

## **Travail de fin d'études[BR]- Travail de recherche personnel[BR]- Travail d'expertise interdisciplinaire**

**Auteur** : Mugisho Bachinyaga, Josué

**Promoteur(s)** : 5568

**Faculté** : Faculté des Sciences

**Diplôme** : Master de spécialisation en gestion des risques et des catastrophes à l'ère de l'Anthropocène

**Année académique** : 2023-2024

**URI/URL** : <http://hdl.handle.net/2268.2/20835>

---

### *Avertissement à l'attention des usagers :*

*Tous les documents placés en accès ouvert sur le site le site MatheO sont protégés par le droit d'auteur. Conformément aux principes énoncés par la "Budapest Open Access Initiative"(BOAI, 2002), l'utilisateur du site peut lire, télécharger, copier, transmettre, imprimer, chercher ou faire un lien vers le texte intégral de ces documents, les disséquer pour les indexer, s'en servir de données pour un logiciel, ou s'en servir à toute autre fin légale (ou prévue par la réglementation relative au droit d'auteur). Toute utilisation du document à des fins commerciales est strictement interdite.*

*Par ailleurs, l'utilisateur s'engage à respecter les droits moraux de l'auteur, principalement le droit à l'intégrité de l'oeuvre et le droit de paternité et ce dans toute utilisation que l'utilisateur entreprend. Ainsi, à titre d'exemple, lorsqu'il reproduira un document par extrait ou dans son intégralité, l'utilisateur citera de manière complète les sources telles que mentionnées ci-dessus. Toute utilisation non explicitement autorisée ci-avant (telle que par exemple, la modification du document ou son résumé) nécessite l'autorisation préalable et expresse des auteurs ou de leurs ayants droit.*

---

**ULiège - Faculté des Sciences - Département des Sciences et Gestion de l'Environnement**

## **Evolution récente des glissements de terrain dans les collines de Bujumbura : une analyse spatio-temporelle des processus et des impacts associés**



**Josué MUGISHO BACHINYAGA**

**TRAVAIL DE FIN D'ETUDES PRESENTE EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME DE  
MASTER DE SPECIALISATION EN GESTION DES RISQUES ET DES CATASTROPHES A L'ERE DE L'ANTHROPOCENE**

**ANNEE ACADEMIQUE 2023-2024**

**REDIGE SOUS LA DIRECTION DE :**

**Olivier DEWITTE  
Désiré KUBWIMANA**

**COMITE DE LECTURE :**

**Olivier DEWITTE  
Hans Belder HAVENITH**

**André OZER**

Copyright ©

Toute reproduction du présent document, par quelque procédé que ce soit, ne peut être réalisée qu'avec l'autorisation de l'auteur et de l'autorité académique\* de l'Université de Liège.

\*L'autorité académique est représentée par le(s) promoteur(s) membre(s) du personnel enseignant de l'Université de Liège.

Le présent document n'engage que son auteur.

Auteur du présent document : **Josué MUGISHO BACHINYAGA**,  
[jmugisho@gmail.com](mailto:jmugisho@gmail.com)

## DÉDICACE

*En mémoire de mon précieux père Félix Bachinyaga et mes aimables grands-parents, dont l'humilité, la tolérance et les encouragements ont toujours été une force pour moi. Bien que vous soyez partis trop tôt, votre influence demeure présente dans nos entreprises.*

*A ma chérie maman, mes estimables beaux-parents qui m'enseignent jusqu'à présent la persévérance et l'humilité.*

*A mes oncles et tantes*

*A mes frères et sœurs*

*A ma très tendre épouse Emilie Sudi Bachinyaga et à mon fils Jean-Félix-Bryan Baguma Bachinyaga, pour leur affection, persévérance et tant de considération et sacrifice à ma personne.*

*Je leur dédie ce travail*

## REMERCIEMENTS

Avant toute chose, qu'il me soit permis d'adresser ma plus profonde gratitude à mon Dieu Tout Puissant pour le souffle de vie m'accordé gratuitement et pour l'aboutissement heureux de ce travail.

Je remercie le Dr. Olivier DEWITTE pour avoir accepté de diriger ce travail et ce, malgré ses multiples occupations et sollicitations au quotidien. Je lui exprime ma profonde reconnaissance pour l'énergie dispensée, ainsi que mon admiration personnelle pour ses conseils avisés et sa disponibilité pour des nombreuses discussions pendant les moments tardifs de la nuit comme la journée. Merci de m'avoir initié dans la compréhension de la dynamique des glissements de terrain en me proposant une thématique sur Burundi.

J'adresse ma gratitude au Dr. Désiré Kubwimana, pour avoir co-dirigé ce travail et pour sa disponibilité dans les collines de Bujumbura durant mon séjour de terrain au Burundi.

J'exprime tous mes remerciements à l'endroit de l'Académie de Recherche et d'Enseignement Supérieur « ARES » pour son soutien financier durant toute l'année d'étude faite en Belgique.

Je suis honoré d'exprimer ma gratitude au Professeur Pierre Ozer, à la Dr. Florence De Longueville et à Mr. Koufanou Hien, tous membres de l'équipe de coordination du programme de master, qui m'ont accepté dans ce programme en m'offrant une éducation scientifique très recherchée. C'est à travers vous que je témoigne également ma reconnaissance à tous les enseignants impliqués dans ce programme de formation.

Mes pensées vont à l'endroit des autorités académiques de l'Université Officielle de Bukavu (UOB) à tous les niveaux, pour m'avoir donné leur accord en me fournissant tous les documents administratifs nécessaires afin de rendre effective ma participation à cette formation.

Je dois beaucoup à ma famille, mon épouse et mon fils bien aimé, qui m'ont permis par leur soutien inoxydable de concrétiser petit à petit ma vocation scientifique et professionnelle. Merci de votre soutien moral et amitié fidèle. Je n'oublie pas ma tante Angélique, présente en Belgique, pour son soutien moral et son accompagnement durant tout mon séjour à Arlon.

A mes collègues Jean Nacishali, Benjamin Ncangu, Mugaruka Bibentyo Toussaint, Dr. Maki Mateso JC., Ilombe Mawe Guy, Lucien Ramazani, Professeurs Balezi Alphose, Nzolang Charles, Dieudonné Cikwanine et Georges Nshagali ; je dis merci pour vos conseils scientifiques avisés. Je remercie aussi les camarades Audace Hakizimana et Arnaud Accalogoun pour les moments de travail passés ensemble au Burundi, ainsi que tous les enquêteurs recrutés sur place pour leur expertise en phase de reconnaissance des zones d'études et de la collecte des données par la suite.

Que tous mes collègues de promotion trouvent ma gratitude pour tous les moments de paix, parfois de tensions, des pressions et de joie, passés ensemble. Je suis honoré de vous avoir rencontré.

## LISTE DES FIGURES

Figure 1. Vue schématique en 3D d'un glissement de terrain.....	6
Figure 2. Les trois grandes composantes d'un GT .....	7
Figure 3. Illustration schématique des principaux types de mouvements de glissement .....	8
Figure 4. Estimations des statistiques sur les décès .....	10
Figure 5. Modèle des risques naturels dans la région des montagnes .....	11
Figure 6. Localisation de la zone d'étude.....	13
Figure 7. Graphique climatique (météo par mois à Bujumbura) .....	14
Figure 8. Carte géologique de la zone d'investigation I.....	16
Figure 9. Schéma conceptuel de la méthodologie entreprise : la première ligne montre les ..	18
Figure 10. Exemple explicatif (à titre indicatif) de la méthodologie.....	23
Figure 11. Inventaire général des glissements de terrain dans la zone d'étude.....	27
Figure 12. Carte d'inventaire général des glissements de terrain dans la zone d'étude. ....	27
Figure 13. Distribution générale des GTs par rapport à l'année d'occurrence.....	28
Figure 14. Distribution spatiale des GTs par rapport à l'année d'occurrence .....	28
Figure 15. Distribution par rapport à l'activité des GTs.....	29
Figure 16. Distribution spatiale des GTs par rapport à l'activité .....	29
Figure 17. Distribution par rapport à la profondeur des GTs.. .....	30
Figure 18. Distribution des GTs par rapport à la profondeur .....	30
Figure 19. Exemples des types des glissements de terrain réencensés dans la zone d'étude..	31
Figure 20. Exemples des types des processus conduisant à des glissements de terrain .....	31
Figure 21. Distribution des glissements de terrain par rapport à l'altitude .....	32
Figure 22. Distribution des glissements de terrain par rapport à la géologie .....	33
Figure 23. Distribution des glissements de terrain par rapport à la pente .....	33
Figure 24. Processus des ravinements dans le paysage de Kanyosha .....	34
Figure 25. Impacts sur les infrastructures de base .....	35

## **LISTE DES TABLEAUX**

<b>Tableau 1.</b> Types de GTs en fonction du type de mouvement et des matériaux .....	<b>7</b>
<b>Tableau 2.</b> Descriptions détaillées de types des GTs selon différents auteurs.....	<b>9</b>
<b>Tableau 3.</b> Description des données utilisées dans le cadre de cette étude .....	<b>17</b>
<b>Tableau 4.</b> variables utilisées pour l'analyse des impacts sur la zone d'étude .....	<b>24</b>
<b>Tableau 5.</b> Types (processus) des glissements identifiés dans la zone d'étude .....	<b>26</b>
<b>Tableau 6.</b> Localisations des GTs et impacts associés .....	<b>36</b>

## SIGLES ET ABRÉVIATIONS

**ASC** : African Studies Center

**BCG** : Bureau de Centralisation Géomatique du Burundi

**BM** : Banque Mondiale

**DEM** : Digital Elevation Model (en français : Modèle Numérique d'Élévation)

**FMI** : Fonds Monétaire International

**GE (Pro)** : Google Earth (Professionnel)

**GPS** : Global Positioning System (Système de Positionnement Global)

**GT (s)** : Glissements de terrain (s)

**IDH** : Indice de Développement Humain

**MEF** : Ministère de l'Économie Française

**MINAFFET** : Ministère des Affaires étrangères

**MRAC** : Musée royale de l'Afrique centrale

**OCHA**: United Nations Office for the Coordination of Humanitarian Affairs

**PIB** : Produit Intérieur Brut

**RN7** : Route nationale numéro 7

**USD**: United States Dollar

**WoldPop**: World Population



## TABLE DES MATIÈRES

DEDICACE.....	i
REMERCIEMENTS .....	ii
LISTE DES FIGURES.....	iii
LISTE DES TABLEAUX.....	iv
SIGLES ET ABRÉVIATIONS.....	v
TABLE DES MATIÈRES .....	vi
RÉSUMÉ .....	viii
ABSTRACT .....	ix
<b>1. INTRODUCTION .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1.Contexte global.....</b>	<b>1</b>
<b>1.2. Problématique .....</b>	<b>3</b>
<b>1.3. Objectifs .....</b>	<b>4</b>
<i>1.3.1. Objectif global .....</i>	<i>4</i>
<i>1.3.2. Objectifs spécifiques.....</i>	<i>4</i>
<b>1.4. Questions et hypothèses de recherche .....</b>	<b>4</b>
<i>1.4.1. Hypothèses de recherche.....</i>	<i>4</i>
<i>1.4.2. Questions de recherche .....</i>	<i>5</i>
<b>2. ETAT DE L'ART.....</b>	<b>6</b>
<b>2.1. Contexte global des glissements de terrain.....</b>	<b>6</b>
<b>2.2. Morphologie, types et processus liés aux glissements de terrain .....</b>	<b>6</b>
<b>2.3. Impacts liés aux glissements de terrain dans le monde .....</b>	<b>9</b>
<b>2.4. Etat de connaissances sur les glissements de terrain en régions tropicales .....</b>	<b>11</b>
<b>3. MATERIEL ET METHODES.....</b>	<b>13</b>
<b>3.1. Zone d'étude .....</b>	<b>13</b>
<i>3.1.1. Localisation géographique .....</i>	<i>13</i>
<i>3.1.2. Climat, sols et végétation .....</i>	<i>14</i>
<i>3.1.3. Economie et démographie .....</i>	<i>15</i>
<i>3.1.4. Géologie et géomorphologie .....</i>	<i>15</i>
<b>3.2. Données de l'étude .....</b>	<b>17</b>
<b>3.3. Méthodologie .....</b>	<b>18</b>
<b>3.3.1. Inventaire des glissements de terrain à partir des images Google Earth (GE) .....</b>	<b>19</b>
<b>3.3.2. Observations sur terrain .....</b>	<b>20</b>
<b>3.3.3. Collecte de données d'impacts et enquêtes des ménages .....</b>	<b>20</b>

<b>3.4. Outils et analyses des données .....</b>	<b>21</b>
3.4.1. <i>Outils d'analyse.....</i>	21
3.4.2. <i>Analyses de données.....</i>	22
<b>4. RESULTATS.....</b>	<b>25</b>
<b>4.1. Inventaire des glissements de terrain .....</b>	<b>25</b>
<b>4.2. Analyse spatio-temporelle des processus .....</b>	<b>32</b>
4.2.1. <i>Influence d'altitude, la lithologie et la pente dans l'analyse des processus .....</i>	<i>32</i>
4.2.2. <i>Facteurs de prédisposition et déclencheurs .....</i>	<i>34</i>
<b>4.3. Analyse spatio-temporelle des impacts .....</b>	<b>35</b>
4.3.1. <i>Description des impacts visuels sur terrain.....</i>	<i>35</i>
4.3.2. <i>Analyses descriptives des impacts basées sur les données d'enquêtes .....</i>	<i>37</i>
<b>5. DISCUSSIONS.....</b>	<b>42</b>
<b>5.1. Inventaire des glissements de terrain et processus .....</b>	<b>42</b>
<b>5.2. Impacts des glissements de terrain et stratégie de gestion .....</b>	<b>44</b>
<b>RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES .....</b>	<b>46</b>
<b>ANNEXE .....</b>	<b>52</b>

## RÉSUMÉ

Un inventaire géomorphologique multi-temporel des glissements de terrain a été réalisé dans une zone spécifique des collines peuplées de Bujumbura, au Burundi. Il est combiné par une analyse spatio-temporelle des processus et des impacts associés. L'objectif principal de l'étude était de caractériser la typologie, la distribution spatiale et la dynamique des glissements recensés. A cela, s'ajoutent, l'analyse des facteurs déclencheurs et ceux prédisposant la zone aux glissements de terrain, en mettant un accent sur les impacts qui en découlent. Cela dit, nous explorons les données récoltées systématiquement à deux échelles d'investigation, l'une basée sur l'exploitation minutieuse des images satellites Google Earth et l'autre sur l'expertise de terrain. A l'issue de cette stratégie, au total, 54 glissements de terrain ont été majoritairement cartographiés, dont 17, à l'aide de Google Earth (GE) et 37, via des observations de terrain.

Les résultats montrent que les earthflows (36%) et les rotational slides (28%) sont les types de glissements les plus fréquents dans la zone, suivis des debris flows (20%) et des translational slides (13%). Les glissements de terrain sont en grande majorité récents, avec une proportion importante, déclenchée en 2024 (40% de l'ensemble). Les glissements profonds prédominent (71.4% des cas inventoriés sur le terrain), surtout dans les zones à altitudes élevées et sur des lithologies altérées. Les earthflows sont principalement localisés près des cours d'eau, tandis que les rotational slides sont concentrés dans les parties nord et centrales de la zone d'étude. La répartition des glissements de terrain souligne une variabilité spatiale influencée par les caractéristiques géomorphologiques locales. Nous avons analysé aussi les facteurs pente, lithologie et l'altitude pour comprendre leurs interactions avec la dynamique des glissements de terrain. En fin, une analyse descriptive des impacts a été faite pour comprendre les niveaux de vulnérabilités des populations et de leurs biens sur une zone ciblée par l'enquête. Les résultats sont interpellatifs et alertent, en même-temps, les autorités administratives à tous les niveaux pour la gestion holistique des risques de catastrophes dans cette zone, en mettant essentiellement en place, des mesures d'atténuation, telles que l'aménagement du territoire sur la base d'une planification bien adaptée.

**Mots clés** : Analyse, inventaire, impacts, glissement de terrain, Google Earth

## ABSTRACT

A multi-temporal geomorphological inventory of landslides has been carried out in a specific area of the populated hills of Bujumbura, Burundi. It is combined with a spatio-temporal analysis of the processes and associated impacts. The main objective of the study was to characterize the typology, spatial distribution and dynamics of the landslides surveyed. In addition, we analyzed the factors that trigger landslides and those that predispose the area to landslides, focusing on the resulting impacts. That said, we systematically explore the data collected at two scales of investigation, one based on the meticulous exploitation of Google Earth satellite images and the other on field expertise. At the end of this strategy, a total of 54 landslides were mapped, 17 of them using Google Earth (GE) and 37 using field observations. The results show that earthflows (36%) and rotational slides (28%) are the most frequent landslide types in the area, followed by debris flows (20%) and translational slides (13%). Most landslides are recent, with a significant proportion triggered in 2024 (40% of the total). Deep-seated landslides predominate (71.4% of cases inventoried in the field), especially in high-altitude areas and on altered lithologies. Earthflows are mainly located near watercourses, while rotational slides are concentrated in the northern and central parts of the study area. The distribution of landslides highlights a spatial variability influenced by local geomorphological features. We also analyzed slope, lithology and altitude factors to understand their interactions with landslide dynamics. Finally, a descriptive analysis of impacts was carried out to understand the levels of vulnerability of populations and their property in an area targeted by the survey. The results are thought-provoking and, at the same time, alert administrative authorities at all levels to the need for holistic disaster risk management in this area, essentially by putting in place mitigation measures, such as land-use planning based on well-adapted planning.

**Keywords:** Analysis, inventory, impacts, landslide, Google Earth

# 1. INTRODUCTION

## 1.1. Contexte global

Les glissements de terrain (GTs) sont des processus liés à la gravité qui se caractérisent par des descentes de masses de roche, de terre ou de débris le long d'une surface de rupture (Varnes, 1978 ; Cruden, 1991). Ces mouvements sont de volumes très variables pouvant aller de quelques dizaines de m<sup>3</sup> à plusieurs dizaines de millions de m<sup>3</sup> (National Research Council, 1996). La variation de l'épaisseur du glissement peut s'évaluer en termes de quelques mètres à plusieurs dizaines de mètres (Davis, 1957), alors que la surface de masse déplacée peut aller jusqu'à quelques km<sup>2</sup> (Brabb & Harrod, 1989). Les glissements de terrain sont catégorisés sur base de types de processus, de mécanisme ou nature des mouvements, de la nature des matériaux en présence, de profondeurs et de leurs morphologies. C'est par exemple, les GTs lents, rapides, rotationnels, translationnels, en coulées de débris, en coulées de boues, etc. (Cruden & Varnes, 1996 ; Glade & Crozier, 2005 ; Hungr et al., 2014). Ils sont communément déclenchés par des facteurs naturels tels que les séismes (Keefer, 1984 ; Malamud *et al.*, 2004 ; Havenith *et al.*, 2022) et les précipitations élevées et intenses, (Guzzetti *et al.*, 2008 ; Gariano & Guzzetti, 2016).

Les activités humaines dont l'urbanisation rapide et incontrôlée, la déforestation, les pratiques agricoles sont des facteurs favorables au développement des glissements de terrain (Petley, 2012 ; Oztruk *et al.* 2022). Au cours des dernières décennies, par exemple, la conversion des terres naturelles en paysages dominés par l'homme s'est considérablement accélérée, marquant notamment le début de l'Anthropocène (Lewis et Maslin, 2015), et devrait se poursuivre à l'avenir, particulièrement dans les régions tropicales (Turner *et al.*, 2007 ; Lewis *et al.*, 2015 ; Chen *et al.*, 2020). A cela, s'ajoutent, les incendies et la construction des routes, ainsi que les exploitations des mines et des carrières (Depicker *et al.*, 2021 ; Tanyas *et al.*, 2022). Dans ce contexte environnemental changeant, l'expansion démographique induisant des modifications associées à l'utilisation des terres demeure, aussi, un facteur important de prédisposition aux glissements de terrain (DeFries *et al.*, 2010). Ces changements peuvent être liés directement à variabilité saisonnière, par exemple, des fortes et intenses précipitations pouvant modifier les paysages terrestres dominés par l'homme (IPCC, 2014 ; Souverijns *et al.*, 2016).

Les GTs sont comptés parmi les aléas naturels majeurs les plus présents dans le monde, particulièrement dans les régions montagneuses tropicales (Jacobs *et al.*, 2016) et impactent des pentes et paysages naturels ainsi que des installations du génie civil comme les digues, barrages, les tunnels, les routes, etc. Ces impacts dévastateurs, engendrent aussi d'importants dégâts en termes des vies humaines (Petley, 2012 ; Wisner *et al.*, 2012 ; Kargel *et al.*, 2016). Les GTs sont, par ailleurs, sensibles aux changements dans l'utilisation et la couverture des terres qui peuvent augmenter leurs risques (Depicker *et al.*, 2021 ; Tanyas *et al.*, 2022).

Les glissements de terrain peuvent se produire en même temps que les crues soudaines où des interactions sont fréquentes, entraînant des impacts plus graves (Par exemple, Jacobs *et al.*, 2016 ; Li *et al.*, 2016 ; Rengers *et al.*, 2016 ; Kubwimana *et al.*, 2021). La combinaison de processus (facteurs climatiques et/ou aléas) entraîne un impact significatif sur l'environnement (Tilloy *et al.*, 2019 ; AghaKouchak *et al.*, 2020). Dans un environnement montagnard par exemple, les événements pluvieux de forte magnitude, ayant leur occurrence au terme d'une saison des pluies plus humide que d'habitude, peuvent déclencher des glissements de terrain sur

des paysages marqués par une topographie accentuée et des pentes humides. Ces glissements de terrain transportent des matériaux supplémentaires vers les rivières en aval, parfois jusqu'à les bloquer, augmentant ainsi leur contenu sédimentaire, leur mobilité latérale et créant des barrages naturels et dont leurs ruptures conduisent à des crues éclair (Nibigira *et al.*, 2018 ; Tilloy *et al.*, 2019 ; AghaKouchak *et al.* 2020). Entre-temps, le résultat de cette combinaison peut engendrer des pertes économiques considérables et affecter la planification des gouvernements dans les zones aval (Mugisho Bachinyaga *et al.*, 2020 ; Nibigira *et al.* 2018 ; Zygouri *et al.* 2019 ; Rapport URANOS, 2024 consulté le 20 juillet 2024).

La réalisation d'inventaires détaillés des GTs à partir des données spatio-temporelles, en interactions éventuelles avec les activités humaines et impacts associés, s'avère essentielle dans les régions en perpétuelle évolution des aléas et à démographie accrue (Kubwimana *et al.*, 2021 ; Maki Mateso & Dewitte, 2014). Il est donc important d'avoir une compréhension précise de l'évolution chronologique des formations des glissements de terrain profonds et lents en vue de mieux cerner la caractérisation de leurs processus (Dille *et al.*, 2019). Cette stratégie offre une compréhension de la relation entre les facteurs environnementaux et la perturbation des pentes (Bennett *et al.*, 2016 ; Sidle & Bogaard, 2016 ; Schulz *et al.*, 2017 ; Handwerger *et al.*, 2019).

En régions tropicales, les populations et les infrastructures sont généralement plus vulnérables que dans d'autres pays du monde. Il n'est donc pas étonnant que ce soit dans ces régions que les impacts directs liés aux glissements de terrain soient les plus importants (CRED UNDRR, 2020). Dans le futur, la fréquence et/ou les impacts des glissements de terrain ne feront que s'accroître, non seulement en raison, par exemple, du changement climatique et de la déforestation (Souverijns *et al.*, 2016 ; Lewis *et al.*, 2015 ; IPCC, 2021 ; Schlögl *et al.*, 2021), mais aussi en raison de la croissance de la population et de son exposition accrue aux catastrophes (Chen *et al.*, 2020 ; Raju *et al.*, 2022). Dans la plupart de cas, ce sont les pays du Sud qui sont les plus vulnérables aux changements parfois directs en termes de dégradation des terres. Les zones urbaines sont souvent caractérisées par une expansion démographique prononcée avec comme corollaire, l'occupation des sites inappropriés aux installations urbaines, causant ainsi une sensibilité accrue aux glissements de terrain (Mugaruka *et al.*, 2017 ; Balegamire *et al.*, 2017 ; Dille *et al.*, 2022 ; Oztruk *et al.*, 2022).

La branche occidentale du Rift est Africain est l'une des régions tropicales les plus impactées par les glissements de terrain. En effet, la région du rift se distingue par une tectonique active qui présente des conditions topographiques, lithologiques et climatiques favorables à l'occurrence de glissements de terrain (Moeyersons *et al.*, 2010 ; Dewitte *et al.*, 2021, Delvaux & Barth, 2010). A ce stade, les GTs sont généralement identifiés dans les paysages d'altitude importante et des pentes moyennes à fortes. Les mécanismes de déclenchement sont soit soutenus par la sismicité et ou soit par les évènements pluvieux intenses et la nature de la structure géologique présente (Depicker *et al.* 2021 ; Nibigira *et al.* 2018). Les régions telles que le Burundi, le Rwanda et l'est de la RD Congo sont les plus vulnérables en raison de l'évolution démographique dans ces zones en grande partie escarpées, conduisant à des modifications rapides dans l'utilisation de la couverture forestière. Par conséquent, les risques des glissements de terrain surviennent lors des fortes précipitations (Depicker *et al.*, 2021 ; Dewitte *et al.*, 2021).

## 1.2. Problématique

La ville de Bujumbura fait partie de la branche occidentale du rift est africain et plus précisément dans le paysage montagneux du Rift du Nord Tanganyika-Kivu (Depicker *et al.*, 2024 ; Dewitte *et al.*, 2021, Kubwimana *et al.*, 2021) et dans l'ouest du Burundi. C'est une entité urbaine sollicitée en termes des nombreux aléas naturels et impacts associés, auxquels, elle est confrontée depuis plus de deux décennies (Nibigira *et al.*, 2015 ; Nsabimana *et al.*, 2023 ; Kubwimana *et al.*, 2021 ; Nibigira *et al.*, 2018, Messieurs *et al.*, 2018). Le 10 février 2014, par exemple, des pluies intenses ont engendré des inondations et des glissements de terrain avec comme premières estimations de 50 personnes tuées et des centaines de maisons touchées (Rapport OCHA, 2014). Sur un intervalle de 1997 et 2021, la littérature renseigne l'évolution des aléas géo-hydrologiques dans ce paysage urbain (Nsabimana *et al.*, 2023). D'après cette littérature, un inventaire de ces aléas a mis en découverte 108 épisodes d'inondations et crues éclairs et 81 des ravines. Il n'est donc pas étonnant, qu'en raison de ce bilan, des déplacements massifs et forcés des populations ; des impacts importants sur des installations urbaines soient observés (Nsabimana *et al.*, 2023). A Bujumbura, la dynamique et la position stratégique des rivières sont l'un des éléments majeurs à surveiller. Les rivières modèlent le paysage de manière à le rendre vulnérable aux érosions sévères de berges et aux inondations latérales fluviales lors de la survenue des fortes crues. A ceci, s'ajoutent les constructions des routes qui déstabilisent les pentes des collines en amont et prédisposent la ville aux risques des glissements de terrain (Kubwimana *et al.*, 2021).

