

Éditeur scientifique

Éric Roose

Restauration de la productivité des sols tropicaux et méditerranéens

Contribution à l'agroécologie




Éditions

Nature et importance de l'érosion catastrophique dans la région du Kivu, Congo (RDC)

J. MOEYERSONS

V. BYIZIGIRO

I. VANDECASTEELE

D. NKURUNZIZA

W. SAHANI

L. NAHIMANA

I. LUTUMBA (†)

Ph. TREFOIS

Introduction

Les provinces du Nord et du Sud-Kivu au Congo-RDC, le Rwanda et le Burundi, connaissent depuis leur première exploitation des problèmes d'érosion (WEIS, 1959 ; TONDEUR, 1951 ; MOEYERSONS, 1989a). À partir des années 1980, ces problèmes dépassent le cadre purement agricole et il se manifeste un accroissement d'accidents naturels, essentiellement d'ordre hydrologique. Il s'agit d'inondations et de fortes migrations de sédiments lors des crues de rivière, de plusieurs types de mouvements de masse, de ravinements et d'oscillations de la nappe phréatique. Ces accidents imprévus affectent de préférence les zones urbaines. Dans la ville de Butembo, les dégâts annuels par le ravinement et les glissements de terrain dépassent les 300 000 € (MUHINDO SAHANI, 2004). À Bujumbura, ce chiffre atteint 1 million d'euros.

La collection des *African Geographic Pictures* (<http://www.africamuseum.be/collections/browsecollections/naturalsciences/earth/geopic>) contient plusieurs images illustrant les risques naturels qui menacent la région. Ces événements occasionnent des dégâts aux maisons, aux ouvrages et au réseau routier. Ils affectent la production et la distribution de l'énergie hydro-électrique et ils sont à l'origine d'importantes réductions de la productivité agricole. Au Rwanda, on estime qu'une dizaine de personnes trouvent annuellement la mort dans ces accidents environnementaux. Il va sans dire que ces événements naturels freinent considérablement le développement durable de la région.

La plupart de ces catastrophes naturelles se présentent à l'occasion de fortes pluies. Mais la région du rift se distingue également par une tectonique très active qui, par des séismes, contribue souvent au déclenchement, parfois retardé jusqu'à l'arrivée des pluies, de glissements de terrain et d'autres formes de mouvements de masse (tabl. 1).

Tableau 1
Événements géomorphologiques de caractère catastrophique
dans la région Rwanda-Burundi-Kivu, 1980-2007.

	Événement hydrologique			Événement séismique/volcanol.			Mouvt de masse		
	Nbre	Affectés	Tués	Nbre	Affectés	Tués	Nbre	Affectés	Tués
Rwanda	12	71 777	249	3	301 643	45	3	2 000	24
Burundi	23	131 432	60	2	121	4	0	0	0
Kivu	10	83 045	111	17	110 400	208	10	149	29
Total	45	286 254	420	22	412 164	257	13	2 149	53
Moy./évén.		6 361	9		18 735	12		165	4

Source : VANDECASTEELE et al., 2010.

Le tableau 1 retient les accidents hydrologiques, qui se sont produits dans la région Rwanda-Burundi-Kivu pour la période 1980-2007. Les accidents sismiques se situent pour la plus grande partie au bord occidental du graben et au Virunga. Les accidents hydrologiques et les glissements de terrain se font sentir sur les deux bordures du Rift. La région dans son ensemble connaît en 2012 une densité de la population de l'ordre de 250 hab./km² et compte un bon nombre de villes en pleine expansion :

Notre base de données sur les risques naturels ([HTTP://WWW.AFRICAMUSEUM.BE/COLLECTIONS/BROWSECOLLECTIONS/NATURALSCIENCES/EARTH/HAZARD](http://www.africamuseum.be/collections/browsecollections/naturalsciences/earth/HAZARD)) montre une légère augmentation des accidents hydrologiques à partir de la deuxième moitié des années 1980 et une augmentation considérable à partir de 2000.

Ce chapitre analyse les raisons possibles de l'augmentation de la fréquence des désastres et donne un aperçu des types de risques observés et quelques recommandations de prévention.

