



Numéro spécial

Glissements de terrain et éléments à risque dans le bassin versant de la Weshu (Bukavu, RD Congo)

Landslides and elements at risk in the Weshu watershed (Bukavu, DR Congo)

Matabaro Sylvain KULIMUSHI¹, Bibentyo Toussaint MUGARUKA²,
Sahani Walère MUHINDO³, Caroline MICHELLIER^{4,5} & Olivier DEWITTE⁴

Abstract: The Eastern part of DR Congo is a region naturally prone to landslides. Their impact can be important in populated areas. The objective of this research is to make a preliminary local assessment of landslide elements at risk on a recent settlement area of Bukavu (Weshu watershed). We mapped 11 landslides by combining a Pléiades image, aerial photographs and Google Earth imagery with field survey. Most landslides are deep-seated rotational movements. Shallow translational features as well as mud flows are also observed. The largest landslides were already present in 1959, but their origin is certainly far much older. Land use has dramatically changed since then. In 1959, the watershed is rural, whereas in 2013 a large part is urbanized and intensely populated. This population influx has started since 2000. Many infrastructures are damaged or under threat (electric lines, water pipes, roads, schools). Several fatalities due to landslides were reported over the last years. This study is a first step towards the understanding of the processes at play in this environment subject to anthropisation.

Keywords: Landslides, risk, watershed, anthropisation, tropical environment

Résumé : L'est de la RD Congo est une région prédisposée naturellement aux glissements de terrain. Leur impact peut être important lorsqu'il s'agit d'une zone habitée qui est affectée. L'objectif de ce travail est de faire une évaluation préliminaire des éléments à risque liés aux glissements de terrain à l'échelle locale, en focalisant l'attention sur une zone de peuplement récent dans la ville de Bukavu (bassin versant de la Weshu). En combinant utilisation d'image Pléiades, de photographies aériennes et d'images Google Earth et analyses et enquêtes de terrain, 11 glissements de terrain ont pu être cartographiés. Ceux-ci sont pour la plupart rotationnels profonds, mais des mouvements translationnels et des coulées de boue sont également observés. Les plus grands glissements étaient déjà bien présents en 1959 et leur origine est certainement bien plus ancienne. L'affectation du sol a fortement évolué depuis lors. En 1959 l'habitat est rural, alors qu'en 2013 une grande partie du bassin versant est fortement urbanisée suite à un afflux important de population depuis les années 2000. En outre de nombreuses infrastructures sont déjà endommagées ou directement menacées (voies électriques, conduites d'eaux, routes). Les glissements ont causé des pertes en vies humaines au cours des dernières années. Cette étude permet d'apporter une meilleure compréhension des processus en jeux dans cet environnement en anthropisation.

Mots Clefs: Glissement de terrain, risque, bassin versant, anthropisation, environnement tropical

¹ Institut Supérieur Pédagogique de Bukavu, RD Congo. Email: sylvainkulim@gmail.com

² Université Officielle de Bukavu, RD Congo. Email: toussaintbib@gmail.com

³ Université Catholique du Graben, Butembo, RD Congo. Email: sahaniwalerem@gmail.com

⁴ Musée royal de l'Afrique centrale, Tervuren, Belgique. Emails: caroline.michellier@africamuseum.be,
olivier.dewitte@africamuseum.be

⁽⁵⁾ Université Libre de Bruxelles, ANAGEO/IGEAT, Brussels

INTRODUCTION

Les glissements de terrain figurent parmi les catastrophes naturelles qui sont à l'origine d'un grand nombre de victimes de par le monde et leur fréquence est en constante progression depuis ces dernières années (PETLEY, 2012). Ces processus géologiques et géomorphologiques peuvent avoir de fortes répercussions sur les activités humaines (ALEXANDER, 1995; BERZ *et al*, 2000) et être responsables de pertes socioéconomiques énormes (SCHUSTER, 1996).

Les conséquences sont d'autant plus grandes dans les régions où les conditions de vie sont précaires et les populations les plus vulnérables. En outre les activités humaines, comme, par exemple, la déforestation et l'expansion urbaine, peuvent accélérer ces processus de versant.

L'est de la RD Congo est une région montagneuse caractérisée par une géologie, un relief, un climat et une sismicité régionale qui la prédispose aux glissements de terrain (MAKI MATEO et DEWITTE, 2014; JACOBS *et al*, 2015). La ville de Bukavu est particulièrement sujette aux mouvements gravitaires et les versants affectés sont parmi les plus peuplés de la ville (MUNYOLOLO *et al*, 1999; TREFOIS, *et al*, 2007; SADIKI, *et al* 2010; MIGOMBANO, 2011; BIREMBANO, 2012). Même si la plupart de ces phénomènes se sont mis en place avant le développement de la ville, les observations récentes montrent clairement que de nombreuses infrastructures souffrent de ces instabilités. En dépit de ce constat il n'existe pas à ce jour d'analyse détaillée des glissements de terrain et des éléments à risque qui y sont présents. Le but de cette recherche est d'y répondre en se focalisant sur une zone caractéristique de la ville de Bukavu.

ZONE D'ETUDE

L'étude porte sur la rivière Wesha qui draine un des huit bassins versants qui constituent la ville de Bukavu. Il s'étire sur une superficie d'environ 7 km² à cheval sur les communes de Bagira et Kadutu (Figure 1). Le point culminant est à 2180m au sommet du mont Mbogwe et le plus bas à 1463m à son embouchure sur le lac Kivu, soit une dénivellation d'un peu plus de 700m. L'affluent principal de la Wesha est la Chidorhwe (Figure 4).

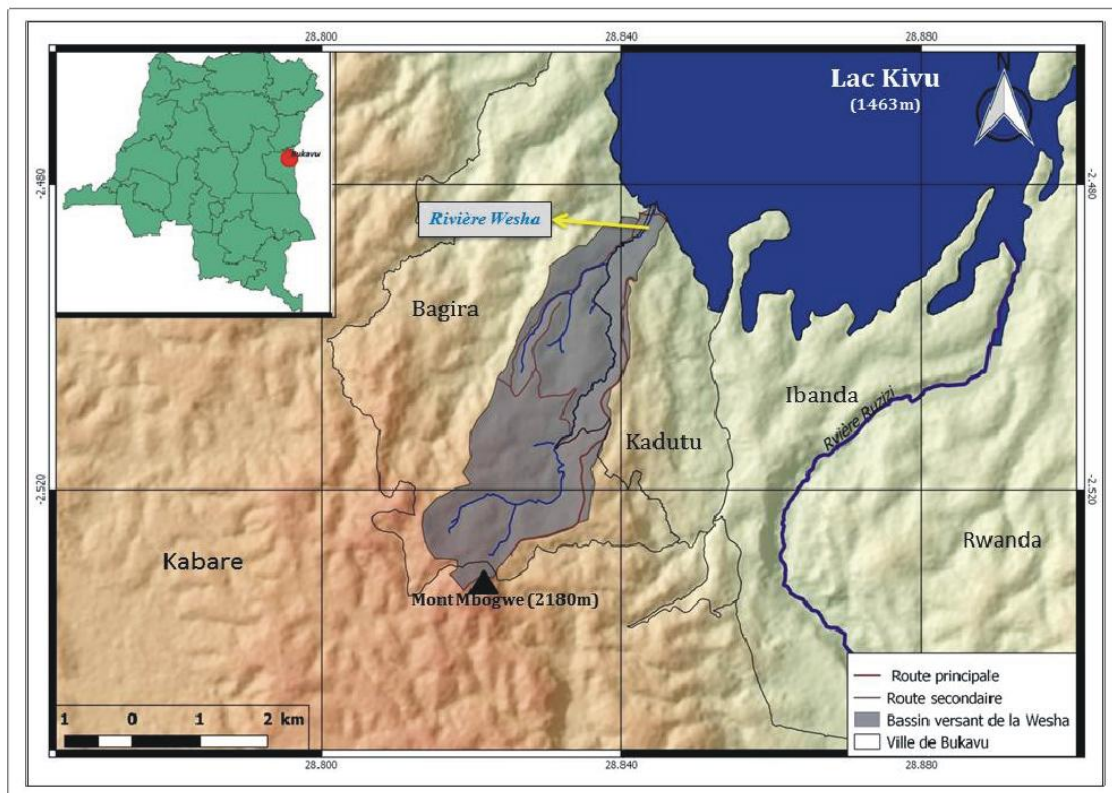


Figure 1. Localisation du bassin versant de la Wesha dans la ville de Bukavu.

