



Contribution de l'approche géographique à l'étude des facteurs humains de l'érosion ravinante intra-urbaine à Kinshasa (R.D. Congo)

Contribution of the geographic approach to the study of human factors involved in the intra-urban gully erosion in Kinshasa (D.R. Congo)

KAYEMBE WA KAYEMBE M* & WOLFF E**

Abstract: With a geographic holistic and multi-scales approach of physical and human factors combining Very High Resolution satellite imagery interpretation, a survey on the ground (observation, interview, DGPS measurement) and a Geographic informatic system (GIS), this study helped to explain by a set of physical and especially human factors that intra-urban gully erosion is a complex phenomenon with multiple causalities. Those are the orthogonality of roads on the slopes, the tracks traced in the direction of (the highest point of) the slope, housing construction techniques on weeded and loosened terraces offering no resistance to concentrated water runoff, soil sealing residential towns upstream of spontaneous settlements, sewerage that fail at the outlet and erosion control devices poorly maintained or not, the non-appropriation of public spaces and the late intervention in the management. This intervention in the erosion control is asymmetrical from a temporal point of view. This delay not only worsens the living conditions in poor neighborhoods, but also it allows the gully erosion to accelerate, to branch out and take dramatic dimensions.

Keywords : Remote sensing, GIS, Gully erosion, geographic approach, Kinshasa

Résumé : Grâce à l'approche géographique holistique et multi-échelle des facteurs physiques et humains combinant l'interprétation d'images satellitaires à très haute résolution, un travail de terrain (observations, interviews, relevés DGPS) et l'utilisation d'un système d'information géographique (GIS), cette étude a permis d'expliquer par un ensemble de facteurs physiques mais surtout humains que l'érosion ravinante intra-urbaine est un phénomène complexe aux causalités multiples. Il s'agit de l'orthogonalité de la voirie sur le versant des collines, des pistes tracées dans le sens de la grande pente, des techniques de construction de l'habitat sur des terrasses ameublies et désherbées n'offrant aucune résistance aux eaux de ruissellement, de l'imperméabilisation des sols des cités résidentielles en amont des quartiers spontanés, du réseau d'assainissement qui n'arrivent pas à l'exutoire et des dispositifs anti-érosifs mal ou non entretenus, de la non appropriation des espaces publics et l'intervention tardive dans la prise en charge. Cette intervention dans la lutte anti-érosive est asymétrique du point de vue temporel. Ce retard aggrave non seulement les conditions de vie dans les quartiers pauvres, mais aussi il permet à l'érosion ravinante de s'accélérer, de se ramifier et de prendre des dimensions spectaculaires.

Mots clés : Télédétection, SIG, érosion ravinante, approche géographique, Kinshasa

*Département de Géographie, Université de Lubumbashi,
kayembematthieu@yahoo.fr; Matthieu.KayembewaKayembe@unilu.ac.cd

**IGEAT, Université Libre de Bruxelles,
ewolff@ulb.ac.be

INTRODUCTION

En milieu urbain, les recherches sur l'érosion ravinante intra-urbaine sont récentes, alors que les problèmes posés par ce phénomène sont connus dans le bassin méditerranéen, par exemple, depuis plusieurs siècles (ROOSE *et al.*, 2000). En Afrique, ces recherches datent de la période post-coloniale. Il suffit de voir les dates de publication des quelques articles scientifiques pour s'en rendre compte (VAN CAILLIE, 1983, 1997, 1990 ; TCHOTSOUA, 1991, 1992 ; TCHOTSOUA & BONVALLOT, 1995, 1997 ; TCHOTSOUA *et al.*, 1999 ; ROOSE *et al.*, 2000, ...). Ces auteurs, qui se sont particulièrement consacrés à l'étude de l'érosion ravinante intra-urbaine, se limitent à expliquer les causes physiques de ce phénomène en milieu urbain. Selon eux, comme dans le milieu naturel, c'est un phénomène qui dépend du climat (précipitations), du relief (pente), du sol et de la nature et de la densité du couvert végétal.

Cependant, les ravins ne se développent pas partout dans l'espace urbain, et ce y compris si on ne considère que les quartiers construits sur les flancs de collines. L'analyse de la répartition spatiale des ravins en milieu urbain montre que l'hétérogénéité des facteurs physiques de l'érosion ravinante ne serait pas seule en cause. Il y aurait des dimensions humaines qui accentuent ou qui freinent ce phénomène. BUSNELLI *et al.* (2006) le reconnaissent indirectement lorsqu'ils disent que l'urbanisation spontanée empire la situation lorsqu'elle est combinée à la fragilité environnementale. L'érosion ravinante intra-urbaine peut être qualifiée de fait naturel anthropisé (METZGER *et al.*, 2011), c'est-à-dire qu'il résulterait de la rencontre entre l'événement naturel et l'organisation sociale de l'espace (LEONE *et al.*, 2010). Les facteurs de l'érosion ravinante à Kinshasa n'échappent pas à cette règle.

A Kinshasa (R.D. Congo), peu d'études scientifiques ont été consacrées à l'érosion ravinante intra-urbaine. Les études disponibles se répartissent en six groupes. Le premier définit les catégories des pentes susceptibles (à partir de 12%) de déclencher l'érosion ravinante (VAN CAILLIE, 1997). Le deuxième groupe identifie quelques causes humaines de l'érosion ravinante intra-urbaine en se basant sur l'observation sur le terrain (MITI TSETA & ALONI., 2005 ; LELO NZUZI, 2008) ou sur une série diachronique d'images Google Earth (OZER, 2014). La construction inachevée, le mauvais dimensionnement et le manque d'entretien des collecteurs, le manque d'entretien de bassins de rétention, le manque de gestion des eaux de toitures et les pistes tracées dans le sens de la plus grande pente (WOUTERS & WOLFF., 2010) et l'imperméabilisation des versants au détriment de la végétation ligneuse due à l'urbanisation non planifiée sur un sol sablonneux vulnérable (OZER, 2014) sont évoqués comme causes humaines de l'érosion ravinante intra-urbaine. Le troisième groupe définit une clef d'interprétation visuelle pour identifier sur une image satellitaire à très haute résolution spatiale non seulement les ravins actifs et inactifs mais aussi leur origine (WOUTERS & WOLFF., 2010). Le quatrième groupe illustre la célérité du phénomène de ravinement dans les zones collinaires du sud de Kinshasa à partir d'une série diachronique d'images Google Earth (OZER, 2014). C'est un phénomène aux conséquences socio-économiques importantes : enclavement de certains quartiers, perturbations de la vie du quartier, destructions des habitations et des routes. Le cinquième groupe étudie la relation entre la distribution des méga ravins et l'urbanisation dans la ville de Kinshasa et fait l'inventaire des techniques de lutte anti-érosive mises en œuvre dans le sud de la ville Kinshasa ou les décrit (MAKANZU IMWAGANA *et al.*, 2015 ; KAYEMBE WA KAYEMBE, 2012 ; VAN CAILLIE, 1983, 1990). Le dernier groupe met l'accent sur l'argent dépensé par les bailleurs de fonds dans le cadre de la coopération internationale pour lutter contre l'érosion ravinante intra-urbaine à Kinshasa (STEVENS, 2006 ; LELO NZUZI, 2008 ; KAYEMBE WA KAYEMBE, 2012).

Alors que la seule prise en compte des facteurs physiques dans la lutte anti-érosive n'a pas permis de stopper les ravins, ces derniers englobent, chaque année, plusieurs millions de dollars américains de travaux anti-érosifs à Kinshasa. Cependant, rares sont les études scientifiques sur l'érosion ravinante intra-urbaine combinant à la fois les facteurs physiques et anthropiques selon une approche géographique, holistique et multi-échelle. L'objectif de cet article est de montrer que l'érosion ravinante intra-urbaine n'est pas une calamité naturelle en utilisant une approche géographique holistique et multi-échelle des facteurs physiques et humains combinant l'interprétation d'images satellitaires à très haute résolution, un travail de terrain (observations, interviews, relevés DGPS) et l'utilisation d'un système d'information géographique.

