

**JEERESD**Journal Home page: www.jeeresd.online

ISSN: 3078-2112



Récents processus géomorphologiques sur le plateau du Kwango : cas de l'anthropisation et des glissements de terrain dans la zone du Pont Kwango en RDC

Fils Makanzu Imwangana^{1,2}, Thierry Lefa Mayoko², Wilfrid Lutete Nzau², Blaise Kalunga Mukuwa², Daddy Patrick Ilito Lofongo²

1 : Université de Kinshasa (UNIKIN), Faculté des Sciences et Technologies, Mention Géosciences, Unité de Recherches et de Formation en Gestion des Risques Naturels, Kinshasa, RD.Congo

2 : Centre de Recherches Géologiques et Minières, Département de Géologie urbaine et Environnement, Laboratoire de Géomorphologie et Télédétection, Kinshasa, RD. Congo.

ARTICLE INFO

Keywords:

Google Earth,
Anthropization,
Landslides,
Kwango,
Ratio frequently,
map of susceptibility

Abstract

Context: Human activities are increasingly exacerbating disaster risks such as landslides in the landscape. While landslides are well known in eastern DR Congo in general and the Kivu region in particular, this is not the case in the western part of the country. So, we wanted to conduct a cartographic inventory of landslides and know their factors in an area close to the region of Kinshasa. **Method:** The techniques of photo-interpretation of satellite images using Google Earth Pro and Landsat 8 were used to conduct the cartographic inventory of landslides, which were coupled with field surveys using the Garmin 62s GPS. The land use map was obtained using the supervised classification method.

* Corresponding author.

- **Email address:** Email : fismakanzu@yahoo.fr
- Téléphone : +243 82 102 45 63
- ORCID : <https://orcid.org/0000-0002-0793-7969>
- Adresse : 1, avenue de l'Université, Commune de Lemba, Ville de Kinshasa, B.P.: 190 Kinshasa XI

DOI : 10.5281/zenodo.15786659

Reçu le 11. JAN 25; révisé le 22. FEB 25 form; Accepté 20 juin 25; publié le 30 June 25.

© 2023 The Authors. Published by EcoClean Environment Company. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<http://creativecommons.org/licenses/bync-nd/4.0/>).



Results : Eighteen landslides were mapped in the Kwango Bridge area, located southeast of Kinshasa. Based on this, a susceptibility map of the area to landslides was developed. The factors that trigger these landslides are of two types: either they are linked to human activities (runoff produced by National Road No.1, presence of artisanal quarries in the foothills), or they are natural because of the hilly topography. **Conclusion:** This inventory is a start in understanding anthropization and the development of landslides in the Kwango Bridge area. The landslide susceptibility map takes into account known natural and anthropogenic predisposition factors. This map is a valuable decision-making tool in an area where agricultural activities are increasingly developing to provide the city of Kinshasa.

RESUME :

Contexte : Les activités anthropiques exacerbent de plus en plus des risques de catastrophes tels que les glissements de terrain dans le paysage. Si les glissements de terrain sont bien connus à l'est de la RD.Congo en général et la région du Kivu en particulier, il n'en est pas pourtant le cas dans la partie Ouest du pays. Alors, nous avons voulu mener un inventaire cartographique des glissements et connaître leurs causes dans une zone proche de la région de Kinshasa. **Méthode :** On a fait usage des techniques de la photo-interprétation des images satellitaires grâce à Google Earth Pro et Landsat 8 pour mener l'inventaire cartographique des glissements de terrain, auxquelles ont été couplés des levés de terrain en utilisant le GPS Garmin 62s. La carte d'occupation des terres a été obtenue par la méthode de la classification supervisée. **Résultats :** On a cartographié 18 glissements de terrain dans la zone du Pont Kwango, située au sud-est de Kinshasa. Partant de cela, une carte de susceptibilité de la zone aux glissements de terrain a été élaborée. Les facteurs qui induisent ces glissements sont de deux types soit c'est lié aux activités anthropiques (ruissellement produit par la route nationale N°1, présence des carrières artisanales aux piémonts), soit c'est naturel à cause de la topographie collinaire. **Conclusion :** Cet inventaire constitue un début dans la compréhension de l'anthropisation et du développement des glissements de terrain dans la zone du Pont Kwango. La carte de susceptibilité au glissement de terrain tient compte de facteurs de prédisposition naturelle et anthropique connus. Cette carte est un précieux outil d'aide à la décision dans une zone où se développent de plus en plus des activités agricoles pour alimenter la ville de Kinshasa.

Mots clés : Google Earth, Anthropisation, Glissements de terrain, Kwango, Fréquence ratio, carte de susceptibilité.

1. INTRODUCTION

Les glissements de terrain peuvent engendrer des effets en cascade qui s'étendent bien au-delà du site d'origine de la perturbation ; ils affectent notamment le drainage naturel de l'eau, les bilans sédimentaires associés, conduisant ainsi à l'envasement des cours d'eau et peuvent être responsables de crues éclaircies très dévastatrices (Gill et Malamud, 2014). Les activités anthropiques, de plus en plus nombreuses, représentent toutefois des perturbations additionnelles qui conduisent à l'accélération des processus d'érosion et des glissements de terrain, contribuant à l'apport de sédiments fins dans la colonne d'eau (Gill et Malamud, 2017 ; Chako Chunga et al., 2024). On constate depuis quelques décennies des changements morphologiques des paysages et des cours d'eau (Moeyersons et Trefois, 2008), une certaine récurrence aux catastrophes d'origine naturelle à travers la République Démocratique du Congo -RDC- (Ilombe Mawe et al., 2024). L'est du pays en général et la région du Kivu en particulier sont réputés en ce qui concerne les géorisques (Monsieurs et al., 2018 ; Dille et al., 2019 ; Chako Chunga et al., 2024) et certaines catastrophes d'origine météorologique (Makanzu Imwangana et al., 2020). Excepté pour les inondations et l'érosion ravinante (Makanzu Imwangana et al., 2015; Makanzu Imwangana et al., 2017, Mubanga Nzo-Ayum et al., 2024 ; Ilombe Mawe, 2024), le sud-ouest est souvent présenté comme une région sûre du point de vue de certains risques naturels, notamment les glissements de terrain. Pourtant, ce phénomène est aussi remarquable sur le plateau du Kwango, surtout dans la zone du Pont Kwango, à 230 km au sud de la ville de Kinshasa, qui est un espace se prêtant à l'agriculture. Les glissements de terrain provoquent de nombreuses victimes (Petley, 2012) et d'énormes conséquences tant économiques qu'environnementales (Makanzu Imwangana et al., 2020 ; Mugisho Bachinyaga et al., 2022).

Si dans la région du Kivu, on peut dénombrer aujourd'hui quelques inventaires cartographiques sur les glissements de terrain (Maki Mateso et Dewitte, 2014 ; Butara et al., 2015 ; Bunduki et al., 2015 ; Kulimushi et al., 2017 ; Monsieurs et al., 2018) et des études sur les facteurs de causalité et de vulnérabilité (Maki Mateso et al., 2014 ; Dille et al., 2019), il n'en est pas de même dans le Plateau du Kwango. À la lumière de Maki Mateso et Dewitte (2014), le but de cette recherche consiste à faire un premier inventaire des glissements de terrain dans la zone du Pont Kwango tout en essayant de répondre aux questions essentielles sur leur distribution spatiale et temporelle, leur morphométrie, leur processus et les conditions naturelles et anthropiques de leur occurrence. Aussi, si dans la région du Kivu, les glissements de terrain sont provoqués par l'activité sismique de la région et/ou par de fortes pluies dans un espace montagnard surpeuplé et où l'on connaît un taux de déforestation accrue, il importe alors de mieux comprendre leurs causes dans la zone du Pont Kwango afin de développer de mesures préventives, des techniques de lutte et/ou d'atténuation. Ainsi, nous avons choisi cette recherche afin de fournir des données fiables pouvant aider lors des travaux d'aménagement du territoire pour que les experts et décideurs puissent prendre en compte l'aléa « glissements de terrain » afin d'en intégrer dans le planning de leurs activités.

Depuis 2005, l'entreprise Google Earth fournit un accès libre et une couverture dans le monde entier d'images à haute et très haute résolution spatiale. Ces informations fournissent des nouvelles possibilités d'exploiter les images satellitaires, pour la détection et la cartographie d'aléas naturels tels que les glissements de terrain, en exploitant la visualisation en trois dimensions (3D) et la couverture multi-temporelle (Fisher et al., 2012). Même si l'interprétation d'image Google Earth ne permet pas une identification rigoureuse de toutes caractéristiques de glissement de terrain, elle demeure tout de même un outil efficace pour une telle étude. Notons que dans l'analyse

des risques de glissements de terrain qu'il est recommandé de prendre en compte les éléments à risque qui peuvent être dangereux, tels que la population, les biens ou l'environnement. Les images Google Earth de très haute résolution spatiale sont ainsi adaptées à l'identification de ces éléments. Ainsi, les images Google Earth permettent d'identifier l'état d'occupation du sol et les glissements de terrain dans notre zone d'étude.

Par ailleurs, ces dernières décennies, on remarque une recrudescence des catastrophes dans les milieux urbains et/ou péri-urbains de la ville de Kinshasa due à la croissance de la population, de la déliquescence des infrastructures de base et des activités anthropiques qui déstabilisent les versants : le déboisement, l'entretien insuffisant des forêts, et la dénudation du sol, etc. Pour ce faire, nous avons voulu étudier cette partie de la Province du Kwango, qui connaît aussi le développement des projets agricoles et d'autres activités anthropiques de manière croissante pour savoir leurs impacts dans le développement de phénomène de glissement de terrain observé dans la zone du Pont Kwango incluant le secteur de Bukanga-Lonzo, dans la province du Kwango. En se basant sur l'analyse virtuelle dans Google Earth Pro, les traitements des données et les observations de terrain, tenant compte des critères morphologiques, sous réserves des conditions climatiques inchangées, le développement des glissements de terrain serait lié à la fois aux facteurs des prédispositions naturelles qu'anthropiques qui se développent en leur amont.

