

La ville de Kinshasa face aux risques hydrologiques: Cas du ravinement urbain

Makanzu Imwangana F.^{1,2} *, Kayembe M.³, Ntombi M.^{1,2}, Moeyersons J.⁴

Paper History

Received:
May 07, 2017

Revised:
July 30, 2017

Accepted:
September 03, 2017

Published:
September 2017

ABSTRACT

Town of Kinshasa facing hydrological risks : case of urban gullying

The town of Kinshasa is experiencing more and more a recurrence of disasters of natural origin. The hydrological hazards to which Kinshasa is exposed arise from changes in the hydrological response of its landscape to the climatic and environmental conditions generated by its expansion. The risks that generate these disasters are particularly aggravated by two main factors: the physical context of the region and the lack of good governance in urban planning, as well as the socio-economic vulnerability of the populations. This explains the anthropic nature of the origin of these disasters.

Keywords: Kinshasa, disaster, urban gully erosion, mega-gully, silting

¹Laboratoire de Géomorphologie et Télédétection, Centre des Recherches Géologiques et Minières, B.P.: 898 Kinshasa I, Kinshasa, R.D. Congo

²Unité de Recherche et de Formation en Gestion des Risques Naturels (URF-GRN), Département des Géosciences, Faculté des Sciences, Université de Kinshasa, B.P.: 190 Kinshasa XI, Kinshasa, R.D. Congo

³Département de Géographie, Faculté des Sciences, Université de Lubumbashi, Lubumbashi, R.D. Congo

⁴Unité de Risques Naturels et Cartographie, Département des Sciences de la Terre, Musée royal de l'Afrique centrale (MRAC), Tervuren, Belgique

* To whom correspondence should be addressed.: filsmakanzu@yahoo.fr, fls.makanzu@crgm.cd

INTRODUCTION

Une catastrophe est une rupture grave du fonctionnement d'une communauté ou d'une société impliquant d'importants impacts et pertes humaines, matérielles, économiques et/ou environnementales que la communauté ou la société affectée ne peut surmonter avec ses seules ressources [UNISDR, 2009]. Cependant, les catastrophes ne sont ni inévitables ni naturelles. Dans notre cas, ce sont les aléas et facteurs qui les induisent qui sont soit naturels soit anthropiques [GILL et MALAMUD, 2017]. Ces phénomènes naturels agissent partout, leur impact est soit négatif soit positif. Les risques naturels qu'ils occasionnent posent un problème réel quant à leur gestion et leur prévention. La non-existence des Plans de prévention des risques dans les villes et communes d'Afrique Centrale et la non-prise en compte des normes de prévention dans l'aménagement du territoire et la planification spatiale sont à l'origine de leur vulnérabilité [LEONE et al., 2010]. L'exposition aux aléas naturels [GILL et MALAMUD, 2014] qui s'en et suivie serait la cause de nombreuses catastrophes dans les pays en développement.

En effet, les villes ne cessent de s'étendre dans leur hinterland qui autrefois était consacré aux activités agricoles pour soutenir la sécurité alimentaire des citoyens [MAKANZU IMWANGANA et al., 2015 ; LASZLO MREKVA et al., 2012]. Depuis, on observe une recrudescence des risques hydrologiques en Afrique centrale [WOUTERS et WOLFF, 2010 ; VANDECASTEELE et al., 2010 et 2011 ; SAHANI, 2011 ; MAKANZU IMWANGANA, 2014 ; MAKI MATESO et DEWITTE, 2014] et des géorisques [TREFOIS et al., 2007 ; MOEYERSONS et al., 2009 ; BUTARA, 2011 ; MAKI et DEWITTE, 2014 ; BUTARA et al., 2015 A et B].

En RDC, les risques naturels sont très ressentis à cause justement de la multiplicité des facteurs de vulnérabilité tels que la pauvreté, l'insécurité alimentaire, le contexte politique, la crise du logement et les crises hydrométriques imputables parfois aux caprices climatiques. La ville de Kinshasa constitue un exemple de ces occurrences. Deux principaux risques naturels sévissent dans la ville : l'érosion ravinante et les inondations. Ces deux phénomènes corrélés se produisent tellement presque chaque année qu'ils sont devenus des faits banaux. Ce papier analyse uniquement l'érosion ravinante parce que l'érosion hydrique des sols est l'un de plus importants processus de dégradation des terres [UNEP, 1994]. Depuis un demi-siècle, la haute ville de Kinshasa est en proie au ravinement spectaculaire. L'observation de l'imagerie Google Earth met en relief de nouveaux ravins après chaque saison des pluies. L'érosion ravinante inquiète à cause des dégâts qu'elle occasionne sur les zones habitées [KAKESA et MUBANGA, 1998 ; LELO, 2008 ; MAKANZU IMWANGANA et al., 2012]. On y aperçoit des paysages des badlands isolant des quartiers entiers du reste de la ville [MITI et al., 2004 ; MAKANZU IMWANGANA, 2014]. Les routes et le raccordement en eau potable sont coupés, dans certains cas, cet enclavement rend inaccessible certaines infrastructures sociales de base, parfois, elles sont même détruites.

L'évaluation de l'évolution spatio-temporelle de l'érosion ravinante a déjà été décrite par FRANKL et al. [2010 ; 2011A, B] en Ethiopie, SAYNOR et al. [2006] en Australie, POESEN et VANDEKERCKHOVE [2004] en Espagne, BOARDMAN et al. [2003] en Afrique du Sud. Pour la plupart, ces études ont été conduites sur des prairies et des zones cultivées. A notre connaissance, il n'y a eu peu qui traitent de l'érosion ravinante en milieu urbain, où en l'absence d'une urbanisation effective, le dérèglement généralisé du système

de drainage des eaux superficielles est devenu un problème récurrent, tel est le cas de plusieurs villes de la RD. Congo dont Kinshasa [MITI et al., 2004 ; WOUTERS et WOLFF, 2010 ; MAKANZU IMWANGANA et al., 2012 ; MOEYERSONS et al., 2015], MBENZA et al. [1991] à Kolwezi, SAHANI [2011] à Butembo. A ce jour, on y déplore notamment l'aggravation de l'érosion ravinante [MAKANZU IMWANGANA et al., 2015], l'invasion des lits majeurs des cours d'eau par des habitations, la conversion des cours d'eau en décharges sauvages, la désorganisation des chenaux d'écoulement [MOEYERSONS et al., 2015], l'augmentation de la fréquence et de l'intensité des inondations dans la basse ville.

Ce papier présente l'omniprésence et la typologie des risques de catastrophes d'origine hydrologique dans la ville de Kinshasa afin d'attirer l'attention des décideurs et des citoyens. Nous allons ici aborder l'érosion ravinante. Le ravin est un canal d'érosion ayant une section transversale de plus de 929 cm² (1ft²) [POESEN et al., 1996] qui ne peut être effacé par un labour conventionnel [FAO, 1965].

APERÇU SUR LA VILLE DE KINSHASA

La ville province de Kinshasa (Figure 1) couvre près de 9.945 km² [DE SAINT MOULIN, 2001] dont 600 sont urbanisés [KAYEMBE et al., 2009 et 2012 ; LELO et TSHIMANGA, 2004].

