

Développement de la ville de Bukavu et cartographie des vulnérabilités, R.D. Congo

**Sadiki Ndyanabo¹, Ine Vandecasteele², Jan Moeyersons², André Ozer⁽³⁾, Pierre Ozer⁽³⁾,
Kalegamire Dunia⁽¹⁾, Bahati Cishugi⁽¹⁾**

¹ Université Officielle de Bukavu, B.p. 570 Bukavu, R.D.Congo. Adresse mail: Stephan_ndy@yahoo.fr

² Musée Royal d'Afrique Centrale, Département de Géomorphologie et télédétection, Leuven street 13, 3080 Tervuren, Belgium

³ Université de Liège, Allée du 6 août, 2 - B11, 4000 Liège (Sart-Tilman), Belgique

ABSTRACT

This study presents natural as well as human factors which are responsible for the environmental degradation and the increasing vulnerability of the population of Bukavu to natural hazards. The city of Bukavu is located within the Albertine rift, a region which is prone to seismic activity. Moreover, the accentuated topography, the lithology and climate regime contribute considerably to the occurrence of both geomorphologic and hydroclimatic hazards. Over the last few decades the city has evolved at an exponential pace, without appropriate urban planning. Between 1970 and 2008 the population increased more than 4-fold within a constant area of about 60 km². The related change in land use has drastically amplified both the frequency and impact of natural hazards in the city. The zones at high risk of mass movements and flooding have been identified and mapped using remote sensing and Geographical Information System (GIS). The changes in land use and population density were also studied, and we propose several approaches to raise the resilience of the population in order to reduce the impact of natural hazards on the city.

Mots clés: *Bukavu, Risk, Vulnerability, Erosion, Geomatic.*

INTRODUCTION

La ville de Bukavu, chef lieu de la province du Sud-Kivu, est située à l'est de la République Démocratique du Congo, entre 2° 31' de latitude Sud et à 28° 50' de longitude Est et est séparée du Rwanda par le lac Kivu (1460 m d'altitude) et la rivière Ruzizi. Administrativement, elle est subdivisée en trois communes : Ibanga, Kadutu et Bagira (figure 1). D'une superficie de 60 km², la ville de Bukavu a évolué

assez rapidement du point de vue densité démographique sans que la planification urbaine ne suive son évolution.

On a constaté ces dernières décennies une augmentation de catastrophes naturelles (risques hydro climatiques et géomorphologiques) dans la région des grands-lacs (fig. 2) en général, en particulier dans la

ville de Bukavu. L'objectif de cette étude était d'analyser les facteurs qui sont responsables de la recrudescence de la vulnérabilité des populations, mais aussi de définir des actions envisageables pour réduire les risques face à une urbanisation d'une intensité croissante et difficilement maîtrisable.

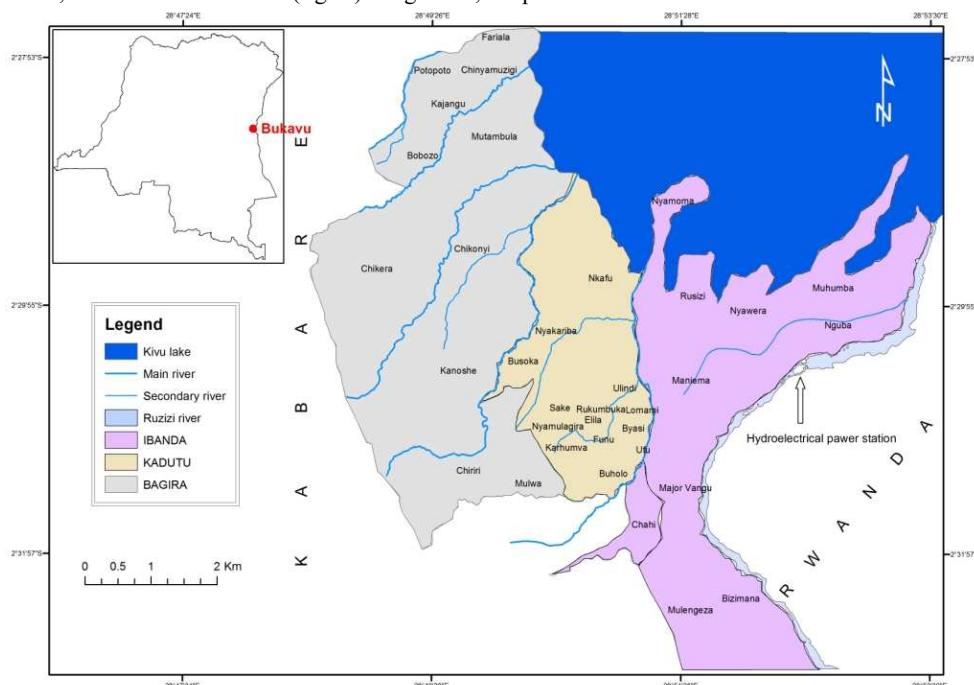


Figure 1 : Localisation de la ville de Bukavu (Sadiki, 2009)