ZONE D'ETUDE

La ville de Kinshasa peut être subdivisée en deux parties : ville basse dans la plaine bordant le fleuve Congo et ville haute sur les collines au sud (LELO NZUZI, 2008).

La zone couverte par cette étude est située au sud de la ville de Kinshasa (ville haute) et entièrement à l'ouest de la rivière Ndjili (Figure 1.). Elle comprend les communes de Kisenso, Lemba, Makala, Ngaba, Selembao, Ngaliema et Mont Ngafula. A l'exception de la commune de Ngaba, elles sont entièrement ou en partie situées sur les collines du sud. Le ravinement s'y est beaucoup développé ; KAYEMBE WA KAYEMBE (2012) y a dénombré plus de 300 ravins identifiés sur une image satellitaire à très haute résolution spatiale (GeoEye-1 du 30 juin 2010).

La zone d'étude est caractérisée par une urbanisation spontanée, à l'exception des cités planifiées construites à Ngaliema, à Mont Ngafula et à Lemba pour les classes aisée et moyenne. Ces cités sont bien équipées en routes et réseau d'assainissement. La classe modeste a dû recourir à l'auto-construction sur des terrains non viabilisés, et par conséquent non équipés.

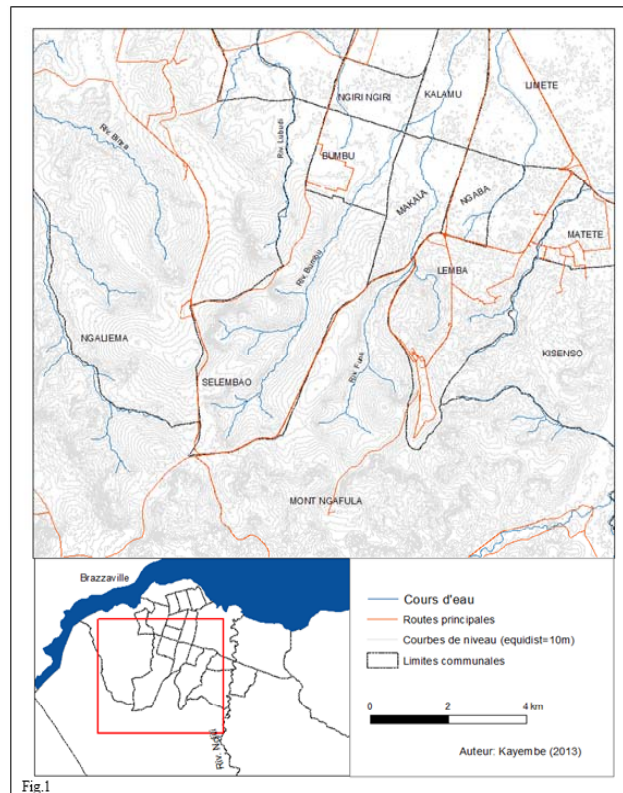


Figure 1. Localisation de la zone d'étude (Source : Les courbes de niveau dérivent du MNT réalisé par TREFOIS au Service de Géomorphologie et Télédétection du Musée Royal d'Afrique centrale en 2010)

Jusqu'avant l'Indépendance, en 1960, la ville de Kinshasa s'est développée essentiellement dans la plaine ou ville basse. Les plans d'aménagement de 1950 et 1967, 1975 orientent l'extension urbaine vers l'est et interdisent la construction sur les pentes des sites collinaires (zones « non aedificandi ») en raison de leur sensibilité à l'érosion. Ces collines devaient faire l'objet de deux types d'affectation: des quartiers résidentiels et espaces verts sur leurs hauteurs et des zones de culture maraîchère dans les vallées (FLOURIOT *et al.*, 1975).

Cependant dès les années '50, la ville a commencé à s'étendre vers le sud à cause de la saturation de l'espace au bord du fleuve; en effet, les bords du fleuve étaient recherchés par les colons pour leur fraîcheur. Ces derniers (arrivés à Kinshasa à la fin des années 1940 et durant les années 1950) trouvaient deux avantages à occuper les sommets des collines : une vue panoramique de la ville et de l'air frais, surtout la nuit. C'est ainsi que les cités des « colons », occupées par la classe dirigeante congolaise après l'Indépendance, ont été construites sur les hauteurs de ces collines.

Mais après 1960, les vallées n'ont pas été épargnées de l'urbanisation, et ce sans un minimum d'aménagement. En effet, dans le but de constituer l'électorat dans la perspective des premières élections démocratiques devant avoir lieu en RDC dans les années 1960, les leaders politiques à l'échelon national ont favorisé la venue des ruraux dans la ville de Kinshasa (DE SAINT MOULIN, 2010). Ces leaders signifiaient à leurs militants que l'Indépendance était synonyme de la fin de la vie de locataire. Ils lancèrent le mot d'ordre « sa ngolo zako » (littéralement, « selon tes capacités ») qui invitait les militants à s'octroyer chacun un terrain à bâtir (KAYEMBE *et al.*, 2010; LELO NZUZI, 2011). Ainsi, les nouveaux et anciens citoyens locataires dans les communes centrales se sont lancés à la recherche d'une propriété aussi proche que possible du centre-ville tant en distance qu'en temps de parcours. C'est ainsi que les vallées proches des anciennes cités ont été investies spontanément par ces militants, et ce malgré leur grande sensibilité à l'érosion ravinante dans le contexte des sols sablonneux kinois et l'interdiction d'urbanisation de ces zones par les plans d'aménagement. De cette façon, les populations à faibles revenus ont occupé des terrains marginaux (KAYEMBE WA KAYEMBE, 2012).

METHODOLOGIE

Pour mettre en évidence la relation entre les rôles des facteurs humains et l'érosion ravinante, l'approche la plus utilisée est la comparaison d'une série des photos aériennes prises à des dates différentes afin de cartographier l'évolution de la ville et celle des ravines. Elle a été utilisée par TCHOTSOUA & BONVALLOT (1997) pour la ville de Yaoundé (Cameroun) et par VAN CAILLIE (1983) pour la ville de Kinshasa. Cette approche permet seulement de dater plus ou moins cette relation.

Dans les études de risque, l'approche cartographique (ou géographique), l'observation et le reportage photographique des empreintes laissées par l'aléa ou ses dégâts sont préconisés. L'approche cartographique a été utilisée par D'ERCOLE & SIERRA (2009) pour identifier, caractériser et hiérarchiser les espaces à risque à Quito. JIMENEZ-DIAZ (1992) et SIERRA (2009) ont recouru au reportage photographique des impacts provoqués par l'aléa (glissement de terrain) parce qu'il permet d'objectiver une réalité qui évolue.

Ces deux approches sont complémentaires et ont été combinées dans cette recherche. Notre méthodologie repose sur une approche géographique, holistique et multi-scalaire ; elle analyse à la fois les facteurs physiques et anthropiques sur base d'interprétation d'images satellitaires à très haute résolution, d'un travail de terrain (observations, interviews, relevés DGPS) et de l'utilisation d'un système d'information géographique.