Les crues des rivières et ce qu'elles nous apprennent

L'augmentation en nombre et en gravité des inondations reflète un changement du régime fluvial. Il y a quelques dizaines d'années, les rivières cherchaient leur cours à travers les vallées, couvertes d'une forêt de galerie ou bourrées de dépôts marécageux de boue, tourbes ou de papyrus. À l'heure actuelle, la majorité des rivières se frayent une sortie et dégagent la vallée par incision verticale et latérale ou par un vrai déplacement du lit de rivière. Un exemple extrême est la rivière Kalimabenge à Uvira, qui, en février 2002, a quitté son lit de 1959 et s'est creusée, en quelques heures, un nouvel exutoire au travers de la ville. Un millier de maisons ont été détruites et une cinquantaine de personnes ont trouvé la mort.

Les crues de rivière sont également bien documentées au Rwanda. Le 17 septembre 2007, le village de Bigogwe a été inondé par la rivière Muzingo. Plus de 350 maisons furent détruites, 25 personnes ont trouvé la mort et plus de 100 personnes ont disparu.

Les dix dernières années, des inondations, accompagnées de fortes érosions fluviales à la suite de débordements de rivière, ont été rapportées sur l'entièreté de la région considérée, y compris la région de Bujumbura, la ville de Butembo (Muhindo Sahani, 2004), la plaine de la Ruzizi, la région d'Uvira et de Bukavu.

Plusieurs raisons expliquent ce changement de régime fluvial. Premièrement, RWILIMA et FAUGÈRE (1981) ont montré que la déforestation et l'intensification de l'agriculture mènent à un tarissement des sources parce que le coefficient de ruissellement augmente (fig. 1). De même, le nombre accru des inondations sur les flancs des Virungas dans les années 1980 correspond à une déforestation et une surexploitation des zones amont (JOST, 1987). D'ailleurs, la déforestation s'avère être un facteur d'amplification des inondations dans le monde entier (BRADSHAW *et al.*, 2007). Si l'on tient également compte de l'augmentation d'éléments producteurs de ruissellement dans le paysage, notamment les routes, maisons, terrains durcis ou revêtus, on comprend que le changement de l'utilisation du sol ces dernières décennies a contribué au changement du régime fluvial et que ce sont souvent les villes qui en souffrent le plus.

Beaucoup de chercheurs pensent que l'augmentation des débits de ruissellement trouve en partie aussi son origine dans le changement climatique global qui entraîne des pluviosités de plus en plus variables, y compris des orages plus importants en volume et en intensité (DORE, 2005 ; HULME *et al.*, 2001). MUHIGWA (1999) note que la variabilité des pluies s'est accrue depuis les années 1980 à Mulungu et Nyangezi, dans la région de Bukavu, et que les saisons pluvieuses se sont déjà déplacées d'un mois environ dans tout le Sud-Kivu, de sorte que l'auteur propose des changements au calendrier agricole. GOMMES (1996) montre également des écarts significatifs des pluies mensuelles à Butare (Rwanda) en 1993 par rapport à la moyenne des pluies

mensuelles des cinq années précédentes. Ainsi, s'accumulent progressivement les arguments statistiques qui caractérisent le changement global dans la région concernée.

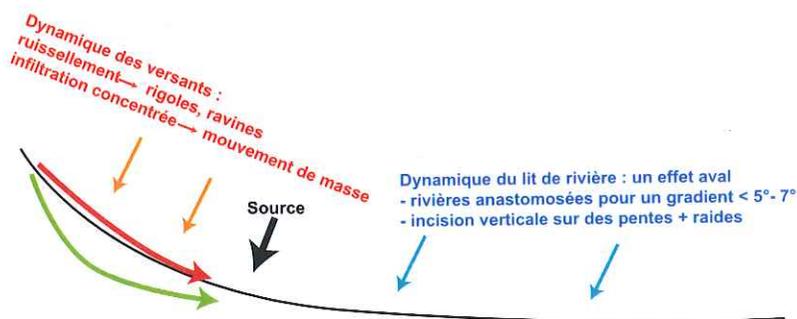


Figure 1

L'augmentation des risques hydrologiques collinaires suite à une augmentation du taux d'écoulement ou à une concentration de l'infiltration et le changement du régime fluvial en cas d'augmentation du ruissellement collinaire.