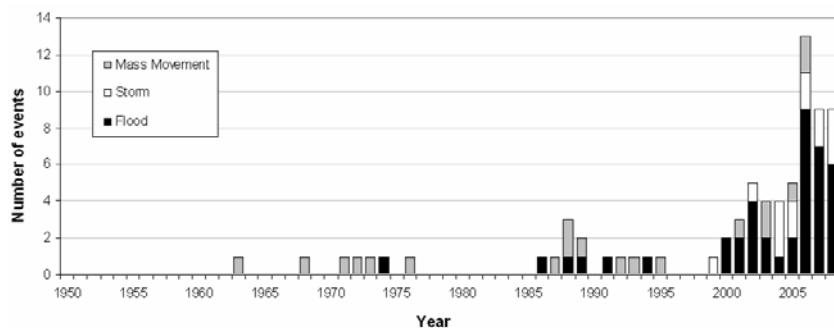


Fig. 2 : Nombre des catastrophes naturelles enregistrées au Kivu, Rwanda et Burundi depuis 1950 à 2008 (Source : Base des données du Musée Royal d'Afrique Centrale sur les risques naturels en Afrique centrale)

MATERIELS ET METHODES

Nous avons d'abord observé l'état actuel de l'environnement dans la ville de Bukavu et le degré de vulnérabilité auquel est exposée la population. Nous avons ensuite consulté les ouvrages et articles sur l'assainissement et la géologie urbaine afin de comprendre les paramètres qui contribuent à la dégradation de la ville, entre autres les travaux de Vandenplas (1943), Bultot (1950), Kampunzu *et al.* (1983), Ilunga (1977, 1989 et 1991), Muhigwa (1999), Tréfouis *et al.* (2002) et Moeyersons *et al.* (2003). Nous avons en outre analysé les données de télédétection (photographies aériennes et images satellitaires) dans les logiciels de cartographies (ArcGIS 9.3, ERDAS IMAGINE 9.1, ENVI 4.4) dans le

but de visualiser l'évolution de la ville, mais aussi et surtout d'identifier les zones à haut risque.

Causes de la recrudescence de la vulnérabilité

L'amplification des catastrophes naturelles ces dernières décennies peut s'expliquer par le contexte tectonique de la région, mais on remarque que l'imbrication des causes naturelles et anthropiques contribue considérablement à l'amplification des dégâts. Les facteurs naturels qui sont en liaison directe avec la dégradation du milieu naturel sont : les séismes, l'aléa climatique, la lithologie et la topographie.

Du point de vue morphotectonique, la ville de Bukavu est située au point d'intersection des directions tanganyikiennes et albertainnes (fig. 3). Cette situation explique la présence des failles dans la région qui ont contribué au modèle du relief typique de Bukavu avec des plateaux fortement disséqués (fig. 4) et les effondrements des quartiers comme Mukukwe et Industriel. L'analyse géomorphologique des photos aériennes de Moeyersons *et al.* (2003) et bien d'autres auteurs, souligne l'existence d'un micro-rift et trois escarpements sur le bord occidental de la rivière Kahwa (fig. 5).

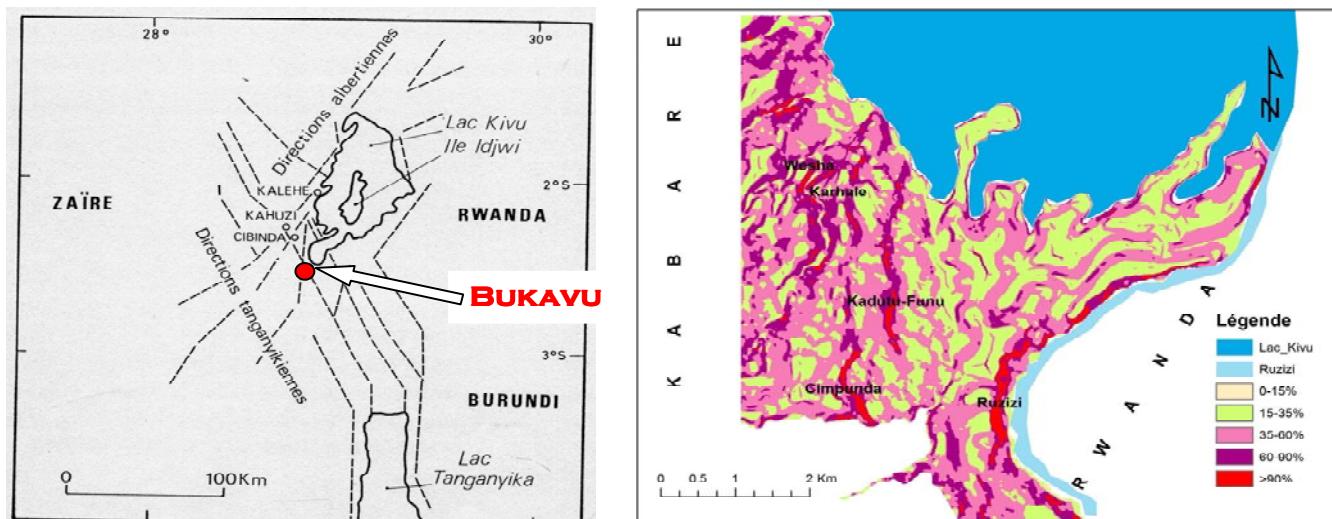


Figure 4 : Relief de Bukavu.



