné, nous avons orienté cette étude en deux étapes afin d'analyser :

- Identification et observation directe sur terrain des tous les glissements de terrain de la commune d'Ibanda ;
- Etudes des facteurs de déclenchement des glissements à l'aide des données satellitaires (Modèle Numérique de terrain) ;
- Cartographie de la susceptibilité (l'aléa) : à partir des données numériques, la caractérisation de l'aléa est définie par la combinaison des paramètres de cause, à savoir la géologie, la morpho-tectonique, la topographie et les facteurs hydrologiques ;

La réalisation de la cartographie a été facilitée par l'observation directe des glissements sur terrain. L'analyse de ces glissements observés a été réalisée avec le logiciel Arc-GIS et Quantum Gis. Une étude statistique des glissements de terrain a été faite en utilisant le modèle numérique d'élévation « Digita Elevation Model » (DEM) à partir des données de SRTM (Shuttle Radar Topography Mission), représentant l'ensemble de la région.

L'outil SIG nous a permis de mettre en évidence les terrains susceptibles au glissement, c'est-à-dire la possibilité qu'un glissement se produise dans une zone particulière sur base des conditions environnementales locales. Les facteurs de prédisposition ont été donc combinés à un inventaire de glissements de la zone d'étude. Pour avoir une carte de l'aléa, nous avons pondéré et puis superposer les cartes factorielles produites.

## 6 ETUDE DES GLISSEMENTS DE TERRAIN

### 6.1 INTRODUCTION

Il est question d'identifier l'aléa lié aux glissements de terrain en se basant sur l'observation directe des glissements. Cette identification sera suivie de la cartographie de ces glissements en évaluant le niveau de l'aléa.

Un aléa est défini par une *intensité* (comment et combien?), une *probabilité d'occurrence spatiale* (où ?) et *temporelle* (quand ?, durée ?) qui dépendent de *facteurs de prédisposition* et de *facteurs déclenchant* (CRUDEN et VARNES, 1996 in MIGOMBANO, 2011).

Les régions montagneuses sont favorables au développement des glissements de terrain et aux phénomènes connexes avec différents types. Les facteurs tels que l'environnement physique, le comportement de l'eau, la taille et la lithologie sont à la base de ces phénomènes complexes. Selon VARNES (1984), les glissements de terrain représentent tous les types de mouvement de masse sur les pentes comme les chutes, les flux, les dispositifs renversés (y compris les mouvements de rotation et de translation) et les écarts, avec une large gamme de vitesse. Les glissements de terrain peuvent être liés soit aux roches soit au sol.

Il y a un cas de glissement spécifique lié à l'écart latéral du terrain qui peut survenir pendant un tremblement de terre en association avec le phénomène de liquéfaction.

## **6.2 INVENTAIRE DES GLISSEMENTS**

Après une descente sur terrain 14 glissements ont été inventoriés dont la plupart sont concentrés vers la partie NE et SE du secteur d'étude. Cet inventaire pourra compléter d'autres déjà réalisés, entre autres par SADIKI, ILLUNGA, TREFOIS et MIGOMBAO.

Deux grandes zones de glissement avec plusieurs petites réactivations sont inventoriées dans la partie N-E de la commune d'Ibanda dont le glissement retrouvé sur l'Avenue Milima et celui retrouvé au collège Alfadjiri (bassin du collège) à Nguba.

Dans la partie Est et Sud-Est de notre secteur d'étude, nous avons répertorié 12 glissements dont le glissement du Quartier LATIN, BOURGUIGNON, la SAPINIÈRE, GIAMBA I (Manga), GIAMBA II, BIZIMANA I, BIZIMANA II, rivière RUGANDA, KAZARAHO I (rivière DUBWI), et rivière KASHINGO, MUSHUNUNU et enfin au Sud-ouest, le glissement MULENGEZA.

### **6.2.1 AV. MILIMA (QUARTIER NYALUKEMBA)**

Ce glissement, encore actif, se produit sur le versant droit surplombant la rivière Ruzizi avec une pente de 32°. Il est localisé à 07010106 de longitude Est, 9723954 de latitude Sud et à une altitude de 1526m. C'est un glissement d'origine anthropique en rapport avec des terrassements pour des constructions.

Le terrassement fait à la base de ce glissement suite à la recherche des parcelles a déstabilisé le talus et a créé ainsi des fissures au sommet ayant permis l'infiltration des eaux de pluie qui s'est abattue depuis le mois de Mars 2014 qui a favorisé le déclenchement du glissement de terrain à cet endroit. Ces eaux en s'infiltrant vont diminuer la cohésion entre les grains du sol et entraînent ainsi le glissement.

C'est un glissement qui s'est produit au mois de Février 2014. Aussi, la pente étant élevée s'ajoute aux facteurs précédents. En dessous des escarpements principaux, il y a des petites réactivations des glissements avec des rejets centimétriques qui se collent progressivement. Les effets de ce glissement se remarquent aussi sur la maison en amont avec des fissures sur le mur et les escaliers.

### **6.2.2 BASSIN DU COLLÈGE ALFAJIRI**

Ce glissement est localisé à 0708296 de longitude Est et à 9723703 de latitude sud à une altitude de 1469m. Ce glissement se trouve à plus ou moins 50m de la place MULAMBA à l'Est de Nyamoma tout près du camp des profs du collège ALFAJIRI dans le quartier Nyalukemba. C'est une zone instable sur une étendue non négligeable constituée de deux sites dont Bassin du collège 1 (glissement très profond qui a affecté un sol argileux avec un rejet de plus ou moins 20m et Bassin du collège 2 (C'est un glissement superficiel car l'arrachement des matériaux a affecté seulement le sol superficiel).

La cause principale de ces glissements est anthropique, ils sont déclenchés suite à une déstabilisation du talus à la recherche des parcelles. Cette déstabilisation provoque des fissures par où les eaux de pluie s'infiltrent et rompt la cohésion interne des grains de sol. Cette situation a été observée au mois de septembre 2013 lors d'une forte pluie qui a été enregistrée dans la ville de Bukavu.

Le glissement a arraché le mur de soutènement qui n'était pas érigé sur la roche mère et ce mur a glissé avec tous les matériaux qui se trouvaient à sa base. Il y a des fissures sur des maisons en amont du qui sont des signes d'instabilité dus au

glissement. Tous les matériaux arrachés ont couvert des maisons à la base du glissement et causant ainsi la mort de 6 personnes. Le matériau affecté est une argile de couleur grisâtre et rougeâtre. Le sens du glissement est Est-Ouest.

### **6.2.3 QUARTIER LATIN**

Le glissement est localisé à 0707348 de longitude Est et à 9722010 de latitude Sud. Il se trouve à 1545m d'altitude à l'Ouest de la RUZIZI II. C'est un glissement qui s'est produit en février 2014 et dont la cause principale de celui-ci serait la charge des bâtiments et couvertures végétales qui ont créé des fissures dans l'argile. De ce fait, les eaux de précipitations et celles des usages ménagers s'y sont infiltrées créant l'humidité du sol.