Aperçu des autres risques naturels non volcaniques

La dynamique de l'utilisation du sol et le changement global climatique interviennent très probablement ensemble dans l'évolution du comportement hydrologique du paysage tropical africain. La figure 1 montre le court-circuitage partiel des sources par l'augmentation du ruissellement sur les flancs de colline. Elle indique ainsi que les crues de rivière sont la conséquence du ruissellement accru sur les collines.

En aval des sources, qui fonctionnent toujours en partie, on distingue deux classes d'événements géomorphologiques. Une première classe comprend les crues de rivière, responsables soit des érosions verticales et/ou latérales du lit de rivière, soit des dépôts dans la vallée inondée, soit des remblaiements. Une seconde classe comprend les instabilités des versants le long de la vallée, créées par la dynamique du lit de rivière.

En amont des sources, les versants sont actuellement surtout affectés par des glissements de terrain et des ravinelements.

Finalement, il faut aussi mentionner des catastrophes qui se concentrent à proximité ou même sur les structures tectoniques actives. Les risques peuvent être divisés comme suit :

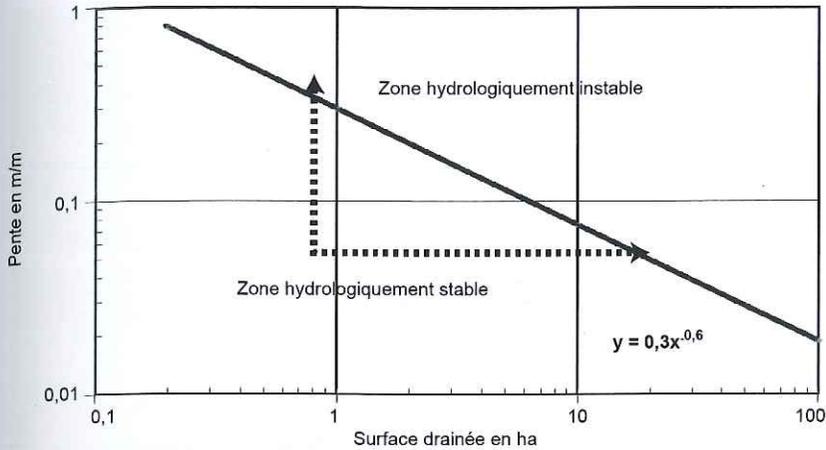


Figure 2

L'enveloppe Montgomery-Dietrich (1994) établie pour le Rwanda (Moeyersons, 2003) divise le terrain en une partie hydrologiquement stable et une partie instable. Par l'augmentation de la pente ou de la surface drainée, un point A qui, à l'origine, se trouve dans la zone stable, peut se retrouver dans la zone hydrologiquement instable.

Les glissements le long des rivières

Un très grand nombre de glissements de terrain cartographiés se trouvent le long des rivières qui montrent une dynamique active d'incision verticale ou latérale. Dans la zone d'extension de la ville de Bujumbura, les crues occasionnent une érosion verticale très considérable des lits de rivière. Le processus d'équilibrage des parois verticales comprend des affaissements gigantesques, menaçant les nouvelles constructions avant même qu'elles soient habitées. Les bords de la Kanyosha, qui jette ses eaux dans le lac Tanganyika au sud de Bujumbura, sont affectés par un grand nombre de glissements qui avancent annuellement de plusieurs mètres et qui dégradent les routes et rendent inhabitables les maisons (MOEYERSONS, 2007). Ainsi, le déplacement de la route nationale n° 7 a été nécessaire. Souvent, les lobes des glissements repoussent la Kanyosha, ce qui donne parfois lieu au barrage temporaire de la rivière. De l'autre côté du rift, à Bukavu et à Uvira, on observe également que les glissements de terrain se localisent de préférence le long des rivières qui incisent activement (MOEYERSONS *et al.*, 2004, 2010).