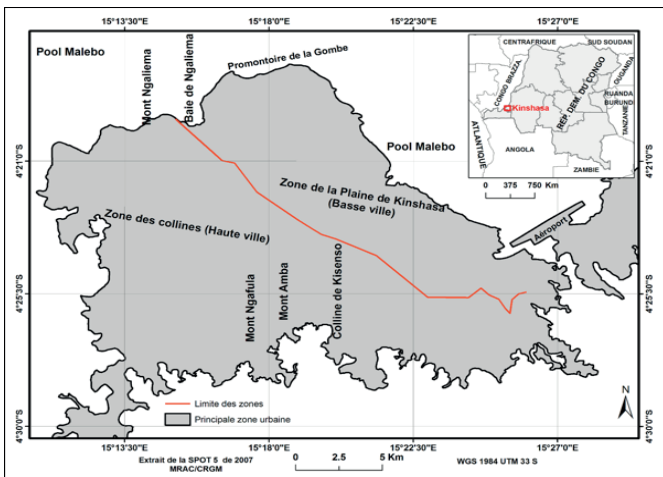


Figure 1 | Délimitation de la zone d'étude

La ville de Kinshasa est construite sur un site qui ressemble à un gigantesque amphithéâtre bordé par des collines orientées W-E., installée sur une vaste dépression qui s'étend sur un fond émergé d'une ancienne cuvette développée à l'époque où le pool s'étendait jusqu'au pied des collines du sud, de l'ouest et du plateau de l'est. Au sud, dans les zones des collines, il s'est formé un réseau hydrographique avec des vallées profondément encaissées dans une surface ancienne dont l'altitude s'abaisse à 350 m environ près de la base des collines. Il existe dans cette plaine, une nappe aquifère ou pour le moins une nappe phréatique continue et à bonne perméabilité dans la région. En saison sèche, le réseau hydrographique est exclusivement alimenté par les nappes souterraines VAN CAILLIE [1983]. Kinshasa connaît un climat chaud et humide de type A_{w4}. Le régime pluvial de la région de Kinshasa jouit d'une double périodicité [BULTOT, 1971] : le mois de novembre, le plus pluvieux, enregistre plus de 200 mm. Sur ce qui reste encore du paysage naturel des collines, on peut trouver des graminées : *Laudetia demoussi* et *Schyzochysium semiberle* qui sont des hémicryptophytes cespiteux.

La Figure 2 montre l'évolution de la superficie urbaine (de 3,24 fois entre 1957 et 1979, de 1,45 fois entre 1979 et 2007 soit) d'environ 4,7 de 1957 à 2007 [MAKANZU IMWANGANA et al., 2012]. L'espace loti s'est donc accru de 470 % en un demi-siècle. Cette

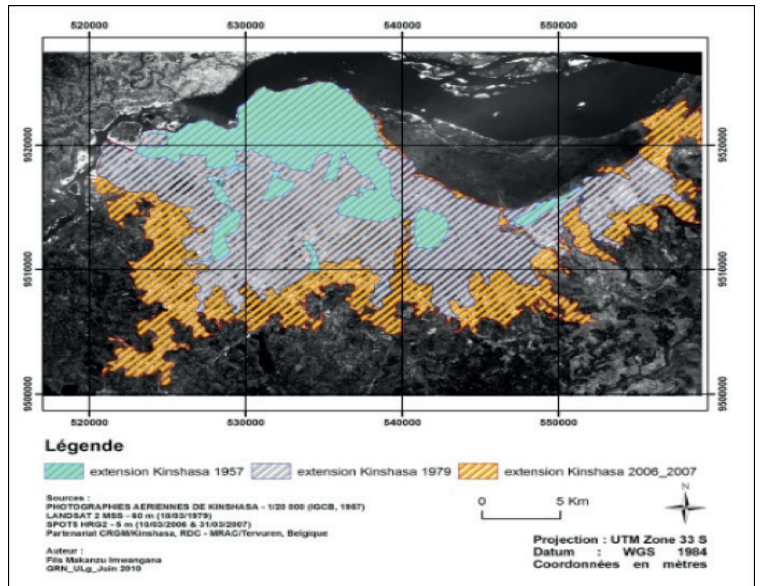


Figure 2 | Evolution de l'espace urbain à Kinshasa de 1957 à 2007 (Source : MAKANZU IMWANGANA, 2010)

extension ne tient pas compte des communes urbano-rurales de Maluku et de N'sele qui sont étendues sur la plaine de la rivière N'sele, lit majeur du fleuve Congo.

Avant 1967, la ville se cantonnait exclusivement sur la plaine. Le schéma directeur d'aménagement urbain de Kinshasa prévoyait un développement linéaire de l'agglomération vers l'est, au-delà de l'aéroport de Ndjili, axé sur les points forts de Kinkole, Nsele et Maluku (Atlas de Kinshasa, 1975). Elle grimpera malheureusement vite sur les versants des collines : à Ngaliema d'abord, puis à Kisenso vers les années 1970 et, bien d'autres collines seront finalement à leur tour envahies par un habitat d'auto-construction [NTOMBI et MAKANZU IMWANGANA, 2006]. Cette croissance de l'espace urbain (Figure 2) a eu pour principal effet dès la fin des années soixante, l'apparition du ravinement sur les versants des collines sableuses à fortes pentes (Figure 3).

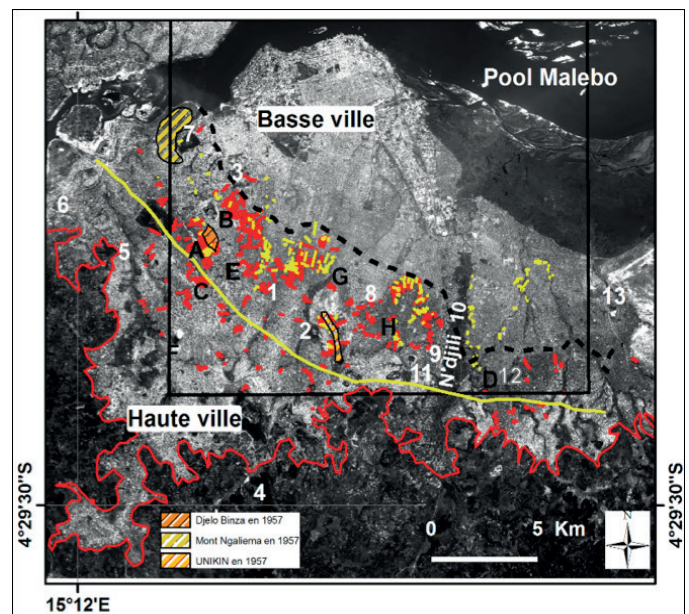


Figure 3 | Distribution des méga-ravins (tâches en rouge) à Kinshasa en 2007. La haute ville qui constitue le plateau disséqué, formant la zone de collines est limitée au nord par la ligne discontinue noire. Le rectangle noir représente la couverture de l'image WorldView 1 de 2010 (source: MAKANZU IMWANGANA et al., 2015).



Figure 4| Effet du déchaussement (a) Déchaussement d'une maison à Livulu (Photo Fils Makanzu, CRGM_Mars 2012); **(b)** Déchaussement d'un manguiier à Djelo Binza (Photo Fils Makanzu, CRGM_Avril 2011)

L'exode rural, la démographie galopante et la crise du logement ont conduit à cette expansion plutôt urbano-rurale sur les collines, de l'ouest et du sud-ouest de la ville. Pour reprendre LÉLO [2009], cette anarchie foncière a été installée par les chefs coutumiers, suite au laxisme de l'administration en complicité avec certains fonctionnaires de l'État qui régularise le fait accompli, dans les zones périurbaines sous le prétexte fallacieux de respecter la propriété ancestrale/coutumière. Malgré l'existence de la loi 73-021 du 20 juillet 1973 selon laquelle les terres appartiennent à l'État qui devrait en assurer la gestion.