Le bassin versant s'étire sur des roches basaltiques altérées provenant de plusieurs coulées de lave du Tertiaire et du Quaternaire (PASTEELS *et al*, 1989; LUTUMBA, 1991; BIRINDWA, 2008). Les profils pédologiques et les régolithes qui s'y développent sont complexes et souvent épais avec de nombreux horizons argileux favorisant le développement de glissements de terrain (CHAMAA *et al*, 1981; TREFOIS *et al*, 2007; JONES *et al*, 2013). Les caractéristiques topographiques et géologiques font que cette zone soit naturellement prédisposée à l'érosion des pentes et aux processus gravitaires.

Il y a quelques décennies, une grande partie du versant oriental de la rivière était occupée par un boisement datant de l'époque coloniale. La mission anti érosive au Kivu (M.A.E.) avait fait de cette zone un champ d'expérimentation de reboisement depuis 1945 (MBIYA, 1981; MALERE, 1984; MOEYERSONS *et al*, 2004). Actuellement, le bassin versant est caractérisé par une forte occupation des maisons d'habitation et des infrastructures de desserte.

La région de Bukavu jouit d'un climat tropical de savane (PEEL *et al*, 2007) modéré par l'altitude (températures moyennes 20 - 25°C, précipitations annuelles: 1500 mm), avec une saison sèche de juin à août et une autre en février (LUTUMBA, 1978; BIREMBANO, 2012). Cette alternance saisonnière, associée à la dégradation de la couverture végétale favorise grandement l'érosion et les mouvements de terrain (GRZYBOWSKI, 1983; TREFOIS *et al*, 2007; SADIKI *et al*, 2010).

DONNEES ET METHODES

La cartographie de toutes les informations liées à cette étude à savoir, la délimitation du bassin versant, l'identification des glissements de terrain, l'affectation du sol et la localisation des éléments à risque est faite sur base d'une image Pléiades de juillet 2013 avec un affinage panchromatique à une résolution spatiale de 0.5 m, de photographies aériennes de 1959 couvrant toute la ville de Bukavu avec une échelle approximative au 1/4000 et d'images Google Earth à haute résolution couvrant la période allant de 2003 à 2013. L'image Pléiades et les images Google Earth permettent de reconstituer la situation de 2013 (qui est similaire à celle actuelle) (FISHER *et al*, 2012; OZER, 2014) et les photographies aériennes, celle de 1959. Sur le terrain les observations ont été localisées au GPS (Garmin eTrex 30). La caractérisation morphométrique des glissements inventoriés a été faite selon la classification revisitée de CRUDEN & VARNES (1996) par HUNGR *et al*. (2014).

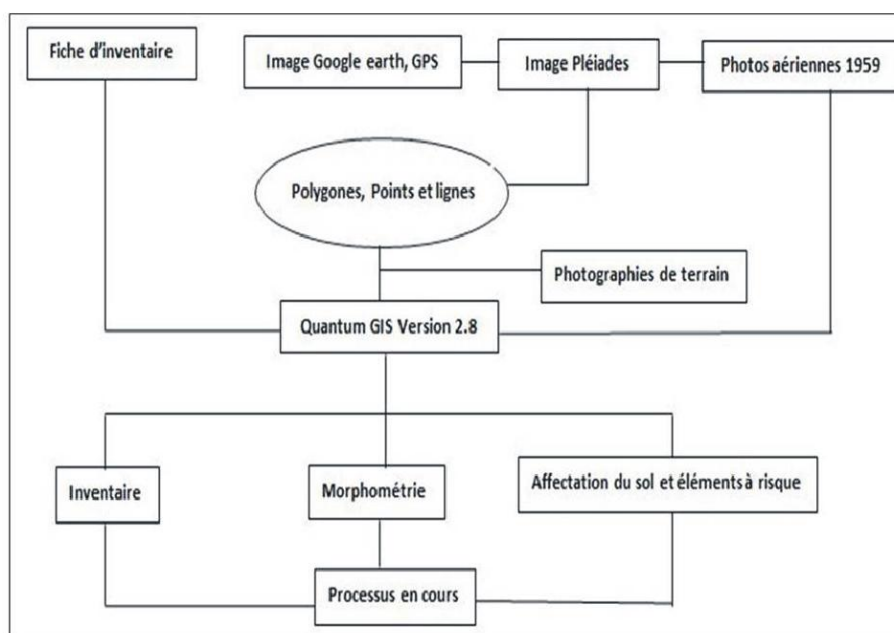


Figure 2. Etapes principales de la collecte des données

Les informations ont été collectées en se basant sur des fiches de description de chaque glissement élaborées pour l'étude de glissements de terrain au Burundi qui se développent dans un environnement similaire (DEWITTE *et al*, 2015). Les informations récoltées portent principalement sur l'identification et la localisation des processus d'instabilités, la forme, la hauteur, le type d'activité et le type de matériaux des escarpements principal et secondaires; le type de végétation, le drainage et les autres mouvements sur l'escarpement principal et dans la masse déplacée, les éléments à risque en amont, en aval, sur l'escarpement principal, sur la tête, le corps et le pied du glissement de terrain.

L'évaluation de la population a été faite sur base d'une fiche de relevé parcellaire. Elle consiste à inventorier les maisons d'habitation construites sur le glissement et relever le nombre d'occupants des maisons d'habitation. La figure 2 schématise la méthodologie suivie.

RESULTATS ET DISCUSSION

Inventaire des glissements et processus en cours

Onze glissements de terrain principaux ont été identifiés. Ils occupent 31 ha sur 700 ha soit 4,4% de la superficie du bassin versant. Ils se répartissent en trois types de processus différents (Figures 3 et 4):



Figure 3. Identification et processus en cours sur quelques glissements de terrain.

(a) Glissement rotationnel profond (glissement 4 sur la figure 4) qui connaît un début de réactivation à travers un effondrement dans la masse déplacée (photo prise le 17 janvier 2015). (b) Glissement rotationnel profond (glissement 6 sur la figure 4) dont l'escarpement principal est destabilisé par de nouvelles constructions (photo prise le 17 janvier 2015). (c) Glissement translational (glissement 7 sur la figure 4) sur lequel se déroule des coulées boueuses (photo prise le 25 décembre 2012). (d) Coulée boueuse (Glissement 8) fortement influencé par une source d'eau (photo prise le 25 janvier 2015).

Glissement rotationnel. De manière générale, ce sont les glissements dont les escarpements sont les plus marqués et dont les dimensions sont les plus grandes (Table 2). Il s'agit des glissements 1 à 6 et du glissement 10. Leur impact sur la topographie est visible et pérenne (Figure 3a). Ils peuvent affecter l'entièreté d'un versant. Ces glissements s'étendent pour la plupart de la crête du versant jusqu'à la rivière (Figure 3.a et 3.b).