Les glissements affectent le régime des rivières. Une avancée soudaine d'un glissement peut temporairement bloquer la rivière. L'effet en aval d'un blocage s'exprime en une baisse temporaire du débit de rivière, suivie d'une crue, plus grande que celle à laquelle on pouvait s'attendre en fonction de la pluie. Selon les rapports locaux de 2002, un phénomène pareil s'est passé à Uvira et, en 2010 à Kabezi, à 5 km au sud de Bujumbura, où le centre médical Curgo a été envahi à l'occasion d'une crue de la Nyabage, occasionnée par la cassure d'un barrage de glissement en amont.

Les risques naturels de versant

Il a été démontré (MONTGOMERY et DIETRICH, 1994) que le ravinement et le glissement de terrain rencontrent les mêmes critères topographiques dans une région donnée. La figure 2 montre la ligne qui délimite le bord inférieur du nuage des points des incisions de versants, glissements et ravinements, comme il a été établi dans le sud du Rwanda (MOEYERSONS, 2003) :

$$S_{cr} = 0,3.A^{-0,6} \quad (1) ;$$

S_{cr} = la tangente de l'angle de la pente à la hauteur de la tête de l'entaille, en m/m ;

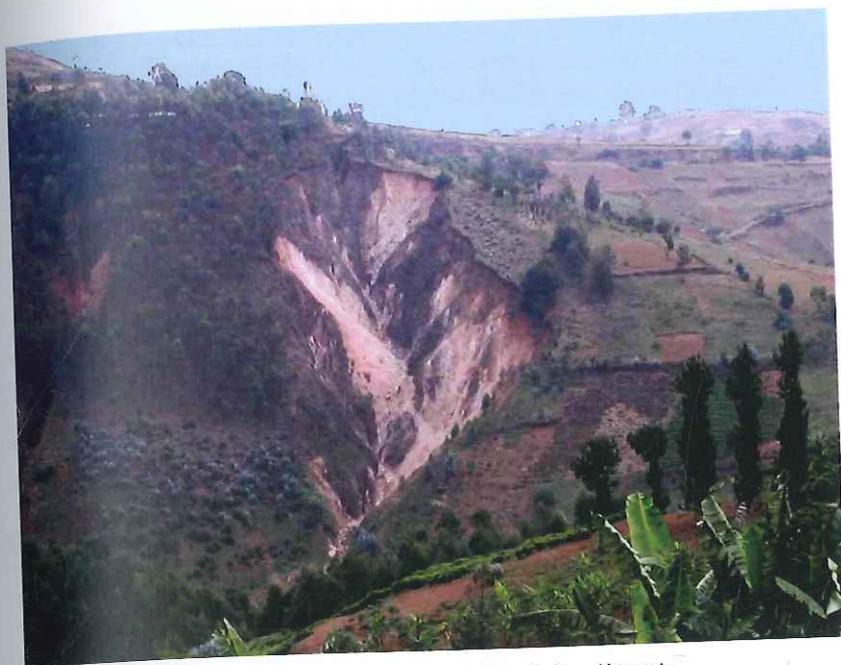
A = la surface drainée vers la tête d'entaille en ha.

Cette ligne (fig. 2) comprend des combinaisons limites de pente naturelle à l'endroit des entailles et de surface drainée vers la tête des entailles. Des combinaisons passant au-dessus de cette ligne courent le risque de ravinements ou de glissements de terrain.

L'enveloppe indique qu'un fossé quasiment horizontal (0,01 m.m⁻¹) peut drainer une surface de l'ordre de 1 000 ha sans que le fond du fossé soit raviné. Par contre, un fossé avec un gradient longitudinal de 46 % n'est capable de drainer qu'une surface inférieure à 1 ha. Une augmentation de la surface drainée ou du gradient longitudinal d'une buse ou d'un déversoir peut avoir comme effet qu'un point sur le terrain, qui à l'origine se situe en dessous de l'enveloppe, monte au-dessus de l'enveloppe (fig. 2). À partir de ce point, une entaille peut se produire. Dans le cas de ruissellement, cette entaille peut se développer en ravin. Dans le cas d'infiltration, des pressions hydrostatiques peuvent s'établir dans le sol, capables de provoquer un glissement.