MATÉRIELS ET MÉTHODES

Un inventaire des ravins dans la ville de Kinshasa a été réalisé avec l'image SPOT de 2007 d'une résolution spatiale de 5 m [MAKANZU IMWANGANA et al., 2015]. Depuis octobre 2008, nous avons recouru à la méthode inductive lors des enquêtes et des observations de terrain sur les différentes formes de l'érosion ravinante et leur gestion dans la haute ville de Kinshasa, et par une campagne de terrain plus systématique du 1^{er} février à fin avril 2012. Connaissant bien le terrain, la validation s'est faite avec une mosaïque de Google Earth de 2007 d'une résolution spatiale de 1 m. Les ravins sont qualifiés de stables quand ils sont recouverts par la végétation et d'actifs quand ils ne le sont pas. Nous appelons « méga-ravin », tout canal d'érosion ayant au moins 5 m de large et qui se manifeste en milieu urbain de Kinshasa. Nous sommes conscient du fait que la limite entre les rigoles et ravins est d'ordinaire généralement plus basse que 5 m de large [POESEN et al., 1996]. De ce fait, les ravins de moins de 5 m de large n'ont pas été pris en compte du fait qu'ils ne sont pas visibles à cause de la limite imposée par la résolution spatiale (5 m) de l'image SPOT utilisée. Le terme "spectaculaire" renvoie à impressionnant du fait de la grande dimension de ces ravins.

TYPES DES RISQUES HYDROLOGIQUES SÉVISSANT À KINSHASA

Types de risques hydrologiques

En nous inspirant de MOEYERSONS et TREFOIS [2008], nous pouvons énumérer les dangers ou les aléas hydrologiques auxquels une pente est exposée lors d'une augmentation du ruissellement :

- le ruissellement diffus constitue un premier risque. Il est peu connu que le ruissellement diffus dans la ville de Kinshasa peut prendre l'allure d'un vrai « sheet flood » [MCGEE, 1887], cependant il arrive que des hommes ou des objets lourds soient parfois emportés par le courant. De même, on observe souvent sur les sommets et la partie supérieure des flancs de collines, le déchaussement des maisons (Figure 4a) ou des racines d'arbres (Figure 4b);
- en plus, le ruissellement peut se concentrer le long de routes et qu'il se crée ainsi des problèmes de ravinement [MOEYERSONS, 1991]. L'érosion hydrique en général et en particulier le ravinement constitue un grave problème dans la haute ville de Kinshasa. Les problèmes corrélatifs sont les dépôts et ensablements dans les vallées et dans la basse ville ;
- les inondations de cours d'eau et ensablements en basse ville à cause des crues de rivières plus importantes qui jadis n'atteignaient pas une telle ampleur, etc.

Erosion ravinante à Kinshasa

Le ravinement spectaculaire à Kinshasa

Trois cent huit ravins ont été cartographiés (Figure 3) sur l'anaglyphe de l'image Spot 2007. Deux cent dix sont complètement sans couverture végétale et 98 sont couverts d'arbres et/ou d'herbes. La première catégorie est considérée comme « active » tandis que la seconde comme stable [MAKANZU IMWANGANA, 2010 ; MAKANZU IMWANGANA et al., 2015]. La stabilité dont il est question ici, n'est pas permanente car le ruissellement conditionne l'érosion des sols à la tête du ravin et sur ses parois. Beaucoup d'exemples montrent que la reprise de l'érosion sur des ravins végétalisés, est seulement fonction de l'incision verticale provoquée par le ruissellement à travers le fond du ravin (type V). Après une incision verticale d'environ 1 m, il y a le démarrage des glissements translationnels des parois de ravins. Dans cette chute, les sols emportent des arbres. La seule présence d'herbes et d'arbres ne suffit donc pas pour stabiliser un ravin. Il faut rechercher d'autres facteurs que la couverture végétale.

Le Tableau 1 donne les caractéristiques de ravins spectaculaires

Tableau 1| Caractéristiques de méga-ravins à Kinshasa en 2007

	Cumul	Moyenne	Maximum	Minimum	Ecart-type
Surface (m ²)	1.969.148	6.393	89.920	146	10.043
Longueur (m)	94.732	308	2.129	25	252,7
Largeur (m)	-	21	117	3	12,3
Profondeur appr. (m)	-	7,3	41	1	4,3
Volume appr. (m ³)	11.034.595	35.827	1.469.805	124	12.747

Source : Makanzu Imwangana et al., 2015 modifié en 2017

Tableau 2| Caractéristiques de 10 plus grands et 10 plus petits ravins de Kinshasa en 2007

FID/ID	Nom	Etat	Longueur (m)	Volume (m ³)	Surface drainée naturelle (m ²)
306	Mataba 1	Active	963	1.469.805	340
307	Mataba 2	Active	582	1.398.757	17
133	Laloux Droit	Active	2.129	472.312	700
195		Stable	1.074	464.635	200
138		Stable	437	426.869	150
3	Laloux Gauche	Active	1.196	312.777	250
1		Stable	861	295.722	375
139		Active	705	226.195	725
151		Stable	1.340	216.738	200
92	Drève Selembao	Active	742	213.825	250
22		Active	26	267	175
27		Active	25	228	550
46		Active	31	204	25
19		Active	65	194	150
52		Active	61	187	600
86		Active	72	182	1.100
38		Active	29	156	450
59		Active	106	145	1.575
55		Active	35	139	550
29		Active	30	124	25

Source : Makanzu Imwangana et al., 2015

de 2007 inventoriés dans la haute ville. Les mesures de la profondeur et du volume dérivent de la largeur des ravins. Un angle moyen de 35° a été considéré. A Kinshasa, la pente des parois de ravin varie de 25 à 45°, mais la majorité des parois montre une pente entre 33 et 37°. La longueur cumulée de 308 ravins est de 94,7 km. Cela signifie que durant ces 50 dernières années, l'évolution moyenne du ravinement est de 2 km/an sur les versants sableux des collines de Kinshasa. Leur densité est de 0,4 km/km². Dans la partie nord de la haute ville, la densité la plus élevée atteint 2 km/km². Plus au sud, les ravins sont quasi inexistantes. Les 10 plus grands ravins représentent un volume cumulé de 5 497 636 m³, soit 49,8 % du volume total de 308 ravins inventoriés ; une largeur moyenne de 57 m et une profondeur moyenne de 20 m contre respectivement 21 et 7,3 m pour l'ensemble de ravins (Tableaux 1 et 2). Le Tableau 2 montre quelques caractéristiques de 10 plus grands ravins et de 10 plus petits ravins de Kinshasa en 2007.

Le site urbain est localement transformé en badland par ces méga-ravins qui isolent et séparent ainsi les quartiers habités en îlots, hypothéquant tout développement harmonieux de la ville. Sur les flancs et les versants des collines, des torrents modèlent le relief et le paysage de Kinshasa [MITI et al., 2004]. Dans leur description, MITI et al. [2004] mettent ensemble les glissements de terrain, dont témoignent très souvent les loupes observées dans le paysage et l'érosion ravinante, deux phénomènes encore actifs dans ce paysage.