Glissement translationnel superficiel. Ces mouvements se différencient des glissements rotationnels par la forme de la niche d'arrachement et la zone sans végétation présente à l'aval de l'escarpement principal. Généralement, ils sont caractérisés par un seul escarpement et une plus grande superficie visible de leur surface de rupture à l'aval de ce dernier (Figure 3.c).

Glissement coulée ou coulée boueuse. Ces mouvements sont pour la plupart superficiels et leur impact sur la topographie est relativement peu important et moindre que pour les deux autres types. Par conséquent, seuls les mouvements récents non encore recouverts par la végétation sont visibles. De par leur nature, ces glissements sont le plus souvent dans le fond des thalwegs (Figure 3.d).

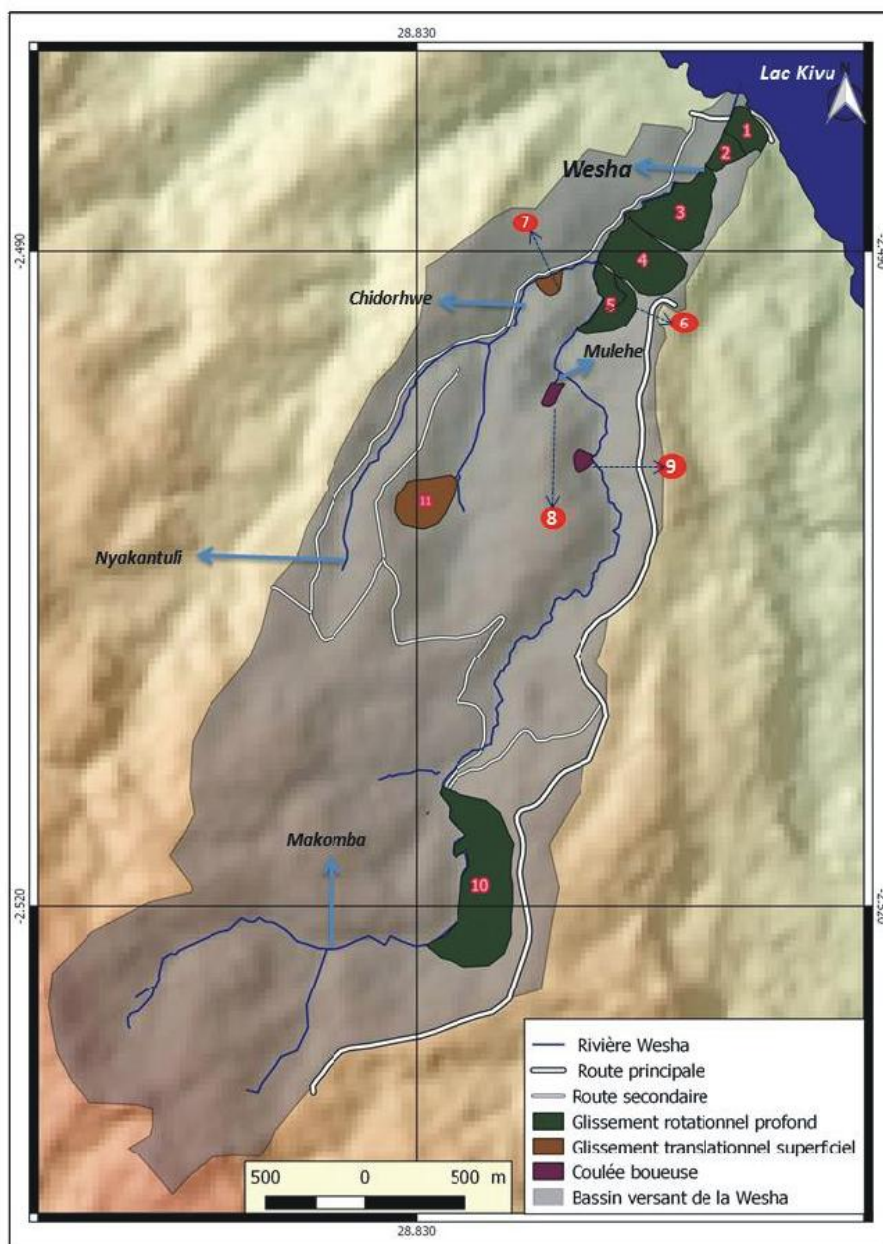


Figure 4. Inventaire des glissements de terrain du bassin versant.

Table 1. Processus en cours observés sur les glissements

Glissements	Types	Processus en cours observés.	Inventorié par/ ou observé sur
1.	Glissement rotationnel profond	Glissement présentant des signes d'instabilité au niveau de son escarpement principal. Il a connu un recul de plus de 20 m depuis 1959. Exploité comme carrière de pierres jusqu'en 2010, il a été fortement modifié par l'installation de bâtiments d'un entrepôt douanier en 2013 (Figure 9.e).	Image Pléiades, Google Earth et photographie aérienne de 1959.
2.	Glissement rotationnel profond	Ce glissement porte des marques d'instabilité au niveau de son escarpement principal (Figure 9.c). Il est en contact direct avec la rivière. Il est exploité comme carrière de pierres pour la construction. La zone de la masse déplacée a été nivelée pour la construction de maisons. Le processus en cours est principalement lié aux éboulements qui mettent à nu les affleurements rocheux sur l'escarpement principal.	Image Pléiades, Google Earth et photographie aérienne de 1959.
3.	Glissement rotationnel profond	Ce glissement, facilement perceptible sur les photographies aériennes de 1959, est densément peuplé (Figures 6 et 8.d). L'escarpement principal de forme circulaire est actuellement stabilisé. Ce grand glissement connaît une réactivation dans sa partie aval au nord-est en contact avec la rivière. La zone de réactivation est caractérisée par des coulées boueuses et des suffosions par endroit.	Photographie aérienne de 1959, glissement 1 de l'inventaire de MOEYERSONS <i>et al.</i> , (2004) et MIGOMBANO (2011).
4.	Glissement rotationnel profond	Ce glissement est densément peuplé (Figure 3.a). Bien qu'il semble globalement stabilisé il y a la présence d'un affaissement dans la partie centrale de la masse déplacée. Il pourrait s'agir d'un début de réactivation. L'inclinaison de troncs d'arbres non loin de la zone affaissée témoigne de la présence de mouvement relativement lent dans la masse du glissement.	Photographie aérienne de 1959, glissement 2 de l'inventaire de MOEYERSONS <i>et al.</i> (2004) et MIGOMBANO, (2011).
5. et 6.	Glissements rotationnels profonds	Ce glissement est densément peuplé (Figures 3.b 6, et 8.d). Son escarpement principal de forme circulaire est fait essentiellement de régo-lithe et de sol. Les récentes constructions sur cet escarpement ont été à la base d'éboulements. Ceux-ci ont causé morts d'hommes et dégâts matériels. On a enregistré 3 morts en 2006 et 2 morts en 2014. Ce glissement connaît une réactivation dans sa partie aval au contact avec la rivière (Glissement 6). Le Glissement 6 est le plus actif de tous les glissements du bassin de la Wesh; il est également le plus petit en superficie. La zone de l'escarpement principal et celle de la masse déplacée sont fortement perturbées par de récentes constructions de maisons. La rivière charrie les matériaux de la masse déplacée (Figure 3.b).	Le glissement 5 est visible sur la photographie aérienne de 1959, dans l'inventaire de MOEYERSONS <i>et al.</i> , (2004) et MIGOMBANO (2011), il est le glissement 3. Le glissement 6 est visible pour la première fois sur l'image Google Earth de ce secteur du 18 mars 2003.