1. Les ravins ont été interprétés visuellement à partir de la bande panchromatique de l'image GeoEye (résolution spatiale : 50 cm) datant du 30 juin 2010, sur base de la clef d'interprétation définie par WOUTERS & WOLFF (2010) et de nos connaissances du terrain. L'image a été orthorectifiée dans PCI-GEOMATICA 10.2 à l'aide des 20 points de calage localisés sur le terrain précisément avec un DGPS et d'un modèle numérique de terrain d'une précision de 5 m calculé en 2010 par le service de Géomorphologie et Télédétection du Musée Royal d'Afrique Centrale (MRAC). L'interprétation a été validée par un travail de terrain, notamment pour identifier avec certitude si le ravin était encore actif ou non. Cette carte constitue en quelque sorte une actualisation de celle de VAN CAILLIE de 1970 ; leur comparaison permet de retracer l'évolution de l'érosion ravinante en 40 ans à Kinshasa.
2. La distribution spatiale des ravins a été comparée dans un système d'information géographique aux principaux facteurs physiques et anthropiques permettant d'expliquer l'érosion ravinante. Les données permettant de cartographier ces derniers proviennent de la numérisation et de la mise à jour de cartes existantes (réseau d'assainissement, pistes et routes macadamisées, imperméabilisation des sols), d'une interprétation de l'image satellitaire et de levés de terrain (travaux anti-érosifs). La constitution de chaque couche d'information est expliquée ci-dessous.
 - a. Le réseau hydrographique a été numérisé à partir de la bande panchromatique de l'image SPOT du 10 avril 2000.
 - b. Les pentes ont été calculées à partir du Modèle Numérique de Terrain réalisé par TREFOIS au Service de Géomorphologie et Télédétection du Musée Royal d'Afrique centrale en 2010.

- c. L'occupation et l'imperméabilisation des sols sont obtenues respectivement grâce à la classification supervisée des images SPOT KJ 3 096-358 du 31 mars 1995 (résolution spatiale : 20m) et KJ 4 096-358 du 01 juillet 2005 (résolution spatiale : 20m) et à l'interprétation visuelle (à l'échelle de 1/5 000) de l'image satellitaire GeoEye-1 du 30 juin 2010 (résolution spatiale : 2 m) en composition colorée fausses couleurs.
- d. La carte du réseau d'assainissement de la ville de Kinshasa date de 1975. Cette dernière ne couvre pas les quartiers construits sur les zones collinaires du sud de la ville. Elle a été mise à jour à l'aide d'une campagne de terrain. Le tracé de tous les collecteurs de cette partie de la ville a été mesuré par DGPS avec une précision de l'ordre de 0,50 m.
- e. Le réseau des pistes en terre et des routes macadamisées a été numérisé à partir de l'image SPOT (KJ 096-358 du 10 avril 2000 d'une résolution spatiale de 20 m, car celle-ci est la seule à couvrir le sud de la ville sans comporter de nuages) en composition colorée fausses couleurs.
- f. Les travaux anti-érosifs ont été documentés grâce aux différentes visites de terrain, ce qui a permis de distinguer les ravins pris en charge par les pouvoirs publics, les ONG et/ou la population locale, et de préciser la nature des travaux anti-érosifs (biologique, génie civil etc.) entrepris.
- g. Le standing des quartiers : l'interprétation visuelle (à l'échelle de 1/5 000) de l'image satellitaire GeoEye en composition colorée fausses couleurs a permis de différencier trois types de quartiers à Kinshasa selon leur morphologie et leur localisation, puis d'établir la correspondance avec leur niveau de standing sur le terrain grâce à la typologie de FLOURIOT en 1975 qui n'a que très peu évolué depuis (DE SAINT MOULIN, 2010) et des travaux de LELO & TSHIMANGA (2004). Les caractéristiques morphologiques identifiées sur l'image et les niveaux de standing correspondant sont identifiés dans le tableau 1. Une telle carte comble en partie le manque de données socio-économiques récentes et exhaustif ; le dernier recensement date de 1984.

Tableau 1 : Caractéristiques morphologiques sur l'image satellitaire, leur localisation et niveau de standing correspondant

Morphologie				Localisation par rapport au réseau routier	Standing
Structure	Densité de la végétation	Bâtiments	Routes		
Ilots mal définis Limites des parcelles peu visibles		Petits (< à la couronne des arbres) Peu dense (< de 2 bâtiments/parcelle)	Etroites et sinueuses	Loin des routes principales	Pauvre
Ilots bien définis	Faible	Bâtiments de taille moyenne (2-3 fois plus grands que type « pauvre ») Bâti dense (jusqu'à 5 bâtiments/parcelle)	En terre, réseau orthogonal	Traversé par une route principale	Modeste
Ilots bien définis	Faible	Grands bâtiments (2 fois plus grands que type « modeste ») Bâti peu dense (grande parcelle avec 1 à 2 bâtiments) Présence de bâtiments à étage (visible par leur ombre) (Présence de piscines)	Bitumées, réseau orthogonal		Riche

3. Pour affiner notre compréhension des facteurs physiques et humains de l'érosion ravinante intra-urbaine, des observations de terrain ont été réalisées, notamment en saison des pluies, lorsque le risque est élevé. Tant que possible, des photographies de terrain ont été prises ; les tensions sociales étant vives dans les quartiers pauvres, il n'est pas toujours aisé de prendre des photos. Des enquêtes par questionnaire ont été réalisées auprès de 151 ménages dans les quartiers modestes des sites collinaires pour évaluer leur connaissance du risque avant l'occupation de ces sites et comprendre les raisons du choix de ces derniers. Des personnes-ressources, telles que des personnes âgées, des instituteurs, des chefs de quartier, ... ont été interviewées, principalement dans les quartiers pauvres, notamment pour reconstituer l'histoire locale du ravinement.

RESULTATS

Le ravinement observé à Kinshasa est illustré sur la photo 1. Il s'agit en effet des dépressions allongées et profondes dont les dimensions varient en fonction des torrents d'eau de ruissellement, de la nature sableuse du sol, de la pente et de l'état protection du sol par le couvert végétal. Son évolution spatio-temporelle est spectaculaire (Figure 2.).

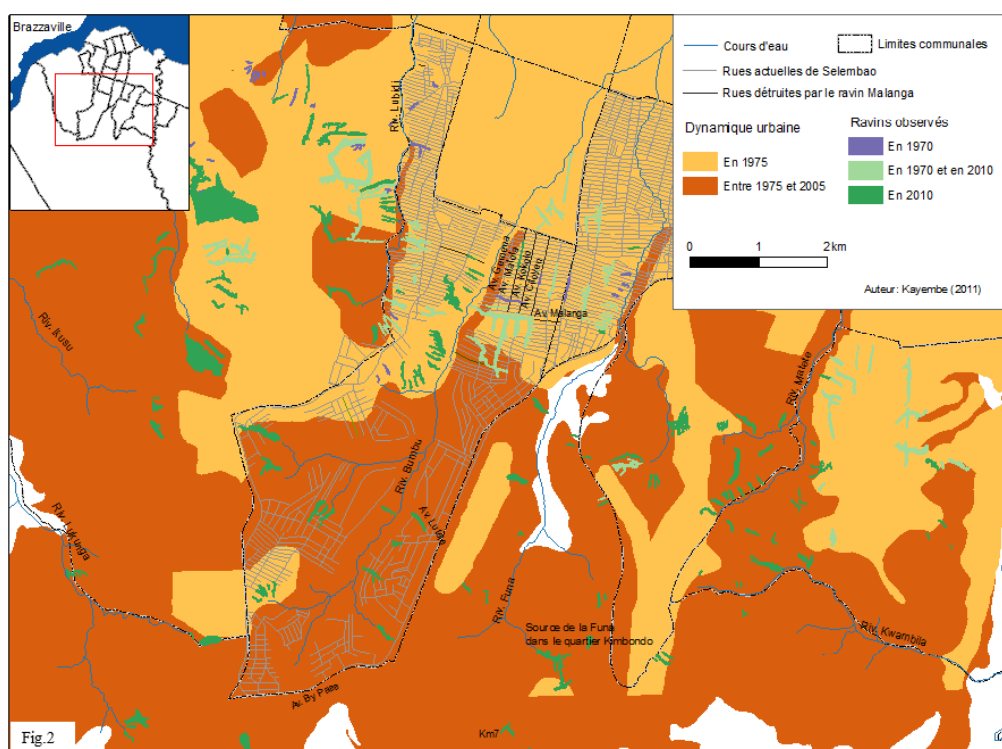


Figure 2. Distribution spatiale des ravins en 2010 à Kinshasa (Source : Carte géomorphologique et géotechnique (Planche II Hydrologie) de VAN CAILLIE de 1970 et Image satellitaire GeoEye)



Photo 1. Un ravin derrière le bâtiment d'Agronomie à l'Unikin (Photo de Schmit, novembre 2003)

En effet, 140 marques de ravins ont été dénombrées sur toute la carte géomorphologique et géotechnique élaborée par VAN CAILLIE en 1970. 40 ans plus tard, 301 ravins identifiables sur l'image satellitaire GeoEye (en mode panchromatique) ont été repérés pour la partie de la ville de Kinshasa se situant à l'Ouest de la rivière Ndjili. Leur nombre est logiquement plus élevé si l'on considère l'ensemble de l'agglomération comme le font MAKANZU IMWANGANA *et al.* (2014) qui dénombrent 334 ravins (dont la largeur est supérieure à 5m) sur toute la ville de Kinshasa sur l'image WorldView 1 de 2010.