L'écoulement de l'eau a suivi sur toute la trajectoire de la zone de faiblesse. Ici, la pression de l'eau s'ajoute au couple moteur l'opposant au couple résistant et étant élevée, elle déclenche le glissement faisant en sorte que le couple moteur se comporte comme une couche savon. A ce facteur on ajoute aussi la pente du versant qui est élevée. Le sens de glissement est vers Est. Le matériau, c'est un sol argileux avec trois horizons visibles.

### **6.2.4 BOURGIGNON I**

C'est une grande zone instable avec plusieurs réactivations des glissements dont certains ont causé des dégâts tant matériels qu'humains lors de leur déclenchement en Février 2014 ; plusieurs maisons ont été emportées et il y a eu la mort d'un homme.

En général, ces mouvements sont d'origine anthropique donc le terrassement a déstabilisé le versant et la mise en place des fissures qui lors de pluie ont favorisé l'infiltration des eaux. L'eau de pluie qui s'infiltrer circule dans le sol provoque la diminution de cohésion des grains de ce sol favorisant ainsi le glissement. A ces facteurs s'ajoute la grande pente du versant.

### **6.2.5 BOURGIGNON II**

Ce glissement est localisé à 0707115 de longitude Est et à 9721760 de latitude Sud et à une altitude de 1550. La grande partie de matériaux arrachés lors du glissement a été emportés ; très peu est resté en place. La continuité des eaux de pluies et ménagères ont créé après le glissement de petits canaux au niveau d'escarpement. Le rejet principal est de 3,8m.

Signalons que vers le Sud du glissement, nous avons trouvé un petit cours d'eau qui coule vers l'Est qui, n'étant pas canalisé, s'infiltrer dans des murs des maisons en aval (fondation) causant ainsi un risque de glissement prochain vu le surcharge de ces maisons.

Au niveau de toute la surface des glissements comme l'illustre la photo, il y avait des maisons qui ont été emportées causant la mort de deux personnes. La cause principale du glissement est la surcharge des bâtiments créant des fissures, l'infiltration des eaux de pluies et ménagères, l'écoulement hypodermique et le degré de la pente de versant qui s'ajoutent aux facteurs précédents dans le déclenchement dudit glissement.

### **6.2.6 LA SAPINIÈRE**

Il est localisé à 0706960 de longitude Est et à 9721514 de latitude Sud et se situe à 1536m d'altitude. Ce phénomène se produit juste au versant surplombant la route Essence-petite barrière non loin de l'abattoir, derrière le complexe scolaire la SAPINIÈRE. Les matériaux qui ont glissé ont emporté dans leur trajectoire une maison. Le rejet est de plus ou moins 8m, et le sens du glissement est Nord-est.

### **6.2.7 GIAMBA (MANGA)**

Localisé à 0706770 de longitude Est et à 9721301 de latitude Sud, il se trouve à 1604 d'altitude ; ce glissement se trouve au sud de celui de LASSAPINIÈRE à plus ou moins 50m de celui-ci et surplombe la route Ruzizi II - Essence en diagonale de l'abattoir de l'ELACATE. Il se produit sur une vaste étendue et une hauteur importante où des maisons érigées ont finalement été emportées par le glissement. Sur place, on peut remarquer que l'eau d'écoulement venant du sommet à grande hauteur continue à emporter dans son parcours les matériaux arrachés. Ces matériaux qui restent sur place forment des stocks en forme d'escaliers qui glissent progressivement à cause de la pression de l'eau.

L'escarpement laisse voir des blocs de basalte déjà altérés de couleur grise de l'ordre décimétrique et centimétrique. C'est un glissement actif, dont le terrassement de parcelles de construction mais aussi l'effet de la pente très élevée du

versant à cet endroit, seraient à la base du déclenchement de ce phénomène qui a pu emporter plus d'une quinzaine de maisons.

#### **6.2.8 BIZIMANA**

Le présent glissement est délocalisé à 0706652 de longitude Est, à 9720594 de latitude sud, et à 1601m de l'altitude. C'est un versant qui se trouve au Sud de Muhungu La Voix sur le flanc droit surplombant la RUZIZI dans son écoulement vers le Sud. Ce flanc connaît des arrachements des matériaux par endroit, partout où il y a eu exécution de construction.

C'est un versant accidenté où des maisons qui semblent se tenir en forme connaissent déjà des fissures. Les murs de fondation sont érigés sur l'argile, la roche-mère ne pourra être atteint en grande profondeur. Malgré les tentatives de soutènements en bois établis, les maisons ont été emportées par ce mouvement causant aussi la mort d'homme. Les eaux des précipitations et ménagères s'écoulant et trouvent des zones de faiblesse (fissures) créées par l'homme lors de terrassement et l'angle de pente qui est plus élevé seraient les paramètres déclencheurs ce glissement.

#### **6.2.9 RUGAMBA**

C'est un glissement qui est localisé à 0706737 de longitude Est, à 9720066 de latitude sud et à 1511m de l'altitude, il est localisé à une cinquantaine de mètres de la paroisse de CAHI et au Nord-est de celle-ci tout au long de la rivière RUGANDA limitant le quartier BIZIMANA et KAZARHO. Les matériaux qui ont glissé ont été tous emportés par la rivière. Le glissement se produit juste en bordure de certaines maisons à plus ou moins 1m. Le sol est fait à majorité de gros grains favorisant la grande perméabilité. Les différentes constructions en place sont érigées sur un sol perméable.

L'exploitation (extraction) des matériaux de construction (roches) le long de la rivière entraîne une instabilité régulière du site causant en plus la chute d'autres blocs. L'écoulement des eaux de pluies et celle d'usage ménager provenant de la colline sur plombant ce site à leur passage érodent les rives du ravin et arrachent les matériaux créant un déséquilibre dans le versant. Les talus montrent le profil avec sol fait d'argile parsemée des blocs de haut en bas et vers l'aval du ravin le sol couleur grisâtre témoignant l'altération de basaltes et se prolonge jusque dans la rivière Ruzizi. A ces facteurs s'ajoute le degré de la pente qui est élevé.

#### **6.2.10 KAZARHO 2 (RIVIÈRE DUBWI)**

Le glissement de la rivière DUBWI est situé à une altitude de 1457m à 0707181 de longitude Est, 9719669 de latitude Sud. C'est un glissement qui se produit aux deux rives de la rivière DUBWI, séparant KAZARHO 1 et KAZARHO 2.