Figure 5: Vue de Bukavu à partir du Rwanda. (Photo de Moeyersons en 2005)

Le climat est considéré comme un facteur déclencheur de l'instabilité car l'alternance des saisons n'est pas sans conséquences géomorphologiques sur la ville. Elle favorise l'érosion. En effet,

l'alternance saisonnière du climat en une saison humide et une saison sèche, associée à une diminution de couverture végétale (fig. 6a et 6b) et à la lithologie favorise grandement l'érosion et les mouvements de

terrain. Pendant la saison sèche, le sol se dessèche et se crevasse, ce qui facilite la tâche des eaux de ruissellement pendant la saison humide (Tréfouis *et al.*, 2002).

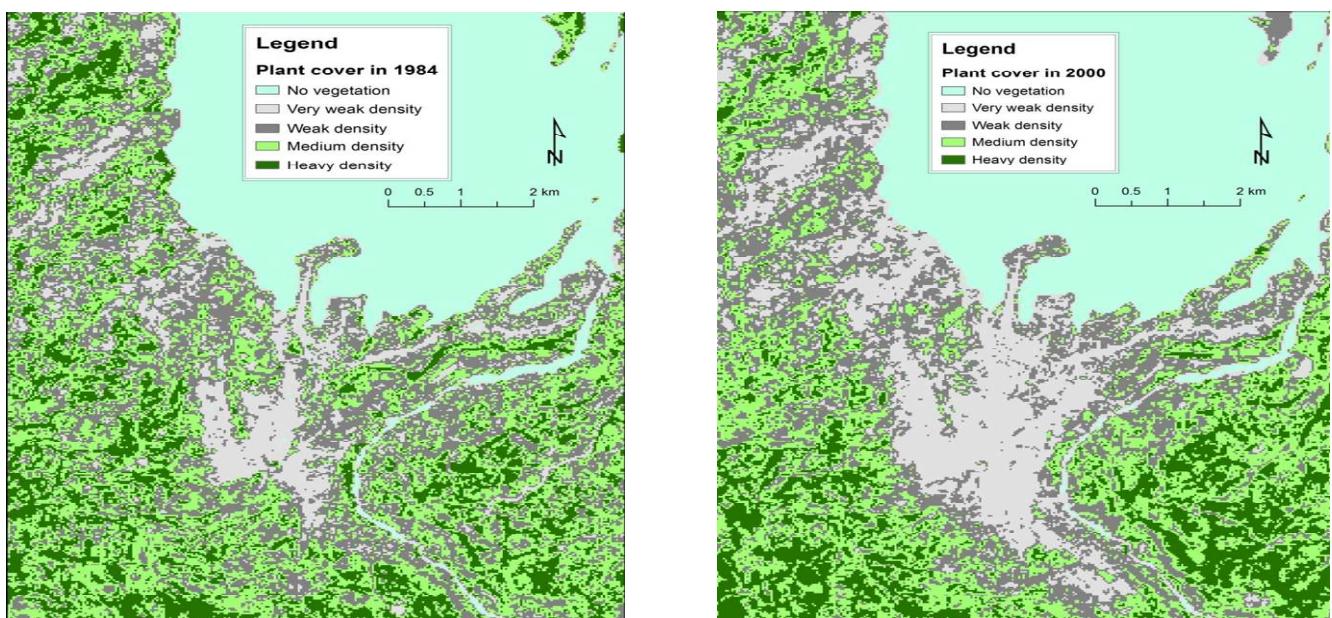


Figure 6 : Couverture végétale de Bukavu en 1984 (Sadiki, 2009)

Nous avons analysé les données météorologiques de la station de Bukavu entre 1931 et 2003 dans le but de vérifier les changements climatiques dont on entend toujours parler dans la province du Sud-Kivu en général et en particulier dans la ville de Bukavu (fig. 7 et 8).