La figure 2 renseigne particulièrement sur la dynamique spatiale des ravins entre 1970 et 2010 en relation avec la dynamique urbaine des périodes d'avant 1975 et de 1975-2005. Sur les 301 ravins identifiés sur l'image satellitaire GeoEye :

- 45 sont des anciens ravins de 1970 et dont les dimensions sont restées inchangées en 2010,
- 49 se sont étendus de 2010, notamment par érosion régressive en donnant des ravins à plusieurs « bras » (ou ramification, c'est-à-dire un seul ravin peut se développer sur deux ou plusieurs avenues perpendiculaires à l'avenue principale ravinée. Cfr. Partie centrale de la figure 2)
- 207 ravins sont apparus depuis 1970; ils sont situés sur la partie convexe des versants, dans les quartiers spontanés. Deux-tiers d'entre-eux se sont creusés sur les zones d'extension urbaine de la période 1975-2005.

Cette situation catastrophique s'explique par un ensemble de facteurs physiques mais surtout humains. Si les facteurs physiques sont bien connus (ROOSE *et al.*, 2000; DUCHAUFOR, 1988), les facteurs humains identifiés par cette recherche sont présentés dans les chapitres qui suivent. Si ceux-ci sont présentés de façon séparée, ils sont étroitement reliés, l'érosion ravinante intra-urbaine apparaissant bien comme un phénomène complexe aux causalités multiples.

Orthogonalité de la voirie sur le versant, absence de voirie et ravinement

Dès l'indépendance, en 1960, la ville s'est étendue vers sur les pentes des collines du Sud. Les chefs coutumiers ont joué un rôle important dans cette urbanisation spontanée. En effet, ayant repris possession des terres après l'indépendance, ils les ont revendues sous la forme de petits lopins de terre en prolongeant le tracé orthogonal des voiries de la plaine, et ce quelle que soit leur localisation (DELIS & GIRARD., 1985). Les collines, considérées à l'époque coloniale comme impropres à la construction, ont été divisées selon une trame orthogonale (DELIS & GIRARD., 1985). De nombreuses rues ont été tracées dans le sens de la pente (Figure 3). Dépourvues de caniveaux pour drainer les eaux pluviales et usées, elles se transforment en véritables torrents dès qu'il pleut et occasionnent des grands ravins là où les pentes excèdent 12.5% (VAN CAILLIE, 1997).

La relation entre piste et ravinement dans les quartiers spontanés des zones de collines est illustrée par la figure 3. Sur cette figure, on perçoit que les pistes des zones de collines sont tracées selon le plan en damier. Dans les communes de Selembao, Makala et Kisenso, les ravins sont apparus dans les rues tracées dans le sens de la plus forte pente (MITI TSETA, 2005 ; MITI TSETA & ALONI., 2005). Leur rapide évolution est entretenue par les eaux de ruissellement provenant des terrains voisins et des rues perpendiculaires qui constituent le prolongement amont du ravin (TRIKAT, 1997).

De plus, des sentiers piétons se sont développés le long des collecteurs ou dans le sens de la plus grande pente (Photo 2) permettant aux habitants de se déplacer d'un quartier à l'autre. Ce piétinement élimine la végétation herbacée ; le sol est mis à nu. Le piétinement répété de ces sentiers a contribué au tassement du sol et son imperméabilisation contribuant ainsi à la concentration des eaux de ruissellement, à l'augmentation du débit de ruissellement, à l'accélération de l'érosion ou à la création d'un nouveau ravin (WOUTERS & WOLFF., 2010). Ils engendrent ou aggravent le ravinement.

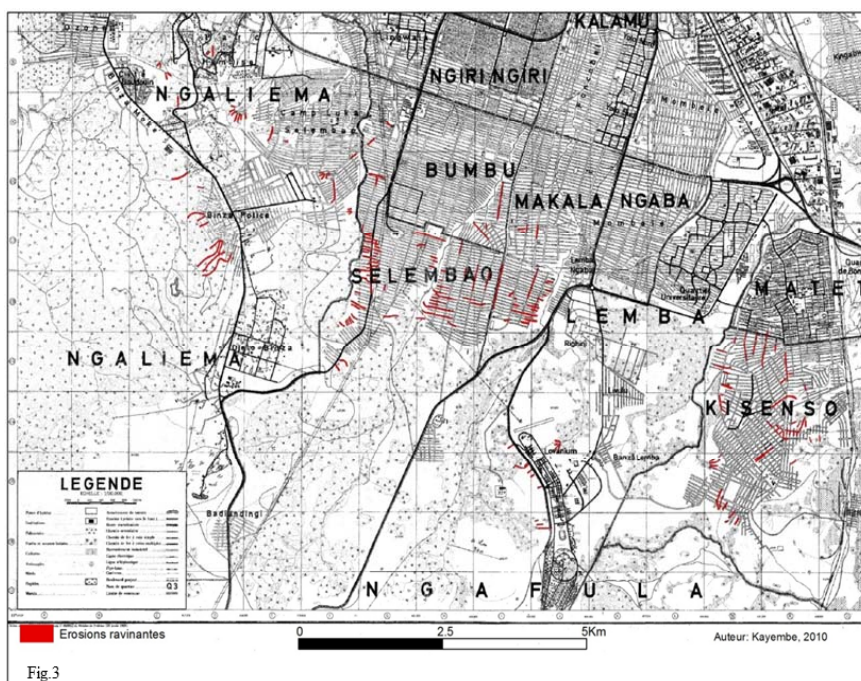


Figure 3. Trame orthogonale sur les sites collinaires du sud de Kinshasa et ravinement (source : Carte historique collectée par LAGAE - Département d'Architecture et d'Urbanisme, Université de Gand et Image GeoEye-1 du 30 juin 2010)



Photo 2. Sentier piéton créé le long du collecteur situé derrière l'école Mont Amba et en contrebas du centre nucléaire de l'Unikin emprunté par la population locale et ravinement subséquent (Photo Kayembe, 26 novembre 2008)

La photo 2 montre un sentier piéton emprunté par la population locale le long du collecteur que l'Unikin a construit en 2008 derrière l'école Mont Amba pour protéger à la fois cette école et le centre nucléaire contre la menace de l'érosion ravinante. Ce sentier constitue un raccourci pour arriver rapidement sur le campus ou sur les lieux de prière situés derrière le campus. Un ravinement se produit au départ de ce sentier.

MVUANDA (2009) et BANAKAYI (2010) ont analysé la relation entre sentiers et ravinement sur le versant-Est de la Funa conduisant à l'Unikin. Ils ont dénombré respectivement 47 ravins en 2009 et 62 en 2010 sur le même versant qui ont été aggravés par les sentiers piétons. En effet, les passants empruntent ces sentiers pour atteindre le campus soit pour étudier, soit pour exercer une activité telle que le commerce.