Selon la population environnante, tout a commencé par un petit ravin qui avec le temps s'est développé jusqu'à avoir des glissements le long de la rivière. Les matériaux affecté c'est de l'argile de couleur sombre, rouge puis grise. Des eaux de pluie, d'érosion des collines, d'usage ménagers sont orientées dans la rivière. Signalons ensuite que cet endroit est fait des argiles qui présentent souvent des fentes de retrait lorsqu'elles sont sèches ; pendant la saison pluvieuse, l'eau s'infiltré et s'écoule en profondeur suivant la domination du gradient hydrostatique (dépendamment de la pente). Les écoulements souterrains contribuent au déclenchement de ce glissement.

Le glissement est de deux sens suivant les deux rives de la rivière NW et SE.

#### **6.2.11 KASHINGO**

Ce glissement, développé le long de la rivière Kashingo, situé à une altitude de 1454m et localisé à 0707346 de longitude Est et à 9719424 de latitude Sud. Il se trouve à l'ouest de la rivière RUZIZI dans laquelle se jettent les eaux collectionnées dans cette petite rivière. Il résulte de l'action des eaux de précipitations qui viennent de la colline depuis l'Université Evangélique en Afrique et qui entraînent dans leur parcours des matériaux. C'est une zone de glissement qui a commencé par un petit ravin qui s'est élargi petit à petit surtout lors des crues.

Ce glissement en forme d'une bouteille (bottleneck), est encore actif et a un caractère régressif (évolue en reculant). Cette rivière est alimentée non seulement par les eaux de précipitation mais aussi par une source d'eau souterraine ce qui expliquerait la relation entre le glissement et l'aquifère en place. C'est un glissement très profond ; la roche mère se fait voir déjà. En amont du glissement il y a des débris rocheux des couleurs grisâtre et jaunâtre, en aval tout au long des rives du ravin ce sont des sols argileux de couleur brunâtre. Tout au long du ravin il y avait des maisons qui ont été emportées par le glissement d'après les déclarations des habitants, il y a eu un petit terrain de foot des enfants du quartier a été emporté. Les

eaux mal canalisée, pendant des crues, se créent des passages érodant petit à petit les rives. Le site étant fait des argiles, la construction des maisons qui y est établie crée aussi des fissurations recueillant des eaux s'infiltrant et entraînant les écoulements souterrains facilitant les matériaux en aval à glisser.

#### 6.2.12 MULENGEZA I

C'est un glissement qui est situé à une altitude de 1603m et localisé à 0706661 de longitude Est et à 9719322 de latitude Sud.

Il se trouve au-dessus de la route ESSENCE-Hôpital Général de Panzi au nord de l'UEA, proche de l'Institut IMANI PANZI. Il est localisé entre des maisons. Le glissement présente un rejet de plus de ou moins 8m. Le constat fait à la crête du glissement montre la présence des fissures en bordures des maisons à cet endroit. Ce mouvement s'est déclenché au mois de février 2014 suite au terrassement effectué à la base de ce glissement ayant créé des fissures à son sommet et l'infiltration des eaux des pluies a diminué la cohésion du sol. La surface d'arrachement était couverte par des gros troncs d'arbres en place qui aussi exerçaient une pression sur le site à laquelle s'est ajoutée celle produite par les eaux d'infiltration. Ce glissement de sens vers l'Est, a conduit à la destruction d'une maison.

#### 6.2.13 MUSHUNUNU

C'est un glissement qui s'est produit sur un versant surplombant la rivière Ruzizi et au sud de Kashingo juste à la limite de Kazaroho et Mushununu. Il est d'origine naturel car d'après les déclarations des autochtones habitant le quartier surface d'arrachement a été affecté par les d'écoulement des eaux d'érosion lors des crues qui ont débordé pendant une grande pluie après que les débris amenés par ces eaux aient bouché leur chemin (canal).

#### 6.2.14 MULENGEZA 2/CARRIÈRE

Ce glissement se localise au Sud-Ouest de la paroisse de CAHI à plus ou moins 150m de la route Essence-UEA juste à la limite de la Commune d'Ibanda et celle de Bagira.

Il s'agit d'un Glissement de l'exploitation des matériaux de construction. La masse exploitée est une masse rocheuse constituée par des basaltes en altération intense. Le glissement dans cette carrière serait provoqué par l'arrachement des matériaux créant ainsi des vides au niveau de talus. On remarque que la couche la plus superficielle est constituée par des matériaux hétérogènes. L'altération de ces basaltes conduit à la formation d'une argile blanchâtre d'une part et violâtre d'autre part. Les matériaux violets sont encore plus durs que les matériaux blanchâtres. Cette exploitation provoque au niveau des roches des cassures par lesquelles l'eau de précipitation s'infiltré et provoque l'éboulement intense avec le temps. Ce glissement est d'origine anthropique.

## 7 ANALYSE SPATIALE DES FACTEURS DE LA SUSCEPTIBILITÉ

### 7.1 INTRODUCTION

Plusieurs facteurs (au moins 20) causant le glissement peuvent être utilisés dans l'estimation de la susceptibilité au glissement (SCHUSTER, 1996 *in* MIGOMBANO, 2011). Selon MIGOMBANO (2011), la précision de celle-ci augmente avec le nombre de paramètres disponibles (ainsi qu'avec la résolution de la carte de distribution des valeurs des paramètres).

Dans la présente étude, nous n'avons utilisé uniquement 5 facteurs dont : la proximité aux failles, la pente, l'orientation de la pente, la distance au réseau des drainages. Ces paramètres peuvent être classées en 3 principaux groupes dont :

- Géologie : la proximité aux failles
- Topographie : pente et orientation de la pente
- Hydrologie : distance au réseau des drainages

Pour tous ces paramètres, il y a toujours des classes définies, et les valeurs de ces différentes classes sont choisies par nous-même. Ensuite, elles sont croisées avec la couche des glissements pour reconnaître la répartition de nos glissements suivant les classes choisies.

7.2 GÉOLOGIE

Par manque de carte géologique détaillée de la zone d'étude, nous nous sommes basés sur les données de failles disponibles pour avoir une information sur leur influence ou non sur les glissements ; cette information ne va pas intervenir dans les calculs de l'aléa. La géologie devrait reprendre aussi la lithologie pour voir son influence sur les glissements.

Selon PACHAURI *et al.* (1992) cité par MIGOMBANO (2011), la considération de l'activité sismique dans la prédiction des glissements de terrain se traduit parfois par la prise en compte de l'accélération sismique et ou de la proximité aux failles.

Les vibrations du sol provoquées par ces séismes génèrent des contraintes qui réduisent la résistance au cisaillement des sols au niveau des pentes dans la Commune d'Ibanda. Les ondes sismiques provenant des profondeurs du sol se déplacent de manière à induire des mouvements des ruptures d'une partie de la pente poussée vers l'extérieur, tandis que la partie résistante à la rupture reste attirée vers l'intérieur

Grace à l'outil Arc-GIS, 5 classes ont été définies : 0m à 50m, 50m à 200m, 200m à 500m, de et >500m.