L'objectif général de cette recherche consiste à identifier et suivre les changements géomorphologiques récents du plateau du Kwango en général et en particulier dans la zone du Pont Kwango, en utilisant la télédétection et le système d'information géographique (SIG) après validation en juxtaposant avec les données de terrain. Cela permettra de mettre en évidence l'évolution des activités anthropiques (aménagement, agriculture, construction des routes, mines artisanales, etc.) qui serait liée à l'évolution démographique dans la zone. Les objectifs spécifiques consistent à (i) cartographier les glissements de terrain dans notre zone d'étude ; (ii) élaborer la carte d'occupation de sol ; (iii) déterminer les facteurs (prédisposition naturelle et/ou anthropique) qui sont à la base de ces glissements de terrain et (iv) élaborer la carte de susceptibilité au glissement de terrain du secteur d'étude.

2. PRÉSENTATION DE LA ZONE DU PONT KWANGO ET SES ENVIRONS

Situé au sud-ouest de la ville de Kinshasa, le plateau du Kwango s'étend du nord de l'Angola (Province de *Lunda Norte*) aux confins de la ville de Kinshasa où le plateau de Batéké, qui serait son prolongement nord, et de la rivière Kasai à l'est jusqu'à l'ouest dans la zone de Kimvula au Kongo-central.

La zone du Pont Kwango et ses environs (Zone du Pont) est une portion comprise entre les longitudes Est 16°15'14,5" et 19°58'59,5" d'une part et d'autre part les altitudes Sud 4° 26'15,5" et 4° 19'14,5" (Fig.1).

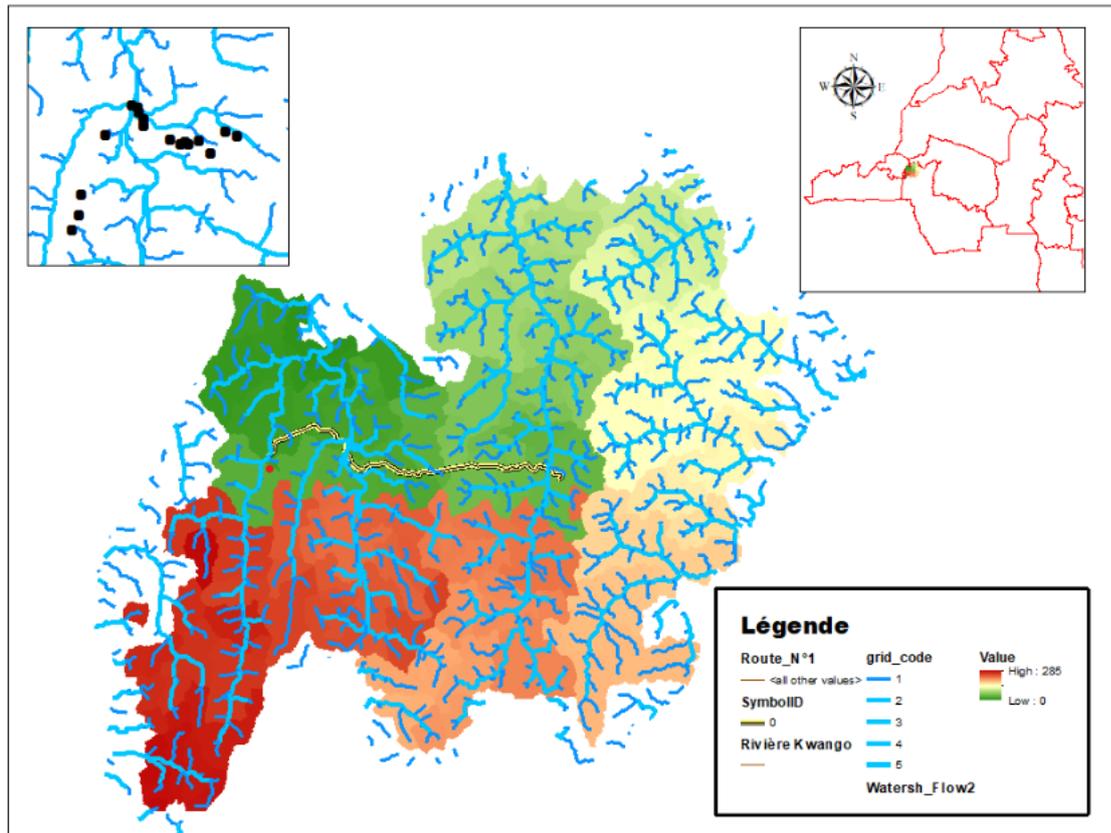


Figure 1 : Carte de zone du Pont Kwango et environs du secteur de Bukanga-Lonzo

Les formations géologiques qui affleurent dans le Kwango en général et la zone du Pont Kwango en particulier sont d'âge allant du Néogène au Crétacé inférieur pour les formations sédimentaires, ainsi que des roches magmatiques appartenant au Protérozoïque (Phambu Nlandu et Kant Kabalu, 2012). Les sols qu'on trouve dans la savane du plateau du Kwango sont des sols ferrallitiques lessivés en fer et en argile, formés sur un matériau sablo-faiblement argileux, pauvres en bases et de perméabilité élevée. Les caractéristiques les plus remarquables de ces sols sont liées au type de matières organiques et à sa répartition dans le profil. La pénétration humifère profonde est possible en raison du caractère meuble et perméable du matériau originel. Aussi, on y rencontre des sables bien classés et relativement fins avec une médiane de $0,17\mu\text{m}$. Si les minéraux altérables sont inexistantes, on observe fréquemment dans le matériau originel quelques petites concrétions brunes limonitiques arrondies à patine superficielle et des débris de concrétions rouges sub-anguleux. Ce matériau originel repose sur des grès polymorphes dont la perméabilité en grand est également importante. Sur le plan climatique, la zone d'étude se situe entièrement dans la zone intertropicale ; malgré les changements qui ont pu être observés depuis quelques années, cette région a un climat qui appartient au type « Aw_4 » selon les critères de Koppen revus par Guetter et Kutzbach (1990) et Peel et al. (2007). Excepté les forêts galeries longeant les grands cours d'eau tels que la rivière Kwango, toute cette zone d'étude est dominée par la savane arbustive et herbeuse.

3. MATERIELS ET METHODES

3.1. Matériels utilisés

Les matériels utilisés dans le cadre de notre recherche sur le monitoring des changements morphologiques récents sont :

- Une imagerie satellitaire des capteurs Landsat 7 TM & Landsat 8 LC (Tableau 1) et une image SRTM de 30 m résolution spatiale ;
- Un récepteur GPS (Global Positioning System) de marque Garmin 62s pour la collecte des données géolocalisées sur le terrain ;
- les logiciels Google Earth Pro, Arc Gis 10.3 et Microsoft Excel.

Tableau 1 : Caractéristiques des images Landsat 7 et Landsat 8

Landsat 7			Landsat 8		
Nom des bandes	Largeur de bande (μm)	Résolution spatiale (m)	Nom des bandes	Largeur de bande (μm)	Résolution spatiale (m)
Bande 1 : Bleu	0.45 – 0.52	30	Bande 1 : Côtiers	0.43 – 0.45	30
Bande 2 : Vert	0.52 – 0.60	30	Bande 2 : Bleu	0.45 – 0.51	30
Bande 3 : Rouge	0.63 – 0.69	30	Bande 3 : Vert	0.53 – 0.59	30
Bande 4 : NIR	0.77 – 0.90	30	Bande 4 : Rouge	0.64 – 0.67	30
Bande 5 : SWIR1	1.55 – 1.75	30	Bande 5 : NIR	0.85 – 0.88	30
Bande 7 : SWIR2	2.09 – 2.35	30	Bande 6 : SWIR1	1.57 – 1.65	30
Bande 8 : Plan	0.52 – 0.90	15	Bande 7 : SWIR2	2.11 – 2.29	30
Bande 6 : TIR	10.40 – 12.50	30/60	Bande 8 : Casserole	0.50 – 0.68	15
			Bande 9 : Cirrus	1.36 – 1.38	30
			Bande 10 : TIRS1	10.6 – 11.19	100
			Bande 11 : TIRS2	11.5 – 12.51	100

Les données collectées proviennent des images libres de Google Earth Pro, qui ont servi d'identifier, ainsi que de spatialiser les glissements de terrain. D'autres images telles que les *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) et Landsat 7 & 8 ont servi à monter respectivement les aspects topographiques et d'orientation, et la cartographie de l'occupation du sol.

3.2. Acquisition des données

Lors de notre recherche, la méthodologie utilisée se résume dans la Figure 2.