Techniques de construction de l'habitat

Les techniques d'auto-construction de l'habitat spontané contribuent également à favoriser l'érosion ravinante. L'habitat dans les quartiers spontanés des zones collinaires est construit sur des terrasses plus ou moins horizontales aménagées sur les versants de forte pente (Photo 3) et disposées selon les courbes de niveau depuis le sommet jusqu'en bas (BANAKAYI, 2010). Ce facteur est aussi identifié par TCHOTSOUA & BONVALLOT (1997).

Pour construire leurs maisons sur ces versants pentus, les propriétaires de ces petites parcelles (20m x 20m) créent une terrasse et la terre déblayée est épandue en aval afin d'élargir la terrasse. La terre ainsi ameublie ne présente dès lors aucune résistance au ruissellement nourri par les eaux concentrées sur les toits qui tombent en filets continus. Plusieurs ravins sont apparus de cette manière (ALEX, 2000 cité par MITI TSETA & ALONI., 2005). De plus, les ménages enlèvent toute végétation herbeuse des parcelles sous prétexte d'éviter les serpents. L'absence d'une végétation couvrante couplée à la concentration des eaux par les toits, à l'absence d'une évacuation correcte des eaux et au piétinement augmente la vulnérabilité des sols et provoque le ravinement que l'on voulait éviter (WISCHMEIER & SMITH., 1978).



Photo 3. Disposition de l'habitat en gradin sur le versant ouest de la Kwambila, au sud de Kisenso, et ravinement subséquent (Photo Kayembe, juin 2008)

La photo 3 illustre ce processus ; elle a été prise sur le versant Est de la Kwambila, au sud de la commune de Kisenso. Les terrains préparés pour recevoir le logement sont totalement dénudés. Des ravins (indiqués par une ligne de couleur café sur la photo) ont entaillé le versant en phase d'urbanisation. Il a commencé en aval d'une terrasse préparée pour recevoir un logement (cfr. la plus grande ellipse rouge). Le même phénomène de ravinement se reproduit ailleurs. Les ravins se rejoignent dans cette zone d'urbanisation spontanée.

Ces observations contredisent ce que VAN CAILLIE affirmait (1983) ; dans son analyse des techniques de lutte pratiquées à Kinshasa, il soulignait l'efficacité des constructions en terrasse censée ralentir la vitesse de l'écoulement des eaux des pluies. En effet, une approche de lutte anti-érosive pour protéger et conserver les sols en milieu rural montagnard aux Etats-Unis (BENNET, 1939) consiste à imposer la construction de terrasses et de chemins d'évacuation des eaux excédentaires pour réduire la vitesse du ruissellement. Cependant, à Kinshasa, les chemins d'évacuation des eaux n'ont jamais été construits.

Imperméabilisation des sols des cités résidentielles construites en amont des quartiers spontanés

L'urbanisation du sud de la ville de Kinshasa s'est faite dans un contexte qui a favorisé la ségrégation urbaine. Celle-ci s'est traduite dans l'espace par la construction des cités de haut standing en premier sur les hauteurs des collines (Figure 4.). Ces cités sont constituées de maisons de grandes dimensions (Photo 4) équipées en réseaux d'évacuation des eaux pluviales qui jettent directement les eaux dans la rue. Cette évacuation est réalisée grâce à des trous dans les murs de clôture dans lesquels on fait passer des tuyaux avec une certaine déclivité permettant aux eaux accumulées dans la parcelle de se déverser dans la rue et d'éviter la stagnation des eaux à l'intérieur de la parcelle dont les sols sont imperméabilisés. Toutes ces eaux se concentrent dans les rues et suivent les pentes, traversent les quartiers spontanés localisés sur les versants en aval des cités résidentielles quelques années plus tard. L'abondance des eaux combinées aux fortes pentes et aux parcelles habitées soigneusement défrichées et désherbées provoquent ou accélèrent la formation de ravins.

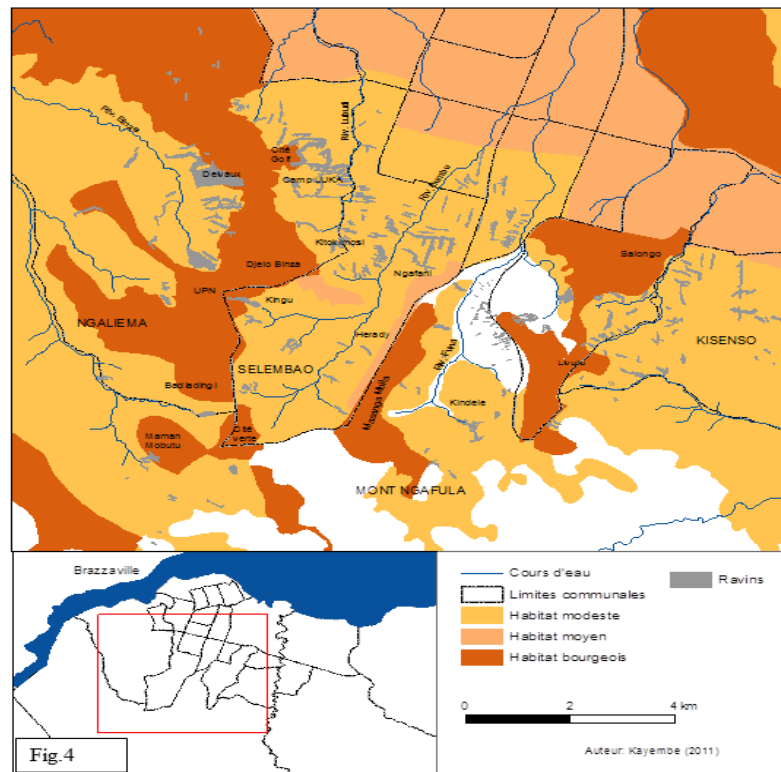


Figure 4. Standing d'habitat et érosion ravinante intra-urbaine en 2010
(Source : Image GeoEye-1 du 30 juin 2010)

La figure 4 révèle que 48 ravins se sont creusés dans les quartiers d'habitat « pauvre » construit en aval des quartiers d'habitat « riche » et/ou « moyen ». Cela s'observe dans la commune de Ngaliema, plus précisément à Delvaux sur le versant-Est de la Binza (10 ravins), puis dans le camp LUKA en aval de la cité Golf sur le versant-Ouest de la Lubudi (22 ravins) ; dans la commune de Selembao, plus particulièrement dans les quartiers Kingu (5 ravins), Herady (3 ravins) et Ngafani (4 ravins) sur le versant occidental de la Bumbu (4 ravins) dans la commune de Mont Ngafula (10 ravins).

La construction des quartiers spontanés non équipés en aval des cités des classes aisée et moyenne accélère l'érosion ravinante intra-urbaine dans la mesure où ces dernières comprennent de grandes surfaces imperméabilisées par les toits et des sols bétonnés. Ces superficies imperméabilisées soustraites à l'infiltration occasionnent une concentration rapide des eaux pluviales lesquelles sont déversées dans les quartiers spontanés pauvres non équipés sur de fortes pentes (>12%). Les conditions d'écoulement des eaux de ruissellement sont modifiées ; il en résulte une accélération du ravinement (MATONDI, 2001). Du fait de la pente, les ravins qui commencent dans les quartiers pauvres remontent vers les quartiers riches ou moyens. C'est ce qu'on observe dans les quartiers administratifs de Kingu et de Herady dans la commune de Selembao, dans la cité Maman Mobutu dans la commune de Mont Ngafula et dans la cité de Delvaux dans la commune de Ngaliema.