Le ravinement (voir photo) mérite toute l'attention parce qu'il réduit la surface cultivable, il contribue au dessèchement du sol et parfois il menace des maisons ou des routes et constitue un danger pour les habitants et leur bétail. Le ravinement est plus actif dans les agglomérations urbaines qu'à la campagne à cause des surfaces durcies, maisons et rues. Une ville génère plus de ruissellement qu'une région de campagne. Les villes de Bukavu, Uvira, Bujumbura, Butare, Kigali, Ngoma, Butembo souffrent du ravinement.

Les glissements de terrain sont souvent des décollements rotationnels-transrotationnels (ROOSE, 1994). Ils affectent les horizons pédologiques superficiels sur des pentes supérieures à 35-40 % dont le substrat comprend une fraction argileuse (DIKAU *et al.*, 1996). À la fin de la saison pluvieuse, de nouvelles cicatrices incisent les flancs de colline. Lors des années pluvieuses, ce type de glissement se produit en grand nombre et affecte de grosses parties des bassins de premier ordre, comme dans la région de Kibuye et de Gikongoro en 1979, autour de Kigali en 1986 et à Mudamsonwa en 1989 (MOEYERSONS, 1989b). BYERS (1992) rapporte des glissements massifs près de Rutoyi (Ruhengeri, Rwanda), à la suite de 140 mm de pluie du 4 au 7 mai 1988.



Lavaka, ravin géant développé à l'aval d'un déversoir de la route Kayanza-Bujumbura, Burundi.
© J. Moeyersons

Les décollements n'affectent généralement qu'une tranche de sol de un à deux mètres. Les entailles sont vite recolonisées, mais un examen approfondi montre que pratiquement chaque colline de la partie déboisée de la crête Congo-Nil au Rwanda et Burundi porte des anciennes cicatrices. Ainsi du côté d'Uvira et de Bukavu, les décollements sont nombreux et de grande taille. Le processus de décollement contribue autant que le ravinement et l'érosion pluviale diffuse à la dénudation et à l'appauvrissement des sols dans la région. Le coût économique des pertes en terres fertiles causées par les décollements est difficile à calculer, mais le phénomène a contribué dans le temps aux famines par la baisse de la productivité des sols les premières années. Le pire c'est que ces décollements sont encore activés par les lignes de lutte antiérosive, essentiellement des fossés collecteurs, sur des pentes trop raides pour ce dispositif (MOEYERSONS, 2003).

Les glissements d'origine sismique/tectonique

MUNYOLOLO *et al.* (1999) remarquent une recrudescence des glissements de terrain à Bukavu, suite à une réactivation sismique locale. L'application du critère topographique de MONTGOMERY-DIETRICH (1994) sur les glissements de Bukavu indique que les grands glissements I, III, V et VI (fig. 3 et 4) sont d'origine sismique (MOEYERSONS *et al.*, 2004). Les glissements II et IV et les 31 glissements en dehors du micro-rift de Bukavu seraient « hydrologiques ».