Extension de la ville et érosion ravinante des sols

Les photographies aériennes montrent qu'en 1957, les amphithéâtres de sources étaient les seules formes actives sous le couvert forestier ou sous plantations qui existaient. Aujourd'hui, ces mêmes zones sont occupées par les constructions formant la haute ville. Les troncs d'arbres inclinés y observés sont la preuve que les glissements rotationnels ont eu lieu dans cet espace ou seraient la conséquence du creep. Aucun ravin n'était perceptible

dans les zones de forêts ni dans celles occupées par la savane. Pourtant, les photographies aériennes de 1957 montrent à l'époque 3 lotissements dans la haute ville. Il s'agit du quartier Djelo Binza où récemment s'est développé le spectaculaire ravin Mataba dans les années mille neuf cent nonante. VAN CALLIE [1983] n'y signala que l'existence d'un petit ravin. Selon notre interprétation de cette même photo-aérienne, ce ravin a pris naissance à la jonction des rues. L'eau de ruissellement qui aurait suivi une piste piétonne, visible sur cette photographie aérienne, entre les habitations des autochtones et le cours d'eau, est à l'origine dudit petit ravin. La deuxième enclave se trouve au Mont Amba, et représente le campus universitaire de Kinshasa alors Lovanium. On y remarque quelques traits de ruissellement diffus [VAN CALLIE, 1983] mais pas encore des signes de ravinement. Le troisième lotissement, c'est le Mont

Tableau 3| Répartition des méga-ravins par bassins versants

Bassin versant	Couverture végétale des ravins		Total	%
	Sans	Couvert		
Bumbu	39	20	59	19.2
Funa	34	4	38	12.3
Lubudi	8	36	44	14.3
Lukaya	2	0	2	0.6
Lukunga (+ Binza)	50	19	69	22.4
Lutendele	6	0	6	1.9
Mampenza	1	0	1	0.3
Matete_N'djili	17	14	31	10.1
Mumfu_N'djili	3	2	5	1.6
N'djili (Aval)	17	2	19	6.2
N'kwambila_N'djili	12	0	12	3.9
Tshangu	20	0	20	6.5
Tshuenge	2	0	2	0.6
Total	211	97	308	100
%	68.5	31.9	100	-

Source : Makanzu Imwangana et al., 2015



Figure 5 | Conséquences socio-économiques de l'érosion dans plusieurs sites de la capitale (a) Destruction des maisons par le ravin Laloux à Binza Delvaux (Photo Fils Makanzu, CRGM_2009). Au total, 126 maisons détruites depuis son apparition jusqu'en 2012; (b) Destruction sur 500 m de la route de Kimwenza (Photo Fils Makanzu, CRGM_2009); (c) Destruction du dispensaire et de la maternité à Kindele (Photo Moeyersons, MRAC_2009); (d) Réseau de distribution d'électricité endommagé à Kisenso (Photo Trefois, MRAC_2003). Des pylônes de la Société nationale d'électricité tombant à la suite du ravinement; (e) Rupture de la tuyauterie de distribution d'eau potable à Kisenso (Photo Trefois, MRAC_2003).

Ngalieima, où l'on ne trouve aucun problème en 1957. Ces trois enclaves sont indiquées sur la **Figure 3**.

Actuellement, on observe une inégale répartition de ravins sur les bassins versants de cours d'eau de Kinshasa (**Tableau 3**). La **Figure 3** montre que la densité de ravinement est plus élevée dans la partie nord de la haute ville que dans le Sud et marque la limite de la zone de ravinement. Au-delà, on accède à la zone des cirques d'érosion où les amphithéâtres des sources sont très actifs avec les glissements de terrain. Cette même figure montre la distribution des ravins dans les années septante et l'extension de la zone urbanisée en 1975 [PAIN, 1984]. Excepté les trois enclaves de 1957 pré-citées, l'urbanisation de la partie nord de la haute ville a commencé vers la fin des années soixante et s'est étendue comme indiquée à la position de 1975 (**Figure 3**). Selon VAN CAILLIE [1983], la répartition de ravins en ce temps-là se limitait à la zone urbanisée indiquée par la bordure de la position de 1975. Depuis, on observe une forte concentration des ravins dans la partie nord de la zone des collines. Entre l'implantation de premières maisons et l'apparition du premier ravin, on compte 8 à 10 ans selon la densité de l'urbanisation. L'extension urbaine en 2007 se limite à la bordure sud de la haute ville. On y remarque une progression lente de la zone ravinée (**Figure 3**). En même temps, dans la partie nord de la haute ville, où l'urbanisation a commencé vers 1968, à Djelo Binza et sur le campus de l'Université de Kinshasa, la densité du ravinement s'accroît [MAKANZU IMWANGANA et al., 2015].

L'analyse des images satellitaires montre que l'évolution et la généralisation de la distribution des ravins dans la haute ville de Kinshasa est en étroite relation avec l'extension de celle-ci. En effet, pendant le processus de l'urbanisation de la haute ville, la distribution des ravins se limite à la zone urbanisée. On peut le constater par l'absence de l'érosion ravinante dans la partie sud de la haute ville, qui a été lotie seulement 5 à 10 ans. Il faut donc quelques années avant que les premiers signes de ravinement apparaissent. Voilà pourquoi les anciennes zones urbanisées comme Djelo Binza et le Mont Amba et toute la partie nord de la haute ville connaissent une forte densité de ravinement. L'exemple le plus frappant est celui du méga-ravin au quartier Maman Mobutu loti en 1988 et qui a détruit 69 villas en 2008 [MAKANZU IMWANGANA et al., 2015].

IMPACTS SOCIO-ÉCONOMIQUES DU RAVINEMENT À KINSHASA

La **Figure 3** et les **Tableaux 1 à 3** montrent l'extrême gravité de la problématique du ravinement dans la haute ville de Kinshasa. Parmi les conséquences socio-économiques (**Figure 5, a-e**), il y a la destruction des infrastructures sociales [MITI et al., 2004, 2005] et des larges tronçons de routes; la rupture de tuyaux de distribution d'eau, ... La Fédération des organisations non gouvernementales laïques à vocation économique du Congo [FOLECO, 2002/2003] a fait état de 2400 maisons englouties par l'érosion ravinante. Mais leur rapport ne précise pas en combien de temps cela s'est produit.

Si nous considérons 25 maisons détruites par kilomètre de part et d'autre du ravin, nous obtenons 50 maisons détruites au kilomètre. Soit 50 maisons x 94,7 km = 4735 maisons détruites en 50 ans ou 95 maisons par an. Une maison d'un cadre moyen coûte en moyenne 16.000 US\$ dans le quartier de la haute ville de Kinshasa (**Figure 3**). En n'évaluant la perte en habitat, on arrive à 1,5 million US\$ par an. Il fallait 10 millions US\$ pour stabiliser le ravin de la Drève de Selembao en 2004. Les travaux de stabilisation des ravins Mataba avaient déjà coûté plus de 7,8 millions US\$ en 2008 [MAKANZU IMWANGANA et al., 2012].

GESTION DU RAVINEMENT À KINSHASA

Lutte contre l'érosion ravinante des sols

La gestion de l'érosion ravinante des sols à Kinshasa est devenue un sujet d'inquiétude depuis l'apparition du premier ravin sur le versant sableux dans la partie nord de la haute ville vers la fin des années soixante. Les ravins, une fois stabilisés, sont rapidement envahis par la végétation. Selon nos investigations, il n'y a que 98 ravins revégétalisés sur les 308 identifiés qui ont pu être stabilisés par une intervention humaine. Seuls deux cas pour lesquels, l'imagerie chronologique Google Earth et des observations de terrain n'ont pas permis de préciser le type de méthode utilisée pour les stabiliser. On sait généralement que la stabilisation d'un ravin provient d'une diminution de la surface drainée qui pourvoit le ruissellement, responsable de l'érosion régressive à la tête du ravin [GRAF, 1977 ; RUTHERFURD et al., 1997, MAKANZU IMWANGANA et al., 2014].