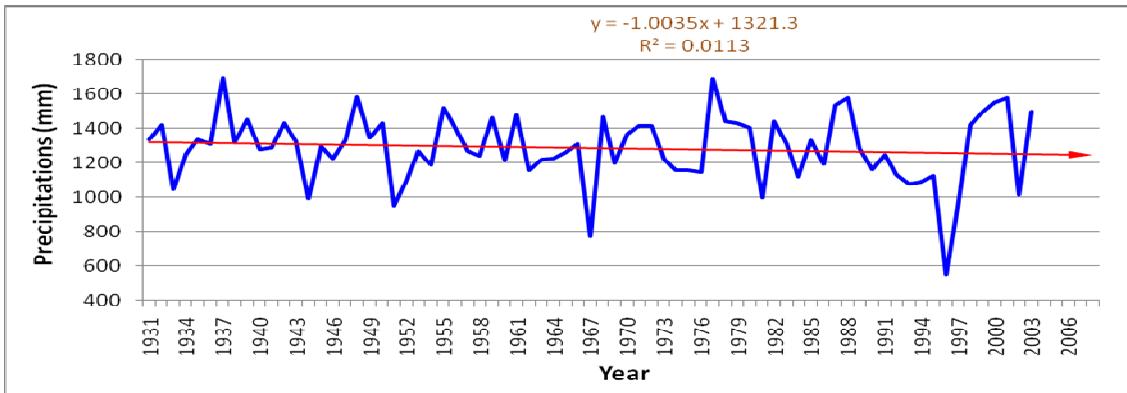


Fig. 7 : Tendance des précipitations annuelles de la station de Bukavu depuis 1931 à 2003 (Sadiki *et al.*, 2009)

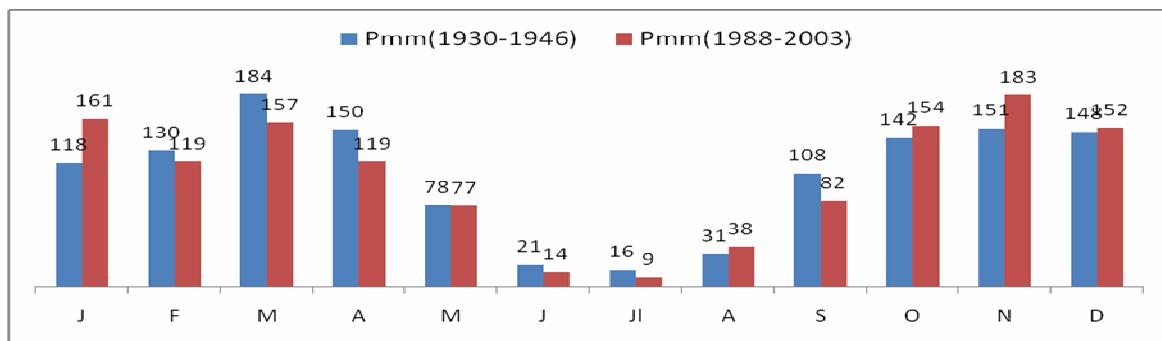


Fig. 8 : Comparaison des moyennes mensuelles de précipitations (1930 à 1946, d'après Bultot, 1950) et (1988 à 2003) de la station de Bukavu (Sadiki *et al.*, 2009)

Le calcul de l'indice de la végétation (NDVI) sur deux images Landsat (fig. 6a et 6b) a permis de mettre en évidence l'évolution de l'urbanisation, c'est-à-dire la diminution de la végétation dans la ville et ses environs à partir du rapport normalisé de la différence entre la réflectance proche-infrarouge et celle de la bande spectrale rouge dans le logiciel ENVI 4.4

Evolution de la dynamique urbaine et incidences environnementales

Le dynamisme de l'habitat et le développement d'une ville sont fonction de l'accroissement naturel de la population au sein de la ville et de l'exode rural (Nzunzi, 2008). La croissance démographique accélérée à Bukavu comme dans toutes les villes de la R. D. Congo s'explique ces dernières années par la situation sécuritaire qui sévit dans la région des grands lacs, spécialement dans la partie orientale de la R.D.Congo

où la tendance est d'habiter en ville, étant donné l'insécurité généralisée dans les villages.

Cependant, le problème de suraccroissement de la population lui-même est ancien. La population de l'ancien Kivu (Nord-Kivu, Sud-Kivu et Maniema), estimée à 750.000 hab. en 1920 est passée à 3.361.883 hab. en 1970 et à plus de 4.000.000 en 1980 (Tréfous *et al.*, 2002). Les analyses de De Saint Moulin (1984) sur les populations du Kivu indiquent que la population avait plus que doublé entre 1948 et 1970 par suite des migrations des populations rwandaises. L'auteur rajoute que « *seul le centre urbain de Bukavu atteignait 18.850 hab. avant 1948 dans l'ancien district du Kivu* ».

Par ailleurs, la situation de Bukavu a évolué en mouvement exponentiel, et le fait le plus marquant est l'occupation anarchique et spontanée de l'espace urbain. La ville,

avec 18 850 hab. avant 1948, a atteint 142 181 hab. en 1970 (De Saint Moulin, 1976), puis 450 000 hab. en 2002 (Tréfous *et al.*, 2002), jusqu'à 619 916 hab. en 2008 (INS, 2009). Ce qui est surprenant à noter ici, c'est l'augmentation de la population sur une même superficie (60 km^2) (Sadiki, 2009), depuis la création de la ville (1901) jusqu'à présent, dans une zone sujette aux aléas et contraintes naturels. Dès maintenant, on peut déjà pressentir l'impact de cette pression anthropique sur le milieu naturel et *vice versa*. La densité élevée de la population en 2002 s'explique par l'entrée massive des populations venues de Goma après l'éruption du Nyiragongo du 17 Janvier 2002.