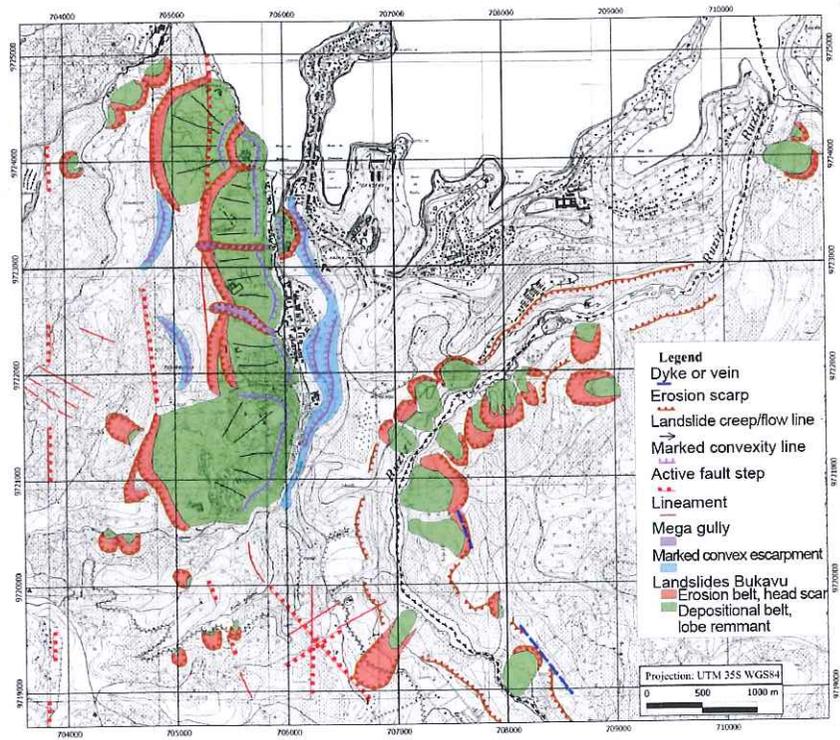


Figure 3
Carte des glissements de terrain à Uvira.
Source : Moeyersons et al, 2004.

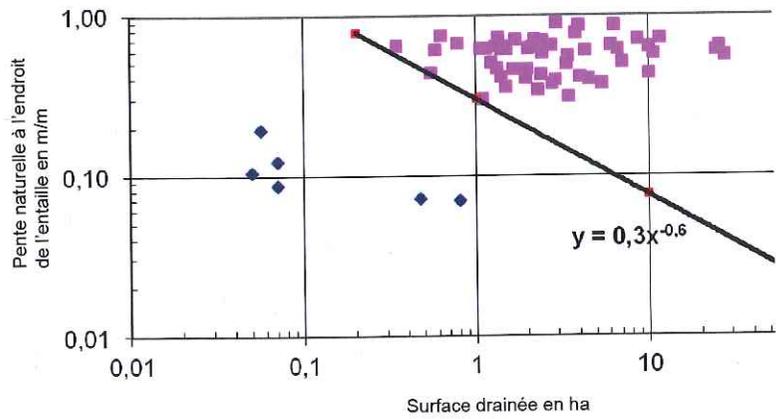


Figure 4
Les glissements dans la région d'Uvira, situés en dessous
de l'enveloppe sont d'origine tectonique.

Sur le bord occidental du graben d'Uvira, 60 glissements de terrain ont été cartographiés (MOEYERSONS *et al.*, 2010) et l'application du critère topographique montre que 6 glissements tombent sous l'enveloppe et seraient donc d'origine purement sismique (fig. 5.) Nos analyses à Bukavu, Uvira, Bujumbura, Kigali et Ruhengeri montrent que les glissements sismiques sont de loin les plus grands en taille, mais en même temps les moins nombreux. Ils sont localisés au-dessus ou à proximité de structures tectoniques actives (MOEYERSONS *et al.*, 2004, 2010).

Les glissements et les ravinements dus à l'exploitation de minerais et aux travaux routiers

Les travaux publics, et notamment la construction de routes, mènent assez souvent aux mouvements de terrain artificiels. Le long du réseau routier dans les terrains accidentés des deux bords du rift Kivu-Tanganyika se sont produits des immenses glissements de terrain. Les raisons classiques sont soit la surcharge au sommet de la pente, soit l'enlèvement du support en bas de pente. Des ravinements et affaissements secondaires se produisent souvent aux endroits d'exploitation de minerais, là où le creusement dans le sol est réalisé par un fort jet d'eau. La Muhira, près de Cibitoke, est un exemple de rivière polluée de cette façon.