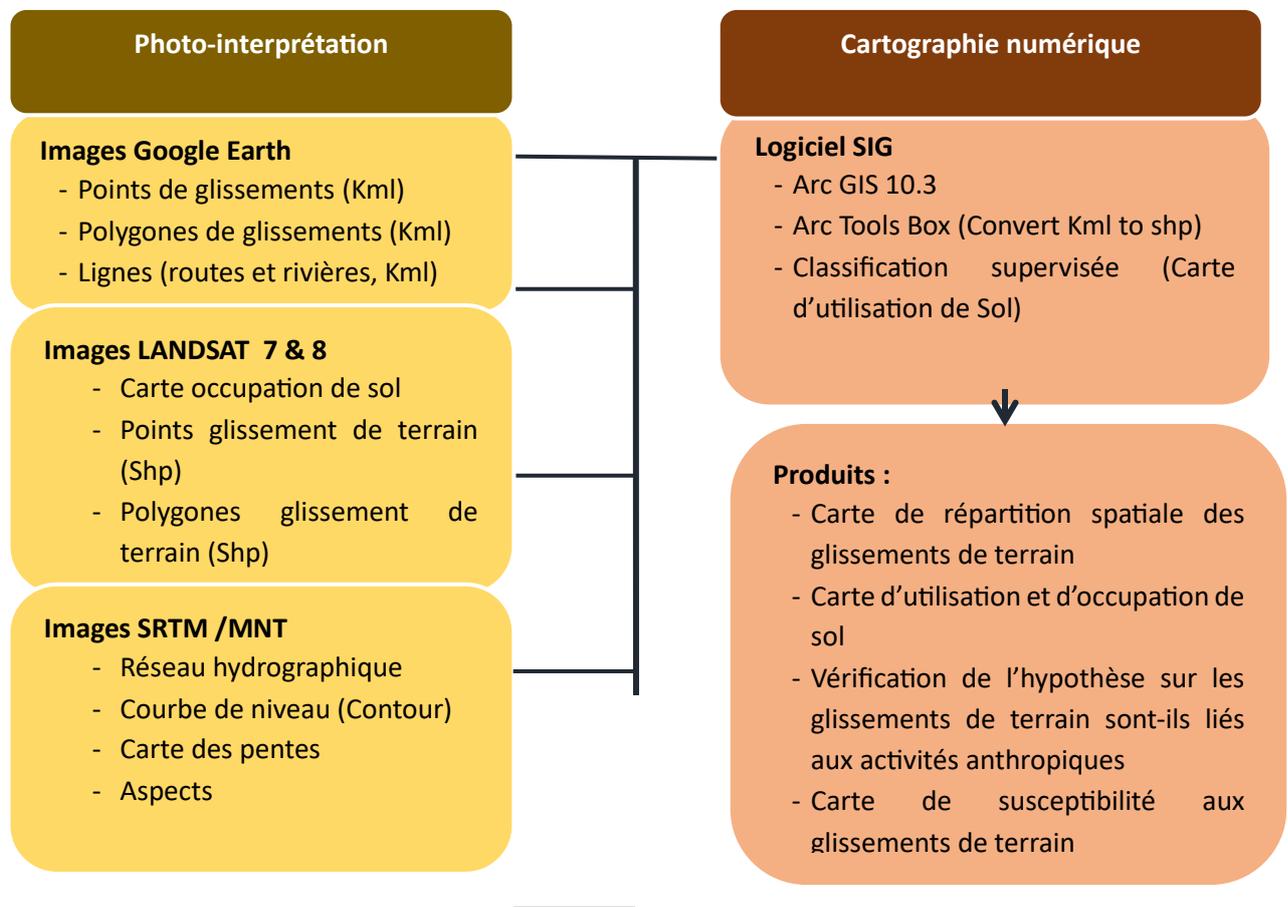


Figure 2 : Démarches sur l'acquisition et le traitement des données acquises

Il est à noter que la lumière naturelle souvent retenue par les nuages dans cette région donne par conséquent des images ayant une couverture nuageuse considérable et peu claire. Les images satellitaires étaient sous format zip ou compressé ; ainsi la première de chose à faire a été de les « dézipper ». Pour cette action de « dézippage », nous avons utilisé le logiciel Win RAR archivé qui est un logiciel spécifiquement conçu pour la compression et la décompression des fichiers ou de dossiers. Après le dézippage de différentes images satellitaires, nous avons obtenu plusieurs canaux ou bandes (Tableau 1), correspondant chacune à une région du spectre électromagnétique. Signalons d'ores et déjà que, les images que nous avons utilisées ont été ortho-rectifiées. En télédétection spatiale, les cartes graphiques utilisent trois entrées correspondant aux trois couleurs de base (Rouge, Vert, Bleu) pour représenter l'ensemble des couleurs. L'extension Arc Tools Box (plus précisément la commande « Composite Bands Data ») du logiciel ArcGis 10.3 a permis de réaliser une composition colorée (Fig.3) la plus simple, qui consiste à simuler les vraies couleurs. Par exemple, avec Landsat7 : bande 1 -> Bleu, bande 2 -> Vert et bande 3 -> Rouge d'où RGB : 123. Mais comme on dispose de plus de trois canaux, rien n'empêche de les

utiliser pour créer des images en fausses couleurs. Ces compositions sont utilisées pour mettre en évidence des éléments dont la réflectance est plus forte dans certains canaux (<https://hal.inria.fr/inria-00072636/document>).

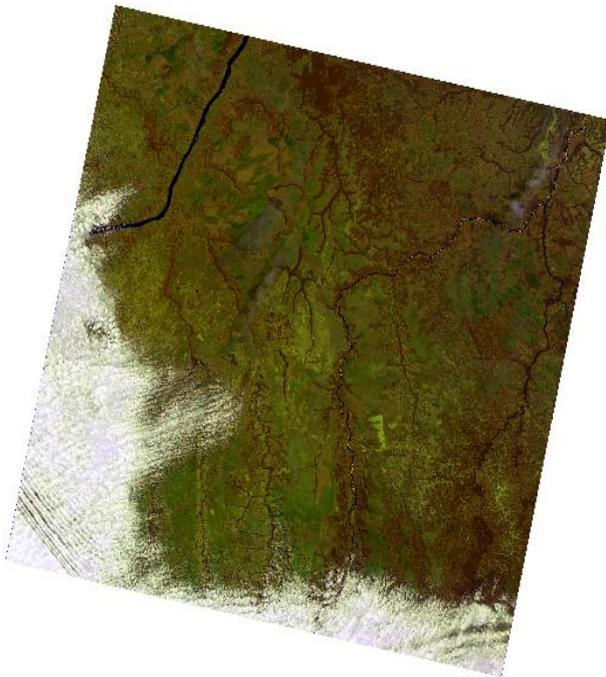


Figure 3 : Résultat de la composition colorée utilisée



Figure 4 : Image Landsat LC8 (RGB 234) du Secteur de Bukanga-Lonzo

Avec la composition colorée obtenue, on a extrait le Secteur administratif de Bukanga-Lonzo (Fig.4) dont fait partie la zone du Pont Kwango, qui est la zone d'intérêt sur laquelle nous devons réaliser notre étude sur les éventuels changements morphologiques en évidence avec l'évolution du couvert végétal. C'est grâce à l'outil « *Clip data* » d'ArcMap qui permet d'entrer par tour de rôle « *l'image satellitaire à couper* » et le « *fichier de forme* » représentant les limites de notre zone d'étude.

3.3. Inventaire cartographique des glissements de terrain

L'usage des images satellitaires dans le monitoring et l'identification des glissements de terrains a été appliqué par plusieurs chercheurs (Fisher et al., 2012 ; Guzzetti et al., 2012 ; Hungr et al., 2013 ; Corominas et al., 2014). Pour réaliser l'inventaire des glissements de terrain dans notre zone d'étude, nous avons utilisé deux techniques qui sont la photo-interprétation des images satellitaires contenues dans Google Earth (Sheppard et Cizek, 2009 ; Ozer, 2014 ; Ilito et al., 2017) et la cartographie par la numérisation de leurs contours. Ces deux techniques font partie de la télédétection et des systèmes d'informations géographiques (SIG) qui sont généralement associés et constituent des outils modernes permettant de faire des études complexes des phénomènes environnementaux à l'échelle spatiale et temporelle. Ces techniques très efficaces nous ont permis d'identifier et de cartographier le glissement de terrain et de mettre en évidence d'autres alignements ou facteurs qui peuvent être à la base de ces risques de catastrophes dans la région. Ainsi, la télédétection nous a permis d'obtenir des images Landsat du

logiciel Google Earth. Ce logiciel a servi de mener l'analyse visuelle de notre zone d'étude, ainsi que la numérisation sous forme des polygones pour chaque glissement de terrain en format « Kml » et l'obtention de la position spatiale de ces glissements.

3.4. Elaboration de la carte d'occupation des sols

La classification supervisée a pour objectif, de classer l'ensemble des pixels d'une image à partir d'un échantillon de zones d'entraînement. Pour les classifications supervisées, on va demander au logiciel ArcGis 10.3 de rechercher dans l'image les pixels les plus proches d'une signature type. On a procédé par localiser les parcelles représentatives de chaque catégorie d'occupation du sol appelée aussi parcelles d'entraînement dans l'image découpée. Puis, sachant que chaque catégorie d'occupation du sol a une signature spectrale qui lui est propre, on a réalisé une numérisation de points pour chaque parcelle avec l'assignation d'un identifiant unique pour chaque classe d'occupation du sol : forêt, savane et zone anthropique. Cela veut dire que nous avons créé un « shapefile point » ou fichier de forme point et nous avons pointé sur les images chaque pixel correspondant à une classe d'occupation du sol. Autrement dit, on a défini pour chaque plage sur l'image leurs classes d'appartenance : affectation du pixel à un groupe unique. Pour chaque classe d'occupation du sol, nous avons réalisé 10 points représentatifs de différents pixels de l'image. Ainsi, le logiciel a mené de manière automatique une analyse des pixels inclus dans les parcelles d'entraînement et a réalisé à la fin une création d'un fichier de signatures spectrales pour chaque catégorie d'occupation du sol.

Afin de catégoriser nos classes d'occupation du sol, nous avons créé quatre classes à partir de la classification supervisée et avons numérisé la rivière à l'aide de l'image satellitaire ou *Shuttle Radar Topography Mission (SRTM, 2017)* découpée aux limites de secteur administratif de Bukanga-Lonzo. La quatrième classe représente les cours d'eau. Le Tableau 2 présente la manière dont nous avons classifié notre zone d'étude en termes d'occupation du sol.