7.	Glissement translationnel superficiel	Les matériaux déplacés sur ce glissement sont immédiatement charriés par la rivière. La zone des matériaux déplacés a subi un mouvement plus récent. Il s'agit d'une coulée boueuse en date de 23 décembre 2012 (Figure 3.c). La zone en contact avec la rivière subit une érosion latérale.	Photographie aérienne de 1959, Google Earth de 2003 à 2014.
8.	Coulée boueuse	Ce glissement, bien qu'inventorié par MOEYERSONS <i>et al</i> (2004), est devenu difficilement identifiable sur les images Pléiades et Google Earth. En effet, les coulées boueuses font partie des glissements qui laissent peu et parfois pas d'empreinte dans la nature. Un affluent de la rivière y prend source (Figure 3.d). Il a joué un rôle important dans le drainage de ce glissement, en transportant les matériaux.	Glissement 4 sur l'inventaire de MOEYERSONS <i>et al</i> (2004) et MIGOMBANO (2011).
9.	Coulée boueuse	Ce glissement semble être lié à la dynamique de la rivière et au ravinement. Les matériaux arrachés sont immédiatement charriés par la rivière Weshu.	Image Google Earth de 2003.
10.	Glissement rotationnel profond	Ce glissement est le plus grand glissement du bassin versant. La longueur de la surface du glissement est de 815m. Il connaît une réactivation au niveau du pied de la masse déplacée. Une source présente dans la partie aval du glissement joue un grand rôle dans le charriage des matériaux transportés. L'érosion latérale de la rivière déstabilise la pente au contact avec celle-ci.	Image Pléiades, Google Earth, photographie aérienne de 1959.
11.	Glissement translationnel superficiel	Ce glissement est fortement influencé par une source d'eau située au niveau de la surface de rupture du glissement. Ses eaux traversent toute la masse déplacée. Son escarpement principal est stable. Il est essentiellement occupé par un habitat de type rural associé à des zones de cultures et des lambeaux de boisements.	Image Pléiades, Google Earth, photographie aérienne de 1959.

La répartition des glissements de terrain est inégale, la majorité étant concentrée dans la partie nord-est du bassin versant (Figures 3 et 4). Sept de ces glissements sont rotationnels profonds, deux sont translationnels superficiels et deux sont des coulées. Sur les photographies aériennes de 1959, les glissements sont apparemment stabilisés, ils portent une végétation pérenne. Il n'y a pas d'activité visible sur l'escarpement principal ni sur la masse déplacée. Ceci montre que le mouvement est bien antérieur à cette année.

Outre les glissements de terrain principaux dont il est essentiellement question tout au long de l'article, il est important de signaler que toute une série de nombreux petits glissements superficiels sont observés dans le bassin versant, que ce soit au niveau des grands glissements de terrain ou sur des zones en dehors de ceux-ci. Ces mouvements peuvent être très petits (quelques mètres carrés de superficie) et non détectables sur les photos aériennes et images satellitaires. Ces mouvements peuvent apparaître facilement, sans nécessairement faire appel à des facteurs de déclenchement extrêmes; ils sont dès lors observés chaque année à chaque saison des pluies. Leur impact étant limité, les traces d'anciens mouvements de ce type sont peu visibles. Ce ne sont dès lors que les mouvements très récents, voire contemporains des levés de terrain, qui sont identifiés.

Evolution de l'affectation du sol depuis 1959

Le bassin versant de la Wesha est habité depuis l'époque précoloniale (COLLE, 1971). Il faisait partie de la collectivité de Kasha qui appartenait à la chefferie de Kabare (Figure 1) (RUMPUTU, 1981). C'est ce qui fait que cette zone soit constituée en 1959 pour l'essentiel d'habitat rural associé à des champs de cultures, de zones exclusivement réservées aux cultures et pâturages, d'une zone boisée par la Mission anti érosive (M.A.E.) au Kivu (LAMBERT, 1981; MOEYERSONS *et al*, 2004) et de quelques boisements particuliers appartenant aux notables locaux (Figure 5).

Les cultures sont principalement vivrières annuelles associées à certaines cultures pérennes, essentiellement la bananeraie. Les boisements sont constitués d'eucalyptus et de cyprès, espèce adaptée au climat de la région. Déjà à cette époque 6 glissements de terrain sont présents. Ils sont perceptibles sur les photographies aériennes de 1959. Le plus gros changement est l'apparition d'un habitat dense dans la partie aval du bassin versant spécialement sur son versant oriental. Les enquêtes de terrain et l'analyse d'archive montrent que cette urbanisation est relativement récente et est liée à l'arrivée d'une population importante dans la zone un peu après l'an 2000. Jusqu'à cette époque, la partie aval du versant de rive droite de la Wesha est restée couverte de cultures vivrières (manioc, haricot) entremêlées de lambeaux de boisements datant de l'époque coloniale. La partie amont a gardé un caractère plus rural, avec néanmoins un remplacement des champs de cultures au profit de l'habitat (Figure 6). Les glissements 10 et 11 n'ont pas encore subi beaucoup de changement par rapport aux autres, vu qu'ils se trouvent dans la zone non encore fortement anthropisée.

Table 2. Morphométrie des glissements de terrain

Glissements	Type de processus	Longueur totale (m)	Longueur de l'escarpement principal (m)	Largeur de la surface de glissement (m)	Aire (ha)
1	Rotationnel profond	184	50	237	2
2	Rotationnel profond	79	46	127	1,6
3	Rotationnel profond	366	75	287	8,2
4	Rotationnel profond	430	67	243	8,1
5	Rotationnel profond	208	70	208	4,6
6	Rotationnel profond	57	19	103	0,1
7	Translationnel superficiel	120	12	59	0,8
8	Coulée boueuse	91	4	33	0,6
9	Coulée boueuse	119	4	97	0,7
10	Rotationnel profond	292	40	815	18
11	Translationnel superficiel	327	66	192	5
Moyennes		207	48	218	3,3

Inventaire des éléments à risque

COROMINAS *et al.* (2013) recommandent dans l'analyse des risques de glissement de terrain de prendre en compte les éléments à risque qui peuvent être affectés par l'apparition des instabilités de pente, tels que la population, les biens et le paysage physique. La Table 3 énumère les différents éléments à risque dans les glissements de terrain en 2013. On voit clairement une diversité dans les enjeux sur ce bassin versant.