A Kinshasa, le **Tableau 4** montre les types de méthode appliquée pour stabiliser le ravin : la protection de l'intérieur du ravin pour lutter contre de nouvelles incisions : une combinaison des digues

Tableau 4 | Succès de la lutte contre l'érosion en ravine

Type de gestion du ravinement	Nombre de réussites
1. Prévention du ruissellement	7
2. Protection de l'intérieur du ravin	76
3. Combinaison de 2 méthodes	13

Source : Makanzu Imwangana et al., 2015

faites de sacs de sable, des pneus usés, des bâches et des déchets ménagers a été utilisée. Cette méthode a réussi pour 76 ravins. La prévention du ruissellement à la tête du ravin par la combinaison des méthodes incluant la déviation du ruissellement et une rétention d'eau dans de petits bassins d'orage et puisards a donné de bons résultats pour 7 cas. Dans treize cas, on a recouru à une combinaison de protection intérieure du ravin et prévention du ruissellement dans la commune de Kisenso, qui a bénéficié d'un appui financier et technique de la coopération belge.

Pour stabiliser les parois de ravins, l'on a procédé à la construction des digues en sacs de sables à l'intérieur du ravin, des pneus usés, en stabilisant les têtes de ravins avec des sacs de sable et la déviation d'eau à la tête du ravin avec des puisards. Dans d'autres cas, l'on a procédé à la revégétalisation des terrasses pour casser la pente et ainsi stabiliser les parois (**Figure 6a**, en Annexe).

Mais, la réussite pour la stabilisation des ravins n'est pas limitée aux 96 cas contenus dans le **Tableau 4**. Nos investigations révèlent que nombreux sont des ravins dont les têtes sont stables mais dont leurs parois sont encore actives à cause des glissements des pans qui s'y produisent. Cette situation est rencontrée dans 57 sur 210 ravins actifs. La réussite la plus sûre est une combinaison des méthodes de prévention du ruissellement à la tête, de gestion des eaux des pluies au niveau des parcelles (stockage et/ou infiltration), de construction des digues en sacs de sable et des pneus usés, de reboisement ou revégétation. L'exemple le plus évident de cette combinaison est la stabilisation de la tête de Mataba 1 par la déviation du ruissellement sur plus d'un kilomètre.

Evaluation empirique de résultats obtenus par ces différentes méthodes

Cent cinquante trois sur trois cent et huit cas sont concernés dans cette évaluation qualitative de réussite et d'échec de techniques, méthodes et matériels utilisés.

Toutes les techniques engagées dans la lutte anti-érosive concourent au contrôle de l'eau de ruissellement. Il s'agit de :

- la minimisation du ruissellement dans les parcelles et sur les avenues : il revient que les puisards dans les parcelles et les bassins d'orage dans les rues sont souvent mal dimensionnés pour emmagasiner toute l'eau des pluies pour en faciliter l'infiltration. De plus le curage de ces puisards et des bassins d'orage est négligé ou irrégulier. Par conséquent, il y a une diminution progressive de la capacité d'emmagasinement des eaux. En outre, les parois de ces dispositifs creusés dans un sol sableux, n'étant pas protégées s'effondrent fréquemment (**Figures 6b et 6c**, en Annexe) ;
- la protection de la tête des ravins avec des déchets ménagers ou des sacs plastiques semble tenir plus longtemps (**Figure 6e**, en Annexe) mais cette technique est en contradiction avec les mesures de salubrité de l'environnement et de santé publique ;
- les dispositifs tels que les bâches (**Figure 6g**, en Annexe) ou les glissières en béton résolvent temporairement les problèmes parce que souvent inachevés. L'érosion reprend juste en aval de l'installation qu'il détruit par l'érosion régressive à la base et latéralement (**Figure 6f**, en Annexe) ;
- les digues érigées dans le ravin (**Figures 6g-6h**, en Annexe) ne peuvent être efficaces que si sa tête est stabilisée par l'une de techniques précédentes et qu'aucun ruissellement d'eau de pluies n'y arrive tout en veillant que les joints de sacs soient étanches sinon l'eau finira toujours par les déstabiliser ;
- la végétation ne joue son rôle de fixatrice du sol que quand elle le couvre totalement surtout en zone de fortes pentes. A défaut, le ruissellement profite de moindres espaces non couverts pour éroder (**Figure 6i-6j** en Annexe) ;
- le drainage des eaux par le système de caniveaux ne tient que lorsqu'il a été achevé jusqu'à l'exutoire, bien calibré et curé régulièrement, répondant aux intensités extrêmes des volumes d'eau à évacuer. Dans le cas contraire, le dispositif constituera un facteur d'érosion voire de sa propre destruction.

Les égouts : la conception des égouts visités ne tient souvent pas compte de la surface à drainer. A Kinshasa, la surface drainée est toujours plus grande que celle que l'on peut délimiter sur une carte topographique [MAKANZU IMWANGANA et al., 2014]. Les routes dévient souvent des quantités appréciables de ruissellement d'un bassin de premier ordre à un autre. L'exemple typique est donné par le ravin de Mataba où la route de Matadi concentre le ruissellement d'une bonne partie de la colline de Djelo Binza vers le col où le ravin commence.

Parfois, lors de l'exécution de travaux, l'eau de ruissellement est déviée de la tête de ravin afin de stopper sa progression. Mais souvent, ce détournement ne fait que déplacer le problème. L'eau érode le site où on la conduit si la canalisation n'arrive pas jusqu'au talweg ou à la vallée avant la saison des pluies. Cela est dû surtout à la non-prise en compte de la quantité d'eau à drainer. L'imagerie Google Earth 2010 avec sa fonction chronologique nous a aidé à reconstituer [OZER, 2014] une partie de l'histoire de Mataba (**Figures 7a-7e, 7f-7g**, en Annexe).

Lorsque la phytotechnie adaptée (bandes alternées) est

incapable d'arrêter l'érosion, notamment dans le cas du ravinement, il est nécessaire de recourir à une modification des modalités d'écoulement des eaux, via un aménagement du terrain. Ces modifications devront tenir compte de tous les paramètres hydrologiques.

CONCLUSION

Beaucoup de problèmes environnementaux à Kinshasa sont dus à l'extension de la ville dans les collines. Cette extension est causée par une démographie non maîtrisée. Si la ville s'était limitée dans la plaine, le ravinement et les ensablements corrélatifs en basse ville ne se produiraient pas. Les cirques d'érosion se dégradent par glissements de terrain qui sont des phénomènes beaucoup plus catastrophiques que le ravinement. Les risques hydrologiques auxquels la ville de Kinshasa est exposée découlent en partie des changements dans la réponse hydrologique de son paysage aux conditions climatiques et environnementales de son développement. L'occupation de certains espaces par exemple sans un aménagement préalable ni équipement conséquent notamment à son assainissement sont d'autres causes des risques hydrologiques à Kinshasa.

Actuellement, un groupe de chercheurs se préoccupe de trouver des méthodes et techniques capables d'offrir des solutions durables dans la conservation et protection des terres de versants sableux de l'espace urbain de Kinshasa. Dans cette optique, la cartographie par la télédétection et les Systèmes d'information géographique (SIG) sont en développement rapide pour constituer un outil d'aide à la décision. Ainsi, des documents d'information et de communication des risques hydrologiques (DICRH) pourraient être élaborés et mis à la disposition des collectivités urbaines afin de prévenir ou tout au moins de retarder et d'atténuer ces catastrophes.

RÉSUMÉ

La ville de Kinshasa connaît de plus en plus une récurrence des catastrophes d'origine naturelle parmi lesquels, les risques hydrologiques. Ceux-ci découlent des changements dans la réponse hydrologique de son paysage aux conditions climatiques et environnementales occasionnées par son expansion. Les risques qui génèrent ces catastrophes y sont particulièrement aggravés par deux facteurs : le contexte physique de la région d'une part et d'autre part, le manque d'une bonne gouvernance dans l'aménagement du territoire urbain et la vulnérabilité socio-économique des populations. Ainsi s'explique en grande partie le caractère anthropique de l'origine de ces catastrophes hydrologiques.