Bien que les efforts soient fournis en amont, d'une part, par la réalisation d'un inventaire détaillé et la cartérisation précise des processus liés glissements de terrains (Kubwimana *et al.*, 2021 ; Dewitte *et al.*, 2021, Nibigira *et al.*, 2018) et la compréhension des défis qu'imposent les inondations, ainsi que leurs corollaires, d'autre part, Bujumbura est resté en proie à des seuils de vulnérabilités multiformes en constante évolution. Pour illustrer cela, entre 2023 et mi-2024 par exemple, des événements des glissements de terrain, de crues soudaines, des érosions en ravine et des inondations en aval, ont surgit et marqué les esprits par rapport à l'ampleur de leurs impacts (Visites sur terrain, mars et mai 2024). Des dommages tangibles sur les infrastructures et la population y ont été enregistrés. Des pluies intenses ont engendré des nouveaux glissements de terrain dans les collines et, des inondations dans les plaines en aval de la ville, conduisant à un bilan qui s'élève à au moins, 29 décès, 175 personnes blessées, plus de 237,000 personnes affectées (55% sont des femmes), plus de 42 000 déplacées (57% sont des femmes), depuis le début de la saison des pluies en septembre 2023 (Rapport OCHA du 26 avril 2024). De janvier à mi-avril 2024, plus de 179 200 personnes ont été affectées et 31 200 personnes, déplacées. Outre d'autres activités connexes, plus de 80 % de la population burundaise vit de l'agriculture. Actuellement, 23 109 ménages rapportent avoir perdus leurs champs de cultures et les estimations du secteur de la sécurité alimentaire indiquent que près de 40 000 hectares de champs ont été endommagés sur un peu plus de 400 000 hectares de champs cultivables, soit 10% de superficies sous cultures vivrières du pays (OCHA, 2024). Ce rapport évoque, après ce premier bilan, l'augmentation de nombre de chocs et leur sévérité. Ainsi, plus de 49 400 personnes ont été affectées dont plus de 9 300 sont déplacées par les pluies intenses, des glissements de terrain et les crues des rivières Rusizi, Kinyankonge et du lac Tanganyika (OCHA, 2024). Bien qu'il est important d'insister sur certaines zones, dont ces chocs sont survenus fréquemment, se chevauchant aux autres facteurs aggravants comme



l'insécurité alimentaire persistante dans un contexte économique difficile et des pénuries répétitives de carburant (Rapport OCHA, 2024 ; visites terrains entre mars et mai 2024), Bujumbura reste victime de sa géologie, sa topographie, sa démographie croissante, son climat changeant et des modifications dans l'utilisation et affectation de son sol (Depicker *et al.*, 2021 ; Kubwimana *et al.*, 2021 ; Nsabimana *et al.*, 2023).

Hormis ces premiers constats, plusieurs sources historiques, ne mentionnent pas si les impacts sévères des glissements de terrain sont dus à un aménagement du territoire inadapté (par exemple, installation de l'habitat dans des zones sensibles) et/ou à des causes naturelles exceptionnelles (par exemple : intensité de pluies, la nature des pentes, les mouvements sismotectoniques, etc.). Néanmoins, les études précédentes ont mis en lumière certaines zones d'ombre à ce sujet (Kubwimana *et al.*, 2021 ; Nibigira *et al.*, 2018 ; Nsabimana *et al.*, 2023).

### 1.3. Objectifs

#### 1.3.1. Objectif global

Cette étude part d'un constat selon lequel les glissements de terrain sont en perpétuelle évolution dans la région de Bujumbura. C'est à partir de l'inventaire compilé dans les collines de Bujumbura avec une période d'observation de terrain allant de 2016 à 2020 (Kubwimana *et al.*, 2021), que l'objectif de ce travail a été construit. Il s'agit d'appréhender l'évolution récente des glissements de terrain dans les collines de Bujumbura, en mettant en avant, une analyse spatio-temporelle des processus et des impacts associés.

#### 1.3.2. Objectifs spécifiques

De façon spécifique :

- ◆ actualiser l'inventaire détaillé des glissements de terrain existant à partir de Google Earth en vue d'avoir une compréhension sur l'occurrence des glissements de terrain à partir de l'intervalle de temps de 2021-2024. L'accent sera focalisé sur les facteurs de prédisposition des processus ;
- ◆ comprendre la dynamique des glissements de terrain en se basant sur des observations de terrain ;
- ◆ réaliser une évaluation d'impacts des glissements de terrain sur les cultures, les communautés locales et les infrastructures à travers des enquêtes ciblées.

### 1.4. Questions et hypothèses de recherche

#### 1.4.1. Hypothèses de recherche

- ◆ Hypothèse 1 : Sur une période courte d'observation, on est en mesure de voir de nouveaux glissements de terrain ou de mieux comprendre leur dynamique. Une meilleure compréhension des facteurs naturels et anthropiques expliquant la distribution spatio-temporelle des glissements de terrain est attendue.
- ◆ Hypothèse 2 : Les glissements de terrain ont des impacts significatifs et croissants sur les cultures, les communautés locales et les infrastructures, avec des pertes économiques et sociales importantes (Nsabimana *et al.*, 2023 ; OCHA, 2024).



### *1.4.2. Questions de recherche*

De ces hypothèses, deux questions de recherche sont mises en évidence à savoir :

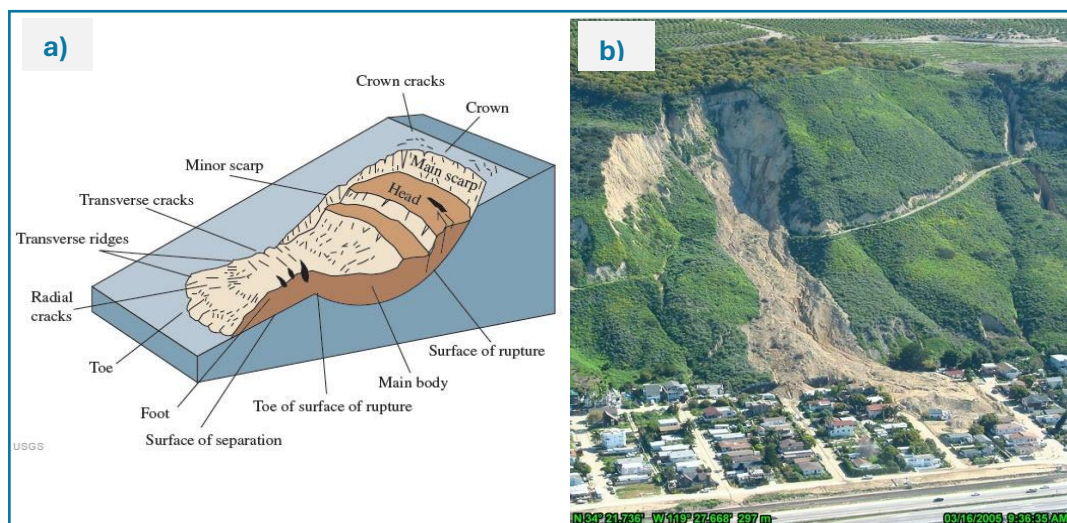
- ◆ A partir de la dynamique spatio-temporelle, quels facteurs de prédisposition et déclencheurs associent-on les glissements de terrains les collines de Bujumbura entre 2021-2024 ?
- ◆ Quels sont les impacts des glissements de terrain sur les cultures, les communautés locales et les infrastructures dans les collines peuplées de Bujumbura ?

## 2. ETAT DE L'ART

Cette section est une synthèse bibliographique sur les glissements de terrain. Elle aborde, en premier lieu, un état de connaissances générales sur les glissements de terrain, notamment, la morphologie, la typologie et les processus liés à leurs dynamiques et mécanique de déclenchements. En second lieu, une vue d'ensemble sur les impacts liés aux glissements de terrain dans le monde. En dernier lieu, elle se focalise sur la région tropicale et celle du rift est africain avec un accent sur Bujumbura. L'objectif est de partir des travaux de littérature en amont en vue de faire une analyse critique d'un état de connaissances actuelles sur cet aléa naturel à ce jour, et d'identifier les pistes insuffisamment abordées par la recherche.

### 2.1. Contexte global des glissements de terrain

Le glissement de terrain est défini comme étant un phénomène où une masse de terre descend sur une pente sous l'effet de la gravité (Cruden, 1991 ; Varnes, 1978) (Figure 1a et b). Il fait partie des phénomènes naturels importants et est principalement causé par des facteurs génétiques tels que la météorologie (les précipitations d'une forte intensité et de durée significative, associées ou non à des cellules orageuses, les fontes de neiges, etc.), les séismes (Keefer, 1984), et des interactions anthropiques (Figure 1a) qui peuvent accélérer leurs mécanismes de déclenchements (Highland & Bobrowsky, 2008). Les glissements de terrain sont catégorisés en plusieurs types selon que l'on se base sur leur morphologie et les processus impliqués (Keefer, 1984).



**Figure 1.** a). Vue schématique en 3D d'un glissement de terrain (Varne, 1978). b) Glissement de terrain et les interactions anthropiques (Highland, LM & Bobrowsky, P., 2008)

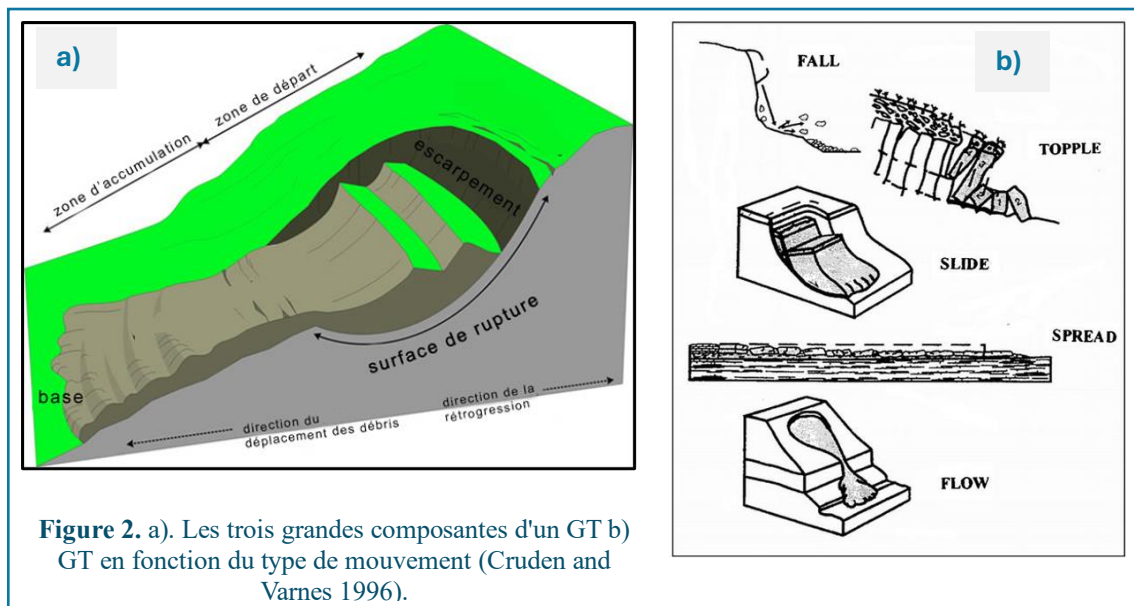
### 2.2. Morphologie, types et processus liés aux glissements de terrain

La compréhension de la morphologie des GTs, fait tout d'abord appel à la forme et aux paramètres physiques des mouvements de masse. Ces paramètres sont influencés par la pente, la géologie locale, la nature de la végétation, etc. qui sont des facteurs de prédispositions aux GTs et peuvent, de manière combinée ou séparée, participer à leurs déclenchements. A cela s'ajoutent, l'hydrologie et l'hydrogéologie (Highland & Bobrowsky, 2008) qui exercent respectivement une influence sur les couches meubles argileuses par exemple et l'augmentation

du niveau des nappes aquifères. Le rôle du changement climatique n'est pas aussi à sous-estimer.

Les glissements de terrain sont subdivisés en zones de départ, de transport et d'accumulation (Figure 2).

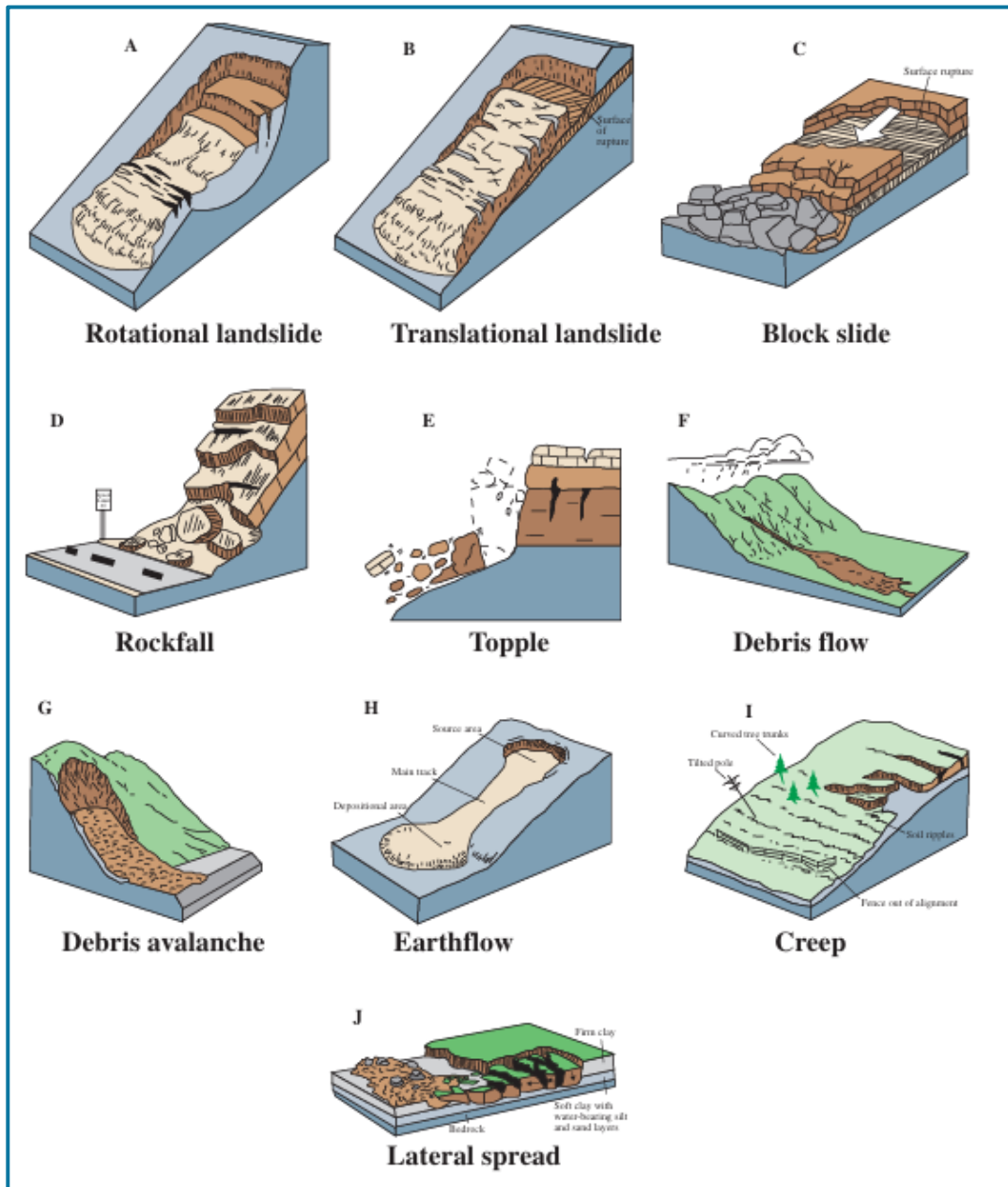
1. Une partie supérieure où le mouvement commence, souvent caractérisée par une rupture abrupte est appelée zone de départ.
2. Une partie intermédiaire où la masse en mouvement se déplace le long de la pente est appelée zone de transport.
3. Une partie inférieure où les matériaux déplacés s'accumulent s'appelle zone d'accumulation.



Les glissements de terrain peuvent être classés en plusieurs types (Figure 3) en fonction des matériaux déplacés et de mécanismes des mouvements (Figure 2b et Tableau 1).

**Tableau 1. Types de GTs en fonction du type de mouvement et des matériaux déplacés (définitions de Varnes (1978) actualisées par Hungr et al. (2014))**

Type of movement	Rock	Soil
Fall	1. Rock/ice fall <sup>a</sup>	2. Boulder/debris/silt fall <sup>a</sup>
Topple	3. Rock block topple <sup>a</sup>	5. Gravel/sand/silt topple <sup>a</sup>
	4. Rock flexural topple	
Slide	6. Rock rotational slide	11. Clay/silt rotational slide
	7. Rock planar slide <sup>a</sup>	12. Clay/silt planar slide
	8. Rock wedge slide <sup>a</sup>	13. Gravel/sand/debris slide <sup>a</sup>
	9. Rock compound slide	14. Clay/silt compound slide
	10. Rock irregular slide <sup>a</sup>	
Spread	15. Rock slope spread	16. Sand/silt liquefaction spread <sup>a</sup>
		17. Sensitive clay spread <sup>a</sup>
Flow	18. Rock/ice avalanche <sup>a</sup>	19. Sand/silt/debris dry flow
		20. Sand/silt/debris flowslide <sup>a</sup>
		21. Sensitive clay flowslide <sup>a</sup>
		22. Debris flow <sup>a</sup>
		23. Mud flow <sup>a</sup>
		24. Debris flood
		25. Debris avalanche <sup>a</sup>
		26. Earthflow
		27. Peat flow
	Slope deformation	28. Mountain slope deformation
29. Rock slope deformation		31. Soil creep
		32. Solifluction



**Figure 3.** Illustration schématique des principaux types de mouvements de glissement de terrain.

Le Tableau ci-dessous (Tableau 2) décrit différents types des glissements de terrain qui sont les plus souvent fréquents dans le monde et particulièrement dans les régions de montagnes pour quelques-uns (Petley, 2012). Ils sont, en plus de leurs morphologies, classés suivant la nature de la profondeur. En se focalisant sur la profondeur de la zone source, les glissements de terrain sont classés profonds si la profondeur est supérieure à 5 m ; dans le cas contraire, ce sont des GTs superficiels (Keefer, 1984 ; Sidle & Bogaard, 2016). Globalement, la profondeur varie de 2-5m selon les milieux en présence et les types des processus associés (Bennett et al., 2016 ; Sidle & Bogaard, 2016). Dans la plupart de cas, les glissements de terrain superficiels sont stables par la recolonisation de la végétation suivant les conditions liées au gradient de la pente en place, les propriétés geo-mécaniques du sol (texture, structure, etc.) et de la distribution du système racinaire qui dépend de l'espèce végétale (Sidle & Bogaard, 2016).

**Tableau 2. Descriptions détaillées de types des GTs selon différents auteurs**

Type de glissement	Descriptions	Caractéristiques	Observations	Sources	ID
<b>Rotational Landslide</b>	Mouvement le long de surfaces de rupture courbes et concaves vers le haut	Implique souvent des sols cohérents comme les argiles et les limons	Observé sur des pentes douces avec des matériaux homogènes	(Keefer ,1984)	<b>A</b>
<b>Translational Landslide</b>	Mouvement le long de surfaces de rupture planes ou légèrement inclinées	Fréquent dans les sols peu cohérents et les matériaux fragmentés	Pentes raides avec des strates de roches sédimentaires	(Sidle & Ochiai, 2006)	<b>B</b>
<b>Block Slide</b>	Mouvement soudain de grands blocs intacts de roche ou de sol le long d'une surface distincte	Implique généralement des plans de litage bien définis ou des joints	Mouvements de blocs dans les régions montagneuses	(Highland & Bobrowsky, 2008)	<b>C</b>
<b>Rockfall</b>	Détachement et chute libre de fragments de roche le long de falaises ou de pentes raides	Se produit dans des environnements rocheux avec des fractures verticales	Chutes de pierres dans les montagnes Rocheuses	(Petley, 2012)	<b>D</b>
<b>Topple</b>	Rotation et mouvement vers l'avant d'une masse de roche ou de sol à partir d'une pente	Déclenché par l'érosion, l'activité sismique ou l'altération	Renversements sur les falaises côtières	(Cruden & Varnes, 1996)	<b>E</b>
<b>Debris Flow</b>	Mouvement rapide de débris saturés d'eau le long de pentes abruptes	Souvent déclenché par des pluies intenses ou la fonte des neiges	Coulées de boue en régions montagneuses	(Iverson, 2000)	<b>F</b>
<b>Debris Avalanche</b>	Écoulement rapide et chaotique de débris, souvent déclenché par une activité volcanique ou des pluies intenses	Implique un mélange de sol, de roche et de matière organique	Avalanches de débris dans les régions volcaniques	(Pierson & Costa, 1987)	<b>G</b>
<b>Earthflow</b>	Mouvement lent à rapide de sol fin vers le bas d'une pente	Caractérisé par un mouvement de type fluide, souvent après de fortes pluies	Coulées de terre dans les zones riches en argile	(Varnes, 1978)	<b>H</b>
<b>Creep</b>	Mouvement très lent et continu de sol ou de roche vers le bas d'une pente	Visible sur de longues périodes ; souvent indiqué par des arbres courbés ou des structures inclinées	Creep sur des pentes douces	(Fleming & Johnson, 1989)	<b>I</b>
<b>Lateral Spread</b>	Mouvement horizontal de sol ou de roche, souvent dû à la liquéfaction lors d'événements sismiques	Implique des matériaux saturés et lâches sur des pentes douces	Épandages latéraux lors de tremblements de terre	(Youd,1973)	<b>J</b>

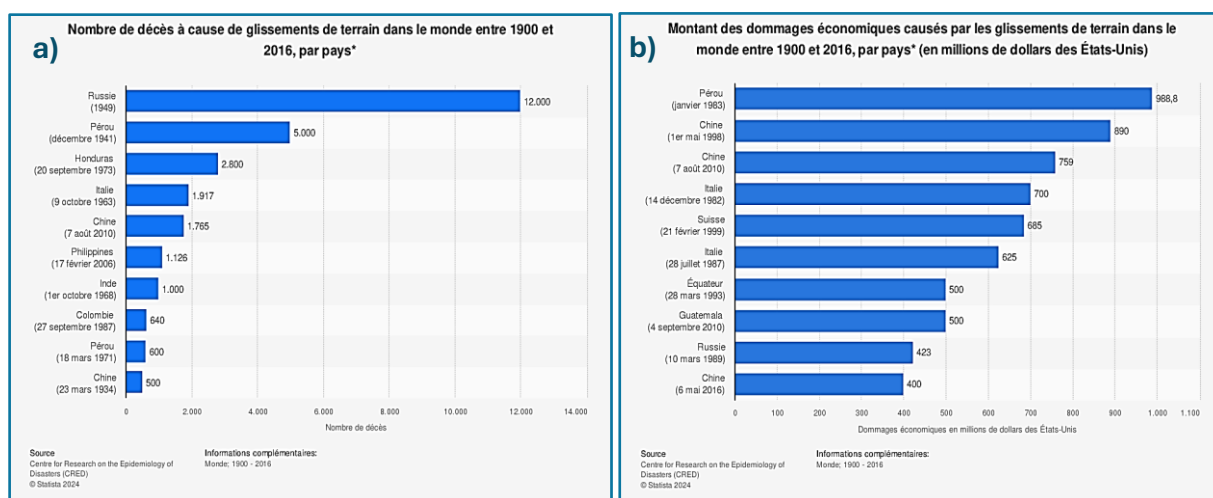
### 2.3. Impacts liés aux glissements de terrain dans le monde

Tout comme les séismes, les glissements des terrain provoqués par les précipitations génèrent des dommages importants à l'échelle mondiale qu'à celle du pays. Ils sont aussi responsables des plusieurs pertes en vies humaines (Sidle & Bogaard, 2016 ; Petly, 2012). Ces glissements de terrain sont dans l'implication des processus hydrologiques, de surface terrestre et écologiques extrêmement dynamiques qui persistent sur une gamme d'échelles spatiales et temporelles (Sidle & Bogaard, 2016).



Les activités humaines sont aussi comptées parmi les accélérateurs des processus de déplacement de terrain et, lorsque ce sont des vies humaines et des biens qui sont impactés, ces processus naturels se convertissent à des catastrophes socio-économiques importantes (Sidle & Bogaard, 2016). Pour estimer, parfois, les bilans de ces types de catastrophes, les rapports entre les pays en position économique différente restent contradictoires en termes de la cohérence de statistiques des décès par exemple ; ce qui rend l'estimation beaucoup plus complexe (Sidle & Ochiai, 2006). Cependant, une récente enquête mondiale sur les GTs déclenchés par des séismes non sismiques a signalé une moyenne de 4 617 décès par an sur une période de 7 ans (Petley, 2012), un chiffre bien plus élevé qu'un rapport précédent d'environ 600 décès par an pour tous les types de glissements de terrain (Varnes, 1978). Suivant l'échelle mondiale, entre 1900 et 2016 (Figure 4), la Russie a été classée en tête en termes de nombre de décès (1200 personnes tuées) lié aux GTs en 1949, suivie du Pérou en 1941(5000 personnes tuées). En 1983, le Pérou a occupé le premier rang quant aux dommages économiques, avec une perte estimée à plus de 980 millions (USD), suivi de la Chine en 1988 et 2010, respectivement 890 et 759 millions (USD) comme pertes (Figure 4).

Bien que les défis de gestion des catastrophes naturelles soient complexes, les stratégies visant à augmenter les efforts d'atténuation restent une priorité pour la plupart des pays dont ces catastrophes varient en fonction des vulnérabilités spécifiques des populations et des leurs biens (Bangalore et al., 2017). Ces stratégies encouragent la réduction des instabilités des pentes à travers les actions combinées de reforestations ainsi que les constructions d'ouvrages d'art, mis en place de terrasses agricoles adaptées à la réalité du milieu, les mécanises des sensibilisations, l'approches des systèmes d'alertes précoces tant pour les événements sismiques que pluvieux en vue d'avertir au maximum, la bonne partie des populations dans les régions impactées par les glissements de terrain. Ces efforts concertés, qui établissent une démarche holistique entre acteurs, peuvent, réduire sensiblement les défis liés aux aléas naturels de l'heure et à leurs impacts associés. Un regard particulier est à liés aux changements climatiques dont leurs effets contribuent à amplifier les risques naturels et à leurs dynamiques dans les régions peuplées et plus encore, en croissance démographique (Bangalore et al., 2017).



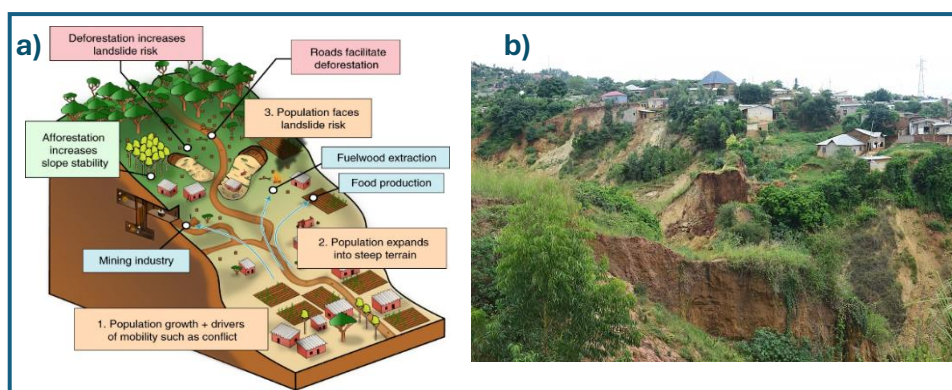
**Figure 4.** Estimations des statistiques sur les décès (a) et dommages économiques causés par les glissements de terrain (b). Source : CRED, 2024 (<https://fr.statista.com/statistiques/662568/dommages-economique-causes-par-glissements-terrain-monde/>)

## 2.4. Etat de connaissances sur les glissements de terrain en régions tropicales et celles du rift est africain : exemple de Bujumbura

Les régions tropicales font face à des aléas naturels importants. Elles sont, par ailleurs, confrontées aux défis des changements climatiques globaux et à des transformations socio-économiques, environnementales, comme les changements dans l'utilisation des terres, les migrations forcées, la pression d'occupation des terres et l'exploitation des ressources naturelles (Turner *et al.*, 2007 ; Susman *et al.*, 2019 ; Lewis *et al.*, 2015 ; Chen *et al.*, 2020). A cela s'ajoutent, les déforestations fréquentes et abusives, l'urbanisation inappropriée et les conflits sociaux. Les glissements de terrain sont, eux aussi, sensibles aux changements dans l'utilisation et la couverture des terres (Depicker *et al.*, 2021a ; Tanyas *et al.*, 2022).