La figure 9, résultat des traitements dans ArcMap 9.3 et ERDAS IMAGE 9.1 des photos aériennes de 1959, de l'image Ikonos 2001 et de l'image Google Earth 2009 montre l'évolution de l'habitat entre 1959 et 2009.

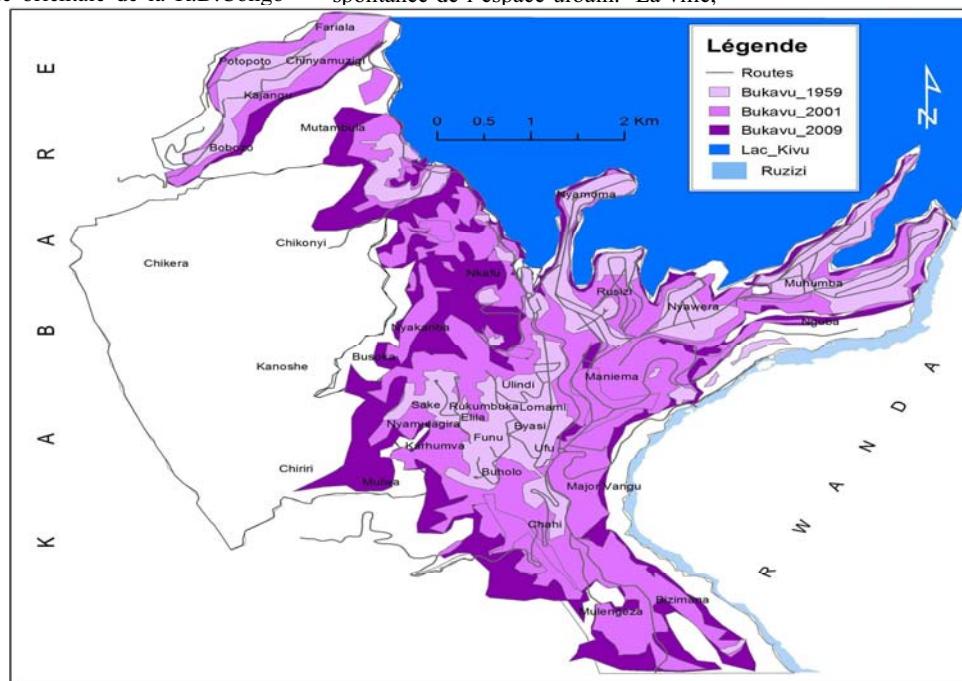


Fig. 9: Délimitation des zones bâties de Bukavu entre 1959 (Photos aériennes), 2001 (Image Ikonos) et 2009 (Image Google Earth du 6 août 2009).

RESULTATS ET DISCUSSION.

Le cumul annuel des précipitations à Bukavu (fig. 7) montre une tendance à la baisse pendant que la fréquence des catastrophes (mouvements de masse, inondations, orages) ne cesse d'augmenter dans la région (fig. 2). Cependant, cette tendance n'est pas significative ($F=0.841>>0.05$). L'amplification des conséquences hydroclimatiques peut être liée à la dégradation du milieu naturel à la suite d'une imbrication des causes naturelles et anthropiques. Quant à ce qui est de la diminution des précipitations, elle est une conséquence directe de la disparition de la végétation dans la ville de Bukavu et ses environs (fig. 6a et 6b).

Les traces de la diminution des précipitations se font remarquer sur les rivages du lac Kivu par la baisse du niveau d'eau, dont l'incidence directe sur la production de la centrale hydro-électrique de la Ruzizi est considérable, surtout pendant la saison sèche.

Par contre, dans la figure 8 se dégage un changement de la distribution mensuelle des pluies entre les deux périodes considérées, une augmentation depuis octobre jusqu'en janvier et une diminution à partir de février jusqu'en mai. Les mois de Juin, Juillet et Août indiquent la courte saison sèche. Juin et Juillet représentent les mois secs, tandis qu'août est devenu un mois plus humide. Muhiqwa (1999) avait déjà souligné cette observation à Bukavu et ses alentours. Aussi, le mois de Septembre qui était un mois très humide d'après Vandenplas (1943) est devenu un mois humide. Ilunga (1977) avait aussi constaté le même changement sur la période allant de 1955 à 1977.