Tableau 2 : Classification de la zone d'étude

Classe	Description
Forêt	Espaces ayant une couverture végétale dense lors de la prise de vue des images satellitaires : Forêt, galerie forestière ou forêt claire
Savane	Espaces ayant une couverture herbeuse arborée
Zone Anthropique	Parcelles agricoles (les surfaces cultivées ayant un couvert végétal peu dense au moment de la prise de vue des images satellitaires), sols nus (Les espaces ou la couverture végétale est absente, nous faisons aussi ici référence aux terres labourées), Espace Bâti (Les zones urbanisées)
Eau	Cette classe est constituée des cours d'eau. Elle a été numérisée à partir de l'image satellitaire ou Modèle Numérique de Terrain, SRTM 2017

3.5. Modélisation

Vu la disponibilité des données, nous n'avons retenu que 10 facteurs pour notre recherche sur les glissements de terrain dans la zone du Pont Kwango (Fig.5). Pour modéliser la base de données SIG dans ArcMap 10.3, on a procédé de la manière ci-après: (i) l'image SRTM (DEM) a été ajoutée dans l'ArcGIS 10.3 et coupée en fonction de limites de la zone d'étude, en utilisant le module Arc Tools Box, spatial analysis, et l'extension extraction : extract by mask ; (ii) avec l'image SRTM (DEM) découpée, on a élaboré la carte de pente, d'aspect de la pente, de la courbure, du contour, du SPI, des altitudes, et du "hillshade", etc. grâce à l'activation du module Arc Tools Box et l'extension analysis spatial, surface raster ; (iii) les fichiers couches (shapefiles) des glissements de terrain et de la carte de sol ont été ajoutés sur ArcMap 10.3 afin de contrôler les relations entre les glissements et les facteurs élaborés (indépendants) ; (iv) les facteurs ont été subdivisés en nombre de classe, en mode raster pour connaître le nombre de pixel ou leurs superficies en fonction de glissements de terrain ; (v) avec la table des facteurs indépendants (Tabulate Area), on a calculé et obtenu la table des superficies de glissements de terrain. La table permet de calculer les relations entre glissements de terrain et les facteurs indépendants (pente, aspect de la pente, SPI, courbure, altitude, etc..), et ainsi on augmente la probabilité de glissements de terrain en utilisant l'intersection entre les facteurs indépendants et l'occurrence de glissements de terrain, afin déterminer la fréquence ratio de tous les facteurs ; (vi) de même pour l'image Landsat LC 8 , on a obtenu le nombre de classe en fonction des glissements de terrain pour associer les superficies de la carte d'occupation du sol avec la superficie de glissements de terrain, afin de déterminer la fréquence ratio ; (vii) la carte de sol a été transformée de vecteur en raster pour l'associer avec le facteur dépendant (glissements de terrain), ainsi on a obtenu la superficie de carte de sol avec les glissements de terrain afin de déterminer la fréquence ratio.

En associant la table Area et la classification de facteurs indépendants, il a été possible d'exporter ces données dans Microsoft Excel pour calculer les fréquences ratios (FR) de tous les facteurs indépendants avec les glissements de terrain, comme l'indique le modèle de Lee (2014). Formule : $LSFI = Sfr1 + Sfr2 + Sfr3 + fr.... + FR_n$

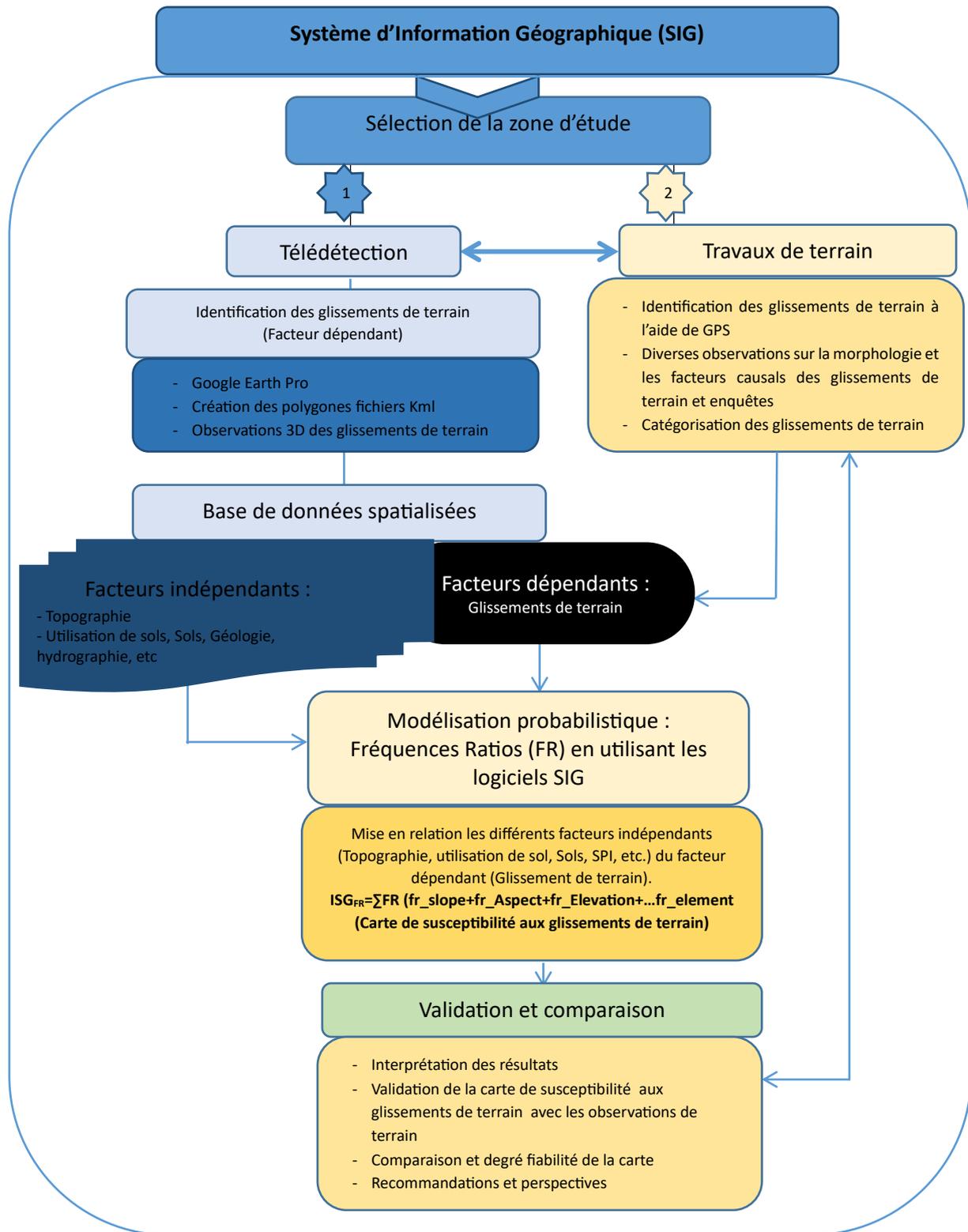


Figure 5 : Méthodologie d'étude flow chart pour le glissement de terrain

3.6. Enquête par questionnaire

Les connaissances des habitants de la cité de Kwango en ce qui concerne les changements morphologiques et les glissements de terrains ont été évaluées grâce à un questionnaire d'enquête rempli par une cinquantaine d'entre eux. Après la compilation, leurs réponses ont été analysées et présentées sous-forme de cartographie. Une série des questions focalisées sur le degré de connaissance sur le phénomène de catastrophe et de glissement de terrain en particulier ; dont on reprend les quelques questions majeures comme : (i) Avez-vous déjà entendu parler d'un glissement de terrain ? (ii) Savez-vous c'est qu'un glissement de terrain ? (iii) Etes-vous préoccupés par les effets de glissements de terrain ? (iv) Où et quand est-ce que cela se produit ? (v) Quels sont les risques qui menacent le plus la cité selon vous : ruissellement sur le versant, inondation des plaines, érosion des sols, chute de blocs, glissement de terrain ?

Il sied de signaler qu'il y avait parfois de problèmes de compréhension de terminologie lors de l'enquête sur le terrain. L'une des techniques utilisées pour savoir si la question a été comprise par notre interlocuteur, c'est de l'interroger là où ce phénomène se produit, par exemple au niveau des amphithéâtres le long de la rivière Kwango.

4. RÉSULTATS

4.1. Inventaire cartographique des glissements de terrain

Le premier aperçu de cette analyse a été basée sur les dispositions spatiale et cartographique de glissements de terrain à l'aide de l'imagerie satellitaire de l'outil Google Earth puis Landsat. La carte d'inventaire des glissements de terrain a été préparée en analysant l'imagerie satellitaire Google Earth couplée à des levés de terrain en utilisant le GPS. Au total, dix-huit glissements de terrain (Tableau 3) ont été identifiés et cartographiés en évaluant des images Google Earth (Fig.6), à l'aide du logiciel de son éponyme avec des relevés de terrain bien étayés et ensuite numérisés pour une analyse plus approfondie.

Tableau 3 : Inventaire de glissements de terrain

Glissements-Types	Nombre	Superficie (m ²)	Observations
Type 1	4	48540	Proximité de la RN1
Type 2	7	73877	Les effets de la topographie
Type 3	4	103888	Proximité de la rivière Kwango
Type 4	3	27398	Proximité des affluents de la rivière Kwango

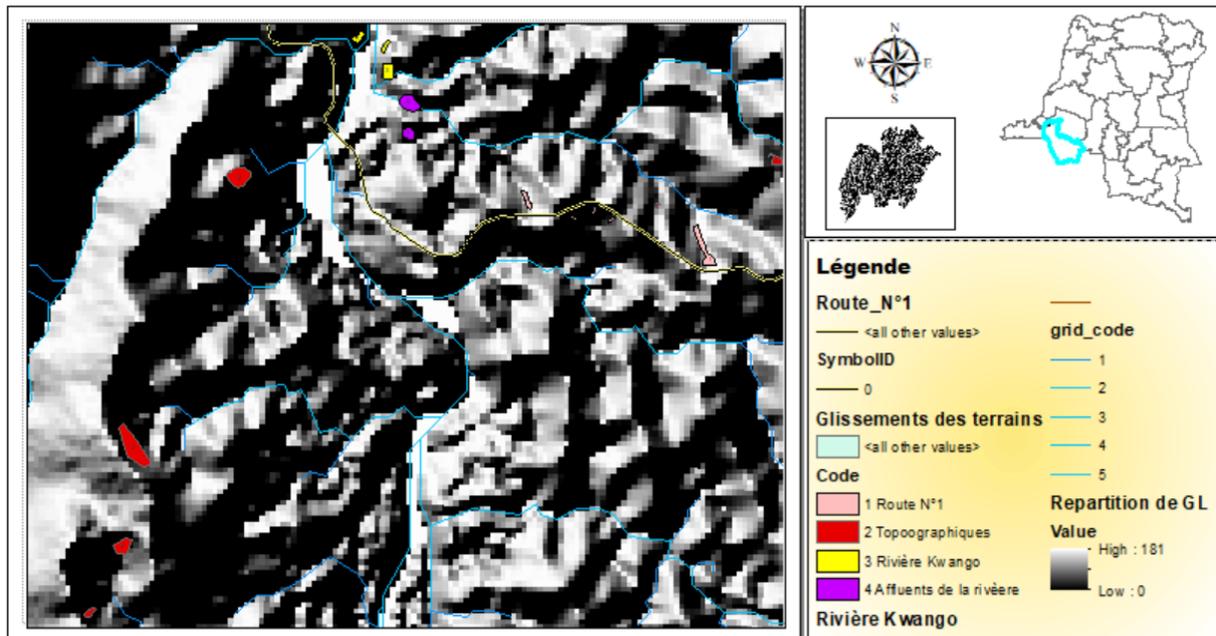


Figure 6 : Carte de répartition des glissements de terrain dans la zone du Pont Kwango

Après avoir identifié ces glissements de terrain, quelques sites ont été sélectionnés pour les observations sur le terrain. Il en résulte que ces observations corroborent avec celles effectuées à l'aide des images satellitaires. Nous retraçons ici, les sites les plus marquants (Figs.7 & 8).