La région du rift est africain est réputée pour ses nombreux aléas d'origines géo-hydrologiques et climatiques, entraînant des dégâts majeurs sur l'environnement (Dille *et al.*, 2019). Cependant, elle reste peu connue et documentée en raison de la rareté criante des données (Dewitte *et al.*, 2021, Mugaruka Bibentyo *et al.*, 2024 ; Depicker *et al.*, 2024). Suivant son expansion démographique, son urbanisation rapide et incontrôlée, mais aussi son exposition élevée à ces aléas, la région se distingue par des glissements de terrain souvent accompagnés de crues éclair et des ravinements (Moeyersons J. *et al.*, 2010 ; Maki Mateso *et al.*, 2023, Dille *et al.*, 2019, Mugisho Bachinyaga *et al.*, 2020). Les conséquences découlent des activités anthropiques conduisant à des vulnérabilités accrues dans la région (Kervyn *et al.*, 2015 ; Mugaruka Bibentyo *et al.*, 2017 ; Dille *et al.*, 2019 ; Maki Mateso *et al.*, 2023).

Au cours des cinq dernières années, Bujumbura a fait l'objet de plusieurs études scientifiques spécifiques qui ont débouché à l'identification des tendances récentes et des impacts locaux des glissements de terrain (Kubwimana *et al.*, 2021 ; Nibigira *et al.*, 2018 ; Nsabimana *et al.*, 2023). Une analyse détaillée des occurrences de glissements de terrain dans cette région, couplée à l'examen des vulnérabilités locales y a été abordée (Kubwimana *et al.*, 2021, Nsabimana *et al.*, 2023). Les vulnérabilités sont évaluées en termes d'aléas dynamiques en présence et, des expositions à ces aléas. Les interactions entre les glissements de terrain et les crues éclair sont souvent identifiés dans la zone et conduisent à des impacts extrêmes (Deijns *et al.*, 2022). Depicker *et al.* 2021, montre un modèle du risque de la région qui pointe un schéma d'interactions entre aléa et activités humaines adaptable pour Bujumbura (Figure 5a et b).



**Figure 5.** (a) Modèle des risques naturels dans la région des montagnes (Depicker *et al.*, 2021) avec une illustration (b) d'un paysage affecté par les glissements de terrain en constante évolution dans une zone d'expansion en ravines (Dewitte *et al.*, 2020 ; Kubwimana *et al.*, 2021).

Plusieurs auteurs ont mis en avant des cartes de susceptibilité qui peuvent aider à la planification urbaine et à la gestion des risques dans la ville, par exemple, [Nibigira et al. \(2018\)](#) et [Kubwimana et al. \(2021\)](#).

Bien que les défis à relever soient multiformes, les efforts combinés par les chercheurs locaux et régionaux dans l'objectif de rendre les connaissances sur la dynamique locale et régionale des phénomènes, sont louables. Cependant, la méthode de dissémination d'informations reste indirecte et couvre un spectre réduit et limité à la population bénéficiaire. Toutefois, ces informations nécessitent des relais communautaires, des ONGs, etc., pour les rendre disponibles à une large échelle de la population à partir des méthodes adaptées à leurs situations. La population à revenu faible est celle qui est beaucoup impactée, et, est soustraite le plus souvent des informations concernant les risques auxquels elle est quotidiennement confrontée.

Dans la perspective des recherches, il est plus qu'important de s'interroger au sujet de l'influence actuelle des changements climatiques (par exemple, [Ozer et al., \(2016\)](#)), sur les schémas des glissements de terrain dans la région. En complément, les préjudices liés aux risques de glissements de terrain par exemple, sont une réalité au Burundi (par exemple, [Nibigira et al. \(2016\)](#)). En effet, la connaissance sur les variations climatiques et leurs corollaires sur la fréquence et l'intensité des glissements de terrain reste une priorité. Par extension, une connaissance sur l'impacts des pratiques agricoles modernes sur la stabilité des pentes à Bujumbura sont à développer.

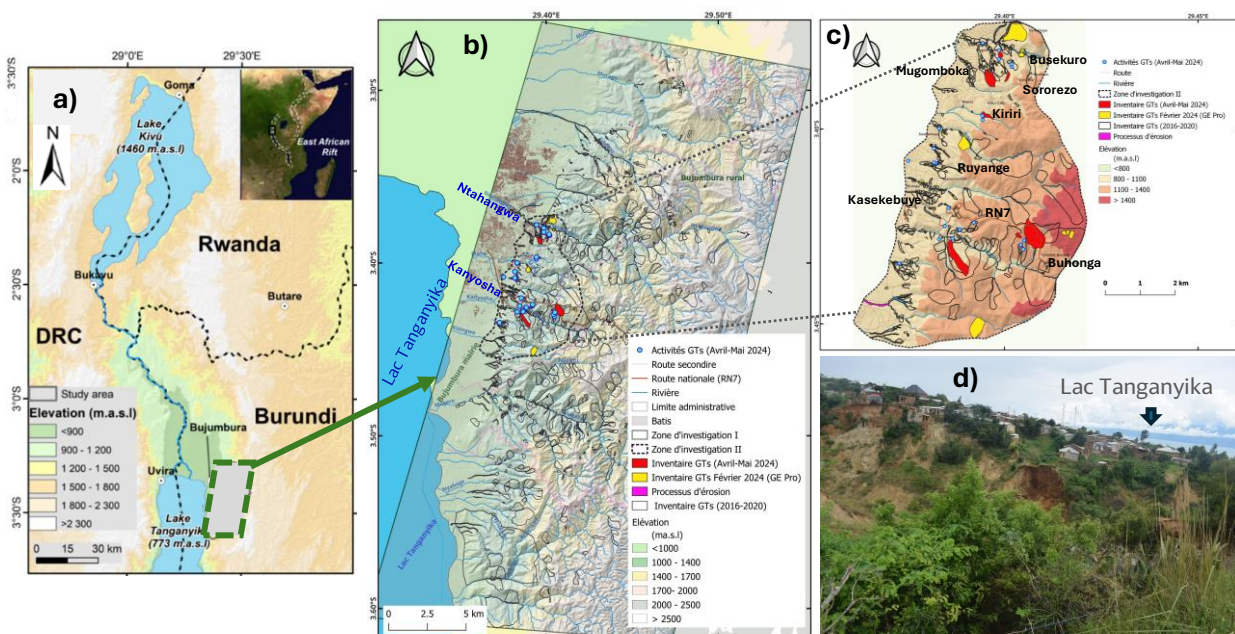


### 3. MATERIEL ET METHODES

#### 3.1. Zone d'étude

##### 3.1.1. Localisation géographique

Les collines (Figure 6b et c) ciblées par l'étude sont situées sur les versants peuplés de la ville de Bujumbura, actuelle capitale économique du Burundi (MINAFFET- Burundi, consulté le 20 juillet 2024). Bujumbura se positionne dans la région montagneuse de la partie centrale de la branche occidentale du rift est africain (Figure 6a), entre les latitudes 3°30'-3°51' sud et les longitudes est, 29°31'- 29°42'. La ville est bordée au nord-ouest et à l'ouest par le lac Tanganyika (Figure 6a et b) qui fait directement frontière avec la RD Congo à l'ouest. Plus au nord, elle est proche du Rwanda, alors que vers le sud, la ville est marquée par le prolongement du lac Tanganyika (Figure 6a et b). Bujumbura est actuellement couverte d'une superficie de 14 500 hectares (selon la nouvelle délimitation) avec une altitude moyenne de 820 mètres (MINAFFET- Burundi, 2024).



**Figure 6.** Localisation de la zone d'étude. a). Contexte topographique régional par rapport à la branche occidentale du rift est africain (in Kubwimana *et al.*, 2021). b) Zone d'investigation (I) où l'inventaire des glissements de terrain (polygone en noir) a été fait par Kubwimana *et al.*, (2021). c) Zoom sur la zone d'investigation (II) où les observations de terrain ont été faites. d) Exemple d'un site où des glissements de terrain récents sont observés (site de Kasekebuye, en localisation sur la figure c). La couche d'altitude et celle de son ombrage (Hillshade) sont dérivées du DEM de 10m de résolution (Source : BGC, fournie par le MRAC). Les données hydrographiques (en bleu) et celles de réseaux routiers (par exemple la RN7 en gris clair) et des bâtis (en gris mise en transparence) proviennent d'OpenStreetMap/Geofabrik (<https://download.geofabrik.de/africa/burundi.html>). Les GTs en rouge proviennent de l'inventaire de Kubwimana *et al.* (2021) et d'une numérisation cartographique à partir de l'imagerie satellitaire Google Earth (GE) 2022

### 3.1.2. Climat, sols et végétation

À Bujumbura, le climat est du type tropical. Il offre un ensoleillement dominant toute l'année et une température moyenne de 21,0 °C (Figure 7 : courbe de température en rouge), avec des pics qui s'élèvent parfois à 28° – 35 °C au cours des périodes les plus chaudes ([Climate data.org consulté le 21 juillet 2024](https://fr.climate-data.org)). Bujumbura, comme l'ensemble du pays, connaît 4 saisons : la grande et la petite saison sèche, la grande et la petite saison des pluies. La pluviométrie moyenne annuelle estimée à environ 438 mm de (Figure 7).

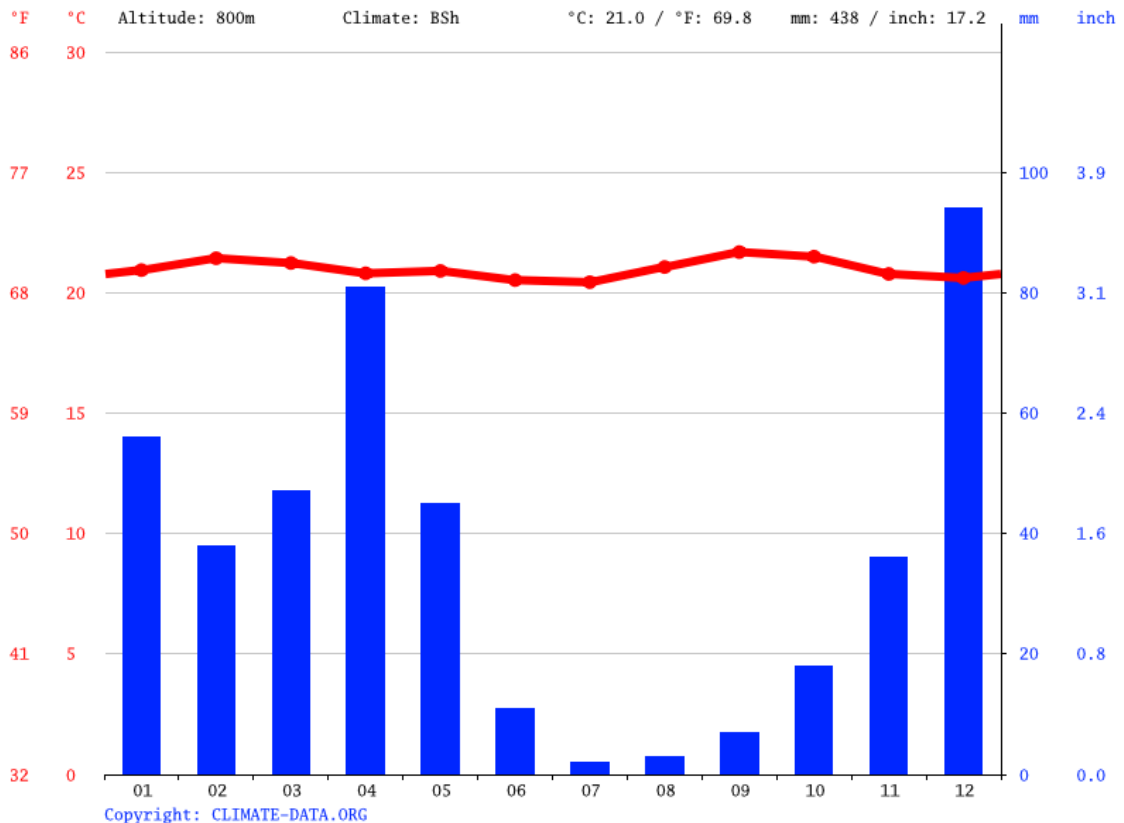


Figure 7. Graphique climatique (météo par mois à Bujumbura). (<https://fr.climate-data.org/afrique/burundi/bujumbura-mairie/bujumbura-1073/> consulté le 21 juillet 2024)

Bujumbura est constituée des sols argileux dans sa bande nord alors que la partie sud est plus influée par la présence d'un sol sableux (Kabanyegeye *et al.*, 2021). De plus, une partie de son paysage non occupé en termes des constructions est couverte par des champs, de la végétation naturelle et de terrains en jachères (Birimana, 2012). Dans la partie aval, Bujumbura est constituée d'une diversité de sols d'origine lacustre et fluviale. On y trouve aussi des sols limono-argilo-sableux faiblement drainés, qui sont pauvres en nutriments et très acides. Enfin, ces zones sont marquées par des sols stratifiés, très vulnérables aux inondations, en raison de leur faible drainage et de leur exposition aux eaux salines de la Ruzizi. Il y a peu de temps qu'une transition dans l'affectation et l'utilisation a été observée, (African Studies Center (ASC), consulté le 10 août 2024). La forêt qui couvrait les pentes et les hauts plateaux a été abattue au détriment des cultures, les terres transformées par le labourage et les feux de broussailles destinés à enrichir le sol ou à fournir de nouveaux pâturages pendant la saison sèche (ASC, 2024). La déforestation a entraîné un ravinement, une grave érosion de surface et une destruction rapide de la couche arable (ASC, 2024).

### 3.1.3. Economie et démographie

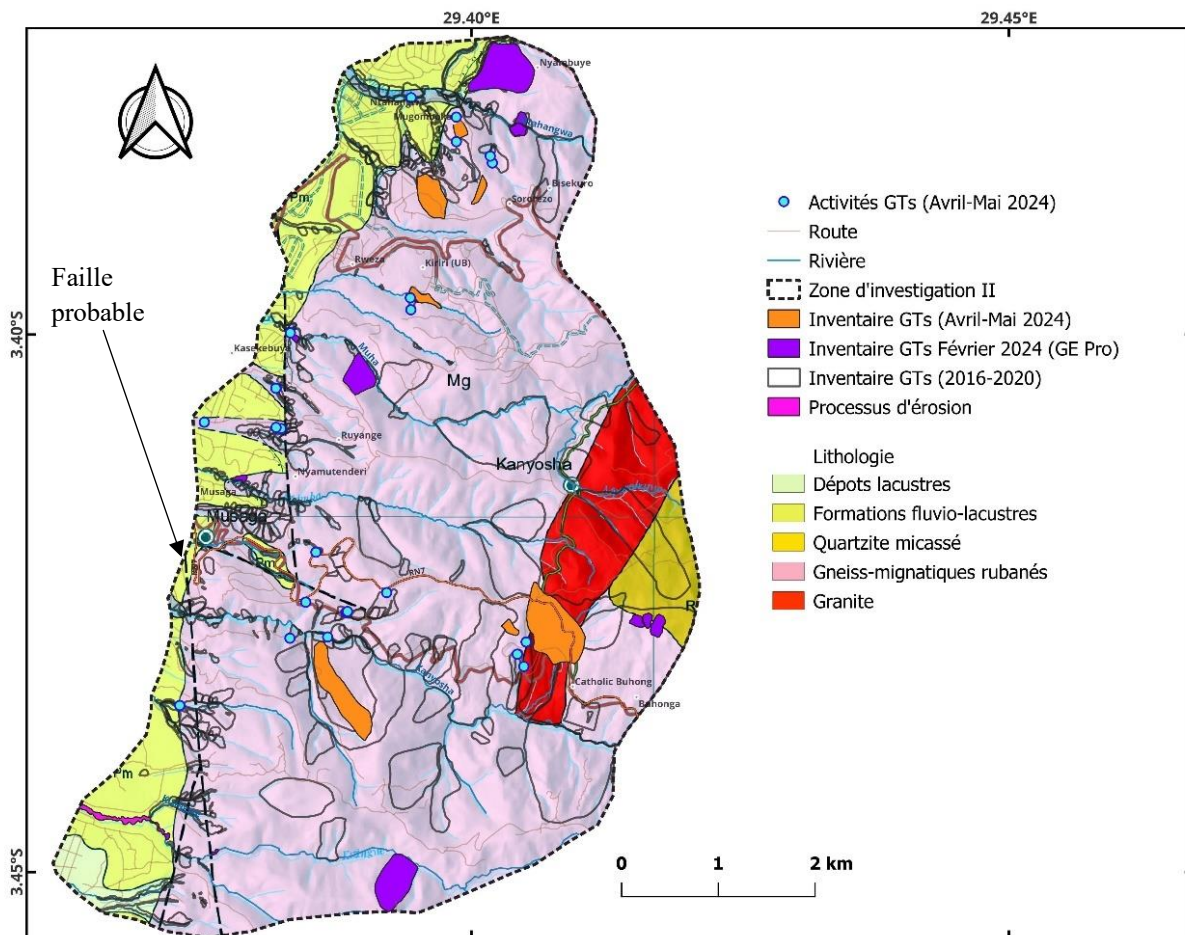
Pour le Ministère de l'économie français (MEF, consulté le 12 août 2024), Burundi est l'un des pays les plus pauvres au monde, avec 87 % de la population vivant avec moins de 1,9 USD/jour et un PIB par habitant de 245,8 USD en 2023 selon le FMI, contre 311,0 USD en 2022. En 2022, le pays était classé 187/193 en termes de développement humain (IDH). D'après le même ministère (MEF, 2024), la croissance réelle du PIB burundais devrait augmenter à 2,7 % en 2023 selon les prévisions du FMI (contre 1,8 % en 2022 et 3,1 % en 2021) portée, notamment, par un effet de base lié à la faible performance du secteur agricole en 2022 en raison de difficultés d'approvisionnement en engrais, de pluies insuffisantes et d'une mauvaise qualité des semences. Près de 80% de sa population travaille dans le secteur de l'agriculture. Avec 13,2 millions d'habitants (2023), dont 50,6 % de femmes et 41,5 % de jeunes âgés de moins de 15 ans, il est l'un des pays à plus haute densité de population avec un ratio de densité de 442 hab/km<sup>2</sup> (BM, 2024). La population de Bujumbura, quant à elle, est actuellement estimée à 1 277 050 habitants contre 18 825 habitants en 1950 (Woldpop, consulté le 12 août 2024). Un chiffre qui a augmenté de 70 283 habitants au cours de la dernière année, ce qui représente une variation annuelle de 5,82 % (Woldpop 2024).

### 3.1.4. Géologie et géomorphologie

La région du rift se distingue par une tectonique active (Delvaux *et al.*, 2010 ; Delvaux *et al.*, 2017), qui présente des conditions topographiques, lithologiques et climatiques favorables à l'occurrence de glissements de terrain (Moeyersons *et al.*, 2010 ; Dewitte *et al.*, 2021). En effet, plusieurs auteurs soulignent que dans cette région, le soulèvement tectonique, accompagné d'une telle activité sismique et de failles, a initié un rajeunissement du paysage par le recul des points de rupture, ce qui a entraîné un raidissement topographique (Delvaux *et al.*, 2017 ; Dewitte *et al.*, 2021 ; Depicker *et al.*, 2021). Dans pareille situation, le rôle de la tectonique, une fois associée à ces conditions climatiques caractéristiques de la région, débouchant à des phénomènes pluviométriques de forte intensité et d'altérations profondes, confère à la région le caractère d'un foyer dynamique des glissements de terrain en Afrique (Dewitte *et al.*, 2021 ; Depicker *et al.*, 2021). Comme la ville, les collines de Bujumbura sont traversées par les rivières Murago, Kigoma, Ntakangwa, Kanyosha, Muya et Kizingwe (Figure 6b et c) et leurs dynamiques jouent un rôle important dans les processus de façonnement des nouveaux paysages. Les collines des Bujumbura se distinguent par des aléas naturels importants dont les glissements et les érosions en ravines (Figure 6a, c et d), souvent associées à des processus des glissements de terrain (Kubwimana *et al.*, 2021)

La récente carte géologique du Burundi à l'échelle de 1/50000 (Laghmouch *et al.*, 2018), sur laquelle, notre zone d'investigation a été extraite (Figure 8), est essentiellement constituée de dépôts lacustres, fluviaux, des dépôts deltaïques, des sables rouges au pieds des escarpements (par exemple, la partie aval de notre zone d'étude, Figure 8b). Des cônes d'alluvions et des formations fluvio-lacustres y sont également identifiés. Dans le secteur d'étude, la majorité de ces formations affleurent dans les zones situées en aval des collines proches des zones de faibles altitudes.

Ce sont des formations sédimentaires du rift d'âge pléistocène. La carte ci-dessous (Figure 8), montre les formations précambriennes, notamment celles du protérozoïque moyen où se situe le Supergroupe du Burundi. Dans ce Supergroupe, affleurent des formations de deux groupes géologiques, dont le groupe moyen du Burundi constitué de formations de Rugazi et de la Mugara. Les formations de Rugazi comportent les quartzites métamorphiques avec des minces intercalations des phyllites ou des micaschistes riches en quartz. Les formations de la Mugara sont constituées des gneiss migmatiques, rubanés et rubano-lenticulaires avec des niveaux de quartzites et d'amphibolites. Le groupe moyen du Burundi se caractérise, par endroits, par des pegmatites, des granulites basiques, des roches basiques à plagioclases anorthitiques et des gabbros à amphiboles. Plus à l'est du secteur d'étude, pointent des intrusions granitiques. Les sédiments du rift et les gneiss (en grande partie altérés) occupent une superficie importante de la zone et sont recouchés par Les failles actives en raison du rifting en présence (Kubwimana *et al.*, 2021).



**Figure 8.** Carte géologique de la zone d'investigation II (prise ici comme zone définitive d'étude), extraite de la carte géologique du Burundi actualisée par Laghmouch et al., (2018) montrant les informations géologiques typiques de la région d'étude.



### 3.2. Données de l'étude

Plusieurs régions africaines et celles du monde, font face à une rareté des données en lien avec la compréhension des processus géomorphologiques (Maki Mateso et Dewitte, 2014 ; Jacob *et al.*, 2015, Monsieurs *et al.*, 2018). Les données sont une information importante pour l'étude des phénomènes géohydrologiques, responsables d'impacts majeurs sur nos sociétés.

Cette partie du travail met en avant des informations compilées sous diverses sources dans le but de construire un inventaire multi-temporel détaillé des glissements de terrain à partir duquel une analyse spatio-temporelle des processus et des impacts de ces aléas géohydrologiques est bâtie.

**Tableau 3. Description des données utilisées dans le cadre de cette étude**

N°	Types de données	Descriptions	Caractéristiques	Période	Sources
1	Inventaire des glissements de terrain	Il s'agit de près 1285 glissements de terrain et processus d'érosions inventoriés dans les collines peuplées de Bujumbura (Figure 6a et c)	-	2016-2020	(Kubwimana <i>et al.</i> , 2021)
2	Images Google Earth Pro	Inventaire, analyse des processus, et des impacts en combinaisons avec des rapports des médias locaux et des ONGs (par exemple OCHA, 2024)	65 cm pour Digital Globe et 50 cm pour Airbus	2020-2022 Et parfois de 2000-2022 pour analyse explicite des dynamiques des GTS	Google Earth Pro.
3	Modèle Numérique de terrain (DEM)	Inventaire, analyse des processus, évolution ou modification des paysages	10 m	-	BCG (Kubwimana <i>et al.</i> , 2021)
4	Carte géologique du Burundi	Inventaire (distribution des glissements de terrain par rapport à la lithologie, réseau des failles)	Echelle de 1/50000	2018	(Laghmouch <i>et al.</i> , 2018)
5	Fichiers cartographiques de forme	Des données vectorielles tels les réseaux de hydrologiques, les bâtis, les niveaux administratives	-	Février 2024	OpenSreet Map/Geofabrik
6	Données de terrain	Inventaire, processus, impacts, enquêtes GPS et des ménages	-	Avril-mai 2024	Terrain

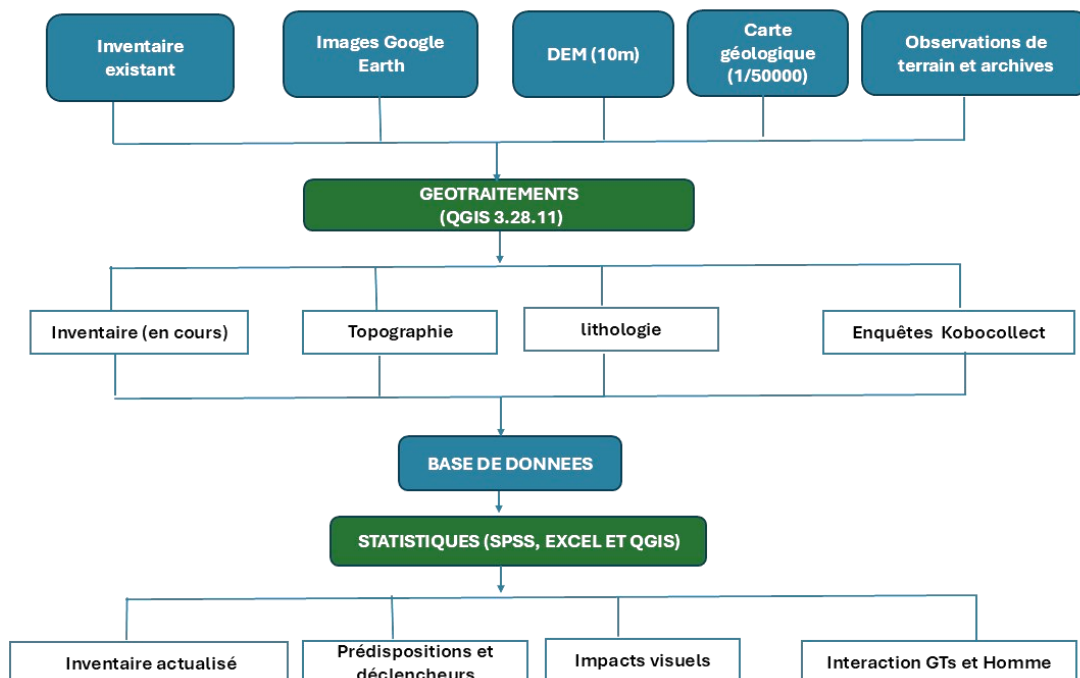
### 3.3. Méthodologie

Vers la fin de l'année 2020, un inventaire géomorphologique multi-temporel détaillé des glissements de terrain a été réalisé dans les collines de Bujumbura (Kubwimana *et al.*, 2021) aussi bien, dans la région du rift est africain (Depicker *et al.*, 2021, Dewitte *et al.*, 2021). Les résultats qui en découlent ont ouvert des nouvelles pistes de recherche dans la région (Kubwimana *et al.*, 2021).

Notre démarche méthodologique (Figure 9), a été exécutée sur la zone qui couvre l'ensemble de l'inventaire de Kubwimana *et al.* (2021), et a été menée sous deux échelles d'investigations variées mais complémentaires.

La première investigation a été basée essentiellement sur l'exploitation des images satellites via Google Earth (Figure 6a), permettant de déceler les changements visibles à distance. Cependant, une limite non négligeable de cette approche réside dans le fait que seules les images allant jusqu'à 2022 étaient disponibles et exploitables, rendant difficile l'actualisation des données au-delà de cette période.

Une seconde étape d'investigation, basée sur des observations de terrain (Figure 6c ; par exemple, Havenith *et al.*, 2022, Malamud *et al.*, 2004), a non seulement permis de valider ou non les résultats obtenus de Google Earth, mais aussi de chercher et d'identifier des nouvelles activités des glissements de terrain n'ayant pas été visibles à distance. Ainsi cruciales, soient-elles, ces deux phases d'investigations combinent les analyses des processus géomorphologiques et les impacts associés.



**Figure 9.** Schéma conceptuel de la méthodologie entreprise : la première ligne montre les données utilisées, la deuxième et la cinquième des logiciels utilisés en termes de traitement et analyse de données et la troisième, la quatrième et la sixième ligne montrent les résultats escomptés. (Modèle inspiré de Mugaruka B. Toussaint (2018) et adaptée à notre étude).