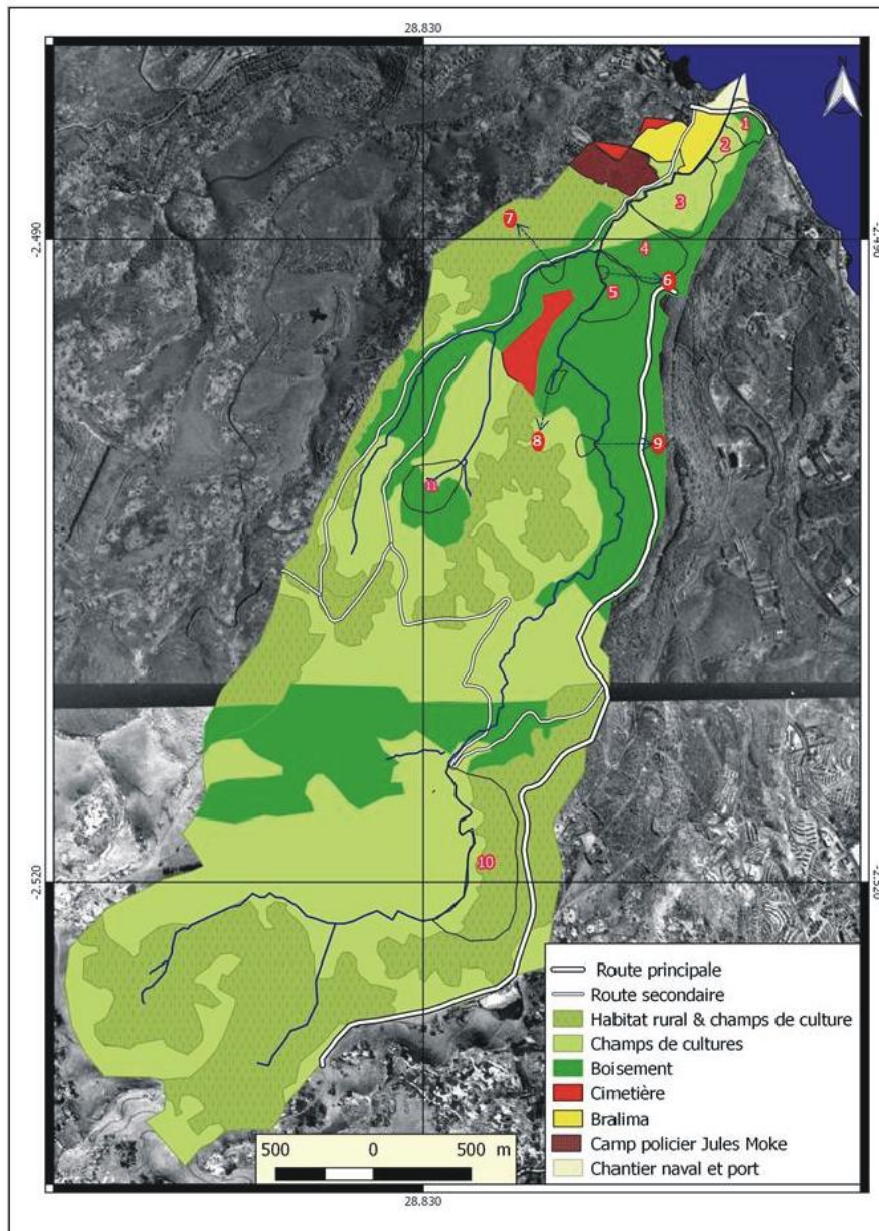


Figure 5. Affectation du sol du bassin versant en 1959.

L'élément le plus frappant est l'importance de la population vivant sur ces glissements de terrain (Table 3, Figures 7 et 8). A peu près 10.000 personnes vivent sur les zones directement affectées par les glissements. Tous les glissements sont habités. Le paysage est dominé par des maisons faites de toitures en tôles ondulées (Figure 8). L'observation faite sur le terrain montre que les parcelles sont de plus en plus morcelées et qu'il devient difficile de trouver une parcelle de 15m de côté appartenant à un seul individu. La conséquence est la présence de maisons dont les dimensions moyennes sont de 7 m de côté. Les servitudes entre parcelles sont alors souvent absentes ainsi que la gestion des eaux de ruissellement recueillies par les toitures et les usages ménagers. La diminution localisée des surfaces d'infiltration favorise des concentrations ponctuelles d'eau et l'imprégnation des matériaux sous-jacents; ce qui peut favoriser des instabilités locales voire de petites réactivations. En outre, ces concentrations peuvent aussi générer du ravinement, qui en se développant peut lui aussi être à l'origine de mouvements de masse (RUVUGA, 1976; BUMA & VAN ASCH, 1996; MOEYERSONS *et al*, 2004; MAKANZU IMANGWANA *et al*, 2014).

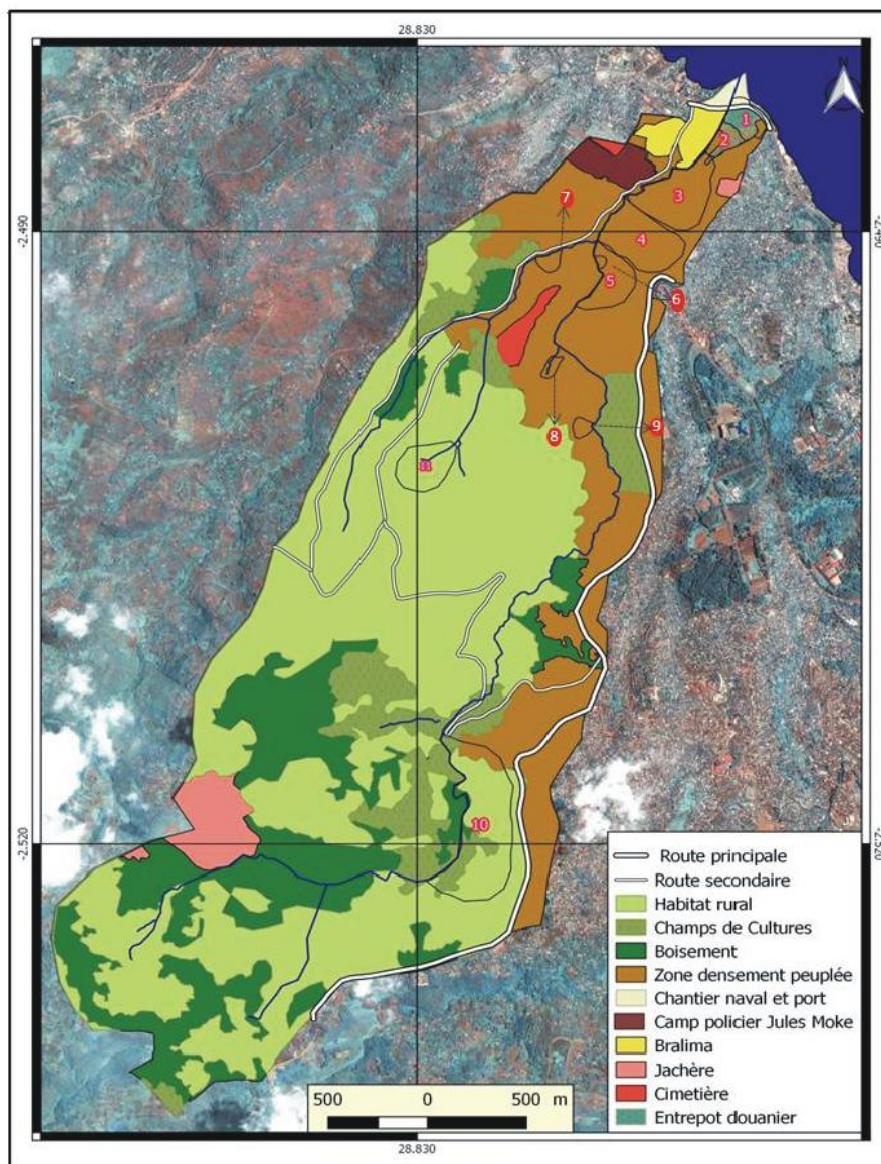


Figure 6. Affectation du sol en 2013

Tous les glissements exceptés les 1 et 6 sont affectés par un ravinement, parfois important. Les fortes pentes obligent la population à aménager des parcelles en « escaliers ». Ce type d'aménagement accentue les contraintes liées aux instabilités superficielles des terres. Les talus créés par le terrassement deviennent une source de danger permanent pour le voisin d'en bas et cela quel que soit le type de matériaux utilisé pour la construction d'un mur de soutènement. Les propriétaires les plus nantis construisent un mur fait de moellons associés au béton armé. Les moins nantis utilisent des matériaux de fortune faits essentiellement de bois et de sacs en plastique remplis de terre. Mais, indépendamment du type de mur, une forte imprégnation d'eau provenant de la toiture affaiblit la structure qui devient de plus en plus lourde et par gravité finit par s'écrouler. Les cas de pertes en vies humaines enregistrées dans cette zone sont presque tous liées à ce phénomène. Ce type de petit glissement de terrain, indépendant des grands glissements de terrain sur lesquels ils se forment, est typique au développement incontrôlé des zones d'auto-construction sur de fortes pentes dans la ville de Bukavu en général et dans la zone densément peuplée du bassin de la Wesha en particulier.