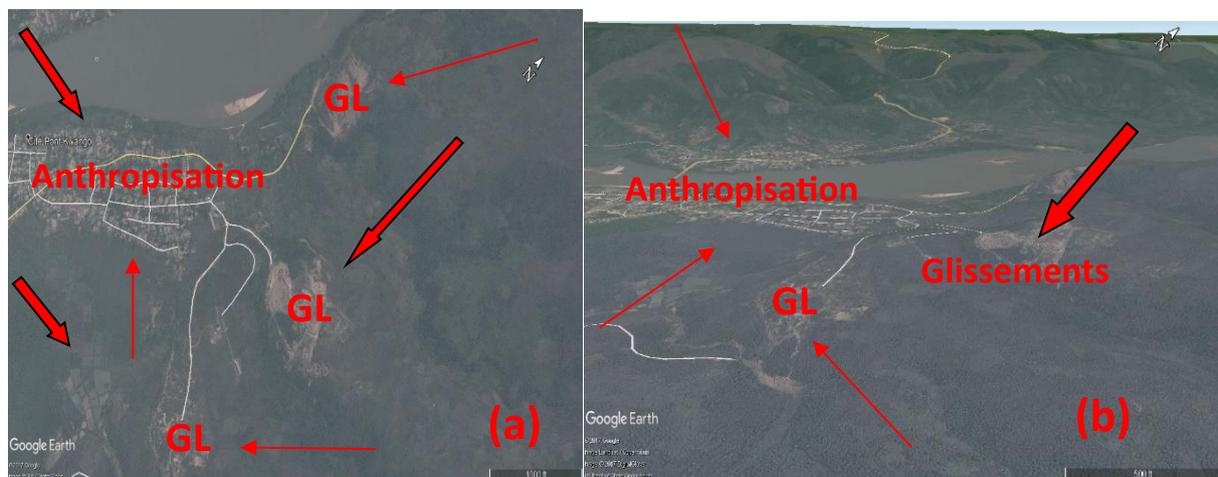


Figure 7: (a) Quelques glissements de terrain identifiés dans la zone du Pont Kwango. (b) La présence de ces glissements de terrain est associée à l'état d'occupation du sol de la cité du Pont Kwango.

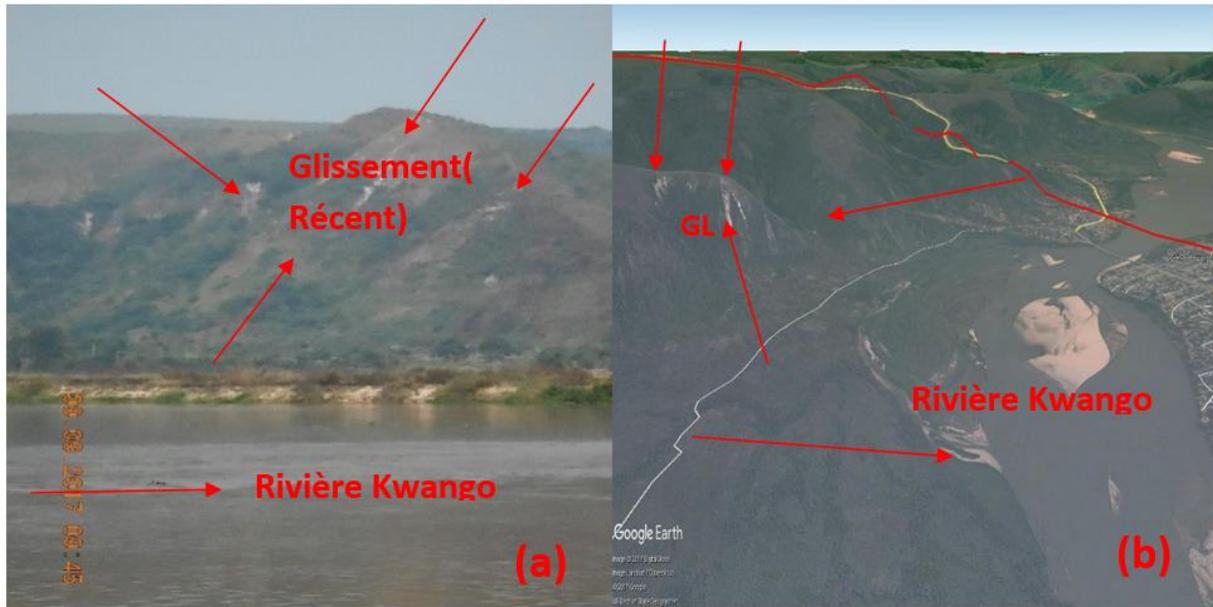


Figure 8 : En (a), on voit un glissement de terrain qui a été photographié aux environs de la rivière Kwango, et en (b) ce glissement a été identifié sur Google Earth Pro en 3D.

Il y a presque 40 ans, il y avait l'exploitation artisanale du diamant (Figs.9) mais il n'y a pas eu des travaux de remédiation environnementale du site. Vu les conditions topographiques de la zone, on pense que les glissements se seraient produits à la suite des changements de pluviosité enregistrée à l'échelle régionale (Ntombi et al., 2009 ; GIEC, 2013).



Figure 9: Glissements de terrain produits en amont d'une ancienne carrière artisanale de diamant (a) : 4°39'04.0" S et 16°31'53.4"E ; (b) : 4°39'18.7" S et 16°31'53.7" E dans la zone du Pont Kwango. (4°39'04.0" S et 16°31'53.4" E)

4.2. Cartographie de l'occupation des sols

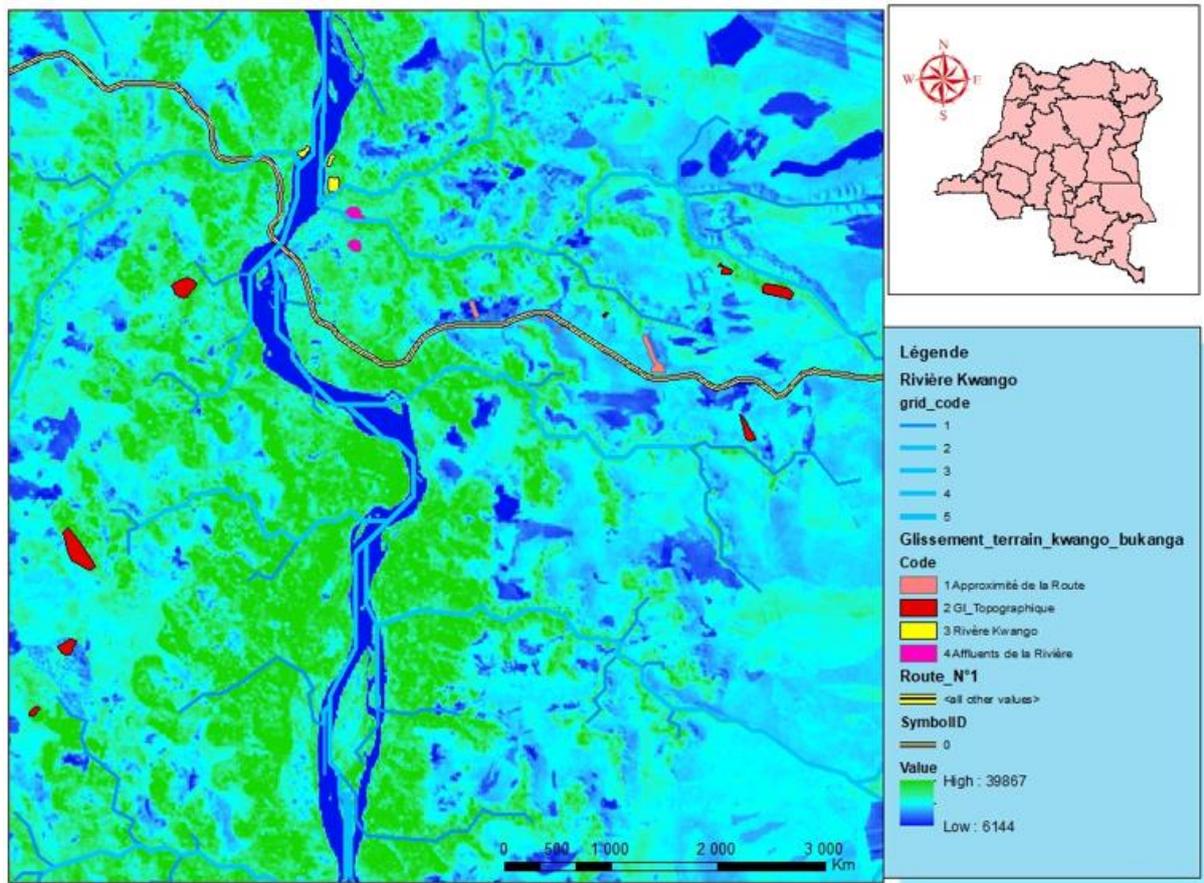


Figure10 : Carte d'occupation des sols à partir des images Landsat LC8 2017

Les figures 10 et 11 montrent d'abord l'occupation du sol puis en second lieu la disposition spatiale des glissements de terrain développés dans la zone du Pont Kwango. Cette étude montre deux types de glissements de terrains dont l'un est lié aux activités anthropiques et l'autre qui serait naturel. Ceux qui sont numérotés 1 sont proches de la route nationale N°1 (RN1), on pense d'une part qu'au-delà de la topographie, les eaux de ruissellement drainées par la RN1 en seraient la cause. D'autre part, les enquêtes sur le terrain révèlent que ces aires sont liées aux travaux de la construction de la route connue sous le nom de cinq chantiers. Ceux qui portent le N°2 semblent être naturels, dus à la topographie des lieux car ils ne sont pas proches des zones d'activités anthropiques mais se situent dans les pentes des collines, qui constituent des milieux instables. Ceux qui portent les N°3 et 4 sont proches des cours d'eau respectivement de la rivière Kwango et de ses affluents. Ces glissements de terrain se développant le long des cours d'eau seraient liés aux activités anthropiques telles que les carrières artisanales d'exploitation de diamant.