Pour les 4 classes nous pouvons dire que les failles n'influencent pas le déclenchement des glissements de terrain car 100% des glissements de notre secteur d'étude se trouvent à plus de 500m des failles.

Tableau n°1 : Degré de susceptibilité des glissements par rapport à la distance aux failles

Classe (m)	Superficie classes	% classes	Superficie glissement	Densité	% Glissements
<50	0	0	0	---	0
50 à 200	0	0	0	---	0
200 à 500	0	0	0	---	0
>500	4305	100	26	0,6039489	100
	4305	100	26	---	100

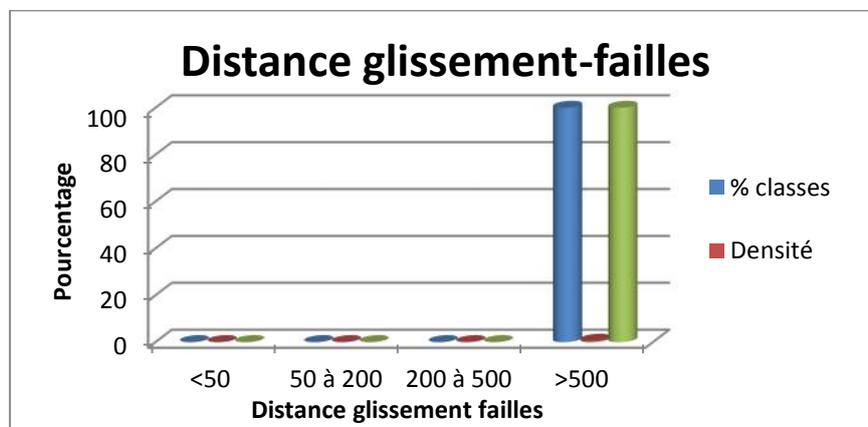


Fig.1. Distribution des glissements en rapport au réseau des failles

C'est ainsi qu'à partir de la figure 1 et des données du tableau n°1 on constate que la grande partie des glissements (100%) se localise à plus de 500m des failles. Tel qu'on peut le voir sur la figure 2.

Pour ce paramètre-ci, nous pouvons dire que les failles influencent peu le déclenchement des glissements de terrain.

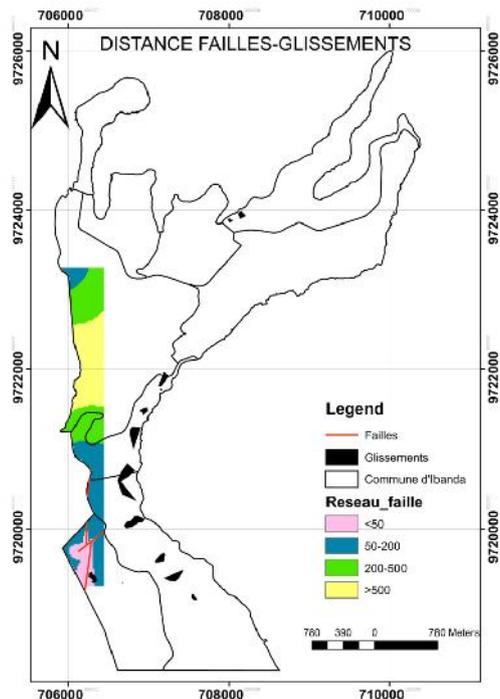


Fig.2. Distribution des glissements en rapport au réseau des failles

### 7.3 TOPOGRAPHIE

#### 7.3.1 PENTE

La pente est le paramètre le plus utilisé dans l'étude des glissements de terrain. Selon MOORE *et al.* (1991) cité par MOGOMBANO (2011), la pente représente la dérivée première de l'altitude.

Les glissements de terrain impliquent des matériaux meubles, saturés et de faible cohésion sur des pentes faibles à modérées (Keefer, 2002). Et Beauchamps (2003) reconnaît qu'un terrain contenant des argiles gorgées d'eau sera instable sur des pentes même très faibles de 1%.

Avec l'outil Arc-GIS, 4 classes de pente ont été définies dont : la classe de 0 à 10°, de 10 à 20°, de 20 à 20° et celle supérieure à 30°.

Tableau n°2 : Degré de susceptibilité des glissements par classes des pentes

Classe	Superficie classes	% des classes	Superficie glissement	Densité	% glissements
0° à 10°	8019	58.44752187	7	0.08729268	4.895104895
10° à 20°	4812	35.0728863	47	0.976724855	32.86713287
20° à 30°	735	5.357142857	53	7.210884354	37.06293706
sup 30°	154	1.12244898	36	23.37662338	25.17482517
	13720	100	143	31.65152526	100

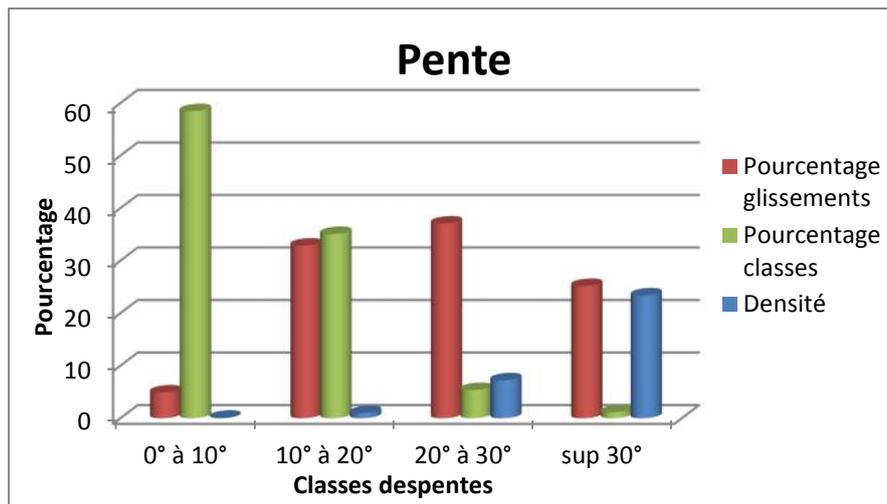


Fig.3. Distribution des pentes et susceptibilité à l'instabilité

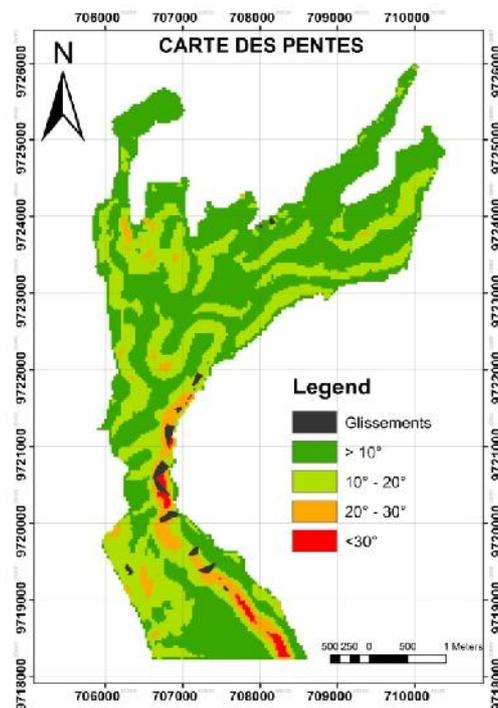


Fig.4. carte des pentes et de la distribution des glissements

On constate que 4.89 % des glissements sont placés dans des zones où les pentes sont comprises entre 0° et 10° (la classe la plus influente), 32.86% sont dans des zones de 10° à 20°, 37.06% dans la zone de 20° à 30° et 25.17% dans la zone de pente supérieur à 30°. Les deuxièmes et troisièmes classes sont les deux classes qui ont beaucoup de mouvements de masse ; par conséquent il y a encore le risque de voir d'autres glissements se produire dans ces zones dans le futur.