Les éléments à risque sont inégalement répartis sur l'ensemble du bassin versant (Figures 7 et 9). La partie nord en connaît une forte concentration. Elle est la plus peuplée et son peuplement est aussi le plus récent. Les infrastructures exposées sont principalement celles de la brasserie BRALIMA (plus grande usine de la Province du Sud-Kivu et première pourvoyeuse privée de l'emploi à Bukavu) située au pied de glissements. Les écoles, l'entrepôt douanier, et certaines infrastructures de desserte telles que lignes électriques, réservoirs et conduites d'eau (400 mm de diamètre) figurent parmi les infrastructures vulnérables. (Figures 7 et 9). Pour les lignes électriques, il y a 14 pylônes à moyenne tension et deux pylônes à haute tension (Figures 7 et 9). Certaines d'entre eux sont directement menacés, car étant localisés dans les zones affectées par des réactivations. Des réservoirs et conduites d'eau sont aussi sur des zones instables. Leur rupture pourrait provoquer des dégâts aux maisons environnantes.

Table 3. Inventaire des éléments à risque dans les glissements de terrain

Eléments à risque	Glissements de terrain (numérotés de 1 à 11)											Total
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
Boisement											1	1
Champ de culture										1	1	2
Conduite d'eau			1	3					1			5
Ecole			4	1	1					2		8
Entrepôt douanier	1											1
Conduite d'eau principale				1								1
Maison d'habitation	12	22	486	358	271	13	25	8	26	289	5	1515
Population (effectif)	78	143	3159	2327	1762	88	151	45	153	2023	27	9956
Poteau électrique haute tension			1	1			1					3
Poteau électrique moyenne tension	2		2	10								14
Réservoir d'eau				1								2
Route nationale				1						1		2
Route secondaire										1		1
Source d'eau							1	1		2	1	5
Hôpital										1		1
Station-service	2											2
Usine		1										1

Bien que les grands glissements puissent paraître stabilisés et dans l'ensemble être affectés seulement par des mouvements d'ampleur et de vitesse relativement restreintes, un événement déclencheur de grande envergure tel un séisme de forte magnitude pourrait provoquer des déplacements brusques assez conséquents qui pourraient affecter des étendues plus importantes, surtout si cela venait à avoir lieu au cours de la saison des pluies pendant laquelle les terres gorgées d'eau sont plus sensibles aux instabilités. Une réactivation conséquente des glissements de terrain pourrait ainsi avoir lieu et constituerait un danger plus important que ce qui est habituellement observé. Selon les études établies par KEEFER (2002) sur le lien entre la magnitude d'un tremblement de terre et la distance maximale de déclenchement de glissement de terrain à partir de l'épicentre, le séisme du 3 février 2008 de magnitude 5,9 qui a eu lieu près Cyangugu (Rwanda) à 10-15 km de Bukavu (D'OREYE *et al*, 2011) aurait pu déclencher des réactivations. Cependant, aucun mouvement de grande envergure n'a été observé après ce séisme, peut-être parce que cela a eu lieu en période de saison sèche. Il n'en demeure pas moins que des mouvements ultérieurs pourraient avoir un effet destructeur.

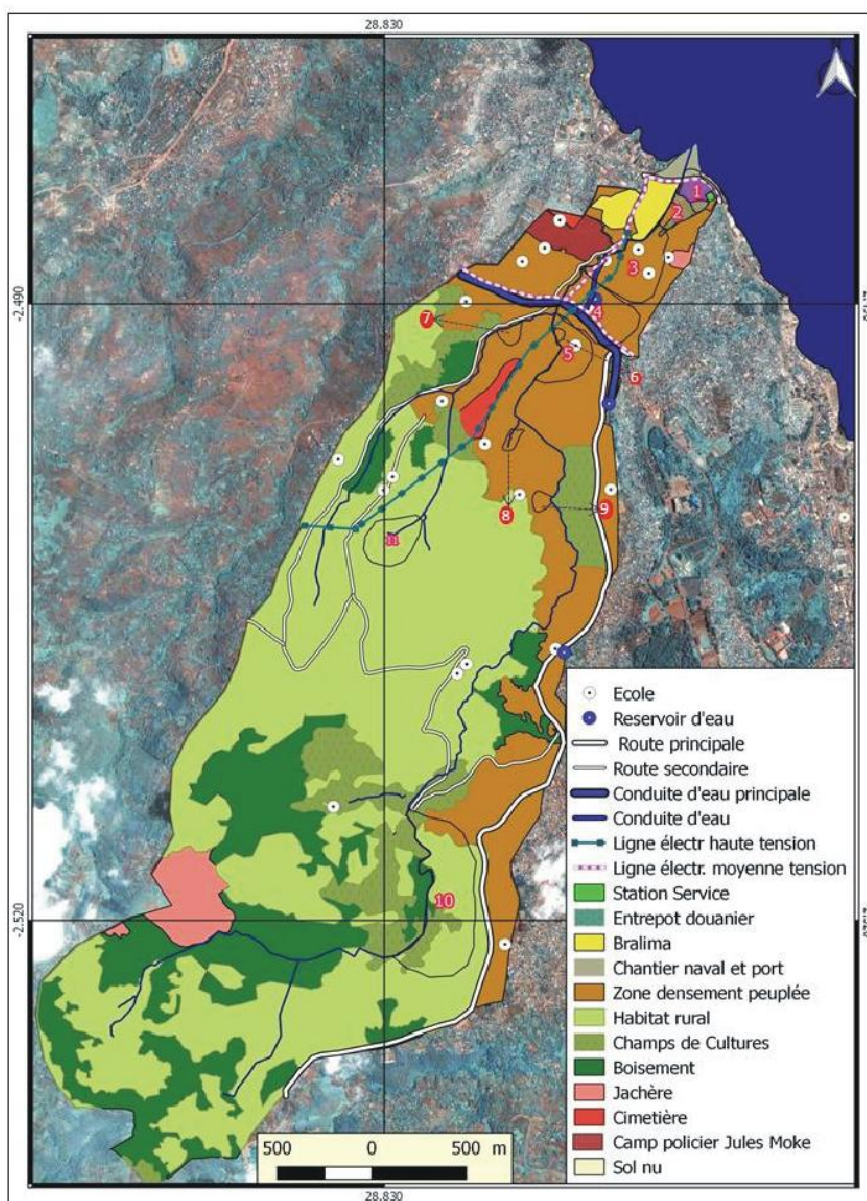


Figure 7. Les éléments à risque sur le bassin versant.

L'incident le plus récent lié aux glissements de terrain dans le bassin de la Wesha est l'écroulement d'un mur de soutènement fait de sacs en plastiques remplis de terre et de pierres sur une maison construite en planches sur la rive droite de la Wesha dans la zone comprise entre les glissements 5 et 10. Une forte pluie s'est abattue sur la ville de Bukavu dans la nuit du 13 au 14 avril 2015 et les éboulements ont été à la base de la mort de 15 personnes dont 3 dans le bassin de la Wesha. Il s'agit ici d'un événement superficiel, situé en dehors des grands glissements et de nature anthropique.

Etant donné que tous les grands glissements sont au contact avec la rivière ou au moins un de ses affluents, les crues sont aussi un facteur qui explique les processus en cours aux pieds des glissements. Les maisons construites au bord de la rivière sont doublement visées par la réactivation des glissements et l'érosion latérale de la rivière qui devient plus dangereuse lors des grandes crues. Ce constat se fait plus au niveau des glissements 5, 6, 7, 9, et 10. En outre, cette érosion des rivières est accentuée par l'exploitation des matériaux présents dans les lits.