En synthèse, cette section est bâtie au tour de 3 trois axes méthodologiques prioritaires à savoir :

- ◆ L'actualisation de l'inventaire des glissements de terrain (Kubwimana *et al.*, 2021), en se basant sur les images Google Earth (Havenith *et al.*, 2022 ; Depicker *et al.*, 2021).
- ◆ Les observations sur terrain basées sur l'interprétation ponctuelle des phénomènes et la cartographie des nouvelles activités de glissements de terrain et des facteurs de prédispositions et déclencheurs (par exemple, Jacobs *et al.*, 2015).
- ◆ La Collecte des données ponctuelles des impacts des glissements de terrain et d'enquête basées respectivement sur l'analyse visuelle des paysages et des interviews menées dans les ménages situés autour des zones prédisposées aux glissements de terrain (Mugaruka Bibentyo *et al.*, 2017 ; Sekajuko *et al.*, 2024 ; Maki Mateso *et al.* 2024).

### *3.3.1. Inventaire des glissements de terrain à partir des images Google Earth (GE)*

Cette section se base sur une démarche holistique (Dewitte *et al.*, 2020) axée sur l'interprétation spatio-temporelle des glissements de terrain GTs à partir des images Google Earth (par exemple, Guzzetti *et al.*, 2012 ; Havenith *et al.*, 2022).

Nous avons pris une période de 30 jours pour cette phase d'analyse (Mi-février à mi-mars 2024). L'exploitation minutieuse des images GE a été réalisée en les superposant avec les données vectorielles d'inventaire existant (Kubwimana *et al.*, 2021). Nous avons, en suite, associé cette démarche à des archives issues des rapports des ONGs et d'autres sources littéraires utiles à l'étude (Jacobs *et al.*, 2017, Messieurs *et al.*, 2018, par exemple). De manière flexible et anticipative, il a été question de focaliser notre attention sur ce qui s'est déroulé depuis que cet inventaire a été réalisé, c'est-à-dire que nous avons basé notre investigation sur une période de 2021-2024. Les premières lignes d'attaque étaient de voir s'il y a présence de nouveaux glissements de terrain et/ou disparition d'autres GTs. Pour des glissements de terrain existants, voir s'il a du changement dans leur dynamique ; s'il y a des réactivations, etc. En complément, la morphologie et/ou la typologie des GTs était aussi priorisée ; voir si les GTs sont de types rotationnels, translationnels, en coulées, en débris, profonds et/ou superficiels. A part cela, nous avons regardé la tendance de la fraîcheur de la végétation des versants des GTs, la date d'apparition et de disparition des GTs, la connexion ou non, des GTs aux routes, rivières, carrières, fractures, failles, maisons, etc. A cela, s'ajoutent les impacts associés au cours de temps et l'influence de l'homme dans l'utilisation ou l'affectation des terres.

Cette réflexion, bien que théorique au départ, nous a permis de faire le profilage de notre méthodologie (Figure 1) de manière adéquate, se basant intuitivement sur les analyses spatio-temporelles des processus et des impacts associés tant à partir de l'interprétation des images satellites. Cependant, il sied de signaler qu'étant donné que notre zone d'investigation se situe dans la région tropicale humide, il ne nous a pas été de tâche facile d'interpréter parfaitement des phénomènes sur GE, en raison de la présence d'une importante couverture nuageuse par endroits, et d'une recolonisation rapide des certains paysages par la végétation, mettant en flou nos interprétations (Depicker *et al.*, 2021 ; Jacobs *et al.*, 2017).

Au total, 1285 GTs y ont été cartographiés par Kubwimana *et al.* (2021). Cet inventaire géomorphologique s'est arrêté vers la fin 2020, mais, comprend des informations bien

antérieures à 2016. A partir du protocole mis en place, des images Google Earth récentes (qui s'arrêtent à 2022 dans notre zone d'étude) et sur une grande zone, nous avons regardé les comportements des GT durant deux ou trois ans plus tard après l'inventaire.

### 3.3.2. Observations sur terrain

La phase d'observation de terrain s'est inscrit sur une période allant du 16 avril 2024 au 10 mai 2024. L'objectif de cette deuxième étape d'investigation était de poursuivre l'inventaire sur terrain (par exemple, [Havenith et al., 2022](#)). Celui-ci était couplé d'une série d'identifications des glissements de terrain qu'ils soient anciens ou récents (suivant nos objectifs, nous avons opté pour le terme GT ancien : tout processus ayant été déclenché avant 2021, et récent : celui d'après 2021), ainsi que de leurs processus. Les différents facteurs de prédisposition et déclencheurs ont été pris en compte durant toutes les campagnes de terrain. Presque similairement à l'analyse des images Google Earth, nous avons priorisé des facteurs géomorphologiques et paysagers ( [Kubwimana et al., 2021](#) ; [Nibigira et al., 2018](#)) tels que la pente, le couvert végétal (présence, absence et/ou constance), la géologie (nature lithologique, stratification par exemple), la proximité des GTs avec les réseaux des fractures, des routes (en construction ou à fréquemment sollicitées), les réseaux hydrographiques, caractéristiques des versants, contact des GTs à des processus ravinements, les pratiques agricoles, etc.

Plusieurs activités des GTs étaient visibles aussi de manière isolée et, souvent remarquables sur des grands glissements de terrain, sur des pentes abruptes et sur des zones caractérisées par des processus des ravinements (Par exemple, Figure 6d ; [Kubwimana et al., 2021](#) ; [Nibigira et al., 2018](#) ; [Dewitte et al., 2021](#)).

### 3.3.3. Collecte de données d'impacts et enquêtes des ménages

La collecte de données a été basée sur nos observations visuelles des sites impactés par les glissements de terrain lors de la campagne GPS. Cependant, elle ne concerne pas la quantification de l'impact économique sur les infrastructures vulnérables, telle que proposée par [Sekajugo et al. \(2024\)](#). Toutefois, elle apporte une compréhension descriptive simple des facteurs impliqués dans la vulnérabilité des infrastructures identifiées dans la zone choisie. Il est important de souligner, qu'en dépit de nos efforts consentis pour la maîtrise de dénominations des collines et sous collines, villages, quartiers, par exemple dans Bujumbura, nous avons eu du mal à cerner l'appartenance de telle ou telle autre entité dans un périmètre administratif concerné (Imprécision voire confusion des noms et délimitations administratives par certaines autorités locales). C'est pour cette raison que nous avons considéré les sous entités explorées comme faisant partie des grandes zones amont des rivières Ntakangwa, Muha et Kanyosha (Figure 6b et c). Les impacts environnementaux identifiés dans ces entités étaient visuellement spectaculaires. Des fissures y ont été observées dans les sols et les champs agricoles, sur des bâtis, les réseaux de drainages et de communications tels que les rivières et les routes (Figure 25).

La consultation en amont des rapports de [OCHA, \(2024\)](#), accompagnée d'une pré-enquête, a permis de proposer une méthodologie simple basée sur le zonage des sites d'enquête et le comptage manuel des maisons à visiter dans ces sites. Les choix portés sur les sous-entités concernées ont été validés, en raison des impacts observés ; de leur proximité aux glissements de terrain, de la présence d'une des activités visuellement prédominantes en lien avec



l'utilisation des terres, en fin, la présence d'au moins un responsable du ménage. Il s'agit de Sororezo, Busekuro, Mugomboka 1 et 2, Ruyange (Figure 6c). Ainsi, l'enquête proprement dite s'est focalisée sur un questionnaire structurel fait en français. Pour cela, les enquêteurs sélectionnés sur base de leur expertise, rendraient ce questionnaire en langue locale (Maki Mateso *et al.*, 2024), pour faciliter la fluidité dans les échanges qui prenaient environ 40 minutes.

Cette démarche s'est fait de manière aléatoire (Maki, Mateso *et al.*, 2024 ; Sekajugo *et al.*, 2024), et a proposé cinq principaux thèmes à savoir :

- ◆ Information générale sur la personne répondante et le site concerné
- ◆ Identification des glissements de terrain
- ◆ Expérience personnelle avec les glissements de terrain
- ◆ Analyse spatio-temporelle des processus
- ◆ Impacts des glissements de terrain sur les ménages et la communauté
- ◆ Mesures de prévention et de mitigation existantes
- ◆ Stratégie de sensibilisation et éducation sur les risques de glissements de terrain
- ◆ Commentaires libres de l'enquête en termes de besoins et recommandations

### 3.4. Outils et analyses des données

#### 3.4.1. Outils d'analyse

##### 1. Outils cartographiques

- ◆ Google Earth

L'outil Google Earth (GE) offre une résolution très acceptable pour la détection et l'interprétation visuelle des images en 2D et 3D. Des glissements de terrain ont été étudiés dans plusieurs angles avec des transitions en 2D vers 3D et inversement pour permettre une large interprétation du phénomène. Ces marqueurs géomorphologiques y ont été observés dans l'ensemble de l'environnement qui les constitue (y compris notamment la topographie, la dynamique du couvert végétal, etc.).

- ◆ QGIS (Quantum GIS) multi-plateforme

Cet outil est un Système d'Information Géographique (SIG), open source multi-plateforme sous licence publique générale. Il a été destiné aux traitements et analyse des données spatiales. Le logiciel QGIS 3.18.11(Firenze) a été utilisé pour les analyses spatiales ; spécifiquement pour son rôle dans la numérisation et analyse des glissements de terrain (en polygone) et la confection des cartes des distributions des glissements de terrain.

#### ◆ GPS (Système de Positionnement Global)

Un outil important permettant la collecte de données sur le terrain, offrant des informations précises sur la localisation des phénomènes étudiés à partir de ses coordonnées, telles que la longitude, la latitude et l'altitude. Grâce à cet outil, les sites d'observations des glissements de terrain ont été relevés suivis d'une série d'interprétations visuelles des facteurs de prédisposition et des impacts associés. C'est un outil de validation sur terrain, des observations faites en amont à partir des images Google Earth ou des analyses SIG. Sur terrain, il était associé à la camera professionnelle de marque Canon, pour les prises d'images des phénomènes observés.

## 2. Outils d'analyses statistiques

#### ◆ SPSS (Statistical Package for the Social Science) et Excel

Ces deux outils ont été largement utilisés pour des analyses statistiques des données quantitatives et qualitatives. Dans le cadre de cette étude, SPSS a été utilisé pour le traitement de l'ensemble de données des glissements de terrain récoltés sur terrain (par exemple, [Maki Mateso et al., 2024](#)), avec une transition sur Excel, pour la visualisation des graphiques simples et claires. De même que pour Excel, les données d'enquêtes y ont été traitées et analysées.

#### ◆ Kobocollect Tool Box

Il s'agit d'un outil essentiel et à libre accès au public. Il a été utile dans le cadre de cette étude pour recueillir des réponses proposées par les personnes enquêtées. Il a été aussi important pour son rôle de prises de photographies géolocalisées pour de raison de la fiabilité des données et également des descriptions des situations complémentaires.

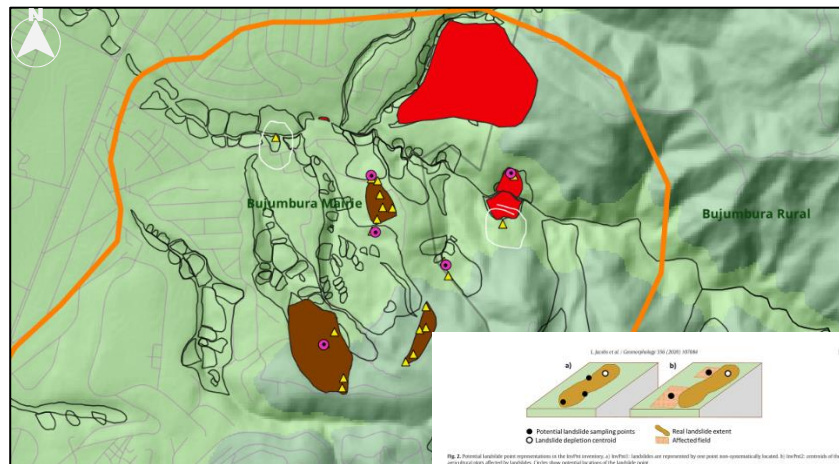
### 3.4.2. Analyses de données

#### 1. Inventaire des glissements de terrain et analyse des processus

A partir du protocole mise en place et partant d'interprétations visuelles en 2D et 3D des images Google Earth récentes (2022 disponibles), sur une grande zone d'inventaire ([Kubwimana et al., 2021](#)), nous avons regardé les comportements des GT durant 2 ou 3 ans (2021-2024) plus tard après l'inventaire existant ([Maki Mateso et al., 2024](#)). Derrière cette stratégie, il a été question de nous interroger sur la présence ou non des récents GTs, des réactivés, des disparus, des développés, etc.

L'ensemble de la zone d'inventaire retenue (Figure 6c) a été analysée de trois manières différentes en raison des observations des données sur Google Earth et sur terrain. Ainsi, sur Google Earth, des polygones ont été numérisés sur une période de février 2024. Sur terrain, des observations ponctuelles, témoins d'activités des glissements de terrain y ont été collectées et traitées dans la base de données Excel et QGIS, sur une période d'avril-mai 2024. En fin, sur la même période d'avril-mai 2024 et sur base des observations de terrain, parmi ces activités collectées, certaines ont montré des alignements préférentiels (Figure 10), sur des paysages présentant une successibilité remarquable aux glissements de terrain et ont été toutes déclenchées à la même période. Partant de ce constat, nous avons considéré ces points en des

polygones de glissements de terrain (Jacobs *et al.*, 2020). Bien qu'il y règne de l'incertitude dans cette méthode, nous avons fait un zonage à l'échelle supra locale basé sur la susceptibilité des glissements de terrain dans ces sites étudiés (Jacobs *et al.*, 2020).



**Figure 10.** Exemple explicatif (à titre indicatif) de la méthodologie (par exemple Jacobs *et al.*, 2020), visant la numérisation des glissements de terrain à partir de données ponctuelles (triangle en jaune) de terrain en polygone (GTs en gris foncé). Les glissements de terrain (en rouge) ont été numérisés en février 2024 sur Google Earth. En contour noir (GTs de terrain, en majorité plus, visible sur Google Earth).

En plus de cette analyse ci-haut, nous avons distribué à l'échelle spatio-temporelle, l'ensemble des glissements de terrain inventoriés, mais suivant les modes d'acquisition tels que ci-haut expliqués. La catégorisation a été faite suivant, leurs typologies, l'année d'occurrence, activités et leurs profondeurs (Figure 12). Les facteurs tels que la pente, la lithologie et l'altitude y ont été analysées. Cela, permet de détecter leurs influences sur les glissements de terrain qu'ils soient profonds, superficiels, peu profonds, nouveaux, etc. A cela s'ajoutent l'influence sur les types des glissements de terrain. Ces analyses sont associées à des données de fréquences/ratio faites à partir d'outils de statistiques sus-indiqués (par exemple, Malamud *et al.*, 2004 ; Havenith *et al.*, 2022, ; Kubwimana *et al.*, 2021, Maki Mateso *et al.*, 2023).

En raison de l'hétérogénéité dans la représentation des glissements de terrain dans la zone d'étude, nous n'avons pas fait d'analyse du type (Taille-Fréquence) telle que présentée par Malamud *et al.* (2004) et Havenith *et al.* (2022). Bien qu'elle soit nécessaire pour une compréhension approfondie basée sur la distribution et l'ampleur des glissements de terrain. Les données disponibles sont mixtes et en majorité des points d'activités des glissements de terrains déclenchés de manière isolée sur terrain. Nous n'avons pas estimé cela sous plusieurs raisons liées, par exemple à la géomorphologie de terrain, mais aussi à l'indisponibilité des images Google earth à jour. C'est pourquoi, l'analyse d'inventaire prenant en compte la distribution des glissements de terrain sur base de leurs superficies n'a pas été faite.

Sur les paysages des collines de Bujumbura, il a été parfois difficile de distinguer les debris flows et les mudflows, nous avons rassemblé ces deux processus sous le terme de debris flows (Kubwimana *et al.*, 2021). Pour la catégorisation de la profondeur des glissements de terrain, nous avons pris trois classes : le glissement de terrain superficiel (prof. < 2m), celui peu profond (2-5m) et profond (>5m). Pour ce qui de l'analyse de pente, nous n'avons pas considéré l'influence cette dernière sur les glissements profonds (Kubwimana *et al.*, 2021, par exemple).

## 2. Analyses de données des impacts et d'enquêtes sur terrain

L'analyse des données a mis en avant le calcul des fréquences et des proportions pour les données qualitatives (Miles *et al.*, 2014 ; Patton, 2015). Pour les données quantitatives, nous avons effectué les statistiques descriptives basées sur le calcul des paramètres de tendance centrale (moyenne) et de dispersion (Ecart-type) (Agresti & Finlay, 2013 ; Field, 2027). Au total, 70 ménages ont été visités.

Les analyses des variables concernées (aussi, croisées), pour l'ensemble de cette section d'étude sont ci-dessous détaillées (Tableau 1), et propose un lien dépendant aux impacts associés par les glissements de terrain.

**Tableau 4. variables utilisées pour l'analyse des impacts sur la zone d'étude**

N°	VARIABLES UTILISÉES	N°	VARIABLES UTILISÉES
01	Age et sexe	09	Possession de terres arables
02	Impacts du GT par tranche d'âge	10	Impacts des terres arables par les GTs
03	Profession et tranche d'Age	11	Cultures dominantes
04	Niveau d'étude et tranche d'âge	12	Type des matériaux de constriction utilisés
05	Utilisation de terres	13	Conscience des risques des GTs
06	Facteurs déclencheurs des GTs	14	Diffusion d'informations
07	Facteurs de prédisposition	15	Besoins locaux pour une bonne gestion des risques
08	Occurrences des glissements de terrain selon les années	16	Connaissance des collines touchées par les GTs

## 4. RESULTATS

### 4.1. Inventaire des glissements de terrain

Ce résultat met en avant la typologie, la caractérisation et la distribution spatiale des glissements de terrain dans la zone d'étude.

Au terme de la réalisation de l'inventaire multi-temporel, 54 glissements de terrain (Figure 11. a, b et c, Tableau 5) ont été dénombrés sur l'ensemble de la zone d'étude. Parmi eux, 24 GTs ont été présentés en forme de polygones (Figure 11. a et c) et 30 GTs sous forme des points qui sont des activités récentes des glissements de terrain reparties de façon isolée sur terrain (Figure 11b). (Figure 11b). Spécifiquement 17 glissements de terrain ont été cartographiés et inventoriés via GE parmi les 24 (Figure 11. a), contre 7 GTs inventoriés à partir de données de terrain (Figure 11. c). Les 17 GTs couvent 31 % de l'ensemble des tous les glissements inventoriés dans la zone d'étude ; 13 % sont des GTs issus de données de terrain (Figure 11c) et 56 % représentent des activités des GTs (Figure 11b). Un processus de ravinement a été cartographié (par exemple, Figure 11.) et son rôle sur le processus et dynamique d'occurrence des glissements de terrain est présent. Cependant, il n'a pas été associé dans ce présent inventaire.

Pour le total des 17 glissements de terrain analysés sur GE (Figure 11a), figurent, 1 avalanche avec un taux de 5.9 % de représentativité, 4 debris flows, soit 23.5 %, 7 earth flows, soit 42.2 %, 1 rotational slide, soit 5.9 % et en fin 4 translational slides, soit 23.5 %. Sur le terrain, sur les 7 GTs numérisés (Figure 11c), 3 earth flows soit 42.5 %, 3 rotational slides, soit 42.9 % et 1 translational slide y sont inventoriés. Ils sont tous actifs, (soit 100 % d'activité ; Figure 15c) ; 2 d'entre eux ont été déclenchés en 2023 (soit 28.6%) et 5 d'autres en 2024 pour un taux de 71.4%. (Figure 13c). Ce sont des glissements profonds qui prédominent (71.4% soit 5GTs sur 7) du type rotational slide et, les superficiels (28.6%, 2sur 7 GTs) du type translational slide (Figure 17 c) viennent en seconde position.

Sur 30 activités des GTs (Figure 11b), s'y renferment, 1 avalanche, soit 3.3 %, 7 debris flows, soit 23.3 %, 9 earth flows, soit 30 %, 11 rotational slides, soit 36.7 % et 2 translational slides, soit 6.7 %. Elles sont en majorité actives (soit 29 sur 30 GTs) et représentent 96.7 % des GTs. Cependant, 1 seul GT est stable et représente 3.3 % de l'ensemble de ces activités (Figure 15 b). De plus, ce sont des glissements en majorité profonds (soit 19 sur 30) avec un taux de 63.3 % de représentativité. Les superficiels sont au nombre de 7 sur 30 et représentent 23.3 % de ces 30 GTs et le reste prend une proportion de 13.33%. ce sont des glissements de terrain peu profonds (Figure 17b). Ces glissements de terrains (les profonds pour la plupart) sont généralement annoncés par des fissures intenses sur les murs des bâtis et dans les sols (Figure 25b, c, e, f, h et j). Ils sont en grand nombre disponibles dans la partie nord de notre zone, notamment à Busekuro, Sororezo, Ruyange et Mugomboka. (Figure 6). La plupart de ces glissements de terrain se sont déclenchés sur une période de 2024 (soit 17 sur 30, soit 56.7 % ; Figure 13) et en 2023 (3 sur 30). D'autres peu avant 2020 (8 sur 30) soit 26.7 % (figure 13b) se sont également déclenchés. Sur GE, Nous retenons la réactivation et la constance d'activités des certains glissements de terrains. En effet, la plupart d'eux sont s'âge inférieur à 2000 (8 sur 17 soit 47.1 %, par exemple Figure 19b), suivis d'autres déclenchés en 2021 (3 sur 17 avec un

taux de 17.6 %) et d'autres entre 2000-2020 qui sont en activités (c'est par exemple, Figure 19 a et c), ce sont des earthflows et rotational slides.

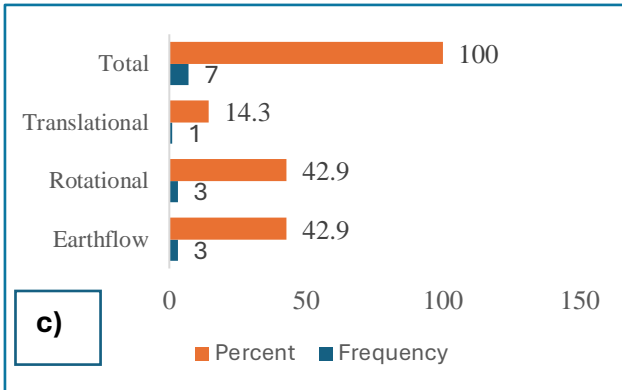
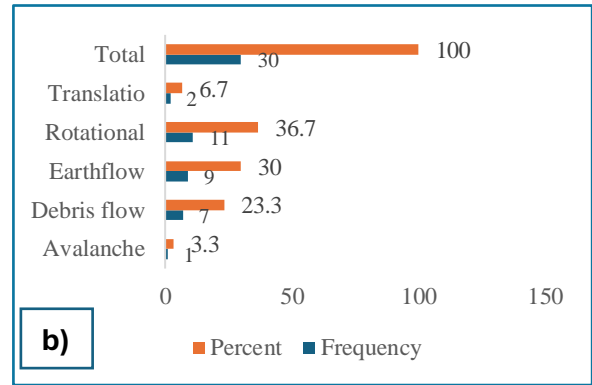
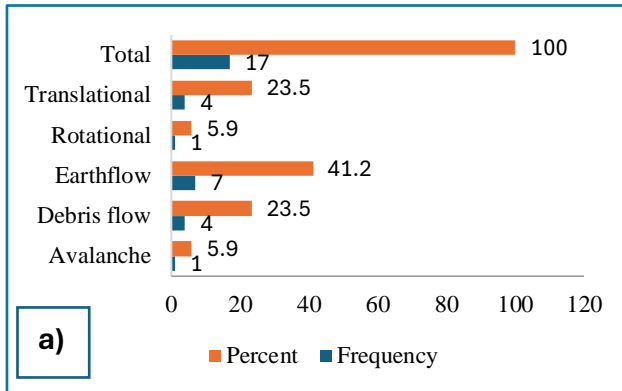
En somme, l'ensemble de la zone comprend 19 earthflows, soit 36% ; 11 debris flows, soit 20% ; 7 translational slides, soit 13% ; 15 rotational slides, soit 28% et 2 avalanches, soit 4%. Les earth flows sont majoritairement repartis dans la partie sud de la zone d'étude et vers l'ouest. Ils se concentrent beaucoup plus en contact avec les rivières, surtout dans les versants sud de la rivière Kanyosha (voir, Figure 6c) et la RN7 abandonnée, du côté de Buhonga (par exemple, Figure 6c et Figure 19). Les debris flows sont aussi observés, près de rivières et plus précisément dans les zones de talweg. Les glissements de terrain du type « rotational slide », ont été observés dans la partie nord et centrale de notre secteur d'étude, ils sont comptés en majorité parmi les nouvelles activités des glissements de terrain déclenchés en périodes de mars, avril et mai 2024. Des translational slides (Figure 19d) sont remarqués dans les versants des collines de Kiriri, près de l'université du Burundi (Figure 6). Ils ont été en grande partie associés à des processus des ravinements en aval et sont incisés par la rivière. En termes d'occurrence, les glissements de terrain apparus en 2024 sont au total 22 sur 54, soit près de 40 % de l'ensemble. Ce sont en majorité profonds et sont beaucoup observés sur les altitudes assez importantes reparties surtout dans les geins altérés. Il s'agit préférentiellement des earthflows et des rotational slides.