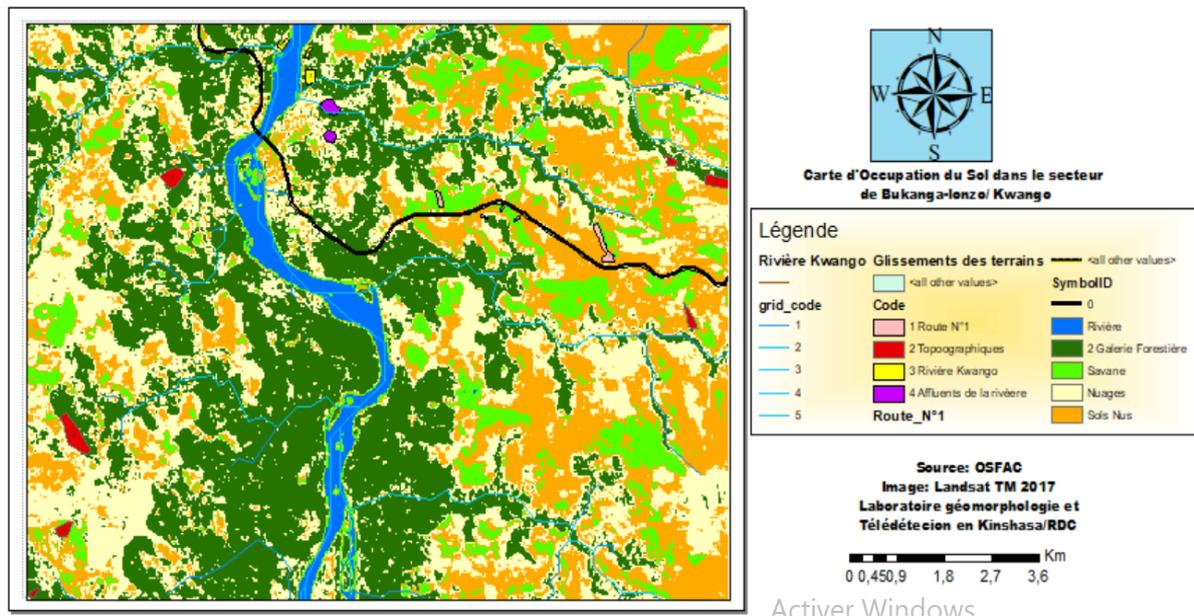


Figure11 : Carte d'occupation des sols à partir des images Landsat LC 8 (2017)

4.3. Cartographie de la susceptibilité aux glissements de terrain

Partant des paramètres (facteurs dépendant et indépendant) élaborés dans cette étude et des valeurs de fréquence ratio (FR) obtenues, on est parvenu à élaborer une carte simulée de la susceptibilité aux glissements de terrain. Les résultats obtenus dans la zone du Pont Kwango (Fig.12) ont permis l'extrapolation dans l'ensemble du secteur de Bukanga Lonzo (Fig.13). Ainsi, cette carte de susceptibilité a été élaborée sur la base des 18 glissements provenant de notre inventaire en juxtaposant avec l'étude de terrain (Fig.13).

Ces résultats aident à proposer les mesures de prévention face aux glissements de terrain qui causent des dégâts dans la zone du Pont Kwango. La principale mesure de prévention est l'interdiction de construire et de pratiquer des activités anthropiques sur les zones à très fort risque (Figs.12 et 13). Toutes les activités peuvent être développées dans la zone dite de risque acceptable c'est-à-dire là où le risque est faible ou moyen. Dans la zone de faible risque, les activités doivent être bien réglementées par une bonne gestion de l'espace. Dans la zone de risque moyen, l'homme peut s'adapter à exercer ses activités mais en tenant compte de contraintes environnementales de la zone.

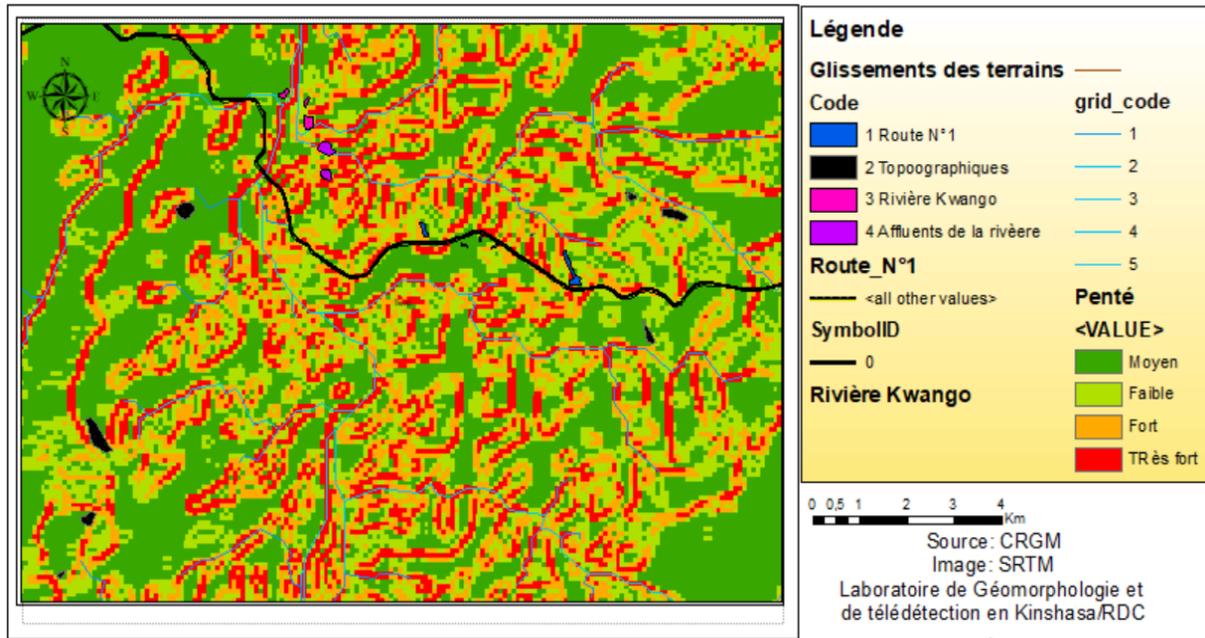


Figure12 : Carte simulée de susceptibilité au glissement de terrain dans la zone du Pont Kwango

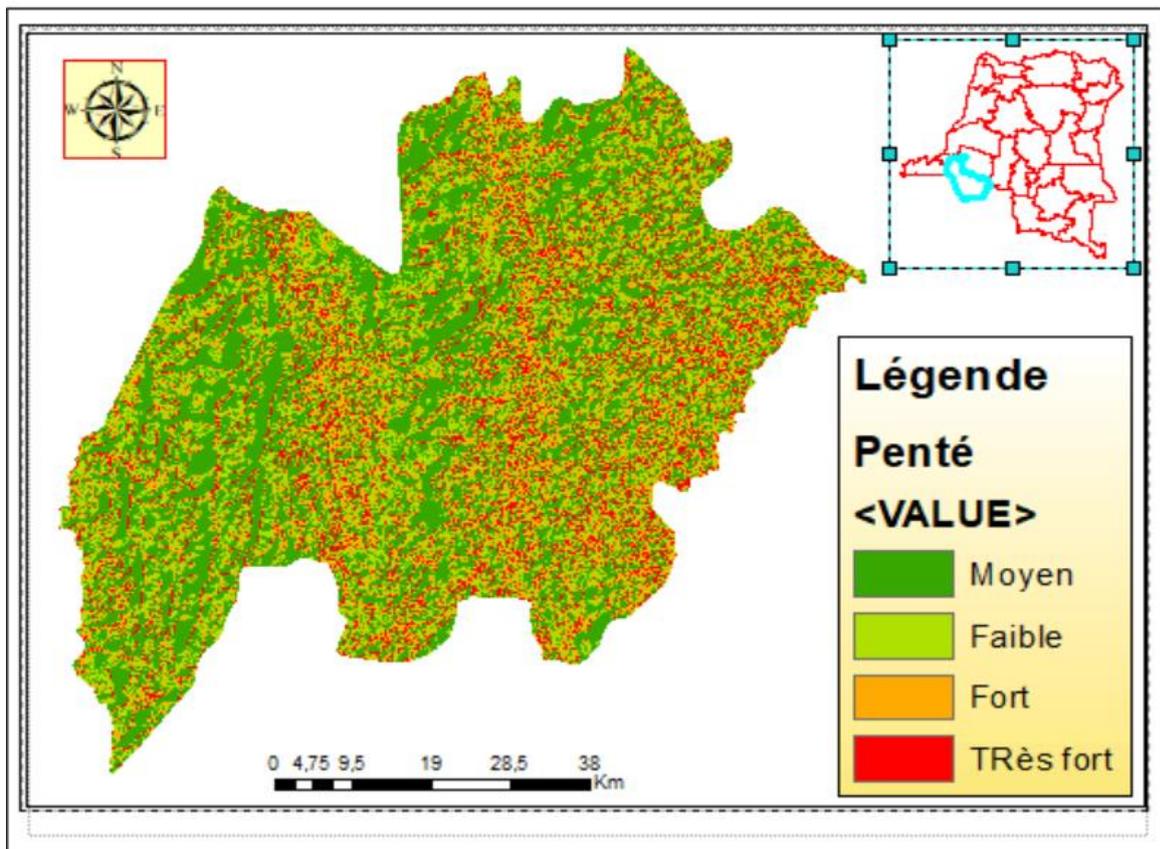


Figure13 : Carte simulée de la susceptibilité dans le secteur de Bukanga-Lonzo

5. DISCUSSION DES RESULTATS

5.1. A propos de l'inventaire cartographique des glissements de terrain

L'identification et l'analyse effectuées sur la base du logiciel Google Earth Pro ont permis de faire un inventaire des glissements de terrain, leur disposition spatiale et les facteurs influençant leur développement. L'analyse a été complétée par le logiciel Arc Gis 10.3 et a permis de déterminer les facteurs indépendants tels que la pente, l'altitude, l'orientation de la pente, la Curvature, le SPI, le Hillshade et l'occupation de sol.