Le défi des risques naturels

En cas de catastrophe hydrologique, on cherche souvent des solutions dans le domaine de l'ingénierie civile. Des murs de soutènement, des digues, des ponts, des tunnels et d'autres ouvrages, parfois de grandes envergures, ont été construits pour maîtriser des ravins géants (Kigobe à Bujumbura), des rivières (Kalimabenge, Uvira) ou des glissements de terrain (gabions et murs de soutènement pour stabiliser les talus des routes). Généralement, ces travaux exigent des investissements considérables, souvent trop lourds pour les fonds locaux. En plus, leur succès n'est pas toujours garanti. L'expérience avec les ravins de Kinshasa montre que les grands ouvrages sont parfois peu efficaces ou sont même détruits par les forces qu'ils étaient censés maîtriser. Ceci vient du fait qu'il manque souvent une bonne compréhension de la situation en amont de l'endroit où la catastrophe se manifeste. Les crues de rivières, provoquant une érosion fluviale, sont gérées par deux facteurs : une augmentation du taux de ruissellement et des barrages temporaires par des glissements de terrain. Le ravinement est manifestement la conséquence d'une augmentation du taux de ruissellement (MOEYERSONS et TREFOIS, 2008). Les glissements dans la région sont la suite de l'incision verticale des rivières (MOEYERSONS

et al., 2010) et de l'infiltration concentrée sur un point ou le long d'une ligne (MOEYERSONS, 2003). La solution durable pour la grande majorité des risques est la réalisation de la restauration d'une infiltration diffuse. L'ingénierie agricole offre plusieurs solutions à ce problème. Une première solution est le terrassement radical sur des pentes inférieures à 45 %. Après quarante ans sans accident majeur, on voit une application générale du terrassement progressif ou radical au Rwanda et des essais se font au Burundi et à Uvira. Par l'infiltration diffuse qu'il crée (rugosité des champs cultivés intensément), le terrassement en gradin (ou radical) prévient généralement les glissements. En plus, l'infiltration totale qu'il réalise empêche les ravins géants de se développer et conduit en même temps à une bonne alimentation des sources et ainsi à la normalisation du régime fluvial.

Le terrassement radical n'est pas la seule méthode à normaliser la situation hydrologique. En ce qui concerne la réalisation d'une infiltration diffuse, beaucoup d'expérimentations de terrain ont été réalisées (ROOSE et NDAYIZIGIYE, 1996 ; RISHIRUMUHIRWA, 2006 ; KÖNIG, 2006). Les conclusions de ces recherches sont certainement encore valables, surtout quand il s'agit d'une classification des différentes affectations de sol selon leur efficacité relative en conservation des eaux et des sols. En termes absolus, il s'avère également que les utilisations de sol, considérées dans les années 1980 comme étant les plus efficaces (MOEYERSONS, 2004), le sont toujours à l'heure actuelle. Ainsi, aucune ravine ne peut être retrouvée à l'intérieur des plantations de thé, ni dans les bananeraies à sous-étage de jardin potager ou de plantes associées, ni dans les parcelles de café bien paillées.

Il existe aussi des techniques simples pour distribuer l'infiltration uniformément sur une pente. MOEYERSONS (1989a) propose le paillage complet des pentes raides sous culture. Les plantes de couverture sont une autre méthode de la stabilisation structurale du sol et de la maintenance de sa capacité d'infiltration. ROOSE (1994) montre l'effet bénéfique d'une méthode agroforestière d'arbres fruitiers ou fourragers plantés dans les cultures en lignes perpendiculaires à la pente. Les arbres assurent un certain ancrage du sol et les cultures effectuent une infiltration diffuse.

Plus récemment, et dans le même ordre d'idées, les géotextiles ont été lancés. Ces produits perméables en forme de filets ou de tissus, comme de la paille, brisent l'énergie cinétique de la pluie, conduisent l'eau vers la surface du sol sans la moindre concentration et sans que l'effet de compaction et de liquéfaction par les gouttes de pluie réduise la conductivité hydraulique du sol (MOEYERSONS, 1990).

Notons surtout le rôle des arbres dans la stabilisation de pentes raides à sol généralement mince et pierreux. De nombreux exemples au Rwanda et au Burundi montrent qu'une ligne de touffes d'Eucalyptus peut stabiliser les routes de montagne.

Conclusions

Ce chapitre plaide en faveur d'une politique autre que celle d'une correction de situations à la suite d'une catastrophe. L'augmentation en fréquence et gravité des événements exige une politique de prévention, ce qui revient à une réorganisation intégrée des versants, surtout ceux plus raides que 30 %. À la base de toute prévention est la restauration d'une bonne capacité d'infiltration des sols : paillage, terrasses en gradins, talus fixés par des arbustes légumineuses, agroforesterie, cultures couvrant intensément le sol.