En raison de la croissance de la population et la tendance à une occupation progressive du bassin versant de l'aval vers l'amont, on peut s'attendre à une amplification des glissements de terrain et de leur impact dans le futur.

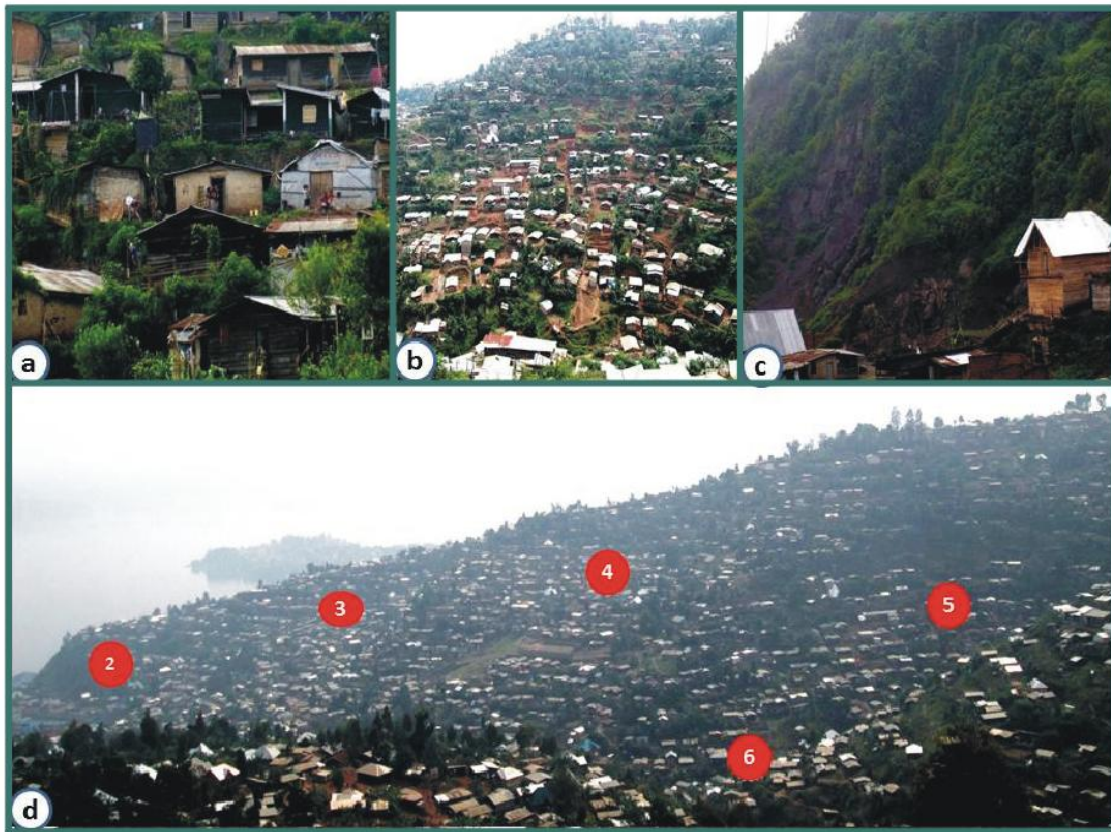


Figure 8. Les marques actuelles de l'anthropisation de l'espace.

(a) Maisons contiguës sur le glissement 3 (photo prise le 20 mars 2014). (b) Forte agglomération des maisons sur le glissement 5 (photo prise le 17 janvier 2015). (c) Déstabilisation de l'escarpement principal du glissement 2 par l'exploitation des pierres et la construction des maisons (photo prise le 20 mars 2014). (d) vue panoramique de la partie nord-est du versant oriental de la Weshu où on peut apercevoir la succession des glissements numérotés 2 à 6 fortement peuplés (photo prise le 17 janvier 2015).

CONCLUSION

A travers cette étude, l'inventaire des glissements de terrain est réalisé dans le bassin versant de la Weshu. Leur présence naturelle est notamment due à la combinaison de lithologies et matériaux d'altération sensibles et de pentes fortes. La majorité des glissements les plus grands sont rotationnels profonds, mais on trouve également des mouvements translationnels et des coulées boueuses. Ces glissements étaient en grande parties déjà présent en 1959 et leur morphologie laisse supposer une origine bien plus ancienne. Les zones affectées par les glissements de terrain ont connu des modifications importantes de l'affectation du sol. De 1959 à 2013, on observe une forte anthropisation et une disparition progressive du paysage rural. Seul l'amont du bassin versant n'a pas encore trop évolué. L'aménagement peu raisonné sur les versants, l'extraction de matériaux sur le pied de certains escarpements sont des interventions anthropiques favorisant les instabilités. Ainsi tous les glissements inventoriés, excepté le 11, présentent des traces récentes d'activités, que ce soit au niveau des escarpements principaux, dans le corps du glissement ou en contact avec la rivière.



Figure 9. Quelques infrastructures exposées aux glissements de terrain.

(a) Délocalisation de la ligne électrique à moyenne tension passant par l'escarpement principal du glissement 2 (photo prise le 17 janvier 2015). (b) Ligne électrique à haute tension passant par la masse déplacée des glissements 3 et 4 (photo prise le 17 janvier 2015). (c) Tuyau de la Régideso réparé après une cassure liée à la pression de la masse en subsidence (photo prise le 17 janvier 2015). (d) Réservoir d'eau de la Régideso se trouvant dans une zone d'affaissement et aujourd'hui perché à cause de l'érosion ravinante (photo prise le 17 janvier 2015). (e) Entrepôt douanier surplombé par l'escarpement principal du glissement 1 (© Google Earth, image du 24 mars 2014). (f) Installations de l'usine Bralima, société brassicole surplombées par les glissements successifs 1, 2 et 3 (© Google Earth; image prise le 28 février 2008).

La population installée sur ces glissements est constamment en danger. La présence d'infrastructures de desserte accentue aussi ce problème.

Cette étude, bien que limitée, permet néanmoins d'apporter une meilleure compréhension des processus de glissement de terrain dans le bassin de la rivière Wesh. Une bonne gestion d'un aléa doit en principe passer par une bonne compréhension du phénomène. Il importe dans le futur de continuer à observer ces glissements et de pouvoir anticiper de la meilleure manière les conséquences de l'anthropisation du paysage.