Dans la zone d'étude concernée, figurent 409 GTs (en contour noirs) dont les périodes d'occurrences sont, aussi de 2020, 2012, 2013, 2008, 2007 et moins de 2000 (-2000). Parmi ces 409 GTs, il y a des stabilisés, des « presque disparus et recolonisés par la végétation », et d'autres

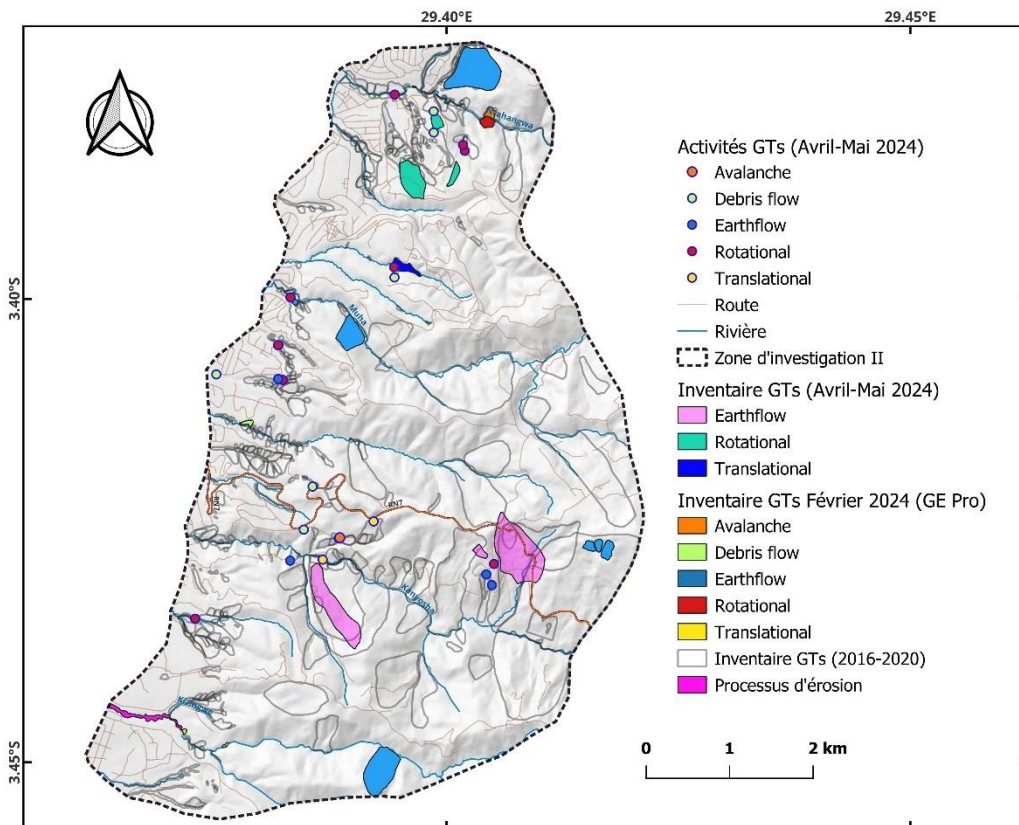
**Tableau 5. Types (processus) des glissements identifiés dans la zone d'étude**

	<b>Google Earth (Février 2024)</b>	<b>Activités GTs (avril-mai, 2024)</b>	<b>Cartographie (Inventaire avril-mai, 2024)</b>
<b>N°</b>	<i>Type de processus</i>	<i>Type de processus</i>	<i>Type de processus</i>
<b>01</b>	Avalanche	Avalanche	Earth flow
<b>02</b>	Debris flow	Debris flow	Rotational
<b>03</b>	Earth flow	Earth flow	Translational
<b>04</b>	Rotational	Rotational	–
<b>05</b>	Translational	Translational	–



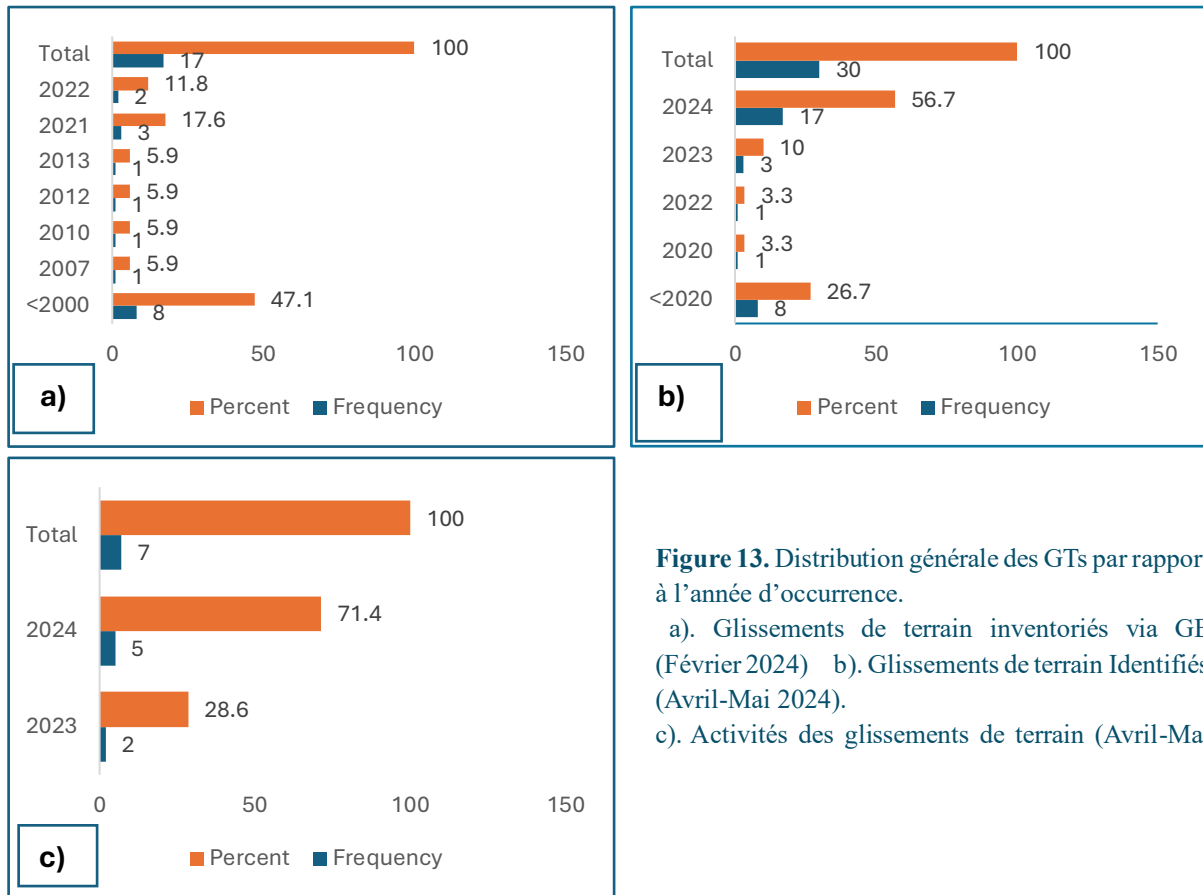


**Figure 11.** Inventaire général dans la zone d'étude a). Glissements de terrain inventoriés via GE (Février 2024) b). Glissements de terrain Identifiés (Avril-Mai 2024). c). Activités des glissements de terrain (Avril-Mai 2024),



**Figure 12.** Carte d'inventaire général des glissements de terrain dans la zone d'étude.

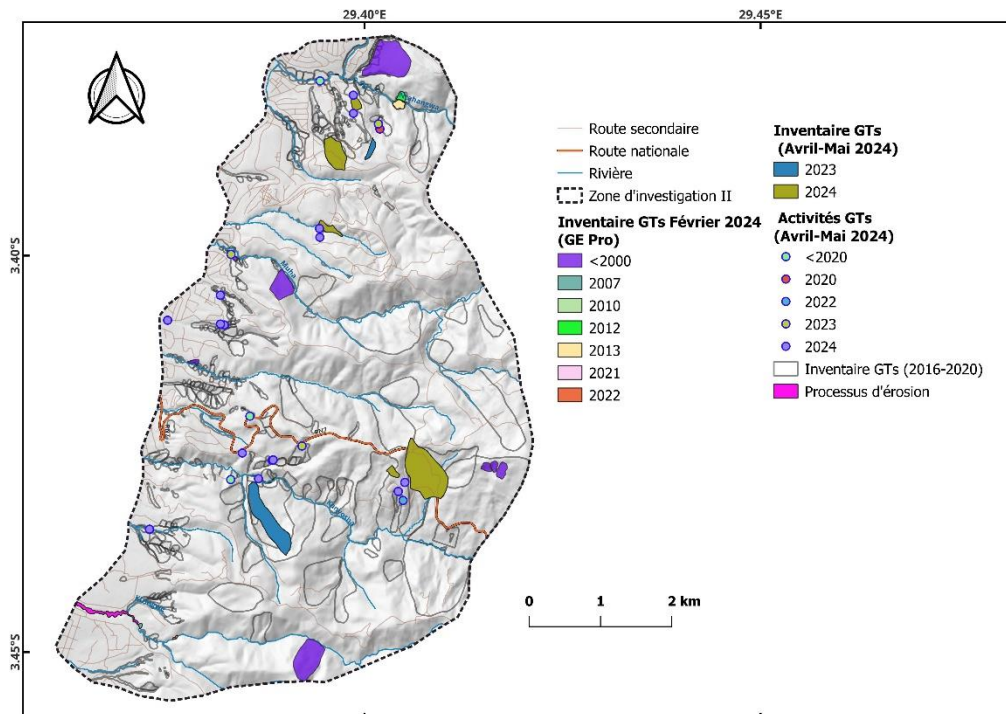
## 1. Caractérisation des glissements de terrain par rapport à leurs occurrences



**Figure 13.** Distribution générale des GTs par rapport à l'année d'occurrence.

a). Glissements de terrain inventoriés via GE (Février 2024) b). Glissements de terrain Identifiés (Avril-Mai 2024).

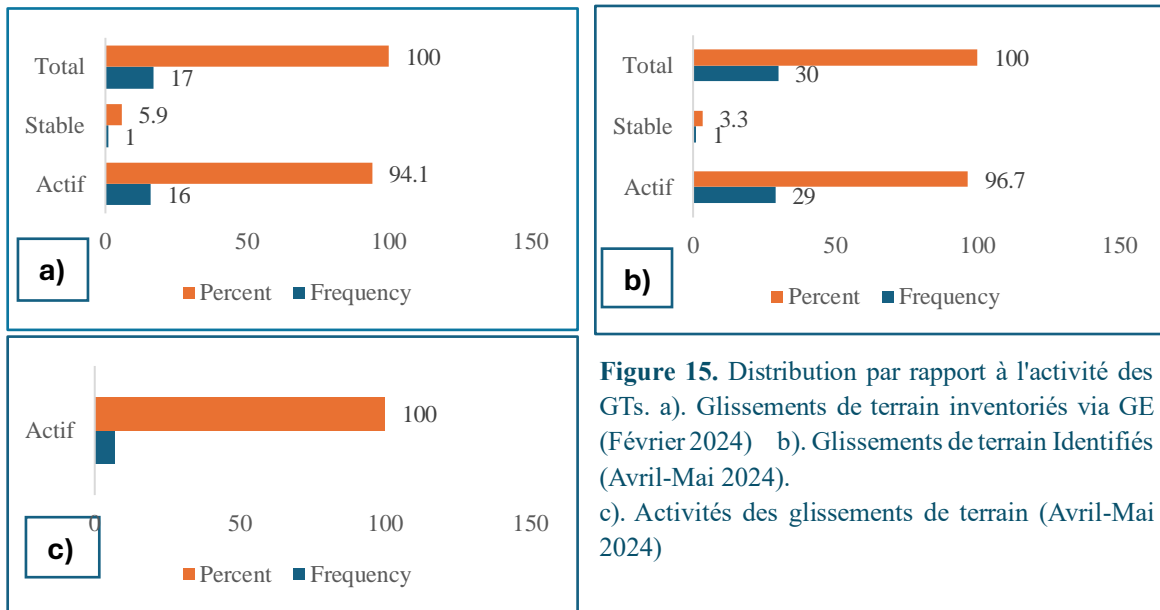
c). Activités des glissements de terrain (Avril-Mai 2024)



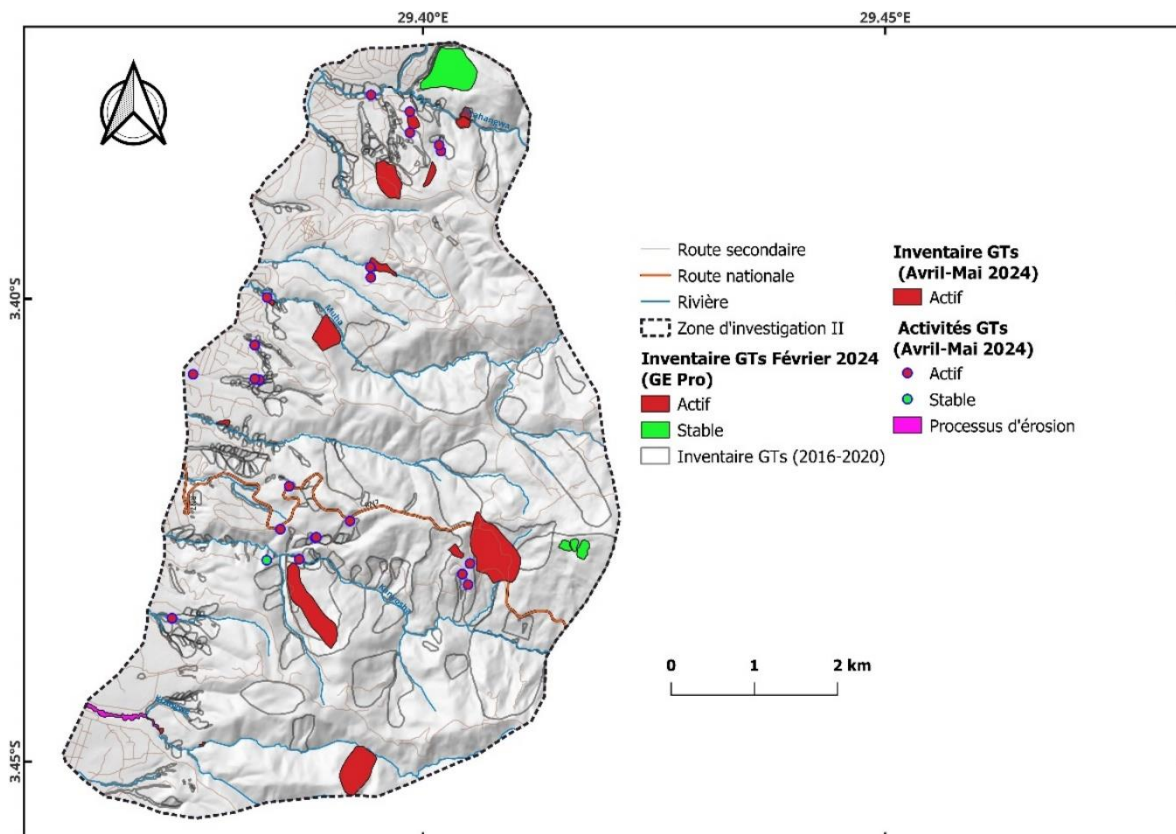
**Figure 14.** Distribution spatiale des GTs par rapport à l'année d'occurrence



## 2. Caractérisation des glissements de terrain par rapport à l'activité

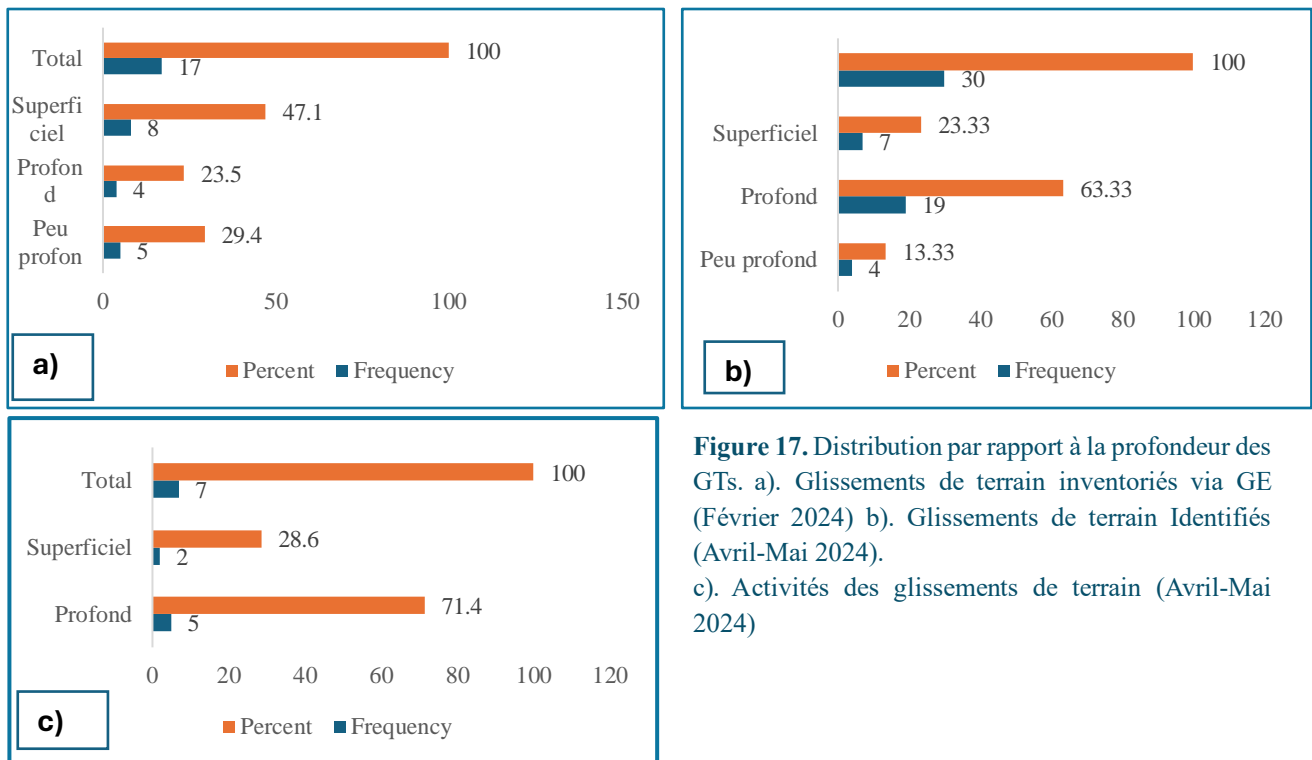


**Figure 15.** Distribution par rapport à l'activité des GTs. a). Glissements de terrain inventoriés via GE (Février 2024) b). Glissements de terrain Identifiés (Avril-Mai 2024). c). Activités des glissements de terrain (Avril-Mai 2024)



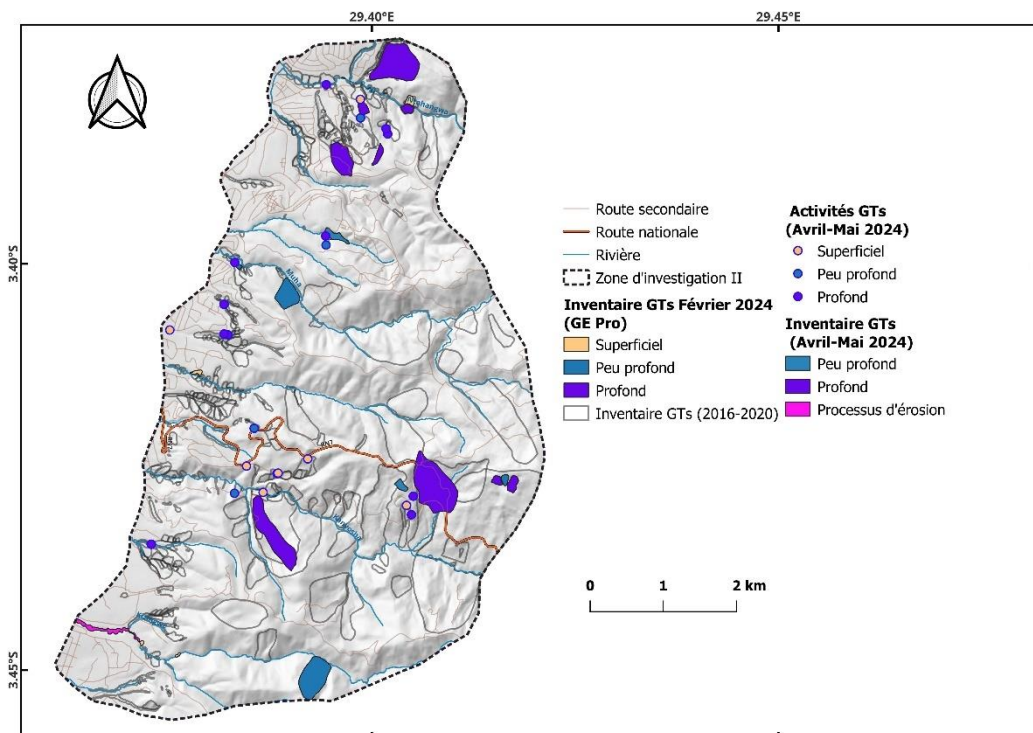
**Figure 16.** Distribution spatiale des GTs par rapport à l'activité

### 3. Caractérisation des glissements de terrain par rapport à la profondeur



**Figure 17.** Distribution par rapport à la profondeur des GTs. a). Glissements de terrain inventoriés via GE (Février 2024) b). Glissements de terrain Identifiés (Avril-Mai 2024).

c). Activités des glissements de terrain (Avril-Mai 2024)



**Figure 18.** Distribution des GTs par rapport à la profondeur





**Figure 19.** Exemples des types des glissements de terrain réencensés dans la zone d'étude. (a). Glissements de terrain du type rotational slide, actif et observé sur GE (Février 2022 ;  $3^{\circ} 22.848'S$  ;  $29^{\circ} 24.234'E$ ). (b). Glissement de terrain du type earthflow actif avec des activités des GTs sur son pied et dans son corps (mai, 2024 sur le versant sud de la Kanyosha). (c). Glissement de terrain du type avalanche observé sur terrain (avril 2024) et sur GE (février 2024). (d). Glissement de terrain du type translational slide actif observé sur le versant du campus d'université du Burundi (Figure 6c, pris en avril 2024). (e). Glissement de terrain du type debris flow, observé sur le versant de la rivière Ntakangwa (Figure 6c), observé en avril 2024.



**Figure 20.** Exemples des types des processus conduisant à des glissements de terrain réencensés dans la zone d'étude. (a). Glissements de terrain du type rotational slide, récent et actif et observé à Sororezo. (b). Glissement de terrain du type debris flow actif sur des sols argileux saturés en eau (mai, 2024, vers RN7 abandonnée). (c). Glissement de terrain du type translational slide actif observé sur le versant de la RN7 actuelle. Affecté par un double drainage naturel actif et un drainage anthropique (observé en avril 2024).



## 4.2. Analyse spatio-temporelle des processus

### 4.2.1. Influence d'altitude, la lithologie et la pente dans l'analyse des processus

A partir de l'interprétation visuelle de l'altitude et du zonage empirique du secteur d'étude basé sur l'expertise, montre que les glissements de terrain sont généralement repartis dans les altitudes allant de 800 à 1400m (Figure 21). les earthflows, sont en majorité situées des altitudes moyennes à élevées, tandis que les rotational slides sont sur les altitudes moins importantes, les autres sont repartis sur des basses altitudes.

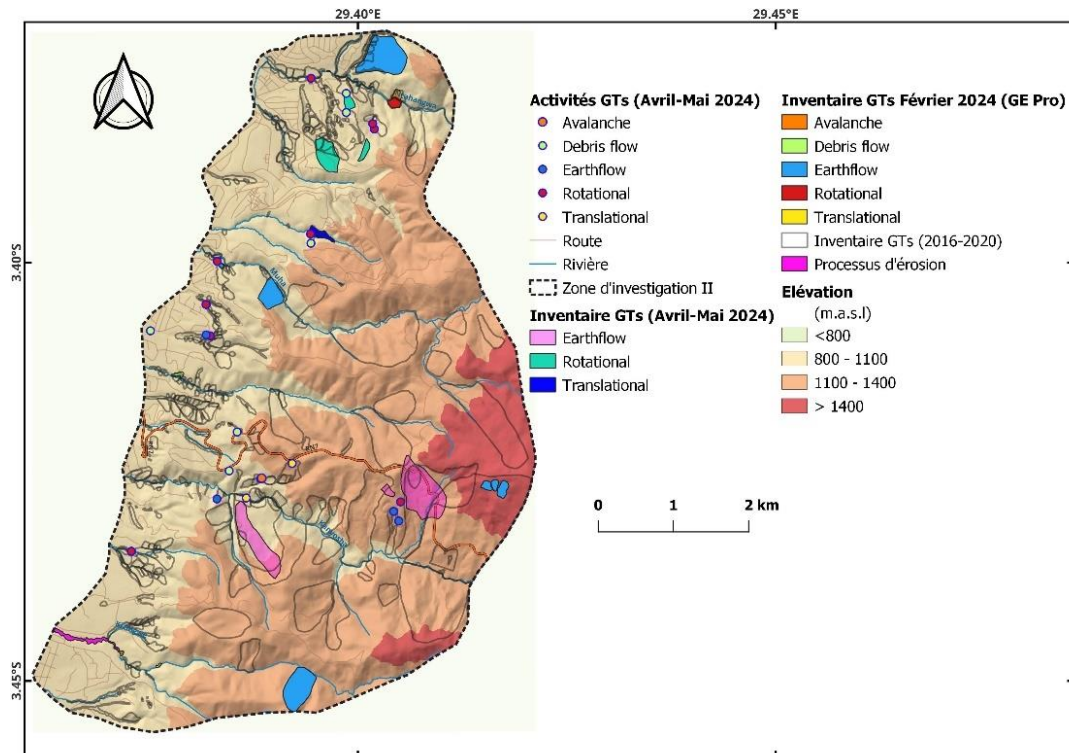


Figure 21. Distribution des glissements de terrain par rapport à l'altitude

Partant de la superposition des glissements de terrain sur la carte géologique (Figure 22) et sur base de nos observations de terrain, plusieurs glissements de terrain sont encaissés dans les formations métasédimentaires précambriennes du Burundi. Ces sont essentiellement des gneiss altérées et migmatites rubanées, altérées à très altérées par endroit. D'autres GTs à faible taux sont développés dans les intrusions granitiques et les formations quartzitiques sur une altitude élevée, Des ravinements et autres petits glissements sont à répertorier dans les dépôts fluvio-lacustres et uniquement des dépôts lacustres sur des zones des faibles altitudes.

L'altération joue le rôle important sur la masse rocheuse et influence sa structure interne. Des roches altérées prédisposent les sites à des occurrences des glissements de terrain. La pente, joue aussi un rôle important dans la prédisposition de notre terrain à des glissement de terrain.

En effet, la carte de distribution des glissements de terrain par rapport à la pente (Figure 23), montre une appartenance de ces derniers dans une classe de 15 à 30 ° et d'autres de 45 -60°. Ce qui confère l'importance majeure à la connaissance de sa dynamique surtout dans les paysages rajeunis de la zone d'étude.