En effet, ces perturbations qui interviennent juste après la saison sèche, en plus sur un sol argilo-limoneux, dépourvu du couvert végétal,

sont favorables au déclenchement de l'érosion de sol qui se poursuit durant la saison des pluies et ainsi, amplifier les coulées de boue. Cette hypothèse coïncide bien avec les conclusions de Ilunga (1977) sur les périodes d'érosion à Bukavu:

- Mois d'érosion nulle : Juin, Juillet et Août
- Mois d'érosion faible : Mai et Septembre
- Mois d'érosion assez forte : Octobre, Janvier et Avril
- Mois d'érosion forte : Mars, Février, Novembre et Décembre.

La figure 9 illustre très bien la mauvaise répartition spatiale de la population à l'échelle de la ville. En 1959 la cité européenne au bord du lac Kivu (Ibanda) et les camps des travailleurs à Kadutu et Bagira. Déjà en 2001, on constate une concentration de la population dans les mêmes quartiers, mais plutôt dans les zones impropre à la construction à l'instar des escarpements de faille et le rivage du lac.

En 2009 dans la commune d'Ibanda, les fondations de la majorité des maisons se retrouvent dans le lac. A titre d'exemple nous citons le cas de l'hôtel la Roche (fig. 10a, 10b et 10c), on voit très bien que le lac avait été repoussé sur environ dix mètres. Ainsi, la fondation des paillettes de l'hôtel, construites sur les remblais dans le lac, a subi des affaissements et fissurations après le tremblement de terre du 03 février 2008. La figure 13 montre l'extension des bâtiments dans une zone à haut risque, la baie de la SNCC, étant donné le contexte tectonique de la région. Il ressort de la comparaison de ces deux images qu'une dérive des sédiments d'environ 100 m de large se fait dans 35 ans, soit une vitesse de sédimentation d'environ 3 m par an. Ceci augmente considérablement la vulnérabilité des constructions vis-à-vis des aléas séismiques et des contraintes topographiques. Ce temps très court de dépôt donne une idée sur la vitesse très rapide de l'érosion par ravinement dans la ville, cas du site Lycée Wima-ITFM et l'ampleur des dégâts durant les inondations (coulées de boues).



Figure 10a : Hôtel La Roche (Google Earth)



Fig. 10b : Hôtel la Roche vue du lac (Source : 3 tamis)



Fig. 10c: Tassements différentiels d'une paillette de l'hôtel la Roche (Source : Kashinzwe, 2009)



Figure 11 : Accumulations des sédiments sur la baie de la SNCC

A Bukavu, l'instabilisation des versants avait commencé avec la suppression de la protection naturelle des sols à la suite d'une croissance spectaculaire de la population, qui par les contraintes socio-économiques et le non suivi des normes environnementales et les

règles urbanistiques, se retrouve dans les zones les plus vulnérables sur le plan géomorphologique. La comparaison entre la carte des pentes (fig. 5) et celle de l'évolution des bâtiments (fig. 9) montre une augmentation significative des constructions sur des pentes supérieurs à

30%, voire >90% dans certaines zones, telles les escarpements de failles actives (fig.12). Ainsi, la commune de Kadutu, la plus sujette aux activités néotectoniques est la plus peuplée de la ville. Elle regorge 34.3% de la population avec une densité de 27 637 hab. /km² (Sadiki, 2009).