REMERCIEMENTS

Cette recherche est le fruit d'une collaboration réalisée dans le cadre des projets RA_S1_RGL_GEORISK, de l'Accord-Cadre Coopération belge au développement; le Musée royal de l'Afrique centrale dans le cadre du projet GeoRisCA (Grant SD/RI/02A, Belgian Science Policy) coordonnés par le Musée royal de l'Afrique centrale. Nos vifs remerciements à Damien Delvaux pour la relecture de travail.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ALEXANDER, D.E., 1995. A survey of the field of natural hazards and disaster studies. In: A. Carrara & F. Guzzetti (Editors), *Geographical Information Systems in Assessing Natural Hazard. Advances in Natural and Technological Hazards Research. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht*, pp 1-19.
- BERZ, G., KRON, W., LOSTER, T., RAUCH, E., SCHIMETSCHKE, J., SCHMIEDER, A. SIEBERT, SMOLKA, A., & WIRTZ, A., 2001. World map of natural hazards: A global view of distribution and intensity of significant exposures. *Nat. Hazards*, 23: 443-465.
- BIREMBANO, B.R., 2012. Inondations et sédimentation dans les basses terres du littoral du lac Kivu à Bukavu: cas du bassin versant de la Tshula, *Mémoire de DEA, UPN Kinshasa*.
- BIRINDWA, C., 2008. Mesures hydrologiques et sédimentologiques de la rivière Weshu, *Mémoire de Licence Inédit, ISP/Bukavu*.
- BUMA, J. & VAN ASCH, T., 1996. Slide (rotational). In: R. Dikau, D. Brunsden, L. Schrott & M.-L. Isben (Editors), *Landslide recognition. Identification, movement and causes. Wiley, Chichester*, pp 42-61.
- CHAMAA, S., & al. 1981. Atlas de la ville de Bukavu, Editions du CERUKI.
- COLLE, R.P., Essai de Monographie des Bashi, *CELA, Bukavu, 1971*.
- COROMINAS, J., VAN WESTEN, C., FRATTINI, P., CASCINI, L., MALET, J.P., FOTOPOULOU, S., CATANI, F., VAN DEN ECKHAUT, M., MAVROULI, O., AGLIARDI, F., PITILAKIS, K., WINTER, M.G., PASTEUR, M., FERLISI, S., TOFANI, V., HERVAS, J. & SMITH, J.T., 2013. Recommendations for the quantitative analysis of landslide risk. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 79: 209-263.
- CRUDEN, D.M. & VARNES, D.J., 1996. Landslides: Investigation and Mitigation. Chapter 3-Landslide types and processes. Transportation research board special report, 247. National Council. National Academy Press, Washington D.C. 1996, Keith Turner & Robert. Editors, pp. 36-75.
- DEWITTE, O., MONSIEURS, E., JACOBS, L., BASIMIKE, J., DELVAUX, D., DRAIDIA, S., HAMENYIMANA, J.B., HAVENITH, H.B., KUBWIMANA, D., MAKI MATEO, J.C., MICHELLIER, C., NAHIMANA, L., NDAYISENGA, A., NGENZEBUHO, P.C., NKURUNZIZA, P., NSHOKANO, J.R., SINDAYIHEBURA, B., TREFOIS, P., TURIMUMAHORO, D. & KERVYN, F., 2015. Mapping landslide processes in the North Tanganyika – Lake Kivu rift zones: towards a regional hazard assessment. *Geophysical Research Abstracts* 17, EGU2015-6726.
- HUNGR, O., LEROUÉIL, S. & PICARELLI, L., 2014. The Varnes classification of landslide types, an update. *Landslides*, 11, 167–194. doi:10.1007/s10346-013-0436-y.
- JACOBS, L., DEWITTE, O., POESEN, J., DELVAUX, D., THIERY, W. & KERVYN, M., 2015. The Rwenzori Mountains, a landslide-prone region? *Landslides*. doi:10.1007/s10346-015-0582-5.
- JONES, A., BREUNING-MADSEN, H., BROSSARD, M., DAMPHA, A., DECKERS, J., DEWITTE, O., GALLALI, T., HALLETT, S., JONES, R., KILASARA, M., LE ROUX, P., MICHÉLI, E., MONTANARELLA, L., SPAARGAREN, O., THIOMBIANO, L., VAN RANST, E., YEMEFACK, M. & ZOUGMORE, R., (EDS.), 2013. Soil Atlas of Africa. *European Commission, Publications Office of the European Union, Luxembourg*. 176 pp.
- KEEFER, D.K., 2002. Investigating landslides caused by earthquakes - *A historical review. Surveys in Geophysics*, 23: 473-510.
- LAMBERT, R., 1981. Bukavu, une ville aux prises avec son site, *Cahiers du CERUKI, Série B*.
- LUTUMBA, I., 1978. L'Erosion dans la ville de Bukavu. *Antenne du Centre de Recherches Universitaires du Kivu CERUKI*.
- LUTUMBA, I., 1991. Morphologie, volcanisme et sédimentation dans le rift du Sud-Kivu. *Bulletin de la Société géographique de Liège*, 27: 209-228.
- MALERE, M.B., 1984. Etude géomorphologique des cours moyen et inférieur du bassin-versant de la Weshu, *Mémoire de licence inédit, ISP/Bukavu*.
- MAKANZU IMANGWANA, F., DEWITTE, O., NTOMBI, M. & MOEYERSONS, J., 2014. Topographic and road control of mega-gullies in Kinshasa (DR Congo). *Geomorphology*, 217: 131-139.
- MAKI MATEO, J.-C. & DEWITTE, O., 2014. Towards an inventory of landslide processes and the elements at risk on the Rift flanks West of Lake Kivu (DRC). *Geo-Eco-Trop*, 38: 137-154.
- MBIYA, 1981. Contribution à l'érosion anthropique à Bukavu, *Mémoire de Licence, ISP/Bukavu*.
- MIGOMBANO, U.P. 2011. Evaluation et cartographie par SIG du risque lié aux glissements de terrain (Sud-Kivu, RD CONGO), *Mémoire de Master Complémentaire en Gestion des Risques Naturels*, Université de Liège, inédit.
- MOEYERSONS, J., TREFOIS, P., LAVREAU, J., ALIMASI, D., BADRIYO, I., MITIMA, B., MUNDALA, M., MUNGANGA, D.O. & NAHIMANA, L., 2004. A geomorphological assessment of landslide origin at Bukavu, Democratic Republic of the Congo. *Engineering Geology*, 72: 73-87.

- MUHINDO, S., 2011. Le contexte urbain et climatique des risques hydrologiques de la ville de Butembo (Nord-Kivu/RDC). *Thèse de Doctorat*, Université de Liège, 300p.
- MUNYOLOLO, Y., WAFULA, M., KASEREKA, M., CIRABA, M., MUKAMBILWA, K., MAVONGA, T., CIRIMWAMI, M., MUHIGIRWA, B., BAGALWA, R. & MUNDALA, M., 1999. Recrudescence des glissements de terrain suite à la réactivation sismique du bassin du Lac Kivu région de Bukavu (Rép. Dém. Congo) *Musée Royale de l'Afrique Centrale, Dépt. Min. Rapp. Ann.* 1997 & 1998: 285-298.
- SADIKI, N., VANDECASTEELE, I., MOEYERSONS, J., OZER, A., OZER, P., DUNIA, K., & CISHUGI, B., 2010. Développement de la ville de Bukavu et cartographie des vulnérabilités, RD Congo. *Annales des Sciences et Sciences Appliquées de l'Université Officielle de Bukavu*.
- OZER, P., 2014. Catastrophes naturelles et aménagement du territoire: de l'intérêt des images Google Earth dans les pays en développement. *Géo-Eco-Trop*, 1: 209-220.
- PASTEELS, P., VILLENEUVE, P., DE PAEPE, P. & KLERKX, J., 1989. Timing of the volcanism of the southern Kivu province: implications for the evolution of the western branch of the East African Rift system. *Earth and Planetary Science Letters*, 94: 353-363.
- PEEL, M.C., FINLAYSON, B.L. & MC MAHON, 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.
- RUMPUTU, M., 1980. Bukavu, site et situation; *Mémoire inédit ISP/Bukavu*.
- RUVUGA, B.M., 1976. Contribution à l'étude des érosions à Bukavu. *Mémoire inédit, ISP/Bukavu*.
- SCHUSTER, R.L., 1996. Socioeconomic significance of landslides. In: A.K. Turner & R.L. Schuster (Eds.), *Landslides: investigation and mitigation*. Transportation Research Board, Special Report 247, National Research Council. *National Academy Press, Washington D.C.*, pp. 12-35.
- TREFOIS, P., MOEYERSONS, J., LAYREAU, J., ALIMASI, D., BADRIYO, I., MITIMA, B., MUNDALA, M., MUNGANGA, D. & NAHIMANA, L., 2007. Geomorphology and urban geology of Bukavu (R.D.Congo): interaction between slope instability and human settlement. In: Mapping hazardous terrain using remote sensing. TEEUW, R.M. (Ed.), *Geological Society, London, Special Publications*, 283: 65-75.