Toutefois, l'organisation socio-spatiale des quartiers selon le relief comme facteur anthropique d'érosion à Kinshasa ne peut pas se généraliser sans être nuancée sur le plan local. Kisenso, par exemple, est une commune habitée par une population relativement homogène sur le plan socio-économique : une population pauvre (DE HERDT & MARYSSE., 2006) et également affectée par l'érosion ravinante. Contrairement aux autres communes où l'érosion ravinante s'explique par l'organisation socio-spatiale des quartiers, la présence de l'érosion ravinante à Kisenso s'explique par la densité différentielle du bâti entre le sommet de la colline et les vallées. En effet, la densité du bâti dans la parcelle est plus importante sur le sommet de la colline que sur le versant : 3 ou 4 bâtiments par parcelle contre 1 bâtiment par parcelle sur le versant à forte pente (DE HERDT & MARYSSE., 2006). La densité du bâti dans la parcelle située sur le sommet de la colline



Photo 4

Photo 4. Rupture d'un bassin de rétention ayant engendré en contrebas la formation d'un ravin
(Source : WOUTERS & WOLFF., 2010)

Les collecteurs et les bassins de rétention sont la cause de la formation de 23 ravins au sud de Kinshasa (Tableau 2).

Tableau 2 : Causes du ravinement des ravins échantillonnés au sud de Kinshasa
(Source : Enquête de terrain, avril 2011)

Causes	Nom des ravins						Total
	Ngaliema	Selembao	Lemba	Kisenso	Makala	Mont Ngafula	
Effondrement du collecteur	Mataba 1 Nguma Bolikango Ngumisa Drève de Selembao soit 5	MasangaM bila Lutele Dokolo Kipemba Kintumba Sipa Kitokimosi soit 8	Livulu Unikin Mbiti soit 3			Kivulu Cité Maman Mobutu soit 2	18
Cassure du bassin de rétention	Mataba 2 soit 1	Kingu soit 1			Kimbond Yanda Nsangu soit 3	0	5
Total	6	9	3	0	3	2	23

Sur les 23 ravins provoqués par l'effondrement du collecteur et la cassure du bassin de rétention, environ 20% ont été provoqués par la cassure des bassins de rétention et 80% par l'effondrement du collecteur. On peut donc affirmer que le collecteur apparaît comme un dispositif anti-érosif responsable du ravinement à Kinshasa. En effet, l'effondrement du collecteur s'observe

fréquemment dans les quartiers « pauvres » traversés par ce dispositif. L'absence de ravins provoqués par l'effondrement du collecteur (par exemple, dans les communes de Makala et de Kisenso) ne signifie pas que les collecteurs y sont bien entretenus, bien dimensionnés ou qu'ils arrivent à l'exutoire, mais plutôt par l'absence de cet équipement. Aucun ravin provoqué par la cassure de bassin de rétention n'a été repéré pour Lemba et Kisenso. Il convient de signaler que cette technique anti-érosive a été plus pratiquée dans la commune de Makala par la Fédération des Organisations non Gouvernementales Laïques Vocation Economique du Congo (FOLECO) que dans les autres.

Non appropriations des espaces publics

A Kinshasa, il est rare de trouver un ravin partant de l'intérieur de la parcelle habitée. On les trouve surtout dans les espaces publics (piste ou route). Pour comprendre et expliquer cette situation, partons d'un cas représentatif de la création d'un ravin à l'intérieur d'une parcelle habitée et observons la réaction de la population (Photo 5 a et b).

Les photos 5 a et b ont été prises le lendemain d'une pluie de 22mm tombée entre 20 et 22h le 25 octobre 2009 qui avait provoqué des dégâts importants dans le quartier Kemi (Lemba). Sur la photo 5a, on aperçoit un ravin de dimension modeste qui est apparu à cheval sur une rue (avenue Kitoyi) et une parcelle habitée. La population a immédiatement réagit en comblant celui-ci à l'aide de sacs de sable, de branches de palmier, etc (photo 5b). Des sacs de sable en surplomb forment une mini digue. Une cicatrice laissée dans le sol indique l'endroit où le sable a été prélevé pour remplir les sacs.



Photos 5. Prise en charge d'un ravin et le résultat de la lutte dans un espace privé sur l'avenue Kitoyi dans le quartier de Livulu de Lemba. (Photo de Kayembe, 26 octobre 2008)

Comme on le voit, les riverains n'ont pas attendu que le ravin prenne des dimensions importantes pour intervenir. Ils n'ont pas non plus attendu que le Gouvernement agisse à leur place. Lorsqu'un ravin apparaît dans un espace public, la population attend l'action des pouvoirs publics ou si elle s'en occupe, c'est souvent de manière non coordonnée et donc sans efficacité.

Selon la même logique, les populations ne se sentent pas responsables de la protection ou de l'entretien des dispositifs anti-érosifs; c'est ce qui s'est observé dans la commune de Makala vers la fin des années '90. En effet, cette commune a bénéficié de l'intervention de l'ONG FOLECO dans la lutte anti-érosive. Parmi les techniques utilisées, figurait le creusement des bassins de rétention en amont de plusieurs ravins afin de stopper leur progression. Mais ces bassins, n'ayant pas été curés régulièrement, n'ont pas joué leur rôle longtemps et le ravinement a repris détruisant les rues et avenues Kimbondo, Yanda, Nsangu dans le quartier administratif de Mabulu II (MAYAMBUEDI MUKANU DEMA, 2001). Le même phénomène a été observé par MITI TSETA & ALONI (2005) dans d'autres quartiers (Kingu à Selembao et Delvaux à Ngaliema). La lutte anti-érosive doit donc organiser l'entretien des ouvrages créés afin qu'ils restent opérationnels dans la durée.

Intervention tardive de la prise en charge

A l'exception de la prise en charge du ravin dans la cité Maman Mobutu, une cité des classes aisées, où les pouvoirs publics ont réagi rapidement, l'intervention de ces derniers pour stopper de ravins prend généralement du retard. Les cas des ravins de Lutele et de Mataba illustrent les conséquences caractéristiques d'une intervention tardive dans des quartiers pauvres.

La figure 6 montre l'évolution spatio-temporelle du ravin de Lutele creusé sur le tracé du collecteur (qui recueille les eaux usées et pluviales pour les déverser dans la rivière Bumbu) à la hauteur de l'arrêt de bus « Quado » sur l'avenue By Pass entre le Rond point Ngaba et l'UPN.

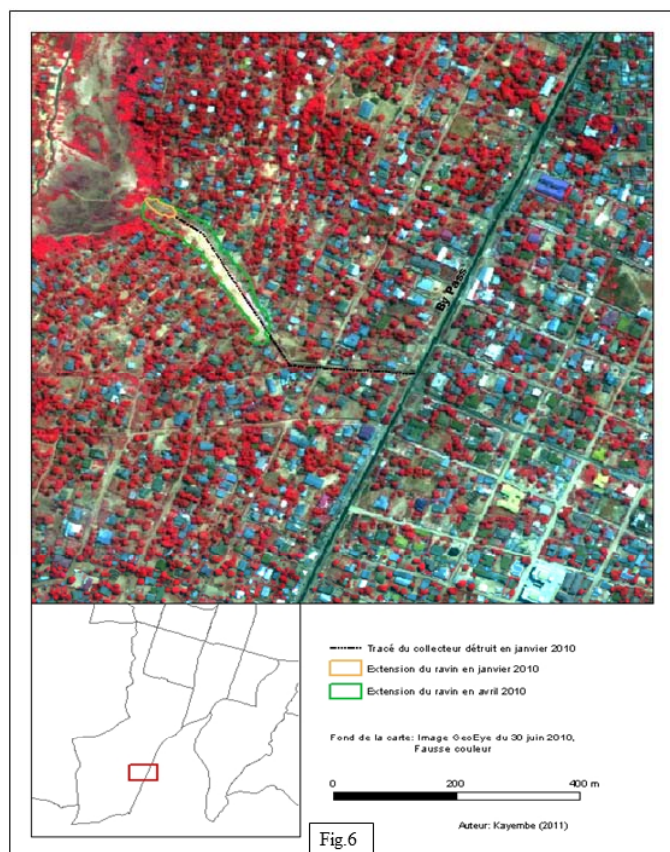


Figure 6. Progression du ravin Lutele le long du tracé du collecteur dans un quartier pauvre (Herady) de la commune de Selembao, faute d'intervention (Source : Relevé DGPS, 2010)

Le polygone orange au bout du tracé du collecteur représente l'extension de ce ravin cartographié en janvier 2010 à l'aide d'un DGPS. Le polygone vert délimite quant à lui l'extension de ce même ravin 6 mois plus tard. Les riverains nous ont expliqué que ce ravin s'est étendu en avril 2010 de 252m à vol d'oiseau. Ce faisant, la tête de ravin n'était plus qu'à 240 m de l'avenue By Pass. C'est à ce moment-là que le Ministère des Travaux publics a chargé l'Office des Voiries et Drainage (OVD) d'en stopper la progression. C'est donc pour protéger l'avenue By Pass, une route importante et porte d'entrée des produits du Bas-Congo à partir du sud de la ville, que les pouvoirs publics sont intervenus.