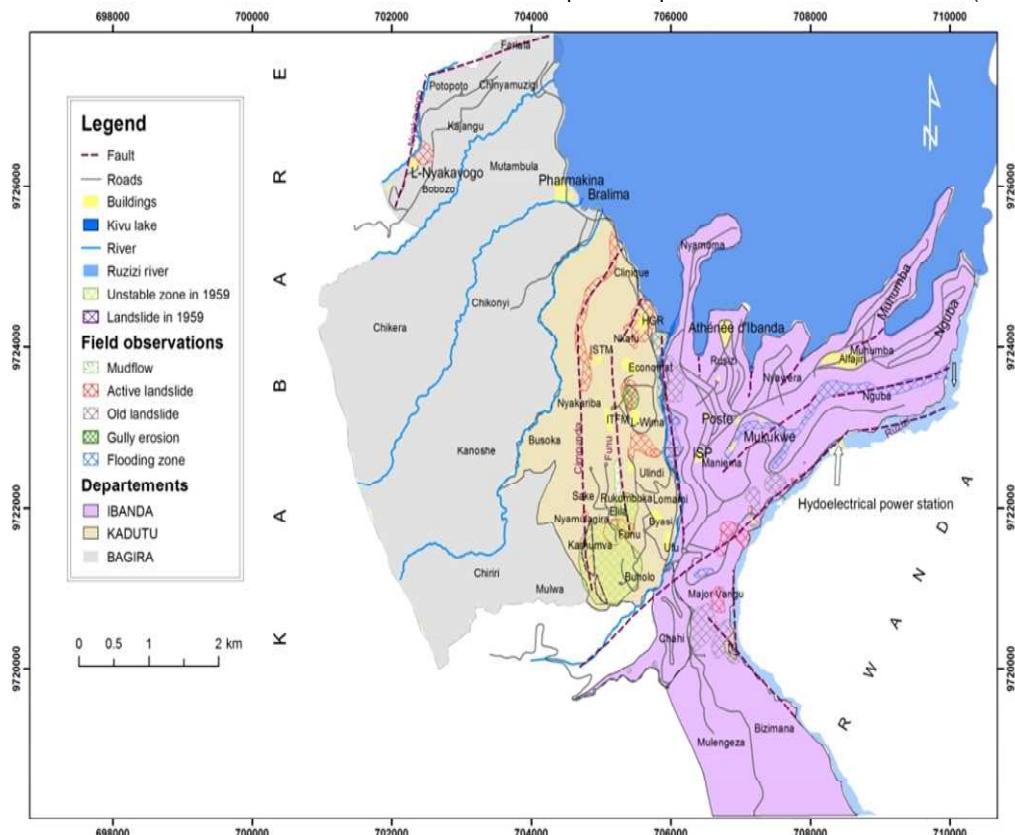


Figure 12 : Carte des vulnérabilités de la ville de Bukavu

D'après les observations de Ilunga (1989) dans la commune de

Kadutu, la colonisation des surfaces par les constructions, anarchiques en plus, a eu comme conséquence directe l'accroissement des ruissellements car elle

réduit non seulement la porosité du sol, mais aussi et surtout diminue la surface de réception par le sol de l'eau de pluie. C'est de cette manière que commence le ravinement élémentaire (rill erosion), à partir des points de concentration d'eaux, lequel va évoluer rapidement en ravinement installé (gully erosion). Cette situation est fortement amplifiée par deux autres phénomènes très importants : la topographie et la nature du sol (imperméabilité des argiles). A certains endroits à l'instar du site du lycée Wima-ITFM, la suffusion favorise les tassements différentiels des structures.

Mathématiquement, Risque = Aléa x Vulnérabilité. Le Risque représente la probabilité d'un danger résultant d'un Aléa, la cause réelle d'un phénomène naturel et la vulnérabilité étant le degré de pertes ou d'exposition des enjeux (Beucher *et al.*, 2004), c'est-à-dire l'impact socio-économique du danger. Etant donné la vulnérabilité physique de la ville de Bukavu, entre autres la présence des failles actives, la sensibilité des argiles à l'eau et un relief très irrégulier ; on ne peut plus prétendre gérer les risques à l'échelle de la ville sans envisager des actions pouvant permettre la réduction de la vulnérabilité car l'aléa est naturel, notamment la création d'une nouvelle ville pour la désengorger et non ce patelin qui est en train de naître d'une manière spontanée dans les zones à haut risque.

Les pluies abondantes et répétées, même de faible intensité, contribuent à modifier les propriétés géotechniques des sols et à augmenter la pression hydrostatique de l'eau dans les massifs perméables, favorisant ou provoquant les glissements de terrain (Tréfous *et al.* 2002). La superficie des zones affectées par les glissements de terrain dans la ville de Bukavu a été estimée en 2002 à : 2.020.408 m² pour les glissements non tectoniques et à 4.226.939 m² pour les glissements tectoniques. Soit 6.247.347 m² de superficie totale des glissements, ce qui correspond à environ 15% de la superficie totale de la ville (Moeyersons *et al.* 2003).

Il faut que l'autorité provinciale prenne ses responsabilités en main en mettant un point sur les morcellements des parcelles, par conséquent, les constructions anarchiques. De plus, la création d'une structure locale de gestion des catastrophes comme l'ont proposé les experts des nations unies en 2008 (UNADEC, 2008), constituerait une étape importante dans la gestion des risques naturels. Le gouvernement

provincial doit aussi initier une étude minutieuse des structures qui regorgent les substances toxiques et sans protection adéquate au sein de la ville. Nous citons à titre d'exemple la BRALIMA qui se sert de l'ammoniac (NH₃) dans les chambres froides. En effet, la BRALIMA se trouve dans un endroit stratégique de la ville, à côté du port qui alimente la ville en nourriture et assure la connexion entre la ville de Bukavu et celle de Goma, mais aussi près d'une rivière (Wesha) et d'un petit marché de la contrée. Si une vibration tellurique entraînait un déversement de ce produit toxique, non seulement il y aura des pertes en vies humaines, mais aussi la communication sur le lac et l'évacuation seraient paralysées.

CONCLUSION

La recrudescence de la vulnérabilité dans la ville de Bukavu, peut-être expliquée en partie par l'aléa climatique, notamment l'érosion du sol pendant la saison des pluies, mais en grande partie par une résultante d'autres facteurs à savoir, la pression anthropique et la déforestation qui en résulte, l'aléa sismique et son relief accidenté.

L'assainissement pluvial est de plus en plus important dans les villes en développement dans le cadre de l'aménagement du territoire. Sur le plan quantitatif, il ne faut pas oublier la gestion naturelle des eaux, la végétalisation et la non-imperméabilisation des sols qui ont un impact direct sur l'écoulement des eaux superficielles dans le bassin versant.