Mots clés : Kinshasa, risque de catastrophe, érosion ravinante en milieu urbain, méga-ravin, ensablement

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ATLAS DE KINSHASA [1975].** Schéma directeur d'aménagement urbain de la ville de Kinshasa. IGC – B.E.A.U.
- BOARDMAN J., PARSONS A.J., HOLLAND R., HOLMES P.J., WASHINGTON R. [2003].** Development of badlands and gullies in the Sneeuberg, *Great Karoo, South Africa. Catena* 50, 165-184.
- BULTOT F. [1971].** Statistiques des pluies intensives en un point dans une aire du Congo belge et du Ruanda – Urundi. *B.C.C.V, n°11, Bruxelles* : 136p.
- BUTARA S. [2011].** Glissements de terrain et cause de leur déclenchement : Cas de la cité d'Uvira et sa partie méridionale (Sud Kivu, République Démocratique du Congo). *Travail de Fin d'Etudes, Université de Liège, Inédit*, 82p.
- BUTARA S., HAVENITH H-B, MOEYERSONS J., TREFOIS P. [2015] a.** Etude de l'aléa glissements de terrain à l'aide des données multi source : Cas de la cité d'Uvira et sa partie méridionale (Sud Kivu, République Démocratique du Congo). *Inédit*, 28 p.
- BUTARA S., MONGANE A., FIAMA S., ESPOIR MUGISHO B. [2015] b.** Susceptibilité aux glissements de terrain : cas de la Commune d'Ibanda à Bukavu en République Démocratique du Congo. *IJIAS* 11 (1): 129-141.

- DE SAINT MOULIN L. [2001].** Evolution de la population urbaine de la RDC. In: *Actes du Séminaire national de concertation sur le plan d'action national pour l'habitat. PNUD/CNUEH-Habitat, Ministère des TPAT-UH*, 31-48.
- FOOD AND AGRICULTURAL ORGANIZATION-FAO [1965].** Soil Erosion by water, Some Measures for its control on cultivated land. *FAO Agricultural, Rome*, p.81.
- FRANKL A., NYSSSEN J., DE DAPPER M., DECKERS J., POESEN J. [2010].** Dynamics of gully and river channel erosion in Northern Ethiopia : Diachronic analysis of terrestrial photographs. *Meded. Zitt. K. Acad. Overzeese Wet. Bull. Séanc. Acad. R. Sci Outre-Mer* 56: 265-276.
- FRANKL A., NYSSSEN J., DE DAPPER M., MITIKU HAILE, BILLI P., MUNRO R.N., DECKERS J., POESEN J. [2011] a.** Linking long-term gully and river channel dynamics to environmental change using repeat photography (Northern Ethiopia). *Geomorphology* 129: 238-251.
- FRANKL A., NYSSSEN J., DE DAPPER M., MITIKU HAILE, DECKERS, J., POESEN J. [2011] b.** Trends in gully erosion as evidenced from repeat photography (North Ethiopia). *Landform Analysis* 17: 47-49.
- GILL J.C., MALAMUD B.D. [2014].** Reviewing and visualizing the interactions of natural hazards. *Rev. Geophys.* 52, 680-722, doi:10.1002/2013RG000445.
- GILL J.C., MALAMUD B.D. [2017].** Anthropogenic processes, natural hazards, and interactions in a multi-hazard framework. *Earth-Science Reviews* 166, 246-269.
- GRAF W.L. [1977].** The rate law in fluvial geomorphology. *American Journal of Science* 277: 178-191.
- KAKESA J.P., MUBANGA G. [1998].** A propos du sinistre érosif à Kikwit : Une nécessité de limitation des mesures administratives pour la protection de l'environnement urbain. *Pistes et Recherches* 13 (1), 1-12.
- KAYEMBE M., DE MAEYER M. AND WOLFF EL. [2012].** The Mapping of the urban growth of Kinshasa (DRC) through high resolution remote sensing between 1995 and 2005. In the book "Remote Sensing - Applications" edited by Boris Escalante-Ramirez, ISBN 978-953-51-0651-7, In Tech, June 6, 2012, 463-478.
- KAYEMBE M., DE MAEYER M., WOLFF EL. [2009].** Cartographie de la croissance urbaine de Kinshasa (R.D. Congo) entre 1995 et 2005 par télédétection satellitaire à haute résolution. *Belgeo* 3-4: 439-455.
- KODIAWILA Y. [2009].** Analyse par hydrogramme unitaire des crues dévastatrices du bassin versant de Lubudi/Makelele à Kinshasa. In: *Rapport général des travaux commémoratifs de la journée mondiale de la Science au service de la paix et du développement durable tenue à Kinshasa du 10 au 13 novembre 2009*, inédit, 5p.
- LASZLO M., ZSUZSANNA E. AND GABOR T. [2012].** Urban flood risk and hydrology. *Zeitschrift für Geomorphologie* 56, suppl. 2, 021-035.
- LELO NZ.F [2009].** Croissance urbaine et recul de la ceinture verte maraîchère à Kinshasa. *Congo –Afrique* 438, 567-591.
- LELO NZ.F. [2008].** Kinshasa : Ville et Environnement. *Ed. L'Harmattan, Paris*, 282p.
- LELO NZ.F., TSHIMANGA MB.C. [2004].** Pauvreté urbaine à Kinshasa. *La Haye, éd. Cordaid*, 166p.
- LEONE FR., MESCHINET DE RICHEMOND N. ET VINET FR. [2010].** Aléas naturels et gestion des risques. *PUF/Paris*, 288p.
- MAKANZU IMWANGANA F. [2010].** Etude de l'érosion ravinante à Kinshasa entre 1957 et 2007 par télédétection et SIG. Mémoire de Master complémentaire, GRN/DSGE, Faculté des Sciences, ULg, 76p.
- MAKANZU IMWANGANA F. [2014].** Etude de l'érosion ravinante à Kinshasa. Dynamisme pluvio-morphogénique et développement d'un outil de prévision. *Thèse de doctorat en Sciences, Faculté des Sciences, Université de Kinshasa*, 193p.
- MAKANZU IMWANGANA F., DEWITTE O., NTOMBI M., MOEYERSONS J. [2014].** Topographic and road control of mega-gullies in Kinshasa (DR. Congo). *Geomorphology* 217, 131-139. DOI 10.1016/j.geomorph.2014.04.021
- MAKANZU IMWANGANA F., OZER P., MOEYERSONS J., VANDECASTEELE I., TREFOIS PH., NTOMBI M. [2012].** Kinshasa

en proie à l'érosion ravinante : inventaire cartographique et impact socio-économique. *Colloque international sur la géomatique et la gestion des risques naturels en hommage au professeur André Ozer*, 6-8 mars, UMP, Oujda, Maroc. Volume des résumés, p.27.

MAKANZU IMWANGANA F., VANDECASTEELE I., OZER P., TREFOIS P., MOEYERSONS J. [2015]. The origin and control of megagullies in Kinshasa (DR. Congo), *Catena*, 125, pp.38-49, DOI 10.1016/j.catena.2014.09.019

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

MBENZA M., MITI F.T., ALONI J.K. [1991]. L'érosion ravinante dans la ville de Kolwezi au Shaba (Zaire). *Geo-Eco-Trop* 15, 97-104.

MCGEE [1887]. Sheet flood erosion. *Geological Society of America Bulletin*, 8 : 87 - 112.