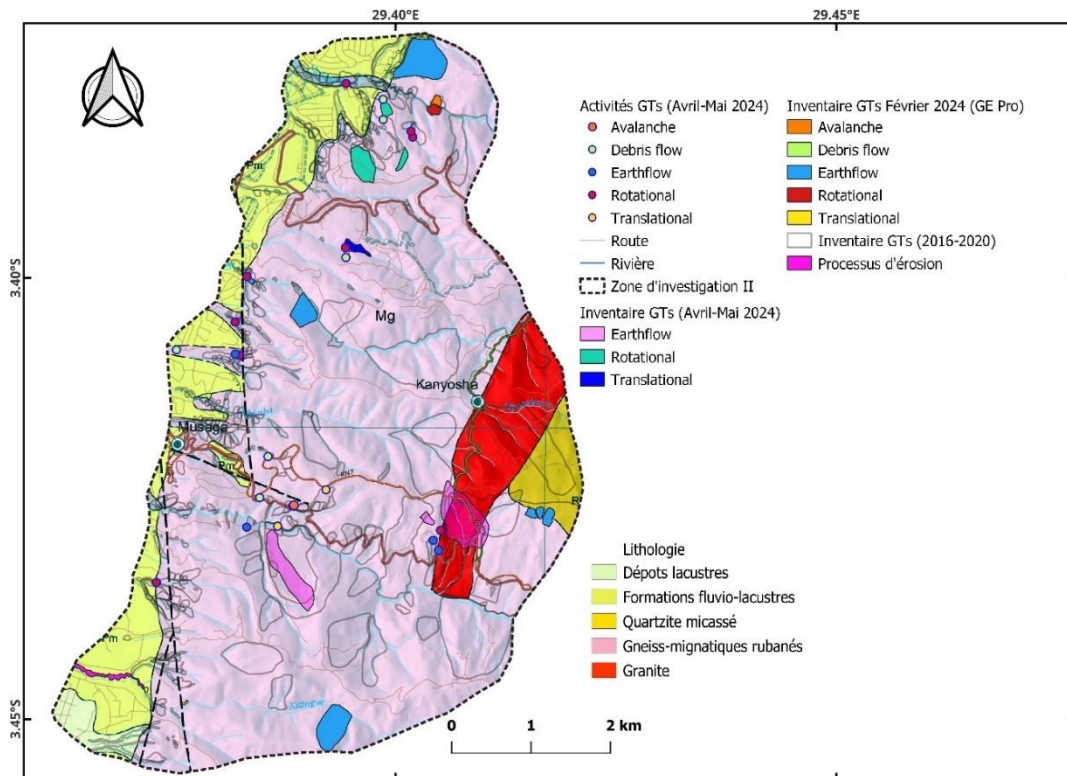


Figure 22. Distribution des glissements de terrain par rapport à la géologie

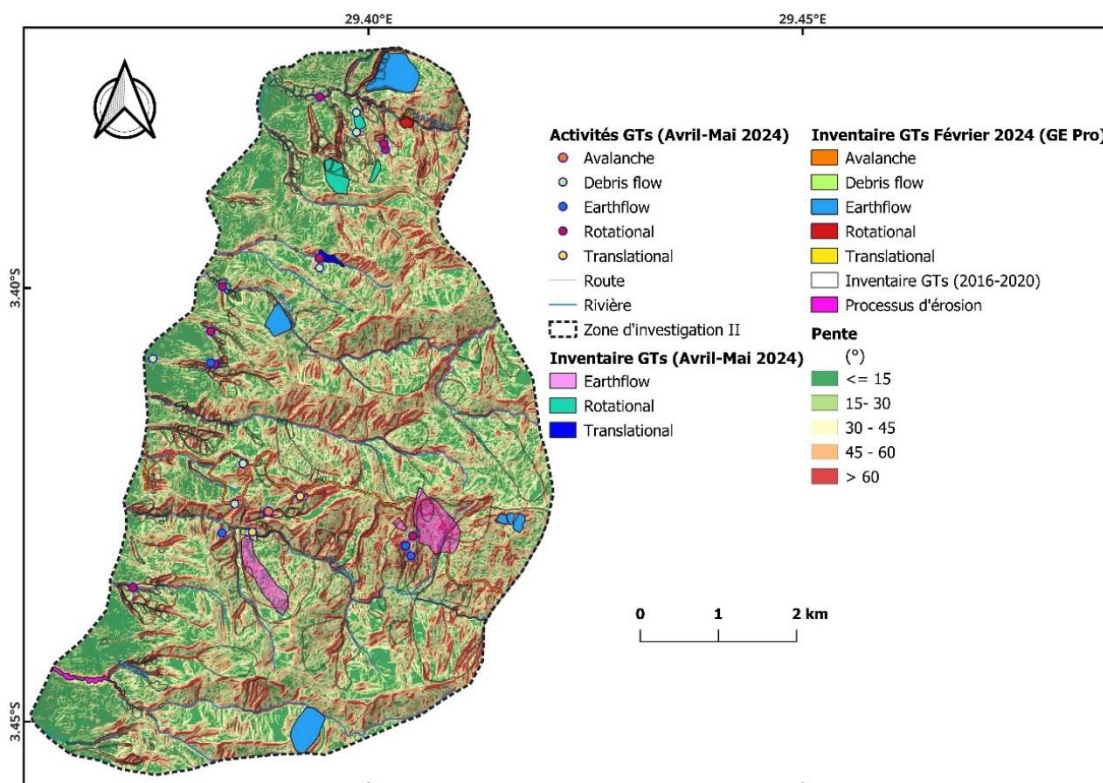
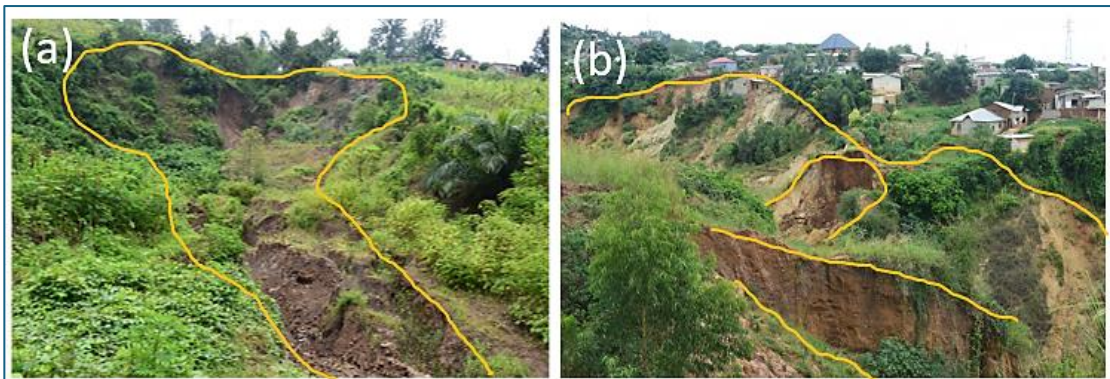


Figure 23. Distribution des glissements de terrain par rapport à la pente

#### 4.2.2. Facteurs de prédisposition et déclencheurs

Au-delà de la pente, l'altitude et la géologie, les facteurs des prédispositions et déclencheurs ont été identifiés dans la zone d'étude. Ce sont en effet les pluies intenses qui sont à l'origine d'occurrences des glissements de terrain, déclenchés sur une période de 2023 à 2024. Au cours de l'année 2023 et 2024, il s'observe une absence des pluies exceptionnelles à Bujumbura. Les facteurs déclencheurs sont le plus souvent associés à ceux de prédispositions, considérés comme, des facteurs accélérateurs des processus en cours. Ils peuvent commencer par la naissance des fissures (par exemple, Figure 20a), la présence des pointements d'humidité en terme de la teneur en eau dans la masse de terre (par exemple, Figure 20b), mais aussi par les processus des ravinements (Figure 24). La proximité des glissements de terrain avec les réseaux de drainage et les routes ont permis de comprendre les paramètres déclencheurs et de prédispositions (Figure 20c).

Le glissement de terrain du type rotational slides (Figure 19a), observé depuis plusieurs années dans la commune de Kanyosha ( $3^{\circ} 22.848'S$  ;  $29^{\circ} 24.234'E$ ) a connu une réactivation en 2012, et qui demeure toujours actif. Cet aléa offre quelques changements au niveau de son escarpement principal où le volume des matériaux rocheux glissés serait en quantité évolutive au cours de deux dernières années. La distance entre la couronne et l'escarpement principale aurait augmenté. Ce qui lui confère un caractère actif. Le deuxième glissement de terrain est du type avalanche actif (Figure 19c) et superficiel. Ce type de glissement a été déclenché en 2013, C'est GT aussi dynamique. La végétation reste dynamique et recolonise rapidement les paysages souvent pendant les saisons pluvieuses. En 2022, un constant est celui d'un processus remarqué d'installation des bâtis sur la partie amont de ce GT, bien que cette installation semble timide. D'autres informations telles que la géologie la présence des failles probablement sont aussi accélérateurs de processus et impacts.



**Figure 24.** Processus des ravinements dans le paysage de Kanyosha. (a). Ravinement associé par le GT déclenché à Kiriri (Figure 6c). (b). Ravinement sur Kasekebuye (Figure 6c et d) associés à nouveaux GTs.

Sur le versant sud de la rivière Kanyosha, s'observe un alignement « presque E-W » des GT et la présence d'érosion fluviale et des sols saturés en eau, qui accéléreraient les processus de glissements de terrain. Les observations de terrain montrent une partie du boc aval (pied) d'un grand GT appelé « la bananeraie » aussi affecté dans son corps par des fissures récentes qui sont des activités récentes d'un aussi grand glissement de terrain nouveau. Ce glissement de terrain est localisé dans le sol et sur les murs de quelques maisons visibles sur ce site. Ce « Earthflow » est en perpétuel mouvement, à côté de cet autre grand Earthflow (Figure 19b),



### 4.3. Analyse spatio-temporelle des impacts

#### 4.3.1. Description des impacts visuels sur terrain

Les impacts des glissements de terrain ont été observés principalement dans notre secteur d'étude (Figure 6c). Les zones (Tableau 6) de mugoboka2 (Figure 25f et i), Busekuro (Figure 25c) et Ruyange (Figure 25a), Sororezo (Figure 25 e et h), Kasekebuye (Figure 25g, Figure 6c et d), l'ancienne comme la nouvelle RN7 (Figure 25d). Ces glissements de terrain ont, pour la plupart, été déclenchés en 2023 et 2024. La cause principale du déclenchement de cet aléa naturel est due aux pluies intenses. Les glissements de terrain sont des types rotationnel slide, debris flows, les earth flows, les translational slide, dont la forme des principaux escarpements est rectiligne et circulaire souvent difficile à remarquer. Dans la partie amont de ces glissements de terrain, s'observent des espèces végétales moyennement à fortement inclinées témoins des glissements de terrain (surtout du type rotationnel slide) profonds. Dans ces cette zone, affleurent les formations géologiques métamorphiques, sédimentaires et magmatiques. Les roches métamorphiques et magmatiques, respectivement, les gneiss et les granites, sont majoritairement altérées. Les argiles et les calcaires y sont également reconnus. Ce caractère géologique, sont l'une des facteurs majeurs prédisposant les sites à des glissements de terrain. Les fissures actives sont beaucoup plus identifiés dans ces types de formations, sur les camps agricoles, dans les coins chauds tels que les marchés et les églises (Figure 25b). Les glissements de terrain bloquent les routes (Figure 25 a, c et d) ce qui réduit les flux des circulations des véhicules et engendre, par conséquent, une diminution des revenus économiques pour le pays et pour la population. A l'inverse, une sur sollicitation des certaines routes par des engins, conduisent aux instabilités de versants et génère des glissements de terrain (Figure 25d), Au-delà de la lithologie, une série de joints, diaclases et plis affectent ces formations et constituent des instabilités dans les versants. La pente est moyenne à forte et la couverture végétale est peu prononcée. Les sites sont en majorités bâtis sur des paysages rajeunis.



**Figure 25.** Impacts sur les infrastructures de base situées dans la partie amont des rivières Ntakangwa et Kanyosha

**Tableau 6. Localisations des GTs et impacts associés**

N°	Latitude	Longitude	Altitude	Quartier/col line	Phénomènes observés	Impacts	Année Occurrence
01	-3.379766	29.398591	929	Mugoboka 2	GT	Maisons, cultures, tuyauterie, ruelle	2024
02	-3.380458	29.398934	957	Mugoboka 2	GT, fissures	Maisons et culture	2024
03	-3.379861	29.398845	945	Mugoboka 2	GT, fissures	Maisons et cultures	2023
04	-3.381011	29.399057	968	Bisekuro	GT, fissures	Maisons, ruelle	2024
05	-3.381529	29.398811	973	Bisekuro	GT, et fissures	Maisons	2023
06	-3.382051	29.398599	959	Bisekuro	GT et des fissures en amont	Maisons	2024
07	-3.381031	29.399494	975	Bisekuro	GT, fissures en extensions	Maisons	2024
08	-3.384029	29.401948	986	Bisekuro	GT, fissures	Maisons, Cultures, Ruelle	2020
09	-3.383391	29.401753	977	Bisekuro	GT	Rivière et plantation	2023
10	-3.38537	29.400968	1040	Bisekuro	GT, fissures en réseau	Route en terre en amont et cultures en aval	2024
11	-3.386374	29.400704	1044	Bisekuro	GT	Cultures Route	2024
12	-3.386305	29.400985	1044	Bisekuro	GT	Route en terre	2024
13	-3.387442	29.400415	1076	Ruyange	GT, fissures actives	Maisons Cultures	2024
14	-3.387782	29.400076	1077	Ruyange	GT, fissures	Eglise détruite	2023
15	-3.388926	29.397293	1053	Ruyange	GT	Route principale bloquée, Maisons	2023
16	-3.386991	29.396551	1010	Ruyange	GT	Maisons	2023
17	-3.386481	29.396946	998	Ruyange	GT	Maisons	-
18	-3.382629	29.401529	981	Bisekuro	GT ancien, activités en aval.	Rivière	2013
19	-3.388501	29.397362	1057	Ruyange	GT	Maisons	2023

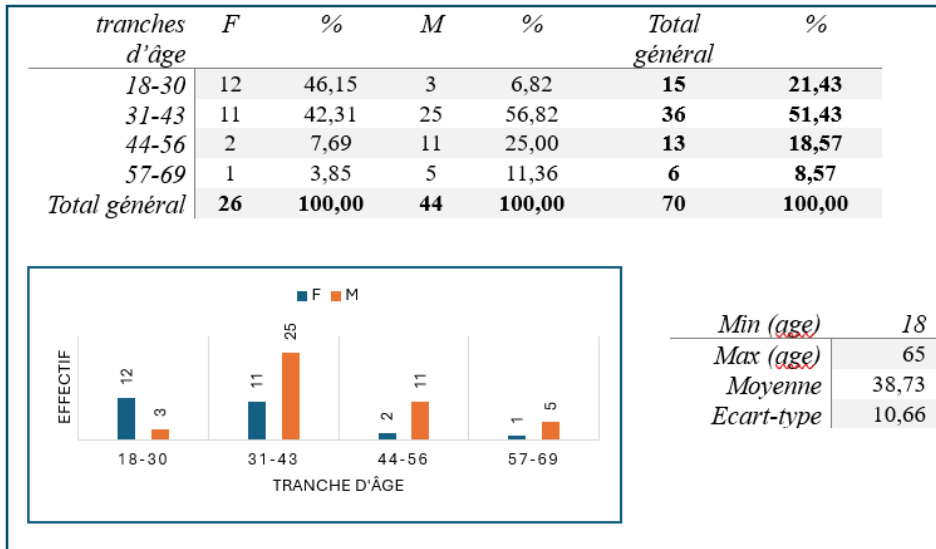
Des maisons (environ 200) et des églises (2 églises) sont détruites ; des personnes abandonnent au quotidien leurs toits à la suite de l'accélération de ces phénomènes. Des cultures comme principale activité sont détruites (Figure 25).



### 4.3.2. Analyses descriptives des impacts basées sur les données d'enquêtes

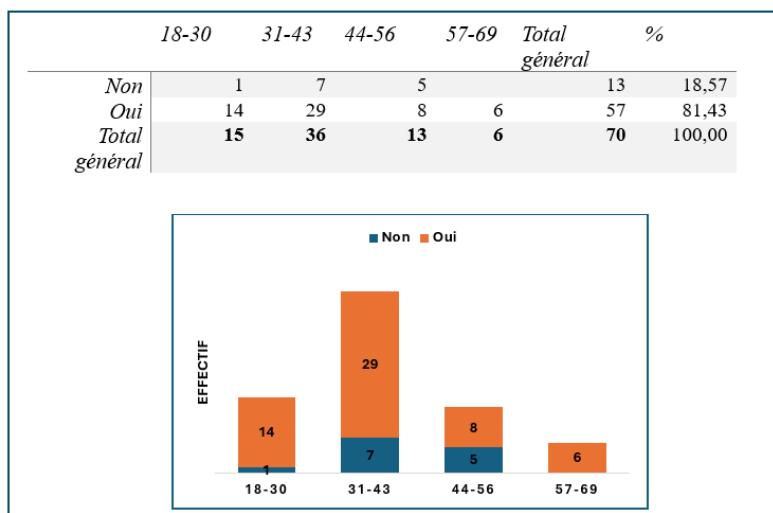
70 maisons ont été visitées. Les critères de choix de cet échantillon aléatoire sont clairement renseignés dans la partie méthodologie. Cependant plusieurs variables ont été identifiées, mais quelques-unes font l'objet de cette étude. Les résultats de cette étude sont en même temps interprétés comparativement aux observations identifiées sur terrain et à la connaissance historique de la zone en termes des aléas dynamiques et leurs impacts associés dans la zone.

◆ Age et Sexe (Tableau 7)



La tranche d'âge de 31-43 ans est globalement dominante pour les hommes. Cependant, chez les femmes c'est la tranche d'âge 18-30 qui prédomine. Les adultes sont les mieux concernés pour la compréhension et explications des défis auxquels ils sont confrontés aux quotidiens en termes des vulnérabilités locales ou environnementales. Ce profil d'âge est celui qui est en majorité renseigné dans les collines visitées par l'étude. Pour la représentativité, les hommes dont l'âge est entre 31-43 représentent 56,82 % contre 46,15% pour les femmes d'âge de 18-30 ans.

◆ Subir l'impact du glissement de terrain par tranche d'âge (Tableau 8)



Le glissement de terrain a touché plus de 80% de l'échantillon, et plus particulièrement la tranche d'âge allant de 31-43. Mugomboka a été beaucoup plus sollicité en termes des fissures et des nouveaux glissements de terrain. Dans ces sites, la grande partie de la population n'a pas étudié. Les personnes en âge avancé sont moins disponibles et moins impliqués.

◆ Profession et tranche d'âge (Tableau 9)

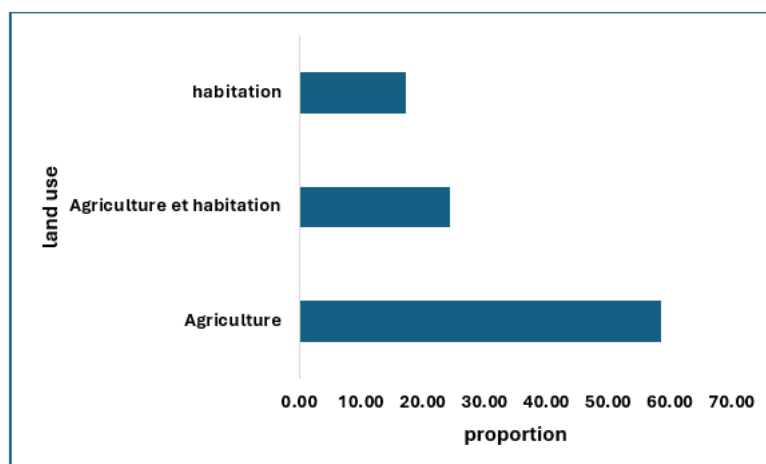
	18-30	31-43	44-56	57-69	Total général	%
Agriculteur	7	13	3	2	25	35,71
chauffeur		2			2	2,86
commerçant	1	3	2		6	8,57
Elève	2				2	2,86
Fonctionnaire	1	1	1		3	4,29
maçon	1	3	2	2	8	11,43
ménagère	1	1			2	2,86
planton				1	1	1,43
technicien		4			4	5,71
aucune	2	9	5	1	17	24,29
<b>Total général</b>	<b>15</b>	<b>36</b>	<b>13</b>	<b>6</b>	<b>70</b>	<b>100,00</b>

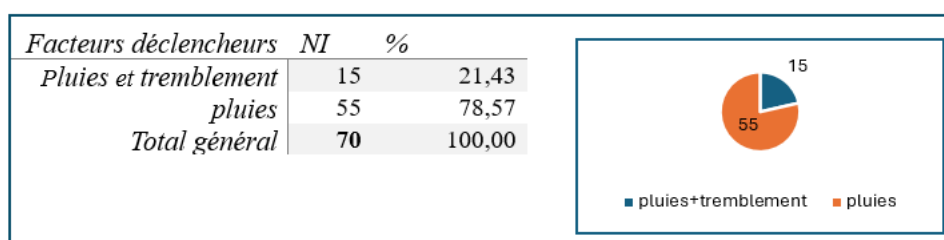
Profession	Count
agriculteur	25
aucune	17
chauffeur	2
commerçant	6
élève	2
fonctionnaire	3
maçon	8
ménagère	2
planton	1
technicien	4

La majorité de personnes enquêtées dit être agriculteur, soit 35,71 %, contre 24,29 % qui sont sans emploi. Un contexte généralisé dans l'ensemble des collines de Bujumbura. Cela, peut jouer négativement sur les stratégies des résiliences face à ces catastrophes, nécessitant souvent les moyens financiers pour leur efficacité.

◆ Utilisation des terres (Tableau 10)



◆ Facteurs déclencheurs (Tableau 11)



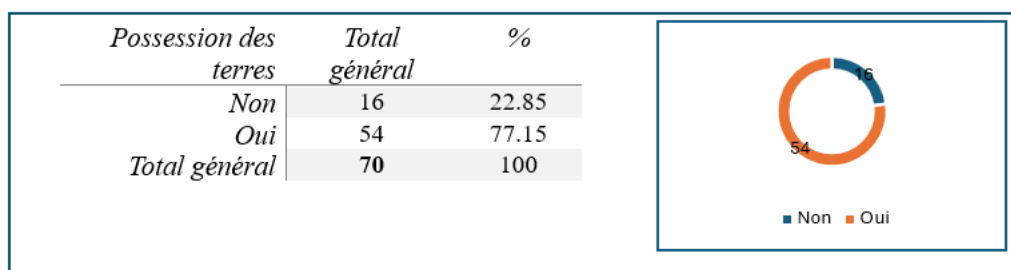
Au-delà de compréhension empirique sur les éléments déclencheurs de la région, dans les collines de Bujumbura, 55 personnes sur 70, soit un taux de 78.57%, ont estimé que le principal déclencheur des glissements de terrain, est la pluie contre 15 soit 21. 43% qui pensent à l'association des pluies et tremblement de terre. En effet, dans certains contextes, le déclenchement des glissements de terrain se font ressentir sous forme des coups de tonnerre générant ainsi des mouvements vibratoires dans la zone. Surement que ce cas est beaucoup plus fréquent dans les collines, et aurait été assimilé au mouvement sismique par la population durant la pluie. Ceci ne réfute pas la possibilité d'une telle hypothèse étant donné que le secteur est coincé entre les épaules du rift, sujettes des failles ou mouvements sismiques actifs.

◆ Occurrence des glissements selon les années (Tableau 12)

Occurrences	2020	2022	2023	2024	<2020	2023 et 2024	Total général
1 fois				4	3	2	9
2 fois				2	1	14	17
3 fois	2			3	1		6
pas de souvenir					6		6
Plusieurs	2	6	4	9	9	2	32
<b>Total général</b>	<b>4</b>	<b>6</b>	<b>4</b>	<b>18</b>	<b>20</b>	<b>18</b>	<b>70</b>

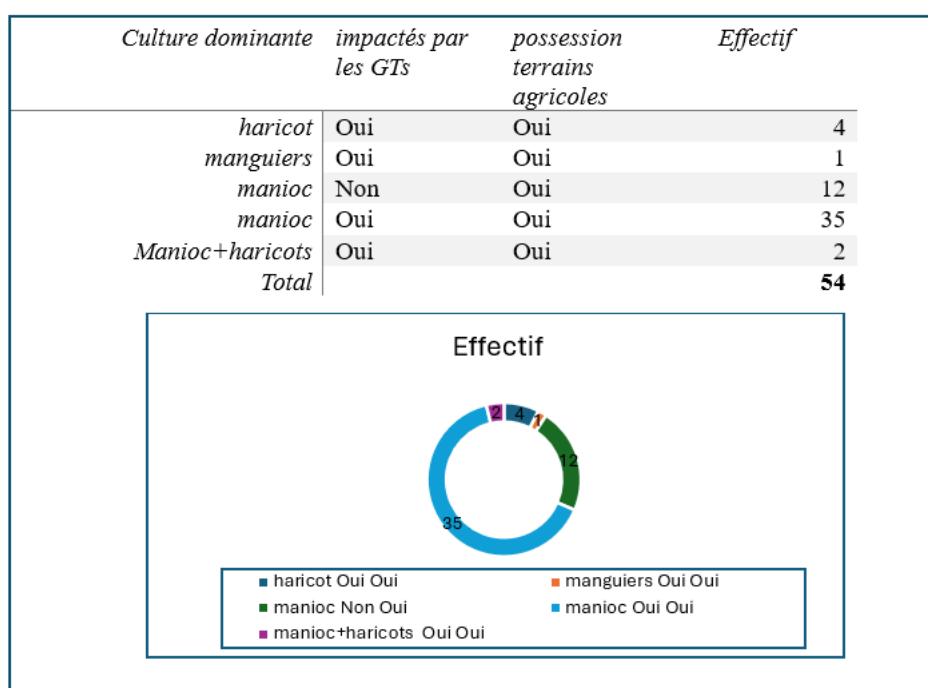
La période de 2023 et 2024 a été prédominante en termes d'occurrences et récurrences des glissements de terrain dans ces sites et, celle d'avant 2020 en a été aussi dominante. Cela, en a été démontré dans les parties précédentes.

◆ Possession des terres arables (Tableau 13)



Ce tableau montre la proportion des personnes qui sont en possession des terrains agricoles ; c'est en majorité 77.15 % contre 22.85 %. En vrai, la plupart des personnes ne possédant pas des terrains agricoles, font des petites activités agricoles familiales et donc, autour de leurs maisons. Cela conduit également à des pratiques non appropriées qui sont favorables à des vulnérabilités liées aux glissements de terrain dans leur environnement immédiat. La culture dominante étant les maniocs, plus 35 personnes sur 54 en possessions de terres agricoles, sont pleinement impactées par les glissements de terrain, contre 12 qui en possèdent et ne voyant pas leurs champs de culture Impactés (terrains agricoles) par le glissement (Concerne les 54 individus en possession) (Tableau 14)

- ◆ Impactés (terrains agricoles) par le glissement (Concerne les 54 individus en possession) (Tableau 14)



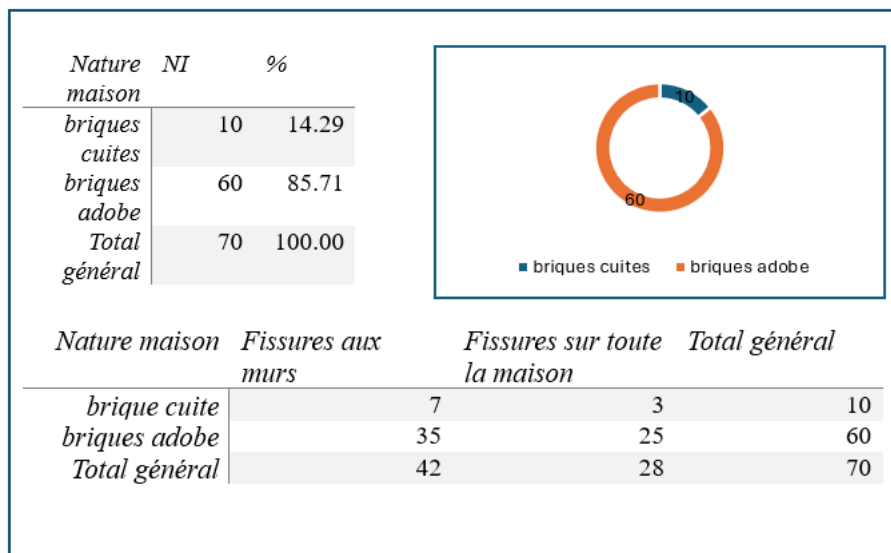
- ◆ Collines touchées par le glissement et conscience des risques (Tableau 15)

<i>Conscience</i>	<i>NI</i>	<i>%</i>	<i>Collines</i>	<i>NI</i>	<i>%</i>
<i>Non</i>	17	24,29	<i>Bisekuro</i>	8	11,43
<i>Oui</i>	53	75,71	<i>Mugomboka 1</i>	1	1,43
<b>Total général</b>	<b>70</b>	<b>100</b>	<i>Mugoboka2</i>	39	55,71
			<i>Ruyange</i>	2	2,86
			<i>Ruyange</i>	4	5,71
			<i>Sororezo</i>	16	22,86
			<b>Total général</b>	<b>70</b>	<b>100</b>

La conscience et culture de risque sont un atout qui réduit de manière holistique les effets de vulnérabilités et des risques associés. Dans ces collines, 75.71% sont conscients du danger auquel, ils sont confrontés au quotidien. Cependant, les impacts continuent à évoluer dans ces

zones, surtout celui de Mugomboka 2 ouvrant une nouvelle piste sur l'absence de gestion efficace des aléas dans la région.

- ◆ Type des matériaux utilisés dans la construction des maisons en termes d'effectif et de proportion (Tableau 16)



Les éléments en lien avec la nature des maisons ici sont les fissures. Par conséquent, à l'issue de cette analyse, le tableau montre la fréquence élevée des fissures dans les maisons construites en briques adobe, soit 85.71% que pour celles construites en briques cuites, soit 14.29 %. Spécifiquement, 35 maisons sur 60 sont partiellement impactées par les fissures pour les maisons en briques adobe, tandis que 25 maisons en adobes sur 60, sont impactées totalement. Pour les maisons en briques cuites, 7 maisons sur 10 sont impactées partiellement par des fissures tandis que 3 sur 10 maisons le sont totalement. En conclusion, le choix de matériaux est important pour l'atténuation des impacts liées aux fissures qui sont généralement provoqués par les glissements de terrain nouveaux et ceux qui sont en constante activité. Cette réflexion fait appel également à la possession des moyens financiers pour une transite des maisons en briques adobes (très majoritaires), vers celles, construites en briques cuites.

## 5. DISCUSSIONS

Les glissements de terrain observés dans les collines de Bujumbura en période 2024 sont en dynamiques complexes dictées à la fois par les facteurs anthropiques et naturelles. Cette étude, à travers ses trois composantes, telles que énoncées dans le titre principal, dont l'actualisation d'un inventaire existant (Kubwimana *et al.*, 2021), la compréhension des processus dans l'espace et le temps, ainsi que les impacts associés, a permis de mettre en avant la confirmation des hypothèses de recherche telles que annoncées et d'apporter les éléments de réponses aux questions soulevées.