Après la classification dans le logiciel Arc Gis 10.3, les résultats ont été exportés dans le logiciel MS Excel pour faciliter le calcul des fréquences ratios de paramètres indépendants. Ce calcul permet de savoir si ces facteurs de prédisposition naturelle qu'anthropique augmentent la probabilité de développement des glissements de terrain. En confrontant ces résultats par rapport aux autres études (Lee, 2014 ; Fisher, 2012 ; Maki Mateso et Dewitte, 2014), cela a permis aussi d'aborder le risque de susceptibilité aux glissements de terrain. Cependant, nous avons constaté que la présence de glissements de terrain observés dans la zone du pont Kwango et ses environs est à la fois due par des activités anthropiques et par la nature du sol.

Pour les activités anthropiques, les glissements enregistrés se développent au fur et en mesure qu'il y a des activités d'ordre économique telles que l'exploitation des carrières artisanales, routes (et sentier) et l'agriculture. Quant à la nature du sol, les glissements de terrain enregistrés de part et d'autre ne présentent aucun indice d'activité humaine. Car leur développement est souvent dû à l'absence du couvert végétal. Le sol nu, s'imbibe d'eau, rompt l'équilibre hydrogéomorphologique (Montgomery et Dietrich, 1988 et 1994 ; Makanzu Imwangana et al., 2014) et favorise ainsi la mise en mouvement en masse du sol. C'est l'apparition du glissement de terrain.

Les observations suivantes peuvent être retenues : (i) les pentes jouent un rôle sur le développement des glissements de terrain dans la zone d'étude lorsqu'elles sont supérieures à 20 degrés, ainsi que sa valeur de fréquence ratio présente 120% beaucoup plus dans de collines très élevées. Cela correspond à des valeurs quelque peu supérieures à ce que l'on trouve dans d'autres régions du monde (par exemple : Fisher et al, 2012 ; Lee, 2014 ; Maki Mateso et Dewitte, 2014). (ii) Pour l'altitude, les relations positives sont marquées entre 200-400 m, 400-600 m et 600-800 m. Les deux premières tranches d'altitude correspondent aux glissements qui se trouvent entre la rivière Kwango et l'activité d'exploitation artisanale du diamant dans la cité du pont Kwango où se succèdent de nombreuses zones marécageuses, occupées par Bukanga-Lonzo. La deuxième tranche d'altitude correspond essentiellement aux hautes terres agricoles notamment celles de la zone de cité du pont Kwango et le long de grands axes routiers comme la RN1 entre Kinshasa et Kikwit. Enfin, la dernière tranche d'altitude correspond aux glissements se trouvant en amont de la rivière Kwango. (iii) En ce qui concerne le sol, les glissements de terrain qui s'y développent sont dus à l'influence du relief sur l'écoulement, la nature de sol, de la végétation. En outre, la pente influe sur la vitesse d'écoulement des eaux de ruissellement. (iv) L'occurrence des glissements de terrain et la présence des cours d'eau ou lignes denses de drainage (spi) : la présence de grandes valeurs de SPI à proximité de la rivière inclurait potentiellement un mécanisme de déclenchement lié à l'érosion le long des piémonts. Evidemment, on retrouve plus les glissements de terrain proches de la rivière Kwango que plus loin.

Cette étude tout en montrant pour la première fois l'occurrence des glissements de terrain dans la partie ouest de la RDC en général et dans la zone du Pont Kwango en particulier, devrait s'étendre dans toute la région du Plateau du Kwango-Kwilu. Si une telle étude devrait être reprise, il faudrait qu'elle montre la spatio-temporalité des glissements de terrain en prenant un peu plus du recul dans le temps, dans la mesure où la photographie aérienne devrait être complétée par l'imagerie satellitaire et Google Earth Pro.

5.2. La Carte de susceptibilité au glissement de terrain

Partant des paramètres (facteurs dépendant et indépendant) élaborés dans cette étude et des valeurs de fréquence ratio (FR) obtenues, on est parvenu à élaborer une carte simulée de la susceptibilité aux glissements de terrain. Les résultats obtenus dans cette étude dans la zone du Pont Kwango ont permis l'extrapolation l'ensemble du secteur. Ainsi, cette carte de susceptibilité a été construite sur la base des 18 glissements provenant de l'inventaire en juxtaposant avec l'étude de terrain. L'inventaire et la carte de susceptibilité peuvent aider à réduire les risques des catastrophes de glissement de terrain dans la zone. On a ainsi proposé les mesures de prévention face aux glissements de terrain qui causent des dégâts dans la zone du Pont Kwango. La principale mesure de prévention est l'interdiction de construire et de pratiquer des activités anthropiques sur les zones à très fort risque. Toutes les activités peuvent être développées dans la zone dite de risque acceptable c'est-à-dire là où le risque est faible ou moyen. Dans la zone de faible risque, les activités doivent être bien réglementées par une bonne gestion de l'espace. Dans la zone de risque moyen, l'homme peut s'adapter à exercer ses activités mais en tenant compte de contraintes environnementales.

6. LIMITATIONS

- Il y a lieu de reconnaître que la limitation principale de cette étude est spatio-temporelle. On aurait dû mener une analyse chronologique dans une zone plus vaste que la zone du Pont Kwango et environs au lieu d'une étude ponctuelle. Cela aurait dû exposer la manière dont le paysage a évolué au fil du temps dans la région.
- Le séjour d'une semaine sur le terrain contraint par les moyens financiers et l'accessibilité non aisée constitue l'autre limitation de notre étude.
- Néanmoins, ces limitations n'affectent en rien les résultats de l'étude et nous pensons qu'il vaille mieux publier ce manuscrit.

7. CONCLUSION

L'identification de récents processus géomorphologique tels que le glissement de terrain était l'objectif principal de notre étude dans la zone du Pont Kwango. En utilisant des données d'entrée gratuite (Google Earth, Landsat, SRTM), on a pu identifier et cartographier 18 glissements de terrain et monter une carte de susceptibilité. Cet inventaire constitue un début dans la compréhension de l'anthropisation et du développement des glissements de terrain dans la zone du Pont Kwango. La carte de susceptibilité au glissement de terrain tient compte de facteurs de prédisposition naturelle et anthropique connus. Cette carte est un précieux outil d'aide à la décision dans une zone où se développent de plus en plus des activités agricoles pour alimenter la ville de Kinshasa. Cette

perspective d'aide à la décision apparaît comme un préalable indispensable à une meilleure gestion du risque en général et en particulier à l'élaboration du futur plan de prévention. L'utilisation des techniques de la télédétection et du SIG offre des perspectives de développement de recherche scientifique important, car l'accès aux données gratuites devrait se multiplier dans le jour avenir. Cependant la reconnaissance de terrain montre que l'utilisation de la télédétection et de SIG est dans une certaine mesure assez efficace pour identifier, localiser et cartographier des zones problématiques et de se faire une première idée sur la disposition spatiale de certains phénomènes.

Pour ce faire, nous recommandons la poursuite des investigations dans la zone, voire dans toute la région du Plateau du Kwango-Kwilu, en intégrant plus de détails sur les types et la nature du sol, sur la géologie locale et l'utilisation des sols afin d'améliorer l'esquisse de susceptibilité. Cette carte pourrait servir dans le développement de l'aménagement local et la planification foncière dans la zone. Etant donné que les zones à occurrence des glissements de terrain se trouvent dans les plages à sol nu sur de fortes pentes, il est plus que nécessaire d'initier des actions de reboisement dans la région.

8. CE QUI EST DEJA CONNU SUR CE SUJET

- C'est connu que les glissements de terrain notamment participent à l'évolution du relief. Ils se manifestent souvent dans des concavités et les amphithéâtres des sources.
- C'est connu que les changements dans l'occupation des terres apportent des modifications dans le paysage, et en ce qui concerne les plateaux et collines, ce sont les glissements de terrain et/ou l'érosion des sols qui y sévissent à la suite de la déforestation.
- C'est connu qu'à la suite des changements climatiques qui vont se manifester notamment avec des pluies très intenses et abondantes dans la région, dans ces types d'environnement qu'il y ait une recrudescence des cas notamment des glissements de terrain.

9. CE QUE CETTE ETUDE APPORTE

- En fournissant cet inventaire des glissements de terrain dans la zone du Pont Kwango au sud-ouest de la ville-province de Kinshasa, cette étude montre que les mouvements de masse tels que les glissements de terrain ont aussi une occurrence à l'Ouest du pays, qui est pourtant plus réputé pour l'érosion ravinante et les inondations.
- Aussi, cette étude confirme le rôle joué par l'ouverture des routes, qui sont de grands pourvoyeurs du ruissellement, dans le déclenchement du processus des glissements de terrain dans le paysage.
- Enfin, cette étude avertit déjà les décideurs et aménageurs que l'espace du plateau du Kwango en général et en particulier la zone du Pont Kwango et environs où l'on se bouscule pour des concessions agro-pastorales, est une zone exposée à l'aléa glissement de terrain.

10. REMERCIEMENTS

Nous remercions l'Unité de Recherche et de Formation en Gestion des Risques Naturels (URF-GRN) de l'Université de Kinshasa pour leur avoir assuré les déplacements et toutes les facilités afin de bien mener cette étude.