MITI TS.F., ALONI K.J. [2005]. Les incidences de l'érosion sur le développement socio-économique et l'urbanisation future de Kinshasa. *Kinshasa, M.E.S* 27, 1-31.

MITI TS.F., ALONI K.J., KISANGALA M.M [2004]. Crise morphogénique d'origine anthropique dans le modelé du relief de Kinshasa. *Bull. du CRGM* 5 (1) Numéro special, 1-12.

MOEYERSONS J. [1991]. Ravine formation on steep slopes: forward versus regressive erosion. Some case studies from Rwanda. *Catena* 18, 309-324.

MOEYERSONS J., MAKANZU IMWANGANA F., DEWITTE O. [2015]. Site- and rainfall-specific runoff coefficients and mega-gully development in Kinshasa (DR Congo). *Natural Hazards*, DOI10.1007/s11069-015-1870-z.

MOEYERSONS J., TREFOIS PH. [2008]. Desertification and changes in river regime in Central Africa : possible ways to prevention and remediation. In: *Gabriels, D., Cornelis, W., Eyletters, M., Hollebosch, P., Combating desertification? Assessment, adaptation and mitigation strategies. Proceedings of the Conference on Desertification, Ghent, 23 January 2008.* UNESCO Centre for Eremology, Ghent University, Belgium, 144 - 156.

MOEYERSONS J., TREFOIS PH., NAHIMANA L., ILUNGA L., VANDECASTEELE I., BIYZIGIRO V., SADIKI S. [2009]. River and landslide dynamics on the western Tanganyika rift border, Uvira, D.R.Congo: diachronic observations and a GIS inventory of traces of extreme geomorphic activity. *Natural Hazards* 53(2), 291-311.

NTOMBIM.K., MAKANZU IM.F. [2006]. Réponse du bilan hydrométrique à la dégradation spécifique du bassin versant de la Lukunga à Kinshasa. *Ann. Fac. Sc. 1*, 67-77.

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.

PAIN M. [1984]. Kinshasa – la ville et la cité, études urbaines. *ORSTOM/ Paris, Mémoires* 105, 267p.

POESEN J., VANDAELE K., VAN WESEMAEL B. [1996]. Contribution of gully erosion to sediment production in cultivated lands and rangelands. In: *Erosion and Sediment Yield : Global and regional Perspectives (Proceedings of the Exeter Symposium, July 1996).* IAHS publ. 236, 251-266.

POESEN J., VANDEKERCKHOVE L. [2004]. Assessment of gully headcut retreat rates a Semi-arid environment over different timescales. *Y. Li, J. Poesen & C. Valentin (Eds). Gully erosion under global change*, 29-56.

RUTHERFURD I.D., PROSSER I.P., DAVIS J. [1997]. Simple approaches to predicting rates and extent of gully development. *Proceedings of the Conference on Management of Landscapes Disturbed by Channel Incision. S.S.Y. Wang, E.J. Langendoen and Jr. Shields (Editors), University of Mississippi: Oxford, Mississippi*, pp. 1125-1130.

SAHANI M. [2011]. Le contexte urbain et climatique des risques hydrologiques de la ville de Butembo (Nord Kivu/RDC). *Thèse de doctorat, Université de Liège, Faculté des Sciences*, 273p.

SAYNOR M.J., WAYNE D. ERSKINE [2006]. Spatial and temporal variations in bank erosion on sand-bed streams in the seasonally wet tropics of northern Australia. *Earth Surf. Processes and Landforms* 31(9), 1080-1099.

TREFOIS P., MOEYERSONS J., LAVREAU J., ALIMASI D., BADRYIO I., MITIMA B., MUNDALA M., MUNGANGA, D.O, NAHIMANA L. [2007]. Geomorphology and urban geology of Bukavu (R.D. Congo): interaction between slope instability and human settlement. *Geological Society, London, Special Publications* 283:65-75.

UNEP [1994]. United Nations Convention to Combat Desertification (UNCCD), United Nations Environmental Programme (UNEP), Geneva.


UNISDR-INTERNATIONAL STRATEGY FOR DISASTER REDUCTION OF UNITED NATIONS [2009]. Terminology on Disaster Risk Reduction. *United Nations*. 35p.

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, Dpt de Géographie Géologie, KUL*, 554p.

VANDECASTEELE I., MAKANZU F.I., TUMWAKA C.N., NTOMBIA.M., TREFOIS P., OZER P., MOEYERSONS J. [2011]. The increasing threat of natural hazards in Central Africa : the case of urban megagullies. 23rd colloquium of African Geology, January 8-14, 2011, p. 407. Abstracts volume. "Together in Africa for a leading role in geosciences". University of Johannesburg, South Africa.

VANDECASTEELE I., MOEYERSONS J., TREFOIS PH. [2010]. 'An assessment of the spatial and temporal distribution of natural hazards in central Africa'. *Jürgen Runge (ed.), Paleoecology of Africa* 30, special issue: African Palaeoenvironments and Geomorphic Landscape Evolution : 279-300. London, U.K : CRC Press, Taylor & Francis Group.

WOUTERS TH., WOLFF EL. [2010]. Contribution à l'analyse de l'érosion intra-urbaine à Kinshasa (RDC). *Belgeo* 3, 293-313.

 This work is in open access, licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License. The images or other third party material in this article are included in the article's Creative Commons license, unless indicated otherwise in the credit line; if the material is not included under the Creative Commons license, users will need to obtain permission from the license holder to reproduce the material. To view a copy of this license, visit <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

ANNEXE



Figure 6| (a) Parois d'un ravin aménagé à Kisenso (Photo Philippe Trefois, MRAC_2003); (b) Puisard parcellaire à Kisenso (Photo Philippe Trefois, MRAC_2003); (c) Bassin de rétention d'eau à COGELOS (Photo Aimé Mwanza, Pic KINEROSION_2007); (d) Tête de ravin couverte des déchets ménagers à Livulu (Photo Fils Makanzu, CRGM_2009); (e) Tête de ravin couverte des bâches, à Makaya (Photo Fils Makanzu, CRGM_2009)