Nous remarquons qu'il y a moins de glissements dans la classe de pente de > à 30° (classe à forte pente). La présence de beaucoup de glissements dans des classes à faible pente que celle à forte pente s'explique par le fait que une grande partie des glissements d'Ibanda est beaucoup plus d'origine anthropique.

La carte des pentes de notre secteur d'étude a été exécutée à l'aide du modèle numérique de terrain interpolé à partir la carte topographique 1954 rectifiée en décembre 1999.

### 7.3.2 ORIENTATION DES PENTES

Selon Dewitte (2006), « l'orientation des pentes peut agir sur la réactivation en influençant les propriétés physiques de la pente et donc sa susceptibilité au mouvement ». Plusieurs facteurs sont influencés par l'orientation des pentes : la radiation reçue du soleil et la végétation. Ces dernières peuvent aussi influencer la résistance des sols et la susceptibilité au mouvement de masse.

Pour la plupart de cas, les conditions météorologiques sont responsables des changements de susceptibilité aux glissements en ce qui concerne l'orientation des pentes (BURETTE, 2012).

ArcGIS nous a permis d'extraire une couche des données à partir des altitudes. C'est ainsi que pour déterminer l'orientation des pentes, la fonction « Aspect » dans ArcGIS nous a permis d'extraire une couche des données à partir des altitudes. Cette fonction attribue à chaque pixel la direction du plan ajusté lors du calcul de la pente. Elle donne des valeurs de pente allant de 0° à 360°.

Ainsi 8 classes ont été mises en évidence, ces classes forment 8 différentes directions chacune comportant 45°. Ces classes sont : Nord (337,5 ° -22,5 °), Nord- Est (22,5 ° -67,5 °), Est (67,5 ° -112,5), Sud- Est (112,5 ° -157,5 °), Sud (157,5 ° -202,5 °), Sud- Ouest (202,5 ° -247,5 °), Ouest (247,5 ° -292,5 °) et Nord-Ouest (292,5 ° -337,5 °) (Fig. 5 et Tableau 3).

**Tableau n°3 : Degré de susceptibilité des glissements par orientation des pentes**

Classe	Superficie classes	% classes	Superficie glissements	Densité	Pourcentage
N	1766	13.16633117	0	0	0
NE	2238	16.6853053	41	1.83199285	28.6713287
E	2385	17.78125699	83	3.48008386	58.041958
SE	1553	11.57831954	13	0.8370895	9.09090909
S	1038	7.738760904	0	0	0
SW	926	6.903750093	3	0.32397408	2.0979021
W	1352	10.07977335	2	0.14792899	1.3986014
NW	2155	16.06650265	1	0.04640371	0.6993007
Total	13413	100	143	6.667473	100

Pour la commune d'Ibanda, nous remarquons que la susceptibilité au mouvement est localisée sur les versants de pente orientés beaucoup plus vers l'Est soit 58.04% (la classe la plus influente) ensuite vers le Nord-Est soit 28.67% et enfin le Sud-Est soit 9.09%. Ces trois orientations présentent des densités supérieures aux autres et ont des superficies supérieures aux autres (Fig. 5 et Tableau 3). Il y a risque que d'autres glissements se produisent dans ces zones dans le futur. Car les grandes précipitations qui s'abattent sur la Ville de Bukavu proviennent généralement de l'Est.

Il est important de vérifier si la localisation des glissements sur ces pentes n'est pas liée à l'influence des vents qui amènent les pluies dans cette région de l'Est vers l'Ouest. Cette observation devrait être vérifiée par rapport à la composante directionnelle des vents à l'origine des pluies dans cette région ou bien à l'orientation des failles. L'absence de données de ce genre dans notre étude constitue une limite pour cette mise en relation.

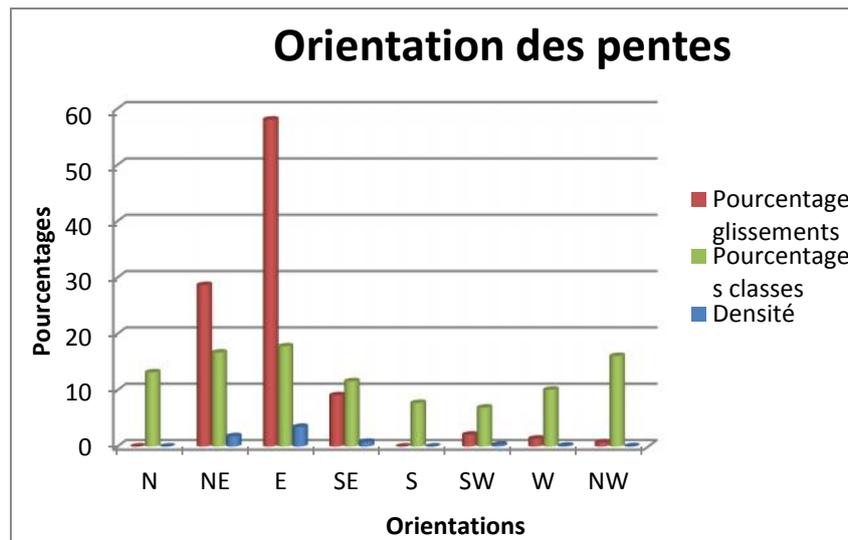


Fig.5. Distribution des glissements suivant l'orientation des pentes.