Nous remercions également les auteurs pour leur contribution à la conception, la collecte des données, l'analyse et l'interprétation des résultats, ainsi que pour la rédaction et la révision critique du manuscrit.

11. CONFLITS D'INTERETS

Etant donné qu'aucun auteur n'a reçu de rémunération, de frais, ou de salaire d'une quelconque organisation ou d'un tiers, les auteurs déclarent qu'ils n'ont aucun conflit d'intérêt qu'il soit financier ou tout autre en rapport avec cette étude.

12. CONTRIBUTIONS DES AUTEURS

- Fils Makanzu Imwanagana : Conception et design de l'étude, contrôle-qualité des données, analyse des données et interprétation des résultats, élaboration du manuscrit, révision critique pour le contenu, validation et approbation finale du manuscrit à soumettre à l'éditeur
- Thierry Lefa Mayoko : Conception et design de l'étude, collecte des données au laboratoire SIG et sur le terrain, traitement et analyse des données, interprétation des résultats, élaboration du manuscrit, révision critique pour le contenu, approbation finale du manuscrit à soumettre à l'éditeur
- Wilfrid Lutete Nzau : Conception et design de l'étude, collecte des données au laboratoire SIG et sur le terrain, traitement et analyse des données, interprétation des résultats, élaboration du manuscrit, révision critique pour le contenu, approbation finale du manuscrit à soumettre à l'éditeur
- Blaise Kalunga Mukuwa : Conception et design de l'étude, collecte des données au laboratoire SIG et sur le terrain, traitement et analyse des données, interprétation des résultats, élaboration du manuscrit, révision critique pour le contenu, approbation finale du manuscrit à soumettre à l'éditeur
- Daddy Patrick Ilito Lofongo : Conception et design de l'étude, collecte des données au laboratoire SIG et sur le terrain, traitement et analyse des données, interprétation des résultats, élaboration du manuscrit, révision critique pour le contenu, approbation finale du manuscrit à soumettre à l'éditeur

References

- Bunduki, K., Mushayuma, N., Tambala, T., Materanya, C., & Matembera, B. (2015). Cartographie des sites sinistrés par les glissements de terrain du 17 au 26/01/2014 dans le bassin du Lac Kivu à Bukavu, Sud-Kivu, RD Congo. *IJSR*, 14 (2), 118-126.
- Butara, S., Fiama, S., Mugisho, B., & Mongane, A. (2015). Susceptibilité aux glissements de terrain: cas de la Commune d'Ibanda / Bukavu / République Démocratique du Congo. *IJIAS*, 11(1), 129-147.
- Chako Chunga, I., Mugaruka Bibentyo, T., Ilombe Mawe, G., Nzolang, C., Majaliwa Mwanjalolo, & Makanzu Imwangana, F. (2024). Landslide Susceptibility Assessment Using Frequency Ratio: A Case Study of Kiliba (Sud-Kivu/DR Congo). *East African Journal of Environment and Natural Resources*, 7(1), 183-199. <https://doi.org/10.37284/eajenr.7.1.2008>.
- Dille, A., Kervyn, F., Mugaruka Bibentyo, T., Delvaux, D., Bamulezi Ganza, G., 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*, 345. doi:10.1016/j.geomorph.2019.106835.
- Fisher, Gg. B., Amos, C. B., Bookhagen, B., Burbank, D.W., & Godard, V. (2012). Channel widths, landslides, faults, and beyond: the new world order of high-spatial resolution google earth imagery in the study of earth surface processes. *Geological society of America special papers*, 492, 1-22
- GIEC. (2013). Les bases des sciences physiques. Contribution du groupe de travail i au cinquième rapport d'évaluation du groupe intergouvernemental d'experts en changement climatique, GIEC, Genève, suisse. <https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/>
- Gill, J.C. & Malamud B.D. (2017). Anthropogenic processes, natural hazards, and interactions in a multi-hazard framework. *Earth-Science Reviews*, 166, 246-269, <http://dx.doi.org/10.1016/j.earscirev.2017.01.002>
- Gill, J.C. & Malamud, B.D. (2014). Reviewing and visualizing the interactions of natural hazards. *Rev. Geophys.*, 52, 680–722, doi:10.1002/2013RG000445.
- Guetter, P., & Kutzbach, J. (1990). A modified Köppen classification applied to model simulations. *Climate change* 16 (2), 193-216.
- Guzzetti, F., Mondini, A. C., Cardinali, M., Fiorucci, F., Santangelo, M., & Chang, K. T. (2012). Landslide inventory maps: new tools for an old problem. *Earth-science reviews* 112, 42-66.
- Hungr, O., Leroueil, S., & Picarelli, I. (2014). The varnes classification of landslide types, an update. *Landslide* 11, 167-194.
- Ilito Lofongo, D.P., Makanzu Imwangana, F., Matungila, J., & Muanza Kant, P. (2017). Utilisation de l'imagerie satellitaire Google Earth dans l'identification des dépôts de sables alluvionnaires de la rivière Kwilu dans la Province du Kongo Central, RDC. *Journal CongoSciences*, 6(1), 14-22. <http://www.congosciences.org>

Ilombe Mawe, G. (2024). Urban Gullies in the Democratic Republic of the Congo : Susceptibility, Expansion Rates and Impacts. Thèse de doctorat en sciences, co-tutelle ULiège-UNIKIN, 181p.

Ilombe Mawe, G., Lutete Landu, E., Makanzu Imwangana, E., Hubert, A., Dille, A., Biolders, C., Poesen, J., Dewitte, O., & Vanmaercke, M. (2024). What controls the expansion of urban gullies in tropical environments? Lessons learned from contrasting cities in D.R. Congo. *Catena*, 241 (2024) 108055. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2024.108055>

Kulimushi M., Mugaruka, B., Muhindo, S., Michellier, C., & Dewitte, O. (2017). Glissements de terrain et éléments à risque dans le bassin versant de la Wesha (Bukavu, RD Congo). *Geo-Eco-Trop.*, 41 (2), n.s., 233-248

Lee, S. (2014). Geological application of geographic information system, Kigam, is-geo-002, Korea, 340p.

Makanzu Imwangana, F. (2015). Compilation des rapports d'étude sur le changement climatique : « l'impact du changement climatique sur les activités agricoles de la femme paysanne en République Démocratique du Congo. » ACORD et OSISA, inédit.

Makanzu Imwangana, F., Bambi Tshitshi, M., & Ntombi muen Kabeya, M. (2020). Occurrences des catastrophes dues aux aléas naturels en RD.Congo : causes et conséquences. *Bull. du CRGM*, XIII N°cumulatif, 255-273.

Makanzu Imwangana, F., Dewitte, O., Ntombi, M., & Moeyersons, J. (2014). Topographic and road control of mega-gullies in Kinshasa (DR. Congo). *Geomorphology*, 217, 131-139. Doi 10.1016/j.geomorph.2014.04.021

Makanzu Imwangana, F., Kayembe, M., Ntombi muen Kabeya, M., & Moeyersons, J. (2017). La ville de Kinshasa face aux risques hydrologiques : Cas du ravinement urbain. *Journal CongoSciences*, 5(2), 126-137. <http://www.congosciences.org>

Maki Mateso, J.C., & Dewitte, O. (2014). Vers un inventaire des glissements de terrain et des éléments à risque sur les versants du Rift à l'ouest du lac Kivu (RDC). *Geo-Eco-Trop.*, 38 (1), n.s., 137-154

Moeyersons, J., & Trefois, Ph. (2008). Desertification and changes in river regime in central africa : possible ways to prevention and remediation. In : Gabriels, D., Cornelis, W., Eyletters, M., Hollebosch, P., combating desertification ? Assessment, adaptation and mitigation strategies. Proceedings of the conference on desertification, Ghent, 23 january 2008. Unesco centre for eremology, ghent university, belgium, 144 - 156.

Monsieurs, 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 (11), 2195–2209. doi:10.1007/s10346-018-1008-y.

Montgomery, D.R., & Dietrich, W.E. (1988). Where do channels begin? *Nature* 336, 232-234.

Montgomery, D.R., & Dietrich, W.E. (1994). Landscape dissection and drainage area-slope thresholds. In: Kirkby, M.J. (Ed.), *Process Models and Theoretical Geomorphology*. Wiley, Chichester, 221-246.

Mubanga Nzo-Ayum Ntub, G., Aloni Komanda, J., & Makanzu Imwangana, F. (2024). Dynamique des risques d'érosion ravinante des terres marginales de la commune rurale d'Idiofa (Kwilu/RD.Congo). *Journal Africain des Sciences*, 1 (1), 37-47. ISSN (online) : 3006-2306 ; ISSN (print) : 3006-3760. <https://jafrisci.org>

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. In EGU General Assembly 2022, Abstracts. doi:10.5194/egusphere-egu22-6223

Ntombi, M.K., Pangu, S., Mukunayi, N., Kisangala, M., Ntombi, M.M., & Makanzu Imwangana, F. (2009). Les ressources en eau et les changements climatiques en cours en république démocratique du congo. In : Endundo José, "seconde communication nationale à la convention cadre sur le changement climatique." ministre de l'environnement, conservation de la nature et tourisme de la RD.Congo. Kinshasa, novembre 2009. Présentée à la communauté internationale en réponse au protocole de Kyoto.

Ozer, P. (2014). Catastrophes naturelles et aménagement du territoire: de l'intérêt des images Google earth dans les pays en développement. *Geo-Eco-Trop.*, 38 (1), n.s., 209-220.

Peel, M.C., Finlayson, B.L., & McMahon, T.A. (2007). Updated World map of the Köppen-Geiger climate. *Hydrology and Earth System Sciences*, 11, 1633-1644.

Petley, D. (2012). Global Patterns of Loss of Life from Landslides. *Geology*, 40, 927-930. <https://doi.org/10.1130/G33217.1>

Phambu Nlandu, J., & Kant Kabalu, F. (2012). In Omasombo, J.: Kwango pays de Bana Lunda : Relief, Géologie et Hydrographie. Ed. LE CRI, 19-28.

Sheppard, SRJ., Cizek, P. (2009). The ethics of google earth: crossing thresholds from spatial data to landscape visualisation. *Journal of Environmental Management*, 90 (6), 2102-2117.