Les perturbations dans la distribution mensuelle des précipitations qu'on observe à Bukavu en particulier et dans la province du Sud-Kivu en général, ne suffisent pas pour parler de changements climatiques, et surtout que le total annuel n'a pas varié significativement. Notons aussi que l'absence de données journalières de Bukavu ne nous a pas permis d'aboutir aux conclusions sur le caractère exceptionnel ou non de la pluie, mais aussi de la période de retour des événements extrêmes parce qu'ils existent certainement.

Néanmoins, le surpeuplement a perturbé la gestion naturelle des eaux. Au-delà, pour maîtriser cette gestion, il convient tout d'abord qu'une étude hydrogéologique et géotechnique soit faite dans la ville, que le gouvernement provincial de Bukavu mette fin aux constructions anarchiques et qu'il favorise la recherche sur la gestion des risques naturels, précisément l'assistance technique et financière à la station météorologique de Bukavu.

BIBLIOGRAPHIE

- Beucher, S., Veyret, Y., Reghezza, M.,** 2004. Les risques. Ed. Boréal. 206p.
- Bultot, F., 1950.** Régimes normaux et cartes des précipitations dans l'est du congo belge, publ. I.N.E.A.C., com. N°1 du Bureau climat, coll. In-4, Bruxelles, 1950 .
- De Saint Moulin, L., 1976.** Atlas des collectivités du Zaïre. Kinshasa, 1976
- De Saint Moulin, L., 1984.** *Les migrations au Kivu se font-elles des zones les plus peuplées vers les zones les moins peuplées ? Séminaire sur l'érosion à à Bukavu. 15p.*
- Ilunga, L., 1977.** L'érosion dans la ville de Bukavu. Antennes, revue du CERUKI, cinquième année n°2. 277p.
- Ilunga, L., 1989.** Aspects physiques et humains de la zone de Kadutu, *in* Géographie et aménagement dans l'Afrique des Grands Lac. Presses Univ de Bordeaux. 4p.
- Ilunga, L., 1991.** Morphologie, volcanisme et sédimentation dans le rift du Sud-Kivu. Bulletin de la Société Géographique de Liège, vol.27.
- Kampunzu, A.B., Vellutini, P.J., Caron, J.P-H., Lubala, R.T., Kanika, M., Rumvegeri, B.T., 1983.** Le volcanisme et l'évolution structurale du Sud-Kivu (Zaïre). Un modèle d'interprétation géodynamique du volcanisme distensif intracontinental. Bull. Centre Rech. Explor. – Prod. Elf-Aquitaine, 7, 1, 30 juin 1983, pp 257-271.
- Kashinzwe, J., 2008.** Tremblement de terre dans la province du Sud-Kivu du 03/02/2008 et ses conséquences sur la ville de Bukavu. Institut Supérieur Pédagogique de Bukavu, Inédit (mémoire de Licence en géographie, 2007-2008).
- Moeyersons, J., Tréfous, P., Lavreau, J., Alimasi, D., Badriyo, I., Mitima, B., Mundala, M., Munganga, D., Nahimana, L., 2003:** A geomorphological assessment of landslide origin at Bukavu, Democratic Republic of the Congo, Engineering Geology.
- Muhigwa, J., 1999.** Analyse des perturbations dans le régime pluviométrique du Sud-Kivu durant les 50 dernières années. Mus. roy. Afr. centr., Dépt. Géol. Min., Rapp. Ann. 1997 & 1998. 9p.
- Nzunzi, F.L., 2008.** Kinshasa Ville et Environnement. Ed. Harmattan, Paris. 281p.

- Sadiki, N., 2009.** Gestion des risques naturels à Bukavu, Sud-Kivu / R. D. Congo. Université de Liège, Inédit (mémoire de Master Complémentaire en Gestion des Risques Naturels, 2008-2009).
- Sadiki, N., Vandecasteele, I., Moeyersons, J., Trefois, P., 2009.** Climate-related Natural Hazards in Bukavu. International Symposium: developing countries facing global warming: a post-Kyoto assessment.
- United Nations Brussels, Royal Academy Overseas Sciences, Palais des Académies, rue Ducale, 1, Brussels, 12-13 June, Abstract, page 71.
- Tréfois, P., Moeyersons, J., Lavreau, J., Alimasi, D., Badriyo, I., Mitima, B., Mundala, M., Munganga, D., Nahimana, L., 2002.** Rapport des travaux sur la géologie urbaine de Bukavu : Interaction entre la stabilité du sol et la pression démographique.
- MRAC, Inédit (Rapport final 2002 : projet sur la géologie urbaine de Bukavu).
- UNDAC, 2008.** Tremblement de terre en République Démocratique du Congo dans la région des grands lacs : Rapport d'évaluation du risque.
- Vandenplas, A., 1943.** La pluie au Congo belge. Bull. Agr. Du Congo belge. 34(3-4) :275-396