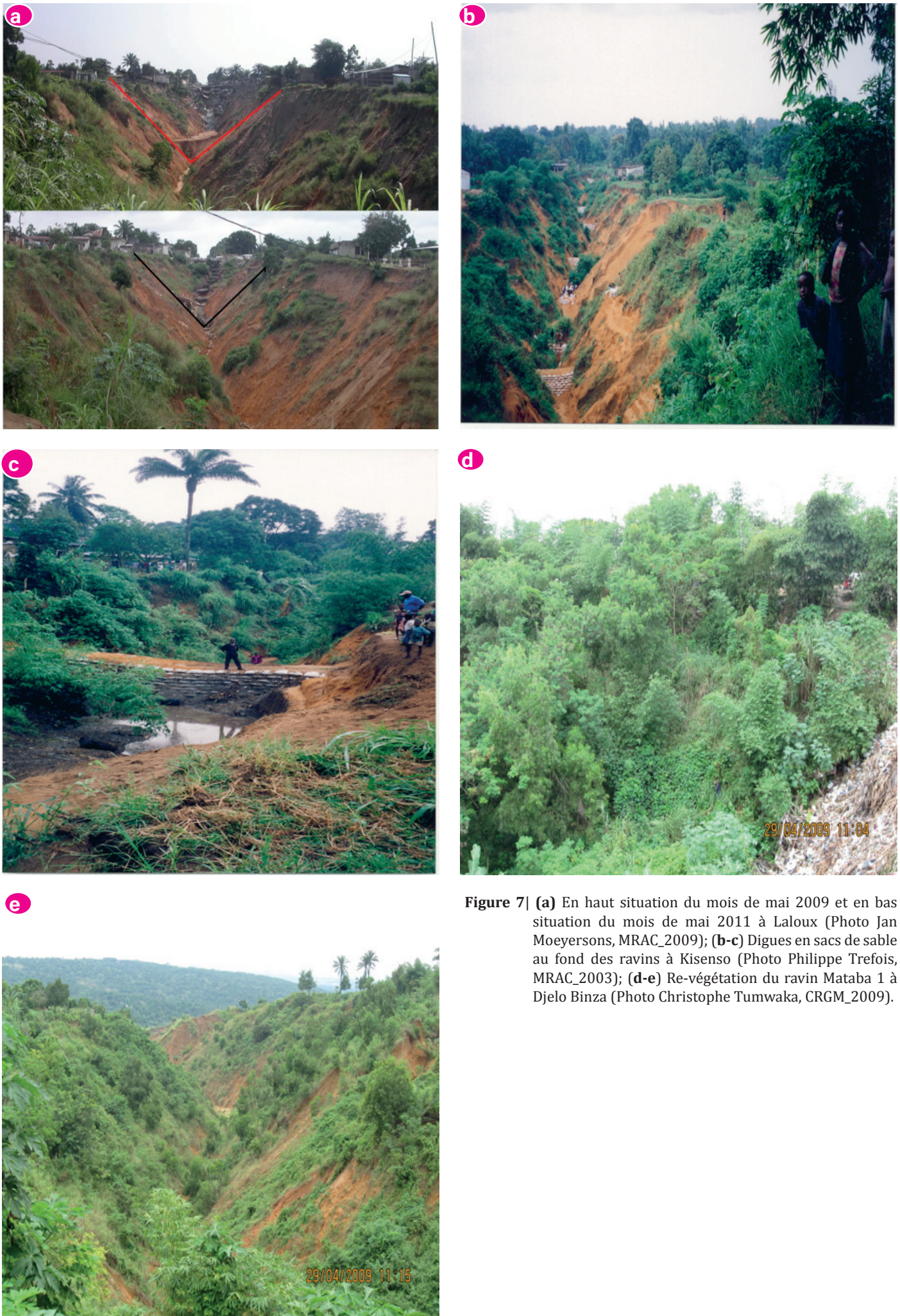


Figure 7 | (a) En haut situation du mois de mai 2009 et en bas situation du mois de mai 2011 à Laloux (Photo Jan Moeyersons, MRAC_2009); (b-c) Dignes en sacs de sable au fond des ravins à Kisenso (Photo Philippe Trefois, MRAC_2003); (d-e) Re-végétation du ravin Mataba 1 à Djelo Binza (Photo Christophe Tumwaka, CRGM_2009).

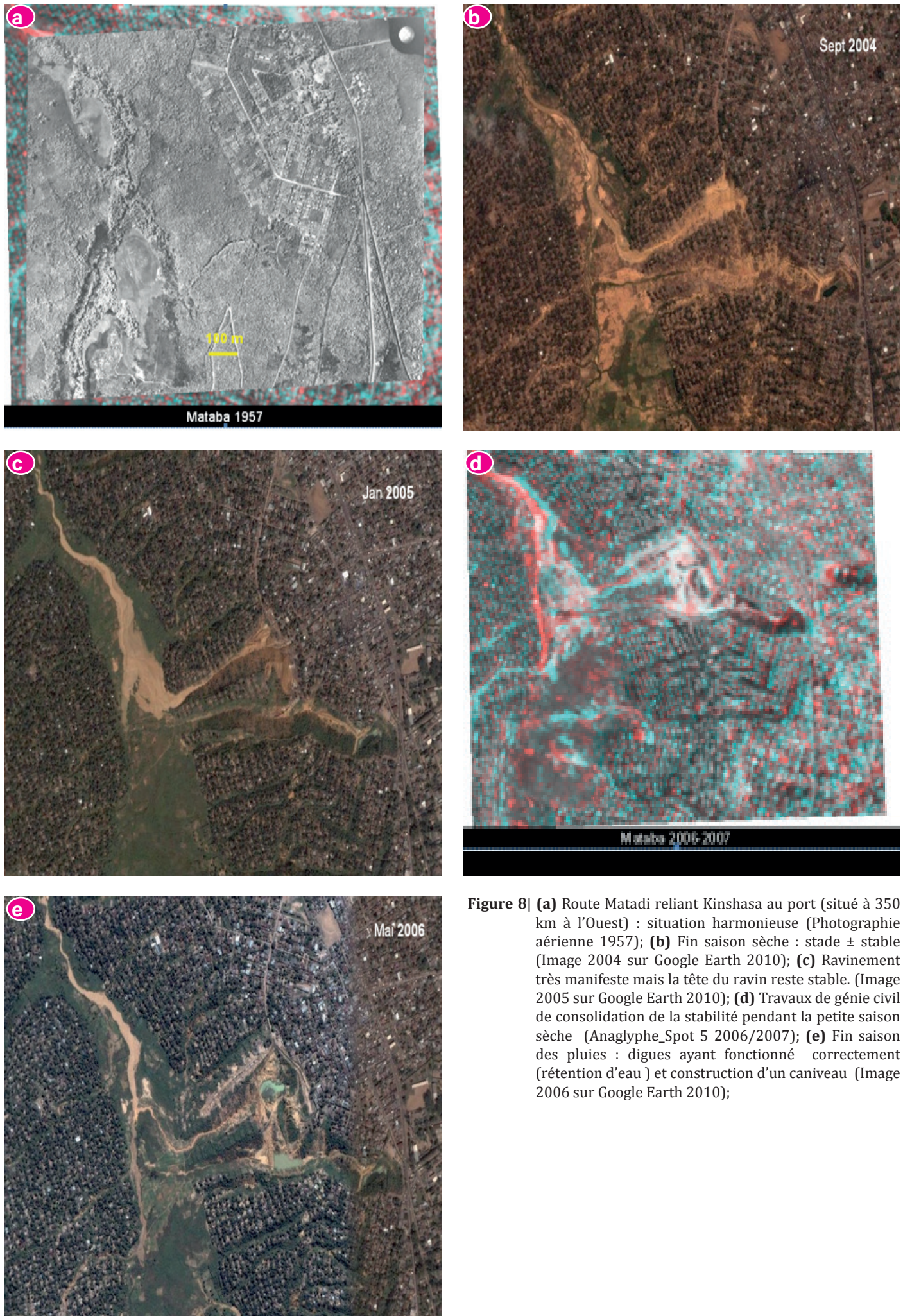


Figure 8| (a) Route Matadi reliant Kinshasa au port (situé à 350 km à l'Ouest) : situation harmonieuse (Photographie aérienne 1957); (b) Fin saison sèche : stade ± stable (Image 2004 sur Google Earth 2010); (c) Ravinement très manifeste mais la tête du ravin reste stable. (Image 2005 sur Google Earth 2010); (d) Travaux de génie civil de consolidation de la stabilité pendant la petite saison sèche (Anaglyphe_Spot 5 2006/2007); (e) Fin saison des pluies : diges ayant fonctionné correctement (rétention d'eau) et construction d'un caniveau (Image 2006 sur Google Earth 2010);



Figure 9| (a) Début saison des pluies : situation stable + caniveau (Image 2008 sur Google Earth 2010); **(b)** En plein saison sèche et donc situation héritée de la saison des pluies : stade de réactivité en suivant le profil du caniveau-Entretiens stabilité à la tête du ravin grâce à la déviation des eaux (Image 2009 sur Google Earth 2010)