Dans les quartiers pauvres, sans lutte anti-érosive, l'érosion ravinante s'accélère rapidement, se ramifie et prend des dimensions impressionnantes et engendrent des coûts d'intervention de plus en plus colossaux. C'est notamment le cas du ravin de Mataba (Figure 7). C'est un ravin aux dimensions spectaculaires et le plus meurtrier de Kinshasa (il a déjà tué 50 personnes, d'après MITI TSETA & ALONI (2005); il a détruit plusieurs habitations (plus d'une cinquantaine de maisons détruites) et rayé de la carte l'école kimbanguiste d'une capacité d'accueil de 500 élèves (LELO NZUZI, 2008). Il menace de détruire la route de Matadi, une route régionale qui relie la ville de

Kinshasa à la province du Bas-Congo. En effet, au début de la formation de ce ravin, en 1998, la prise en charge ne demandait que 50 dollars américains pour arrêter l'incision mais les autorités de la ville n'ont pas débloqué cette somme. Le tableau 3 illustre l'accroissement exponentiel des coûts d'une intervention pour enrayer la progression du ravin (MITI TSETA & ALONI., 2005).



Figure 7. Evolution spatio-temporelle du ravin de Mataba (Commune de Ngaliema) entre 2007 et 2009
(Source : Images GoogleEarth de 2007 et de 2009 et GeoEye de 2010)

Tableau 3 : Coût d'intervention pour stopper la progression du ravin de Mataba entre 1998 et 2009

Année	Coût de l'intervention anti-érosive (USD)	Taux de change 1 dollar américain pour :
1998*	50	1,30Fc
1999*	300 000	4,02Fc
2001*	1 500 000	313,85Fc
2003*	7 000 000	372,76FC
2009**	15 000 000	940FC

Source : * MITI TSETA & ALONI., 2005; ** BELTRADE, 2009

Pendant ce temps, le ravin s'est considérablement allongé et creusé menaçant très directement les habitations des quartiers pauvres environnants et ainsi que la route de Matadi. La figure 7 montre l'extension du ravin de Mataba entre 2007 et 2010. Malgré les multiples interventions, sa superficie est passée de 14,4 hectares en 2007 à 16,8 hectares en 2009 avec un budget de lutte de 15 millions de dollars américains (BELTRADE, 2009) et à 43,9 hectares en 2010. Ce retard a permis au ravin de dépasser un seuil critique dans la lutte anti-érosive. Ainsi, tous les travaux de génie civil entrepris et les dépenses associées depuis lors pour tenter de stabiliser le ravin se sont soldés par des échecs répétés.

Le retard dans la prise en charge peut être qualifié d'« injustice spatiale » dans la mesure où il aggrave les conditions de vie dans les quartiers pauvres des collines et pas celles des quartiers riches ou moyens.

CONCLUSION

L'analyse géographique, holistique et multi-scalaire des facteurs humains et physiques de l'érosion ravinante avec la télédétection à très haute résolution, un travail de terrain et le SIG a permis de montrer que l'érosion ravinante intra-urbaine à Kinshasa n'est pas une calamité naturelle. Il s'agit d'un phénomène complexe qui est surtout provoqué ou accentué par les facteurs anthropiques. Les résultats obtenus ont mis en évidence l'orthogonalité de la voirie sur le versant ou

l'absence de voirie sur certaines collines, les techniques de construction de l'habitat en terrasse sans prévoir les chemins d'évacuation des eaux de ruissellement, l'imperméabilisation des sols des cités riches construites en amont des quartiers spontanés pauvres non équipés et situés sur des fortes pentes, le manque d'entretien des dispositifs de lutte anti-érosive, la non appropriation des espaces publics par la population et l'intervention tardive dans la lutte anti-érosive. Tous ces facteurs humains de l'érosion ravinante sont imbriqués sur le terrain et se combinent aux facteurs physiques.

L'intervention dans la lutte anti-érosive est asymétrique du point de vue temporel. Si elle est plus rapide dans les cités riches construites sur les hauteurs, l'intervention est beaucoup plus tardive dans les quartiers spontanés pauvres construits sur les versants de collines. Ce retard dans la prise en charge de l'érosion ravinante a été qualifié « d'injustice spatiale ». Il aggrave non seulement les conditions de vie dans les quartiers pauvres, mais aussi il permet à l'érosion ravinante de s'accélérer, de se ramifier et de prendre des dimensions spectaculaires.

BIBLIOGRAPHIE

- BANAKAYI KABASELE., 2010. Impact du phénomène érosion sur la qualité de la vie des habitants de la Cité Kindele dans la commune de Mont Ngafula. Mémoire de Licence, Département de l'Environnement, Fac SC, Université de Kinshasa, 66p. Inédit.
- BELTRADE, 2009. Info. Le Bulletin d'actualité économique de la RD.C, 17 : 36.
- BENNET H.H., 1939. Elements of soil conservation.. New York, Mc Graw-Hill, 564 p.
- BUSNELLI, J., Del, V., Neder, L. & Sagayo, JM., 2006. Temporal dynamics of soil erosion and rainfall erosivity as geoindicators of land degradation in Northwestern Argentina. *Quaternary International*, 158 : 147-161.
- DE HERDT, T. & MARYSSE, S., 2006. Mesurer l'impact du fonds social urbain. Analyse comparée de l'évolution socio-économique des communes de Kisenso et de Kimbasenke de 2002 à 2005. Documents de travail, Janvier 2006.
- DELIS, P. & GIRARD, C., 1985. L'immobilisation privée du sol à Kinshasa. *Les annales de la recherche urbaine*, 25 : 34-54.
- D'ERCOLE, R. & SIERRA, A., 2009. La vulnérabilité territoriale : une nouvelle approche des risques en milieu urbain. *Cybergeog : Journal of Geography* [en ligne], Dossier, Vulnérabilités urbaines au sud, article 447, mis en ligne le 31 mai 2009, consulté le 11 juillet 2012. URL : <http://cybergeog.revues.org/22022>
- DE SAINT MOULIN, L., 2010. Ville et organisation de l'espace en R.D.C. Cahier Africains/ L'Harmattan, 302p.
- DUCHAUFOR, P., 1988. Abrégé de pédologie. Paris, Masson, 224p.
- FADUME NGEBE, B., 2004. Les facteurs explicatifs des érosions à Kisenso : un essai d'analyse de l'effet de la taille démographique et des méthodes d'assainissement. Travail de fin de cycle, Facultés Catholiques de Kinshasa, 35p, inédit.
- FLOURIOT, J., DE MAXIMY, R. & PAIN, M., 1975. Atlas de Kinshasa. Institut National du Congo, Bureau d'Etudes d'Aménagements Urbains, Kinshasa, 44 planches.
- JIMENEZ-DIAZ, V., 1992. Landslides in the squatter settlements of Caracas : Towards a better understanding of causative factors. *Environment and urbanisation*, 4, 2 : 80-89.
- KAYEMBE WA KAYEMBE, M., 2012. Les dimensions socio-spatiales de l'érosion ravinante intra-urbaine dans une ville tropicale humide. Le cas de Kinshasa (R.D. Congo). Thèse de doctorat, Département de géographie, Université Libre de Bruxelles, Belgique, 302p.
- KAYEMBE WA KAYEMBE M., WOLFF, E., DE MAEYER, M., SCHMIT J.P., MITI, T.F, GOVERS, G.& MWANZA A. (2010), Evolution spatio-temporelle des limites de la commune de Makala, Kinshasa en République Démocratique du Congo. *Bull. du Centre de Recherches Géologiques et Minières*, 8 et 9 : 54-61.
- LELO NZUZI, F., 2008. Kinshasa, ville et environnement. Paris, L'Harmattan, 275p.
- LELO NZUZI, F., 2011. Kinshasa, planification et aménagement. Paris, L'Harmattan, 381p.
- LELO NZUZI, F. & TSHIMANGA MBUYI, C., 2004. Pauvreté urbaine à Kinshasa. La Haye, Ed. Cordaid, 164p.
- LEONE, F., RICHEMOND, N. & VINET, F., 2010. Aléas naturels et gestion des risques. Paris, PUF, 284p.
- MAKANZU IMWANGANA, F., DEWITTE, O., NTOMBI, M. & MOEYERSONS, J., 2014. Topographic and road control of mega-gullies in Kinshasa (DR Congo). *Geomorphology*, 207 :131-139.
- MAKANZU IMWANGANA, F., VANDECASTEELE, I., TREFOIS, P., OZER, P. & MOEYERSONS, J., 2015. The origin and control of mega-gullies in Kinshasa (D.R. Congo). *Catena*, 125: 38-49.