### 5.1. Inventaire des glissements de terrain et processus

Les résultats de cette étude montrent une augmentation hors commun d'apparition des glissements de terrain, dans la période récente de 2021 à 2024. Ceci vient de confirmer la première hypothèse énoncée dans ce travail. La plus part de ces glissements de terrain sont nouveaux, et sont survenus en formes de fissures profondes, témoins des glissements de terrains du type rotational slide ; repartis en grande partie dans les zones de pentes et altitudes importantes, les gneiss altérées, quartzites, les intrusions granitiques, des sols argileux et sédiments fluvio-lacustres du rift. Ils sont les principaux destructeurs dans les champs des cultures (surtout des manioc) tel que présenté dans la rubrique d'analyse d'impacts. A cela, s'ajoutent les earthflows, qui sont majoritairement volumineux, et longent sur des altitudes moyennes et des pentes modérées à raides. En contact avec les rivières, dans les cas exceptionnels, ils peuvent transporter les sédiments supplémentaires vers ces rivières, augmentant ainsi leur contenu sédimentaire et créer des barrages naturels. C'est le cas de earthflow nouvellement identifié dans cet inventaire, en activité similaire avec celui dit « la bananeraie » qui lui est proche, et reconnu par Nibigira *et al.* (2018) et Kubwimana *et al.* (2021). Leurs mouvements sont présents, suite aussi, à la dynamique de la rivière Kanyosha à la base (Figure 19b). Comme l'a souligné Kubwimana *et al.* (2021) et bien d'autres chercheurs régionaux, notre inventaire, n'a pas tenu compte de la représentativité des nouvelles activités des glissements de terrain, en raison de leur petitesse en termes de superficie sur terrain (par exemple, Jacobs *et al.*, 2017). La grande partie de notre inventaire étant faite sur base de nos observations in situ détectant les nouveaux glissements de terrain sous formes des points d'initiations. Ce constat ne nous a pas permis de comprendre leurs influences en termes de superficies qu'ils occupent dans l'ensemble de la zone d'étude. D'où le rapport du type taille-fréquence n'a pas été calculé comme le suggère par exemple, Malamud *et al.* (2004) et Havenith *et al.* (2022). Aussi, pour ces activités, certaines étant des glissements profonds, la compréhension de leur influence sur les pentes n'a pas été signalée en raison des processus et conditions géohydrologiques en présence et, en combinaison avec la nature de matériaux qui jouent sur la stabilité des versants. La démarche serait de cibler les points à proximité de ces glissements, tel que proposé par Kubwimana *et al.* (2021), par exemple. Pour l'inventaire de Kubwimana *et al.* (2021), certains glissements de terrains ont presque disparu et ont été rapidement recolonisés par la végétation. Cette observation a été faite en amont sur Google Earth et confirmée en partie, sur terrain.

Nos observations basées sur les interviews, soutiennent d'une part, l'importance des pluies intenses comme étant le facteur déclencheur de ces glissements de terrain. Cependant, des

travaux de recherches montrent que dans la région du rift, les combinaisons des facteurs de prédispositions, par exemple, [Kubwimana et al. \(2021\)](#), [Dille et al. \(2022\)](#), et tels que la pente, la géologie, l'altitude, sont aussi favorables aux occurrences des glissements de terrain. Bien que la zone soit située dans la partie centrale des épaules occidentales du rifts est africain, tel que le montrent par exemple, [Delvaux et al. 2010](#) et [Delvaux et al. \(2017\)](#), il ne s'est pas remarqué des signaux des soubresauts sismiques comme étant facteur déclencheur des glissements de terrain pour la période de 2021-2024 ; contrairement aux réponses fournies par près de 21.43% des personnes enquêtées (soit 15 personnes sur 70 interrogées) à ce sujet et qui mettent en avant, le rôle des séismes dans les nouvelles apparitions des glissements de terrain durant les pluies. Ce qui peut être confondu aux mouvements des glissements de terrain pendant leurs déclenchements.

Nous montrons aussi, avec plus de recul (car ce n'est qu'un constat préliminaire), le rôle des ravinements, prononcé sur terrain, comme facteur d'accélérateur des processus conduisant à l'occurrence des glissements de terrain dans certains endroits et se développent souvent dans les zones à forte concentration anthropique. C'est le cas par exemple du grand ravin de Kasekebuye tel que démontré dans la partie précédente, celui de Kiriri en relation avec un glissement de terrain du type translationnel, Ce constat a été souligné par [Kubwimana et al. \(2021\)](#). La présence des réseaux de drainage, qu'ils soient naturels ou anthropiques sont à surveiller. Sur les versants de la RN7 (Figure 20 c), ces types des processus sont observés, rendent les sols humides (Figure 20 b), détruisent les pentes et contribuent aux mécanismes du déclenchement des nouveaux glissements de terrain. Tels sont des éléments de réponses fournies à la première question soulevée par ce travail.

La proportion soulignée dans notre inventaire, montrent que 56,7 % des glissements de terrain se sont déclenchés en 2024, mettant en avant, l'évolution récente de ces événements, confirmant les conclusions de [Kubwimana et al. \(2021\)](#) sur la dynamique continue des glissements de terrain sur ces collines à démographie croissante. [Dille et al. \(2022\)](#), montrent, dans une étude de cas de glissement de Funu, site peuplé situé dans le périmètre de Bukavu (l'est de la RD Congo), que l'activité liée à ce type de processus géomorphologique issu d'un environnement à démographie croissante, avec des pratiques d'urbanisation incontrôlées, le glissement de terrain de Funu, est associé à d'autres types de processus en combinaison avec les déclencheurs. Cette situation est plus soulignée dans cette étude qui met avant le caractère combinatoire des processus naturels et humains ayant conduit aux déclenchements des glissements de terrain en 2024 et la lecture de l'évolution pluviométrique faite en amont, ne mentionne pas d'événements pluvieux exceptionnels conduisant à des impacts extrêmes entre 2021-2024. La distribution des types des glissements de terrain en activités, par exemples les rotationnels slides et les earth flows dénote la persistance de conditions favorables à la réactivation de glissements ; ceci en lien avec les travaux de [Dille et al. \(2022\)](#) sur les dynamiques de réactivation des glissements ([Kubwimana et al. 2021](#)). En complément, une urbanisation rapide et informelle ainsi que des changements dans l'utilisation et l'affectation des terres, notamment la déforestation, au profit de l'agriculture, ont une part de contribution dans les instabilités des pentes mettant en jeu leur résistance aux glissements de terrain ([Petley, 2012](#) ; [Dewitte et al., 2021](#)). Les facteurs de prédisposition sont, la pente, la géologie locale, caractérisée des roches altérées, et l'usage des terres, avec une pression démographique croissante sur les zones vulnérables ([Nibigira et al., 2018](#); [Depicker et al., 2021](#), [Kubwimana et al., 2021](#) ; Cette étude). Pour [Depicker et al. \(2021\)](#),



la démographie croissante et le changement dans l'utilisation des terres sont sensés exacerber les risques des glissements de terrain dans les zones montagneuses. Ce cas est similaire à notre zone où la population est beaucoup exposées dans des zones escarpées converties en des champs de cultures pour les maniocs par exemple. Dans plusieurs de cas, les lits des rivières sont urbanisés, servant des matériaux des constitutions dans la zone. Cette pratique est assimilée à la pauvreté, au manque de culture des risques tels que les résultats d'enquêtes (bien que non représentatifs et ciblés dans les sites spécifique) le montrent, où la plupart des populations n'ont pas étudiés et restent sans emplois.

## 5.2.Impacts des glissements de terrain et stratégie de gestion

Partant de nos résultats, les impacts tels que identifiés à deux échelles, par les observations et descriptions visuelles des impacts, et par une campagne de collecte de données d'enquêtes, sont spectaculairement présents. Ainsi, visuellement, le résultat d'observations montre des destructions des infrastructures à tous les niveaux. Ce sont notamment, des impacts sur les cultures, les communautés locales et les infrastructures. Ceci vient de confirmer la seconde hypothèse de ce travail. Comme le soulignent les travaux de [Dille et al. \(2022\)](#), les glissements de terrain peuvent entraîner des corollaires économiques et sociaux dévastatrices, en particulier dans les régions à forte densité de population et à infrastructure limitée. Les pertes agricoles, la destruction des habitats, et les déplacements de population observés entre 2021 et 2024 dans les collines de Bujumbura s'alignent avec les conclusions de [Dille et al. \(2022\)](#), mais aussi en partie de [Depicker et al. \(2021\)](#), qui mettent en avant la vulnérabilité prononcée des communautés face à de tels aléas, notamment en raison de l'absence de stratégies de gestion des risques efficaces. En outre, l'étude révèle que les glissements de terrain dans les collines de Bujumbura, particulièrement dans les zones de Mugoboka2, Busekuro, Ruyange, Sororezo, Kasekebuye (par exemple, tableau 6), ainsi que le long de l'ancienne et la nouvelle RN7, ont causé des impacts significatifs sur les infrastructures et les communautés locales. Les routes, écoles, les églises et les marchés, qui sont des enjeux importants dans la communauté, ont été considérablement impactés. Les pentes moyennes à fortes, les formations géologiques métamorphiques, sédimentaires et magmatiques (comme les gneiss, granites, argiles et calcaires), ainsi que les fissures actives observées sur ces sites, sont autant de facteurs qui prédisposent ces zones aux instabilités. Les impacts des glissements de terrain incluent non seulement la destruction d'infrastructures, comme les routes bloquées, mais aussi une diminution des revenus économiques ([Sekajugo et al., 2024](#)), en raison de la perturbation des flux de circulations. De plus, l'intensification de l'usage de certaines routes par des engins lourds a aggravé l'instabilité des versants, générant ainsi davantage de glissements de terrain. C'est le cas de l'actuelle route RN7 qui a été fortement impactée par des glissements de terrain récents (entre 2023-2024). Cependant, les maisons construites en briques adobes sont beaucoup plus vulnérables et moins résistantes aux efforts des glissements de terrain que celles construites en briques qui et béton armé. D'où un type d'événement pourrait être aussi étudié suivant la nature des matériaux en présence.

Face à cette situation, il est impératif de développer des stratégies de gestion des risques qui prennent en compte les spécificités géologiques et géomorphologiques de la région. Cela pourrait inclure la reforestation des zones dégradées, l'amélioration des systèmes de drainage pour réduire l'impact des fortes pluies, et la mise en place de politiques d'urbanisation plus strictes pour éviter l'occupation des zones vulnérables.

## CONCLUSION

Ce travail a permis de mettre avant un inventaire géomorphologique multi-temporel détaillé des glissements de terrain dans la zone, en partant de l'inventaire existant. A l'issue de cette étape, une caractérisation des glissements de terrain par rapport à leur typologie, leur distribution spatiale, leurs occurrences, et leur activité récente a été bien aboutie. L'analyse des données récoltées systématiquement sur deux échelles d'investigation, l'une basée sur l'exploitation minutieuse des images satellites Google Earth et l'autre sur les faits observés sur terrain a été aussi réalisée.

A l'insu de cette analyse, l'ensemble de la zone étudiée place en tête les earthflows, suivis de debris flows, des translational slides ; des rotational slides, et en fin des avalanches. Les earth flows sont majoritairement repartis dans la partie sud de la zone d'étude et vers l'ouest. Ils se concentrent beaucoup plus en contact avec les rivières, surtout dans les versants sud de la rivière Kanyosha et la RN7 abandonnée, du côté de Buhonga. Les debris flows sont aussi observés, près de rivières et plus précisément dans les zones de talweg. Les glissements de terrain du type « rotational slide », ont été observés dans la partie nord et centrale de notre secteur d'étude, ils sont comptés en majorité parmi les nouvelles activités des glissements de terrain déclenchées en périodes de mars, avril et mai 2024. Des translational slides sont remarqués dans les versants des collines de Kiriri, près de l'université du Burundi. Ils ont été en grande partie associés à des processus des ravinements en aval et sont incisés par la rivière. En termes d'occurrence, les glissements de terrain apparus en 2024 en majorité profonds et sont beaucoup observés sur les altitudes assez importantes reparties surtout dans les geins altérées, les quartzites et les intrusions granitiques.

La prédominance des glissements, particulièrement dans les zones de pentes abruptes et proches des rivières, souligne l'influence des facteurs géomorphologiques et hydrologiques sur la susceptibilité aux glissements. L'analyse des facteurs déclencheurs et de prédisposition, soulignent que les activités de terrain sont majoritairement récentes, avec une forte concentration d'événements en 2024. Cette tendance est liée aux événements pluvieux en combinaison avec la pente, la lithologie, l'altitude et l'anthropisation pris ensemble, comme un facteur unique de déclenchements des glissements de terrain. Les impacts qui en découlent sont spectaculaires et ont mis en périls des biens matériels et humains importants.

Les glissements profonds, qui sont les plus fréquents, sont souvent précédés de signes avant-coureurs tels que des fissures dans les infrastructures, soulignant l'importance de la surveillance et de la prévention.

Les résultats d'enquêtes sont interpellatifs et les besoins de la communauté en termes de renforcement des infrastructures de base, des stratégies de sensibilisation sont identifiés. Ils alertent, en même-temps, les autorités administratives à tous les niveaux pour la gestion holistique des risques des catastrophes dans cette zone. Il est essentiel de renforcer les mesures d'atténuation, telles que l'aménagement du territoire sur la base d'une planification bien adaptée.

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. **AghaKouchak, A., Chiang, F., Huning, L.S., Love, C. a., Mallakpour, I., Mazdidasni, O., Moftakhari, H., Papalexiou, S.M., Ragno, E., Sadegh, M., 2020.** Climate Extremes and Compound Hazards in a Warming World. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences* 48, 1–30. doi:10.1146/annurev-earth-071719-055228.
2. **Agresti, A., 2018.** *Statistical methods for the social sciences.* Pearson.
3. **Balegamire C, Michellier C, Muhigwa JB, Delvaux D, Imani G, Dewitte O., 2017.** Vulnerability of buildings exposed to landslides: a spatio-temporal assessment in Bukavu (DR Congo). *Geo-Eco-Trop* 41:263–278
4. **Bangalore, M.; Hallegatte, S.; Vogt-Schilb, A.; Rozenberg, J.; 2017.** Unbreakable: Building the Resilience of the Poor in the Face of Natural Disasters. *Climate Change and Development.* © Washington, DC: World Bank. <http://hdl.handle.net/10986/25335>
5. **Bennett, G.L, JJ Roering , BH Mackey , AL Handwerker , DA Schmidt , BP Guillod, 2016.** Une sécheresse historique freine les coulées de boue dans le nord de la Californie *Géophys. Res. Lett.* , 43, pp. 5725 - 5731 , [10.1002/2016GL068378](https://doi.org/10.1002/2016GL068378)
6. **Bigirimana J. 2012.** Urban plant diversity patterns, processes and conservation value in Sub-Saharan Africa: case of Bujumbura in Burundi. Thèse de doctorat : Université Libre de Bruxelles (Belgique), 197p
7. **Brabb, E. E., & Harrod, B. L., eds., 1989.** Landslides: Extent and economic significance, in *Proc. 28th Int. Geol. Cong., Washington, DC, 1989.* Rotterdam, Balkema, 349 p.
8. **Chen, G., Li, X., Liu, X., Chen, Y., Liang, X., Leng, J., Xu, X., Liao, W., Qiu, Y., Wu, Q., Huang, K., 2020.** Global projections of future urban land expansion under shared socioeconomic pathways. *Nature Communications* 11, 1–12. doi:10.1038/s41467-020-14386-x
9. **Climate-data.org :** Les données climatiques pour les villes du monde entier : ville de Bujumbura (Burundi) <https://fr.climate-data.org/afrique/burundi/bujumbura-mairie/bujumbura-1073/> consulté le 21 juillet 2024.
10. **CRED UNDRR, 2020.** Human cost of disasters: An overview of the last 20 years 2000-2019. Brussels, Belgium.
11. **Cruden, D.M. & Varnes D.J., 1996.** Landslide types and processes. Turner AK and Schuster RL (Eds.) *Landslides: investigation and mitigation.* Washington, D.C., National Academey Press. 247 : 36-75
12. **Cruden, D.M., 1991.** A simple definition of a landslide. *Bull. Int. Assoc. Eng. Geol.* 43, 27–29. <https://doi.org/10.1007/BF02590167>
13. **Davis, J. C. 1957.** "The Nature of Landslides." *Journal of Geology* 65, no. 1: 12-21.
14. **Defries, R. S., Rudel, T., Uriarte, M., & Hansen, M. (2010).** Deforestation driven by urban population growth and agricultural trade in the twenty-first century. *Nature Geoscience*, 3(3), 178–181. <https://doi.org/10.1038/ngeo756>
15. **Delvaux D. & Barth A., 2010.** African stress pattern from formal inversion of focal mechanism data, *Tectonophysics*, Volume 482, Issues 1–4, 2010, Pages 105-128, ISSN 0040-1951, <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2009.05.009>
16. **Delvaux, D., Mulumba, J.-L., Fiama, S.B., Sebagenzi, M.N.S., Kervyn, F., Havenith, H.-B., 2017.** Seismic hazard assessment of the Kivu rift segment based on a new sismo-tectonic zonation model (Western Branch, East African Rift system). *J. Afr. Earth Sci.* 134, 831–855. DSCR, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2016.10.004>

17. Depicker, A., Govers, G., Jacobs, L., Campforts, B., Uwihirwe, J., and Dewitte, O., 2021. Interactions between deforestation, landscape rejuvenation, and shallow landslides in the North Tanganyika – Kivu Rift region, Africa, *Earth Surface Dynamics* 9, 445–462. doi: <https://doi.org/10.5194/esurf-9-445-2021>
18. Depicker, A., Govers, G., Jacobs, L., Vanmaercke, M., Uwihirwe, J., Campforts, B., Kubwimana, D., Mugaruka Bibentyo T., Maki Mateso, J.-C., Nahimana, L., Smets, B., Dewitte, O., 2024. Mobilization rates of landslides in a changing tropical environment: 60-year record over a large region of the East African Rift, *Geomorphology*, Volume 454, 2024, 109156, ISSN 0169-555X, <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2024.109156>.
19. Dewitte, O., Dille, A., Depicker, A., Kubwimana, D., Maki Mateso, J.-C., Bibentyo, T.M., Uwihirwe, J., Monsieurs, E., 2021. Constraining landslide timing in a data-scarce context: from recent to very old processes in the tropical environment of the North Tanganyika-Kivu Rift region. *Landslides* 18, 161–177. doi:10.1007/s10346-020-01452-0.
20. Dille A, Kervyn F, Mugaruka Bibentyo T, Delvaux D, Ganza GB, Ilombe Mawe G, Kalikone Buzera C, Safari Nakito E, Moeyersons J, Monsieurs E, Nzolang C, Smets B, Kervyn M, Dewitte O., 2019. Causes and triggers of deep-seated hillslope instability in the tropics—insights from a 60-year record of Ikoma landslide (DR Congo). *Geomorphology*. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2019.106835>
21. Dille, A., Dewitte, O., Handwerger, A.L., Oreya N., Derauw D., Ganza Bamulezi G., Ilombe Mawe G., Michellier C., Moeyersons J., Monsieur E., Mugaruka Bibentyo T., Samsonov S., Smets B., Kervyn M., Kervyn F., 2022. Acceleration of a large deep-seated tropical landslide due to urbanization feedbacks. *Nat. Geosci.* 15, 1048–1055 <https://doi.org/10.1038/s41561-022-01073-3>
22. Données mondiale publiées. juillet 2024. <https://www.donneesmondiales.com/afrique/burundi/index.php>
23. Field, A., 2017. "Discovering Statistics Using IBM SPSS Statistics." SAGE Publications.
24. Fleming, R.W., & Johnson, A.M., 1989. Structures associated with strike-slip faults that bound landslide elements. *Engineering Geology*, 27(1-4), 39-114.
25. Freedman, D., Pisani, R., & Purves, R., 2007. "Statistics." W.W. Norton & Company.
26. Glade, T. & Crozier, M.J., 2005. The nature of hazard and impact. In: T. Glade, M.G. Anderson & M.J. Crozier (Editors), *Landslide hazard and risk*. Wiley, Chichester, 43-74.
27. Guzzetti, F., Peruccacci, S., Rossi, M., Stark, C.P., 2008. The rainfall intensity–duration control of shallow landslides and debris flows: an update. *Landslides* 5, 3–17. (<https://doi.org/10.1007/s10346-007-0112-1>)
28. Handwerger, AL. ; Booth , AM. ; Huang , M.-H. ; Fielding , EJ. ; Bürgmann, R. ; 2019. Le passage d'une sécheresse à des précipitations extrêmes transforme un glissement de terrain stable en une catastrophe *Sci. Rep.* , 9 , pp. 1 - 12 , [10.1038/s41598-018-38300-0](https://doi.org/10.1038/s41598-018-38300-0)
29. Havenith, H.-B., Guerrier, K., Schlögel, R., Braun, A., Ulysse, S., Mreyen, A.-S., Victor, K.-H., Saint-Fleur, N., Cauchie, L., Boisson, D., & Prépetit, C., 2022. Earthquake-induced landslides in Haiti: analysis of seismotectonic and possible climatic influences. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 22 (10), 3361-3384. doi:10.5194/nhess-22-3361-2022 <https://hdl.handle.net/2268/296535>
30. Highland, LM & Bobrowsky, P. 2008. *The Landslide Handbook – A Guide to Understanding Landslides (Manuel des glissements de terrain – Guide pour comprendre les*

glissements de terrain). Reston, Virginie, CO : Centre national d'information sur les glissements de terrain (NLIC) de l'US Geological Survey (USGS).

<https://doi.org/10.3133/cir1325>

31. **Hungr, O., Leroueil, S., & Picarelli, L. 2014.** La classification de Varnes des types de glissements de terrain, une mise à jour. *Glissements de terrain*, 11, 167-194.
32. **Iverson, R.M. (2000).** Landslide triggering by rain infiltration. *Water Resources Research*, 36(7), 1897-1910.
33. **Jacobs, L., Dewitte, O., Poesen, J., Delvaux, D., Thiery, W. & Kervyn, M., 2015.** The Rwenzori Mountains, a landslide-prone region? *Landslides*, 13, 519-536.
34. **Jacobs, L., Dewitte, O., Poesen, J., Maes, J., Mertens, K., Sekajugo, J., & Kervyn, M. 2017.** Landslide characteristics and spatial distribution in the Rwenzori Mountains, Uganda. *Journal of African Earth* <https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2016.05.013>
35. **Jacobs, L., Kervyn, M., Reichenbach, P., Rossi, M., Marchesini, I., Alvioli, M., & Dewitte, O. 2020.** Regional susceptibility assessments with heterogeneous landslide information: Slope unit-vs. pixel-based approach. *Geomorphology*, 356, 107084.
36. **Kabanyegeye H., Sikuzani Y.U., Sambieni K.R., Masharabu T., Havyarimana F. & Bogaert J. 2021.** Trente-trois ans de dynamique spatiale de l'occupation du sol de la ville de Bujumbura, République du Burundi. *Afrique SCIENCE*, 18(1): 203-215.
37. **Kargel, J. S., Leonard, G. J., Shugar, D. H., Haritashya, U. K., Bevington, A., Fielding, E. J., ... Young, N. (2016).** Geomorphic and geologic controls of geohazards induced by 48 Nepal's 2015 Gorkha earthquake. *Science (New York, N.Y.)*, 351(6269), aac8353. <https://doi.org/10.1126/science.aac8353>
38. **Keefer D.K., 1984.** Landslides caused by earthquakes. *GSA Bulletin* 1984; 95 (4): 406–421. doi: [https://doi.org/10.1130/00167606\(1984\)95&lt;406:LCBE&gt;2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/00167606(1984)95&amp;lt;406:LCBE&amp;gt;2.0.CO;2)
39. **Kervyn, M., Jacobs, L., Maes, J., Bih Che, V., de Hontheim, A., Dewitte, O., Isabirye, M., Sekajugo, J., Kabaseke, C., Poesen, J., Vranken, L., Mertens, K., 2015.** Landslide resilience in Equatorial Africa: Moving beyond problem identification! *Belgeo* 0–22. <https://doi.org/10.4000/belgeo.15944>
40. **Laghmouch, M. ; Nimpagaritse, G. ; Mudende, L. ; Minani, M. ; Ndereyimana, J. ; Icitegetse, I. ; Naahimana, A. ; Ndarihonyoye, P. ; Niyongabo, JB ; Kervyn, F. 2018.** *Numérisation de la Carte Géologique au 50 000 ème ; Ministère de l'Hydraulique, de l'Énergie et des Mines ; République du Burundi & Musée royal de l'Afrique Centrale (MRAC) : Tervuren, Belgique ; ISBN 978949224429.*
41. **Lewis, S.L., Edwards, D.P., Galbraith, D., 2015.** Increasing human dominance of tropical forests. *Science* 349, 827–832. doi:10.1126/science.aaa9932. Lewis, S. L. and Maslin, M. A.: Defining the Anthropocene, *Nature*, 519, 171–180, <https://doi.org/10.1038/nature14258>
42. **Maki Mateso, J.-C., Bielders, CL, Monsieurs, E., Depicker, A., Smets, B., Tambala, T., Bagalwa Mateso, L., et Dewitte, O., 2023.** Caractéristiques et causes des glissements de terrain naturels et anthropiques dans une région montagneuse tropicale : le flanc du rift à l'ouest du lac Kivu (République démocratique du Congo), *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 23, 643–666, <https://doi.org/10.5194/nhess-23-643-2023>, 2023.
43. **Malamud, B. D., Turcotte, D. L., Guzzetti, F., and Reichenbach, P., 2004.** Landslide inventories and their statistical properties, *Earth Surf. Proc. Land.*, 29, 687–711, <https://doi.org/10.1002/esp.1064>.



44. Messieurs, E.; Jacobs, L.; Michellier, C.; Basimike Tchangaboba, J.; Bamulezi Ganza, G.; Kervyn, F.; Maki Mateso, J.-C.; Mugaruka Bibentyo, T.; Kalikone Buzera, C.; Nahimana, L.; Ndayisenga, A.; Nkurunziza, P.; Thiery, W.; Demoulin, A.; Kervyn, M.; Dewitte, O.; 2018. Landslide inventory for hazard assessment in a data-poor context: a regional-scale approach in a tropical African environment. *Landslides* 15, 2195–2209 <https://doi.org/10.1007/s10346-018-1008-y>
45. Miles, MB, Huberman, AM, & Saldaña, J., 2019. Données qualitatives Analyse : un manuel de méthodes. Sage Publications
46. MINAFFET, 2024. Situation géographique du Burundi et de la ville de montagne de Bujumbura, rapport d'informations [consulté le 20 juillet 2024](https://www.mae.gov.bi/geographie/#:~:text=Le%20Burundi%20est%20entre%2028,m%C3%AAme%20de%20l'Afrique%20Austreale). <https://www.mae.gov.bi/geographie/#:~:text=Le%20Burundi%20est%20entre%2028,m%C3%AAme%20de%20l'Afrique%20Austreale>.
47. Ministère de l'économie français, 2024. Situation socio-economique du Burundi. [Situation économique et financière - BURUNDI | Direction générale du Trésor \(economie.gouv.fr\)](http://economie.gouv.fr). Consulté le 12 août 2024.
48. Moeyersons, J., Trefois, P., Nahimana, L., Ilunga L., Vandecasteele I., Byizigiro V., Sadiki S., 2010. Dynamique des rivières et des glissements de terrain sur la frontière occidentale du rift du Tanganyika, Uvira, RD Congo : observations diachroniques et inventaire SIG des traces d'activité géomorphologique extrême. *Nat Hazards* 53 , 291–311 <https://doi.org/10.1007/s11069-009-9430-z>
49. Mugaruka Bibentyo, T., Dille, A., Depicker, A., Smets, B., Vanmaercke, M., Nzolang, C., Dewaele, S., & Dewitte, O., 2024. Glissements de terrain, incision du substrat rocheux et changements environnementaux induits par l'homme dans une gorge fluviale tropicale formée extrêmement rapidement . *Géomorphologie* , 449 , [109046]. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2023.109046>
50. Mugaruka, BT, Kulimushi, MS, Muhindo, SW & Dewitte, O., 2017. Anatomie de Nyakavogoglisement de terrain (Bukavu, RD Congo) : interaction entre facteurs naturels et anthropiques. *Géo-Eco-Trop*,41, 2: 249-262.
51. Mugisho Bachinyaga, J., Deijns, A., Ilombe Mawe, G., Kervyn, F., Michellier, C., Mugaruka Bibentyo, T., Nkere Buliba, J., Nzolang, C., Smets, B., Dewitte, O., 2022. The flash floods of April 2020 in Uvira (DR Congo) : story of an event with extreme impacts. *EGU General Assembly 2022, Abstracts*. Presented at the EGU General Assembly 2022, Vienna, Austria. <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu22-6223>
52. National Research Council. 1996. *Landslides: Investigation and Mitigation*. Washington, DC: National Academy Press.
53. Nibigira L, Havenith H-B, Archambeau P, Dewals B., 2018. Formation, breaching and flood consequences of a landslide dam. *Nat Hazards Earth Syst Sci* 18:1867–1890. <https://doi.org/10.5194/nhess-18-1867-2018>
54. Nibigira, L., Ozer, P., & Havenith, H.-B., 2016. La responsabilité climatique dans les défis urbains contemporains : évaluation et mise en contexte pour la ville de Bujumbura, Burundi. In P. Ozer, S. Ginesu, ... A. Ozer (Eds.). *La géographie physique et les risques de pertes et préjudices liés aux changements climatiques - Livre de résumés* (pp. 43). Liège, Belgium: ULg - Université de Liège..
55. Nibigira, L.; Draidia, S.; Havenith, H.-B., 2015. GIS-based landslide susceptibility mapping in the Great Lakes region of Africa, Case study of Bujumbura Burundi.