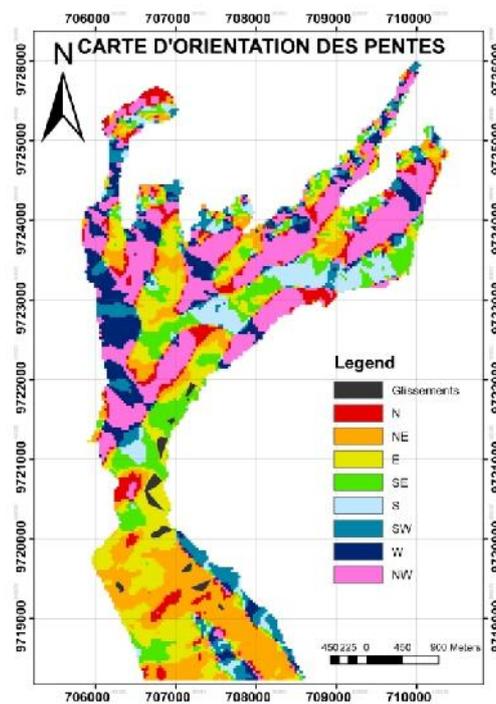


Fig.6. Carte d'orientation des pentes et glissement de terrain

## 7.4 HYDROLOGIE

### 7.4.1 DISTANCE AU RÉSEAU DE DRAINAGE

Le réseau de drainage peut avoir une influence sur la distribution des zones instables (glissements de terrain) en modifiant le comportement du terrain par l'érosion des ravins qui peut initier la rupture des pentes. Dai et Lee, (2001b, 2002) cité par MIGOMBANO (2011) montrent que le réseau de drainage exerce une influence sur la distribution des glissements de terrain.

Nous avons retenu les pixels ayant une valeur d'accumulation supérieure à 400 pour faire un classement des drain du fait qu'il n'y a pas de valeur seuil dans la littérature. Nous n'avons considéré que l'accumulation d'écoulement supérieur à 400. Le choix arbitraire de cette limite de valeur est seulement pour inclure des rivières permanentes.

La distance au réseau de drainage est un facteur qui joue un grand rôle dans la mise en place des glissements selon que la pente se trouve à proximité du drain ou non, comme par exemple le cas des glissements KASHINGO, RUGANDA et DUBWI dans la commune d'Ibanda qui sont progressifs et se produisent au bord des ravins tout au long des rivières.

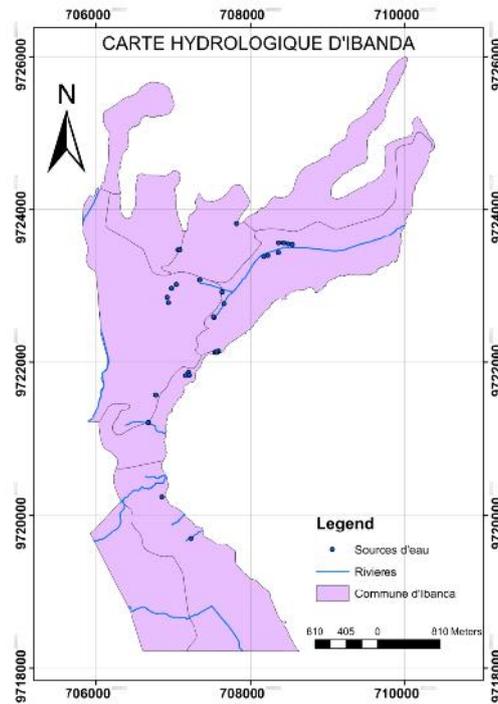


Fig.7. Carte hydrogéologique de la commune d'Ibanda

Le réseau de drainage dont il est question est simulé à partir des données d'accumulation de l'écoulement par l'application de la fonction « Con » d'Arc GIS qui permettant d'effectuer nombreuses évaluations conditionnelles. Ainsi, les pixels ayant une valeur d'accumulation supérieure à 400 sont retenus pour être classés comme drain et cela dû au fait de l'absence d'une valeur limite dans la littérature. Cette valeur est choisi car elle permettra d'obtenir un réseau de drainage semblable à celui hydrographique permanent. A partir du réseau de drainage obtenu, la distance euclidienne est calculée par la fonction « Euclidean Distance » d'Arc GIS. C'est ainsi que les classes suivantes sont retenues : classe1 inférieure 10m, classe2 de 10 à 50m, classe3 de 50 à 250m, la classe4 de 250 à 700m et la classe5 supérieure à 700m.

Tableau n°4: Degré de susceptibilité des glissements en rapport aux réseaux de drainage

Classe (m)	Superficie classes	% des classes	Superficie glissement	Densité	% des glissements
<10	873	2,482582113	63	7,216494845	14,71962617
10 à 50	3185	9,057301294	151	4,740973312	35,28037383
50 à 250	11938	33,94852837	106	0,887920925	24,76635514
250 à 700	16496	46,91028011	81	0,491028128	18,92523364
>700	2673	7,601308119	27	1,01010101	6,308411215
	35165	100	428	14,34651822	100

Figure 7 et le tableau n°4 montrent que 35.28% des glissements de notre secteur d'étude se trouve entre 10 et 50m d'un réseau de drainage, 24.76% entre 50 et 250m, 18.92% entre 250 et 700m, 14.71% se trouve à moins de 10m de réseau de drainage et 6.3% sont à plus de 700m.

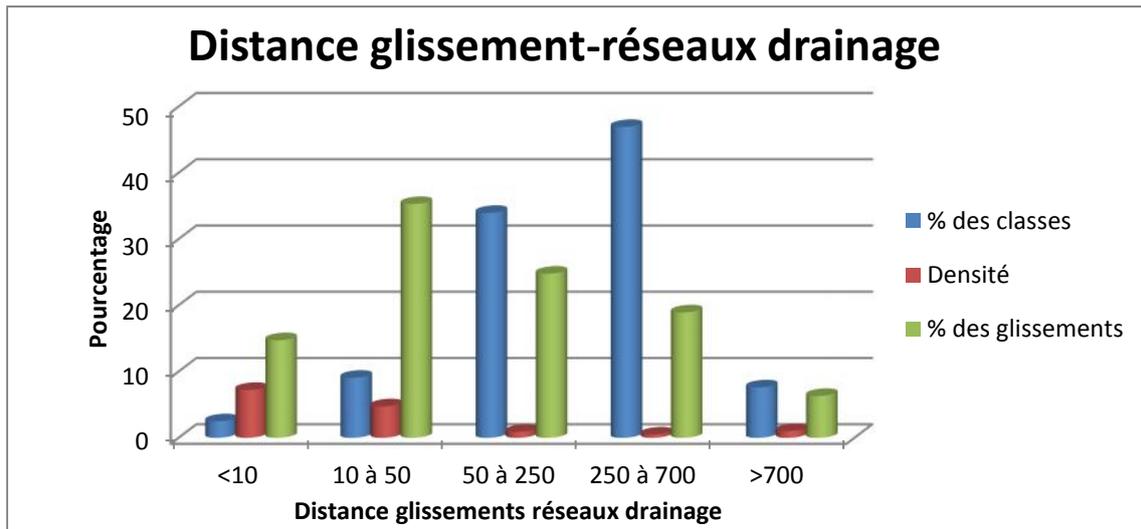


Figure n° 8: Répartition des glissements selon la distance aux réseaux de drainage.