- MATONDI KALUNDI, 2001. Constructions anarchiques et dégradation de l'environnement par les eaux pluviales à Kinshasa. Cas du quartier Mbanza-Lemba. Travaux de fin de cycle, Département des Sciences de la Terre, Fac Sc, Université de Kinshasa, 37p, inédit.
- MAYAMBUEDI MUKANU DEMA, 2001. Les risques de ravinement suscités par le tracé de la route Elengesa dans sa partie méridionale de la commune de Makala. Travail de fin de cycle, Département des Sciences de la Terre, Université de Kinshasa, 32p, inédit.
- METZGER, P. & D'ERCOLE, R., 2011. Les risques en milieu urbain : éléments de réflexion. *EchoGéo* [en ligne], numéro 18 | 2011, mis en ligne le 06 décembre 2011, consulté le 04 août 2012. URL: [http : //echogeo.revues.org/12640](http://echogeo.revues.org/12640)
- MITI TSETA, F., 2005. La perception du phénomène « érosion » par la population du quartier Révolution dans la commune de Kisenso. *Mouvements et enjeux sociaux*, 27 : 40-68.
- MITI TSETA, F. & ALONI KOMANDA, J., 2005. Les incidences de l'érosion sur le développement socio-économique et l'urbanisation future de Kinshasa. *Mouvements et enjeux sociaux*, 27 : 15-28.
- MVUANDA LUKOMBO, J., 2009. Evolution du ravinement autour de l'Université de Kinshasa : Apport du SIG pour l'évaluation de la progression de la progression et l'extension des ravins. Mémoire de Licence, Département des Sciences de la Terre, Fac Sc, Université de Kinshasa, 50p, inédit.
- 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.
- ROOSE, E., CHEBBANI, R. & BOUROUGAA, L., 2000. Ravinement en Algérie. Typologie, facteurs de contrôle, quantification et réhabilitation. *Sécheresse*, 11, 4 : 317-326.
- SIERRA, A., 2009. Espace à risque et marge : méthodes d'approche des vulnérabilités urbaines à Lima et Quito. *Cybergeo, European Journal of Geography* [en ligne], Dossier, 2009, document 456, mise en ligne le 14 mai 2009.
- STEVENS, C., (2006). Offre de la coopération internationale en matière de lutte anti-érosive à Kinshasa. Mémoire de DES, ULG, 70, inédit.
- TCHOTSOUA, M. & BONVALLOT, J., 1997. Phénomènes d'érosion et gestion urbaine à Yaoundé (Cameroun), in Singaravélou (sd) : Pratiques de gestion de l'environnement dans les pays tropicaux. Talence, Espaces Tropicaux, 15 : 517-528.
- TCHOTSOUA, M., 1992. Dynamique informelle de l'espace urbain et érosion accélérée en milieu urbain tropical : Cas de la ville de Yaoundé. Actes du Colloque de Poitiers, *Réseau Erosion*, Bull, 13 : 131-142.
- TCHOTSOUA, M., 1991. Briqueterie-Ouest : lutte contre l'érosion pluviale dans un quartier populaire de Yaoundé. *Revue de Géographie du Cameroun* : 20-31.
- TCHOTSOUA, M. & BONVALLOT, J., 1995. Crise socio-économique et érosion accélérée à Yaoundé : une contribution à la gestion de l'environnement urbain en milieu tropical humide. In : DE NONI GEORGES, D.N., ROOSE, E., JEAN-FRANÇOIS, N., & Veyret, Y. (ed.). *Environnement humain de l'érosion. Réseau Erosion - Bulletin*, 15 : 214-231. Journées du Réseau Erosion, 11, 1994/09/20-22, Bondy.
- TCHOTSOUA, M., NDAMA, J.P., WAKPONOU, A. & BONVALLOT, J., 1999. Maîtrise et gestion des eaux à Ngaoundéré (Cameroun). Problèmes et esquisses de solutions. *Geo-Eco-Trop*, 23 : 91-105.
- TRIKAT A., 1997. Fonctionnement actuel d'une ravine d'érosion dans une zone de marnes miocènes (Région de tarmast, Préfif oriental, Maroc). Modèle d'évolution et distribution saisonnière des processus. *Bull. n°17, Réseau Erosion, ORSTOM* : 46-54.
- VAN CAILLIE, X., 1970. Carte géomorphologique et géotechnique de Kinshasa au 1/20 000. Planche II Hydrologie. Département des Travaux publics et de l'Aménagement du Territoire, Institut Géographique du Zaïre, République du Zaïre.
- VAN CAILLIE, X., 1983. Hydrologie et érosion dans la région de Kinshasa. Analyse des interactions entre les conditions du milieu, les érosions et le bilan hydrologique. Thèse de doctorat, Laboratoire de Géomorphologie Expérimentale, Département de Géographie-Géologie, KUL, Leuven, Belgique, 553p.
- VAN CAILLIE, X., 1990. Erodabilité des terrains sableux du Zaïre et contrôle de l'érosion. *Cah. ORSTOM*, série Pédologie, XXV, 1-2 : 197-208.
- VAN CAILLIE, X., 1997. La carte des pentes (1/20 000) de la région des collines à Kinshasa. *Réseau Erosion, Bull, ORSTOM*, 17 : 198-204.
- WISCHMEIER, W.H. & SMITH, D.D., 1978. Predicting rainfall erosion losses. A guide to conservation planning. USDA-ARS, *Handbook*, 537 : 58p.
- WOUTERS, T., 2008. Contribution à l'analyse de l'érosion intra-urbaine au sein du bassin versant de la rivière Funa, Kinshasa, République Démocratique du Congo. Mémoire de Licence, Département de Géographie, Université Libre de Bruxelles, 98 p, inédit.
- WOUTERS, T. & WOLFF E., 2010. Contribution à l'analyse de l'érosion intra-urbaine à Kinshasa (R.D.C). *Belgeo*, 3 : 293-314.

WOUTERS, T., 2008. Contribution à l'analyse de l'érosion intra-urbaine au sein du bassin versant de la rivière Funa, Kinshasa, République Démocratique du Congo. Mémoire de Licence, Département de Géographie, Université Libre de Bruxelles, 98 p, inédit.