In: *Engineering Geology for Society and Territory* ; Springer : Berlin/Heidelberg, Allemagne ; Volume 2, pp 985–988

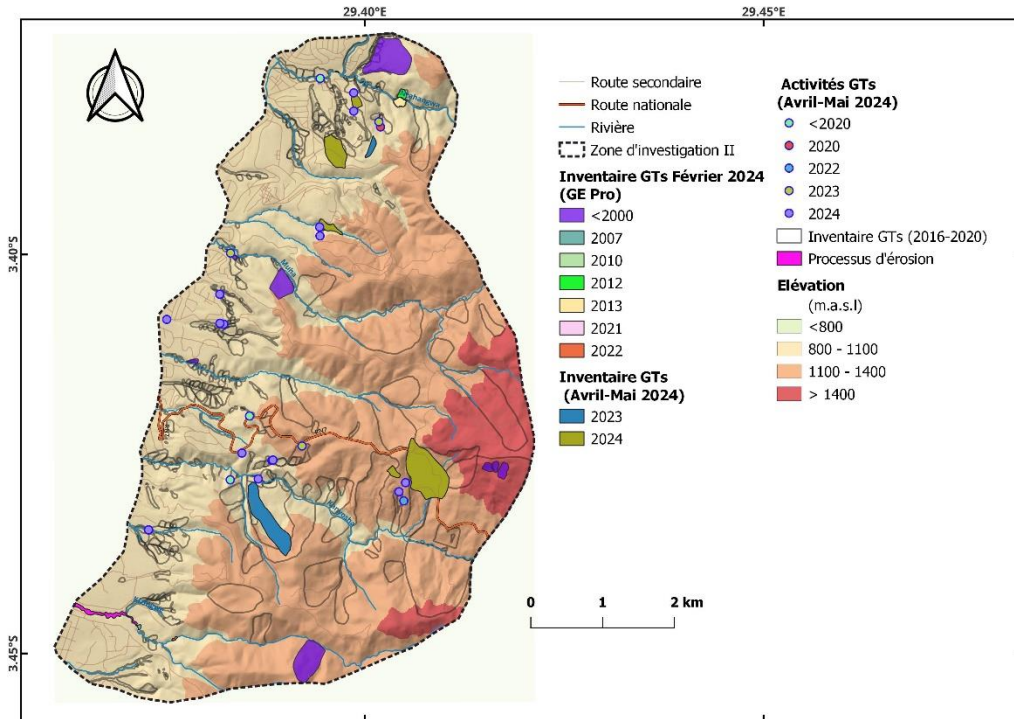
56. **Nsabimana, J., Henry, S., Ndayisenga, A., Kervyn, F., Dewitte, O., et Michellier, C., 2023.** Vulnérabilité des principales infrastructures urbaines aux risques géo-hydrologiques : à quel point la ville de Bujumbura est-elle menacée ? Assemblée générale de l'EGU 2023, Vienne, Autriche, 24-28 avril 2023, EGU23-15281, <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu23-15281>, 2023.
57. **OCHA, 2014.** Rapport détaillé sur le bilan des impacts des inondations et des glissements de terrain dans Bujumbura survenus le 11 février 2014. <https://disasterscharter.org/fr/web/guest/activations/-/article/flood-and-landslide-in-burundi#:~:text=Le%2010%20f%C3%A9vrier%202014%2C%20des,de%20maisons%20ont%20%C3%A9t%C3%A9%20touch%C3%A9es>
58. **OCHA, 2024.** Rapport détaillé sur le bilan des impacts des inondations et glissements de terrain le 23 septembre 2023 et entre janvier et mi-avril 2024 (<https://www.unocha.org/publications/report/burundi/burundi-limpact-des-inondations-effets-el-nino-flash-update-no1-26-april-2024>).
59. **Ozer, P., Ginesu, S., & Ozer, A. (Eds.). 2016.** La géographie physique et les risques de pertes et préjudices liés aux changements climatiques. Liège, Belgium: ULg - Université de Liège.
60. **Ozturk U., Bozzolan E., Holcombe, E. A., Shukla R., Pianosi F., Wagener T. 2022.** How climate change and unplanned urban sprawl bring more landslides. *Nature* **608**, 262-265 doi: <https://doi.org/10.1038/d41586-022-02141-9>
61. **Patton, MQ., 2015.** Qualitative research and evaluation Methodes <https://aulasvirtuales.wordpress.com/wp-content/uploads/2014/02/qualitative-research-evaluation-methods-by-michael-patton.pdf>
62. **Petley D., 2012.** Global patterns of loss of life from landslides. *Geology* 40(10): 927–930.
63. **Pierson, T.C. & Costa, J.E., 1987.** A rheologic classification of subaerial sediment-water flows. *Geological Society of America Reviews in Engineering Geology*, 7, 1-12.
64. **Raju, E., Boyd, E., Otto, F., 2022.** Stop blaming the climate for disasters. *Communications Earth & Environment* 3, 21–22. doi:10.1038/s43247-021-00332-2
65. **Rapport URANOS, 2024 consulté le 20 juillet 2024.** <https://www.ouranos.ca/fr/phenomenes-climatiques/glislements-de-terrain-impacts#:~:text=Impacts%20environnementaux,des%20cours%20d'eau%20voisins>
66. **Schlögl, M., Fuchs, S., Scheidl, C., Heiser, M., 2021.** Trends in torrential flooding in the Austrian Alps: A combination of climate change, exposure dynamics, and mitigation measures. *Climate Risk Management* 32, 100294. doi: 10.1016/j.crm.2021.100294
67. **Schulz, W.H. ; J.a. Coe, P.P. Ricci, G.M. Smoczyk, B.L. Shurtleff, J. Panosky, 2017.** Landslide kinematics and their potential controls from hourly to decadal timescales: insights from integrating ground-based InSAR measurements with structural maps and long-term monitoring data *Geomorphology*, 285, pp. 121-136, [10.1016/j.geomorph.2017.02.011](https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2017.02.011)
68. **Sekajugo, J., Kagoro-R. G., Mutyeber, R.; Kabaseke, C.; Mubiru, D.; Kanyiginya, V.; Vranken, L.; Jacobs, L.; Dewitte, O.; Kervyn, M., 2024.** Exposure and physical vulnerability to geo-hydrological hazards in rural environments: A field-based assessment in East Africa. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 102, 104282, 2212-4209, doi = <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2024.104282>



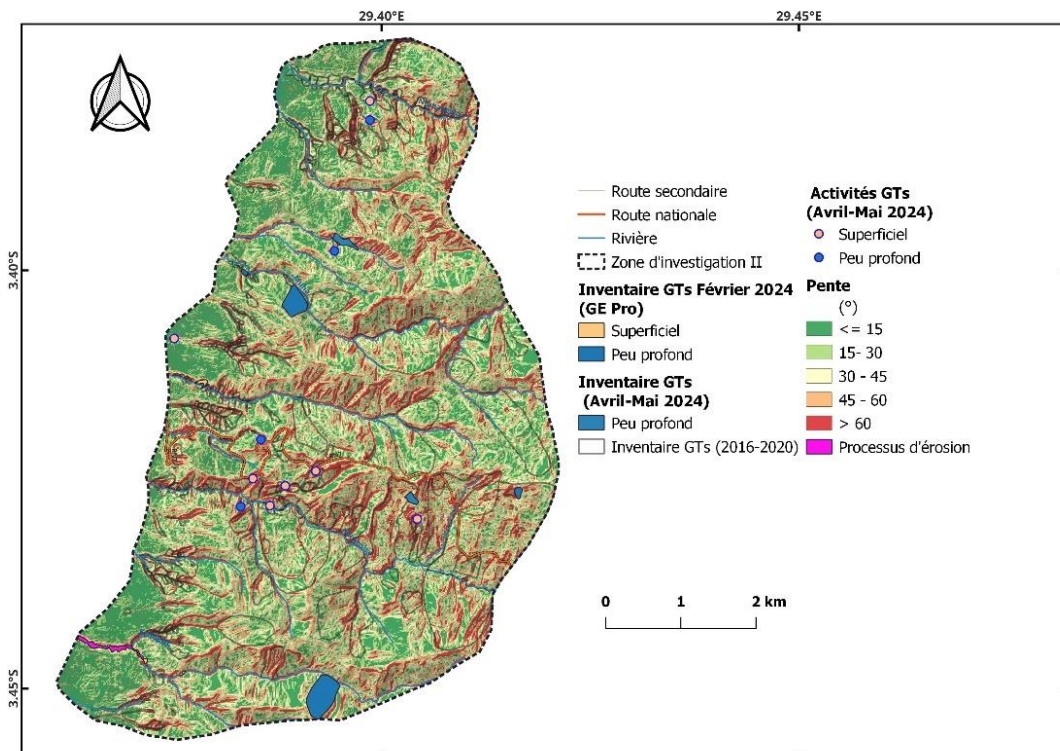
- 69. Sidle, R.C. & Bogaard, T.A., 2016.** Dynamic earth system and ecological controls of rainfall-initiated landslides. *Earth-Science Rev.* 159, 275–291.  
<https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2016.05.013>
- 70. Sidle, R.C., & Ochiai, H., 2006.** Landslides: Processes, Prediction, and Land Use. American Geophysical Union.
- 71. Souverijns, N., Thiery, W., Demuzere, M., Van Lipzig, N.P.M., 2016.** Drivers of future changes in East African precipitation. *Environmental Research Letters* 11, 114011. doi:10.1088/1748-9326/11/11/114011.
- 72. Susman, P., O’Keefe, P., Wisner, B., 2019.** Interpretations of Calamity, Interpretations of Calamity. Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780429329579>
- 73. Tanyaş, H., Görüm, T., Kirschbaum, D., Lombardo, L., 2022.** Could road constructions be more hazardous than an earthquake in terms of mass movement? *Natural Hazards*. doi:10.1007/s11069-021-05199-2
- 74. Tilloy, A., Malamud, B.D., Winter, H., Joly-Laugel, A., 2019.** A review of quantification methodologies for multi-hazard interrelationships. *Earth-Science Reviews* 196, 102881. doi:10.1016/j.earscirev.2019.102881.
- 75. Turner, B.L., Lambin, E.F., Reenberg, A., 2007.** The emergence of land change science for global environmental change and sustainability. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 104, 20666–20671. doi:10.1073/pnas.0704119104.
- 76. Varnes D.J., 1978.** Slope movement types and processes. In: Schuster RL, Krizek RJ, (eds). *Landslides: Analysis and control*, Special Report 176. Washington, DC, USA: Transportation Research Board, National Research Council, pp.11–33.
- 77. Wisner, B., Gaillard, J. C., & Kelman, I., 2012.** *The Routledge handbook of hazards and disaster risk reduction*. Routledge. Retrieved from [https://books.google.fr/books?hl=fr&lr=&id=mY23AwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR1&dq=Wisner+et+al.,+2012&ots=lpPmvDKLcN&sig=eLRBL6uoqvgyz0ceT\\_GeGnW9chM#v=onepage&q=Wisner+et+al.%2C+2012&f=false](https://books.google.fr/books?hl=fr&lr=&id=mY23AwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR1&dq=Wisner+et+al.,+2012&ots=lpPmvDKLcN&sig=eLRBL6uoqvgyz0ceT_GeGnW9chM#v=onepage&q=Wisner+et+al.%2C+2012&f=false)
- 78. Woldpop, 2024.** Rapport sur la situation socio-démographique de Bujumbura, Burundi. <https://worldpopulationreview.com/world-cities/bujumbura-population>. Consulté le 12 août 2024.
- 79. Youd, T.L., 1973.** Liquefaction, flow, and associated ground failure. *U.S. Geological Survey Circular*, 688, 1-12.
- 80. Zygouri, V., Koukouvelas, IK., 2019.** Glissements de terrain et barrages naturels dans la rivière Krathis, nord du Péloponnèse, Grèce. *Bull Eng Geol Environ* **78**, 207–222. <https://doi.org/10.1007/s10064-017-1225-y>

## ANNEXE

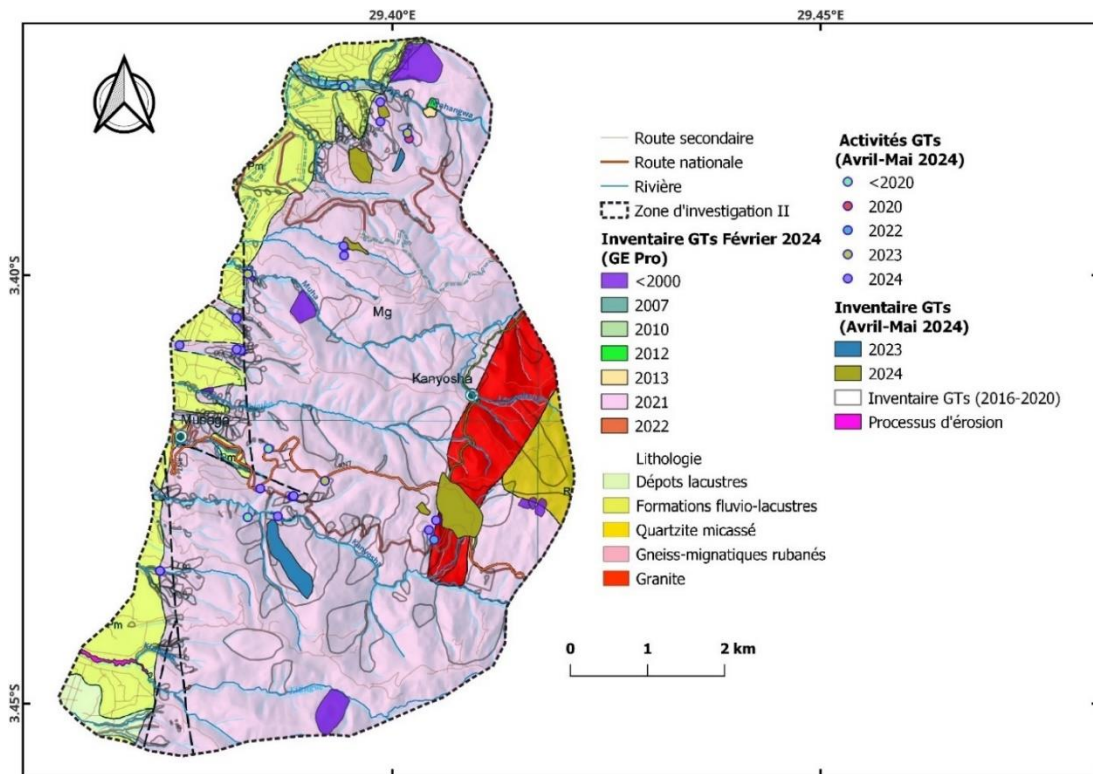
### 1. Distribution spatiale des glissements de terrain par rapport à l'altitude et sur base de la date d'occurrence



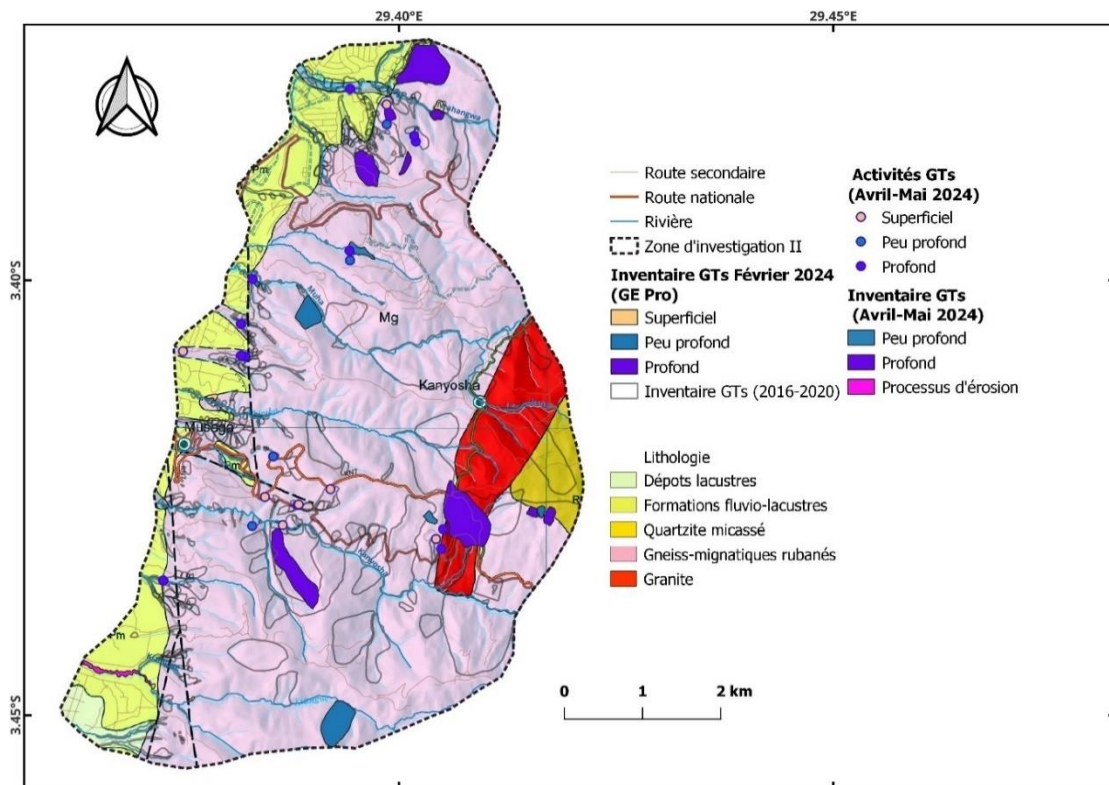
### 2. Distribution spatiale des glissements de terrain par rapport à la pente et sur base de la profondeur



### 3. Distribution spatiale des glissements de terrain par rapport à la géologie et sur base de la date d'occurrence

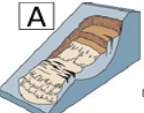


### 4. Distribution spatiale des glissements de terrain par rapport à la géologie et sur base de la profondeur

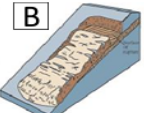




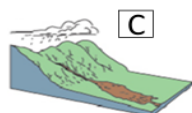
## 5. Modèle de fiche utilisée sous forme de carnet de terrain (avril-mai 2024) (archive du MRAC, 2014)




**A**  
Rotational slide



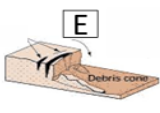
**B**  
Translational slide



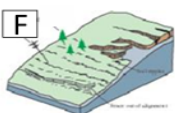
**C**  
Flow



**D**  
Fall



**E**  
Topple



**F**  
Creep

Tous les glissements de terrain sont à inventorier, anciens ou récents. En raison de la croissance rapide de la végétation, des glissements ne seront probablement plus visibles. Très souvent de gros blocs sont observables sur le terrain et leur présence n'est pas due à des dépôts de rivière. Ces blocs sont probablement des témoins d'anciens glissements et attestent de leur distance de parcourt (runout). Ces évènements sont aussi à cartographier.

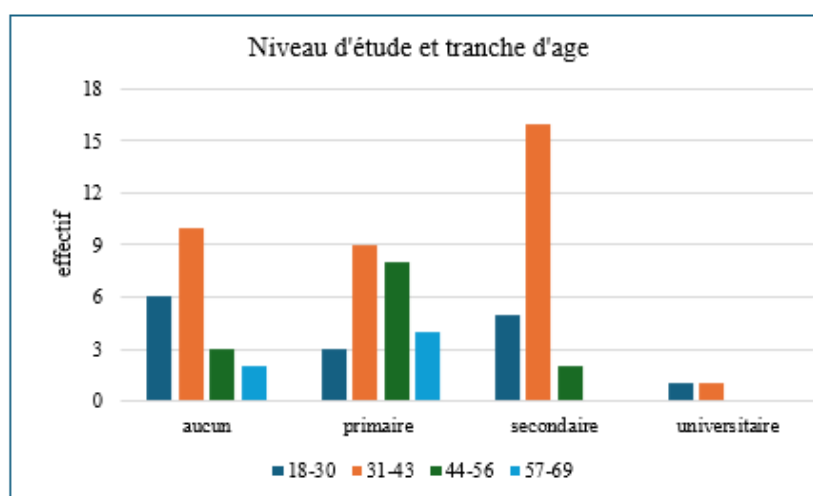
		année	mois	jour	heure			
Identification	Date observation							
	Date occurrence							
	Date(s) autre activité							
	Conditions météo au moment de l'occurrence	sec	normal	humide	durant pluie			
	Conditions météo au moment d'autre(s) mouvement(s)	sec	normal	humide	durant pluie			
	A quel type de glissement cela ressemble le plus ? (voir schéma au-dessus)					ID glissement		
Glissement repéré sur Google Earth par l'Ulg ?	non	si oui	point	ou	polygone			
Distance de parcours (runout)/zone d'accumulation clairement visible ?				oui	non			
Glissement observé = glissement principal ou = glissement (+ récent) dans un glissement (+ ancien)								
Localisation	Province	Commune/Ville			Quartier/village/route			
	Coordonnées GPS du point d'observation	Lat.	Long.		Alt.			
	Numéro du point							
Escarpelement principal	Forme	circulaire ou rectiligne		Type d'activité :		actif	récent	
	Hauteur	≤3m	3-5m	5-10m	10-20m	>20m	stabilisé ancien	
	Type de matériaux	sol/terre	débris	roche		Structure matériaux : homogène ou hétérogène		
	Si roche :	Fractures ?		oui	non	Type de roche ?		
		Altération ?		oui	non	gneiss	granite	
		Stratification ?		oui	non	basalte	calcaire	
				oui	non	schiste	quartzite	
	Présence de végétation ?	oui	si oui :	ponctuelle	partielle	dominante	totale	
	Présence de végétation ?	oui	si oui :	ponctuelle	partielle	dominante	totale	
		non						
Type de végétation :	forêt/arbres		culture/plantation		herbe/arbustive			
Racine visible ?	oui	non	si oui :	profondeur racine (m)				
Présence d'eau ?	oui	non	si oui :	position sur esc. ?	sommet	milieu		
			si oui :	base				
Autre(s) type(s) de mouvement(s) sur l'escarpement ?	non	si oui	Type ? (voir schéma)					
Masse déplacée	Escarpelement(s) secondaire(s) ?	oui	non	si oui	nombre	1	1-3	>3
	Hauteur moyenne	≤3m	3-5m	5-10m	10-20m	>20m	Type d'activité de la masse déplacée ?	
	Position escarpement(s)	tête		corps	piéd			
	Autre(s) type(s) de mouvement(s) dans la masse déplacée ?	non	oui	si oui, type(s)? (voir schéma)				
	Matériaux déplacé	sol/terre		débris	roche			
	Trace de "coulée" (flow)	oui		si oui	tête	corps	piéd	
		non						
Drainage superficiel	oui	si oui	ravine sur (au dessus de) l'escarpement			autre drainage		
	non		drainage latéral					
Présence de pentes inversées et replats	non	oui	si oui	tête	corps	piéd		
Masse déplacée	Couvert végétal	présent	absent	si oui	partiel	tête	corps	piéd
						complet		
	Inclinaison des arbres	oui	non	si oui	vers l'amont			
						vers l'aval		
	Contact avec rivière	oui	non	si oui	pente active		pente stable	
	Contact avec route	oui	si oui	amont escarpement			dans escarpement	
	non		dans la partie déplacée			base du piéd		
		Amont	Esc. prin.	Tête	Corps	Piéd	Aval	
Type de couvert	Forestier							
	Herbacé/brousse							
	Bananier							
	Autre agriculture							
	Vivrière							



## 6. Resultats supplémentaires d'enquêtes (Avril-Mai, 2014)

### Niveau d'étude et tranche d'âge

	<i>Aucun</i>	<i>Primaire</i>	<i>Secondaire</i>	<i>Universitaire</i>	<i>Total général</i>
<i>18-30</i>	6	3	5	1	<b>15</b>
<i>31-43</i>	10	9	16	1	<b>36</b>
<i>44-56</i>	3	8	2		<b>13</b>
<i>57-69</i>	2	4			<b>6</b>
<i>Total général</i>	<b>21</b>	<b>24</b>	<b>23</b>	<b>2</b>	<b>70</b>



### Diffusion d'information

<i>Mode de diffusion</i>	<i>NI</i>	<i>%</i>
<i>Autres</i>	3	4,29
<i>Radio</i>	12	17,14
<i>radios (réseaux sociaux)</i>	3	4,29
<i>Radio+TV</i>	2	2,86
<i>réseaux sociaux+sensib+SMS+telev</i>	3	4,29
<i>RS+radio+SMS</i>	1	1,43
<i>RS+TV</i>	2	2,86
<i>RS+TV+radio+Sensibilisation</i>	11	15,71
<i>Sensib+Radio</i>	4	5,71
<i>Sensibilisation réseaux sociaux, radio+telev</i>	27	38,57
<i>SMS+RS</i>	2	2,86
<i>Total général</i>	<b>70</b>	<b>100</b>

### besoins locaux pour la bonne gestion des risques

<i>Besoins</i>	<i>NI</i>	<i>%</i>
<i>aide</i>	2	2,86
<i>aide+aménagement+sensibilisation</i>	3	4,29
<i>aménagement du territoire</i>	4	5,71
<i>aménagement du territoire et reconstruction</i>	2	2,86
<i>aménagement rivière Ntakangwa</i>	2	2,86
<i>construction de maisons</i>	14	20,00
<i>delocalisation+construction maisons</i>	39	55,71
<i>étude approfondie+sensibilisation+aide</i>	3	4,29
<i>Installation des gabions</i>	1	1,43
<b>Total général</b>	<b>70</b>	<b>100</b>

### Collines touchées par le glissement

<i>collines</i>	<i>NI</i>	<i>%</i>
<i>Bisekuro</i>	8	11,43
<i>Mugoboka 1</i>	1	1,43
<i>Mugoboka2</i>	39	55,71
<i>Ruyange</i>	2	2,86
<i>Ruyange</i>	4	5,71
<i>Sororezo</i>	16	22,86
<b>Total général</b>	<b>70</b>	<b>100</b>

### Recommandations

<i>Recommandations</i>	<i>NI</i>	<i>%</i>
<i>Aucune</i>	17	24,29
<i>construction des maisons</i>	2	2,86
<i>Delocalisation+aménagement</i>	21	30,00
<i>Informations+sensibilisation</i>	2	2,86
<i>Installation infrastructures de protection+reboisement</i>	6	8,57
<i>Pas de recommandation</i>	1	1,43
<i>sensibilisation aide</i>	21	30,00
<b>Total général</b>	<b>70</b>	<b>100</b>