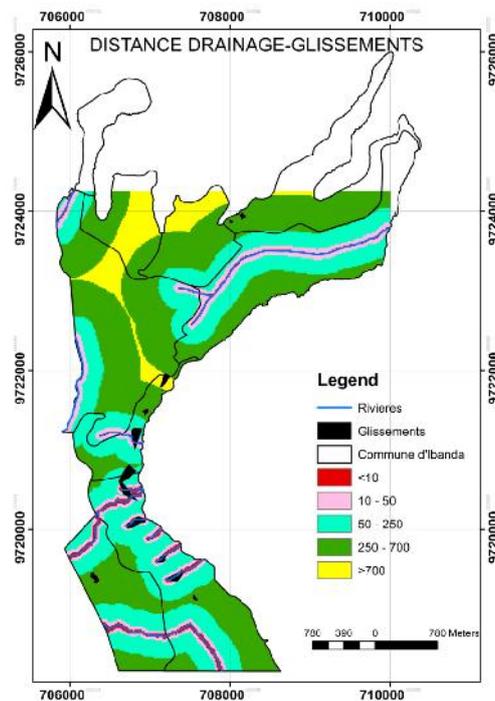


Figure n°9: Carte de réseaux de drainage face à la distribution des glissements

## 8 CARTOGRAPHIE DE LA SUSCEPTIBILITÉ

### 8.1 ANALYSE STATISTIQUE DE L'ALÉA GLISSEMENT DE TERRAIN

C'est à partir de 4 paramètres, n'ayant pas la même influence sur les glissements de terrain, que nous avons pu analyser la susceptibilité aux glissements de terrains. Sur base de l'approche statistique, les classes des différents paramètres seront pondérées.

La méthode appelée « *Landslide Index Method* » (Van Westen and Soeters, 2003) basée sur le calcul de poids a été utilisée. Le poids est accordé à chaque classe d'un paramètre suivant la relation :

$$W_i = \frac{Densclas}{Densmap} = \frac{\frac{Npix(S_i)}{Npix(N_i)}}{\frac{\sum Npix(S_i)}{\sum Npix(N_i)}}$$

Avec

$W_i$  : Poids attribué à une classe d'un paramètre

$Densclas$  : Densité de glissements au sein de la classe

$Densmap$  : Densité de glissements au sein de l'ensemble de la carte

$Npix(S_i)$  : Nombre de pixels contenus dans le glissement pour un paramètre

$Npix(N_i)$  : Nombre total de pixels du paramètre

Les poids attribués à ces différentes classes par l'application de cette relation ont permis d'apprécier ainsi l'influence de chaque paramètre dans la prédisposition à l'instabilité.

## 8.2 CARTOGRAPHIE DES ZONES INSTABLES

La prédiction des mouvements de terrain est faite à partir de ces 4 paramètres. Grâce à l'outil « Système d'Informations Géographiques (SIG) » notamment au moyen de la fonction « Fuzzy overlay », nous avons superposé les différentes cartes factorielles des facteurs de prédiction ci-haut signalés et le recoupement de ces cartes a permis la production d'une carte d'aléa.

3 zones de susceptibilité différentes sont mises en évidence : zone à aléa faible, zone à aléa moyen et zone à aléa élevé. Les zones à faible aléa correspondent aux dépressions ou aux surfaces plus ou moins planes et les zones à aléa élevé correspondent aux zones à forte pente.

**Tableau n°21 : Degré de susceptibilité par zone d'aléa**

Classe	Superficie classes	% classes	Superficie glissement	Densité	% Glissements
Très faible	1443	12.14646465	19	1.316701317	13.28671329
Faible	4421	37.21380471	5	0.113096584	3.496503497
Moyen	3835	32.28114478	48	1.251629726	33.56643357
Elevé	1762	14.83164983	21	1.191827469	14.68531469
Très élevé	419	3.526936027	50	11.93317422	34.96503497
	11880	100	143		100

Les zones à aléa très élevés et élevé sont localisées sur les versants à plus fortes pentes tandis que les faibles aléas correspondent aux sites de faible pente.

Dans la commune d'Ibanda, il y a plus de glissements dans la classe à aléa très élevé à une 34.96% suivi de celle à aléa moyen (33.56%), puis celle à aléa élevé (14.68%) et à aléa très faible (13.28%) et enfin la classe à aléa faible (3.49%). Beaucoup de glissement dans les classes à aléa moyen et très faible montre un signe de la relation avec d'une activité anthropique, à la recherche des terrains pour la construction.

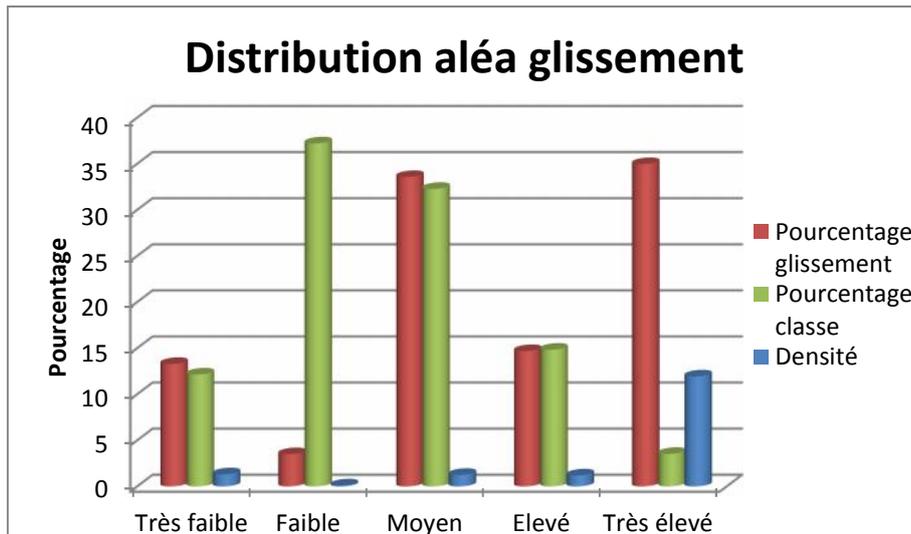


Fig. 10. Distribution de l'aléa aux glissements de terrain

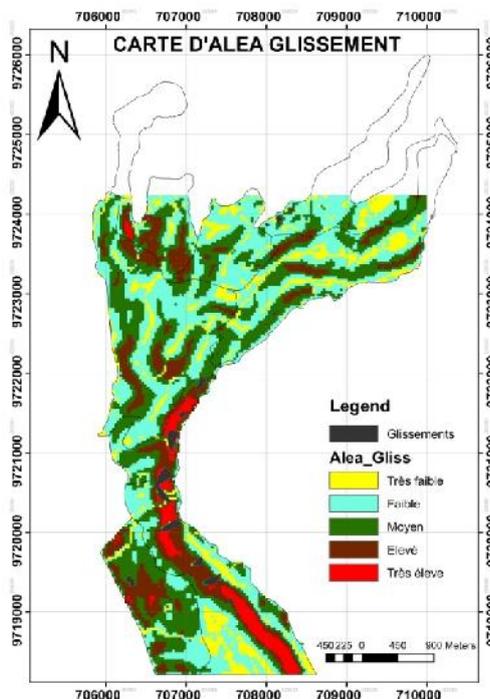


Figure 11. Carte d'aléa de la commune d'Ibanda plus commentaire

## 9 CONCLUSION

Ibanda, étant l'une des trois communes de la ville de Bukavu, est sujette à de nombreux mouvements de masse vue son contexte géologique, morpho tectonique, et climatique. Il se remarque qu'à ces paramètres s'ajoute la pression des activités humaines qui par la suite accélère les mouvements de masse qui deviennent de plus en plus importants. Ainsi nous avons cherché à mettre en évidence les agents déclencheurs de mouvements de masse dans cette commune. Pour y arriver, nous avons abordé ce sujet tout d'abord par une approche directe qui a consisté en une descente sur terrain pour inventorier les glissements, leur localisation et cela étant suivi de leur description. Ici nous avons essayé d'identifier de facteurs déclencheurs (de prédiction) de ces phénomènes. Comme cela ne suffisait pas pour mettre en évidence tous les facteurs déclencheurs des glissements de terrain dans la commune d'Ibanda, nous sommes passés à l'étude de susceptibilité des sols

aux glissements de terrain par une approche indirecte par l'utilisation de l'outil SIG et ses différentes fonctions et cela nous a permis de l'élaborer différentes cartes au moyen des données MNT en plus des données de terrain.

En considérant les facteurs géologiques, topographiques et hydrologiques, comme étant facteurs déclencheurs, ce système nous a offert des cartes dont l'analyse nous a donné des renseignements sur la relation qui existerait entre ces paramètres et le déclenchement des glissements de terrain dans la commune d'Ibanda. C'est ainsi que différentes cartes trouvées montrent que le déclenchement des glissements se situerait à plus de 500m par rapport aux failles et cela signifierait que dans ce secteur le déclenchement des glissements n'est pas en relation directe avec les failles. Pour ce qui est de la topographie, les glissements se produisent dans ce secteur à des endroits à faibles et moyennes pentes (10 et 20° et 20° à 30°) et donc ces phénomènes ne sont pas seulement liés à des pentes élevées ; ils sont aussi en relation avec l'activité entropique. Quant à l'hydrographie, ces phénomènes se produisent à une distance allant jusqu'à 50m et au de-là ce qui expliquerait que ces glissements n'ont pas du tout liés à la proximité des réseaux hydrographiques.

Par la suite, l'étude de susceptibilité de pentes au glissement nous a permis de cartographier les zones instables. La carte d'aléa a été obtenue au moyen du logiciel de « Système d'Informations Géographiques (SIG) » à partir de la fonction « Fuzzy overlay » par superposition des différentes cartes factorielles des facteurs de prédiction (distance failles-glissements, pentes et orientation des pente-glissements, réseaux de drainage-glissements). Cette carte a montré que le glissement se déclencherait, non seulement dans des zones à aléa élevé, mais aussi dans des zones à aléa moyen et très faible (un signe de la relation avec d'une activité anthropique, à la recherche des terrains pour la construction).

## REFERENCES

- [1] **Bienvenu Tshuma Isonga**, 2001. Contribution à l'étude des mouvements de masse et de la stabilité du barrage Ruzizi 1
- [2] **Dewitte, O.**, 2006. Cinématique de glissements de terrain et prédiction de leur réactivation : approche probabiliste dans la région d'Oudenaarde. Thèse de doctorat, Université de Liège, 213 p.
- [3] **Hil Kuypers, Anne Mollema, Egger Topper**, 2004..La protection des sols contre l'érosion dans les Tropiques. Wageningen. Pays Bas.
- [4] **Ilunga Lutumba**, L'érosion dans la ville de Bukavu. Antennes, revue du CERUKI, cinquième année n°2, décembre 1977, pp277-299.
- [5] **Ilunga Lutumba**, Morphologie, volcanisme et sédimentation dans le rift du Sud-Kivu. Bulletin de la Société Géographique de Liège, 1991, vol.27.
- [6] **Ilunga Lutumba**, 1989. Problèmes géologiques d'aménagement dans la zone de Kadutu (ville de Bukavu, Zaïre). Cahiers du CERUKI, nouvelle série, n° 24, pp 40-51.
- [7] **Josué Bahati Chishugi**, 2001. Etude des mouvements de masse dans la ville de BUKAVU secteur camp Zaïre-clinique,
- [8] **Munyololo, Y., Wafula, M., Kasereka, M., Ciraba, M., Mukambilwa, K., Mavonga, T., Cirimwami, M., Muhigirwa, B., Bagalwa, R., Mundala, M.**, 1999. Récrudescence des glissements de terrain suite à la réactivation séismique du bassin du Lac Kivu. Région de Bukavu (Rép. Dém. Congo). Rapport Annuel du Département de Géologie et de Minéralogie du Musée Royal de l'Afrique Centrale 1997– 1998, 285–298.
- [9] **NFUNDIKO MUSABENDE et RUTAHA ABAKONZI** ; Caractérisation géotechnique des sols et leur susceptibilité aux glissements de terrain dans la Commune de Kadutu, U.O.B., 2013.
- [10] **Région du Kivu**, Erosion à Bukavu: Aspects géomorphologiques, agronomiques et sociologiques, Ed. 9-éd, 1984, 336p.
- [11] **Sadiki, N.**, 2009. Gestion des risques naturels à Bukavu, Sud-Kivu / R. D. Congo. Travail de Fin d'Etudes, Université de Liège,
- [12] **TERZAGHI K**, 1951, Mécanique théorique des sols, Dunod, Paris 93 Rue Bonaparte (VI) ;
- [13] **Tréfois, P. Moeyerson, J. Lvreun J. Alilasi, D. Badrio I., Mitima, B. Mundala .M. Munganga, D.Nahimana**, 2002. Géologie Urbaine de Bukavu: interaction entre la stabilité du sol et la pression démographique. Rapport Musée Royale de l'Afrique Centrale, Tervuren, inédit
- [14] **S. BURETTE**, Mapping of landslides and correlations with morphological factor based on remote sensing, field observations and measurements in the Central Tien Han (Kyrgyzstan), Master thesis submitted for the degree of " Master en Sciences Géologiques, à finalité approfondie". Ulg. inédit.
- [15] **Serge Butara**, 2012. Glissements de terrain et cause de leur déclenchement : cas de la cite d'Uvira et sa partie méridionale (Sud-kivu, RDC). Travail de fin d'étude Master.