Ce principe devrait aussi s'appliquer dans les villes, qui sont généralement gravement affectées par les risques hydrologiques. Que chaque habitation soit munie d'une citerne pour collecter les eaux de pluie et d'un jardin au sol bien couvert pour absorber l'excédent des pluies. Un bon système d'égouts et de drainage qui conduit les eaux non interceptées vers la vallée est un défi pour chaque ville.

Bibliographie

BRADSHAW C., SODHI N., PEH K., BROOK B. W., 2007 – Global evidence that deforestation amplifies flood risk and severity in the developing world. *Global Change Biology*, 13 : 2379-2395.

BYERS A., 1992 – Soil loss and sediment transport during the storms and landslides of May 1988 in Ruhengeri prefecture, Rwanda. *Natural Hazards*, 5 : 279-292.

DIKAU R., BRUNSDEN D., SCHROTT L., IBSEN M.-L., 1996 – *Landslide recognition*, Chichester, John Wiley & Sons, 251 p.

DORE M., 2005 – Climate change and changes in global precipitation patterns: what do we know? *Environment International*, 31 : 1167-1181.

GOMMES R., 1996 – *Climat et crise rwandaise*. Département du développement durable (SD) de l'ONU pour l'alimentation et l'agriculture (FAO), <http://www.fao.org/sd/frdirect/eian0006.htm>

HULME M., DOHERTY R., NGARA T., NEW M., LISTER D., 2001 – African climate change: 1900-2100. *Climate Research*, 17 : 145-168.

JOST CH., 1987 – *Contraintes d'aménagement en région volcanique tropicale*. Thèse de doctorat, université nationale du Rwanda, faculté des lettres, département de géographie, 283 p.

KÖNIG D., 2006 – « Agroforesterie au Rwanda : son efficacité et ses limites ». In Ratsivalaka S., Serpentié G., De Noni G., Roose É. (éd.) : *Érosion et gestion conservatoire de l'eau et de la fertilité des sols*, Actes des journées scientifiques du réseau Érosion et GCES de l'AUF, Antananarivo (Madagascar), 25-27 octobre 2005, Paris, Éditions scientifiques AUF-GB : 71-75.

MOEYERSONS J., 1989a – La nature de l'érosion des versants au Rwanda. *Annales, Musée Roy. Afr. Centr.*, série Sciences économiques, 19, 396 p.

MOEYERSONS J., 1989b – « Image 672 ». In Moeyersons J. : *African Geographic Pictures*, <http://www.metafro.be/geopic/geography/672/picture>

MOEYERSONS J., 1990 – La capacité d'infiltration d'un sol ferrallitique au Rwanda : comparaison des résultats obtenus par un perméamètre annulaire, un œdomètre et deux types de simulateurs de pluie. *Bulletin du Réseau Érosion*, 10 : 38.

MOEYERSONS J., 2003 – The topographic thresholds of hillslope incisions in south-western Rwanda. *Catena*, 50 : 381-400.

MOEYERSONS J., 2004 – Le rôle de la couverture végétale dans la redistribution des sédiments et du carbone des sols par le ruissellement : colline de Rwaza, Butare, Rwanda. *Bulletin du Réseau Érosion*, 23 : 99-112.

- MOEYERSONS J., 2007 – « Image 2085 ». In Moeyersons J. : *African Geographic Pictures*, <http://www.metafro.be/geopic/geography/2085/picture>
- MOEYERSONS J., TREFOIS PH., LAVREAU J., ALIMASI D., BADRIYO I., MITIMA B., MUNDALA M., MUNGANGA D. O., NAHIMANA L., 2004 – A geomorphological assessment of landslide origin at Bukavu, Democratic Republic of the Congo. *Engineering Geology*, 72 (1-2) : 73-87.
- 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*, Proc. 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 LUTUMBA, 2010 – River and landslide dynamics on the western border of the Tanganyika rift, Uvira, D.R. Congo. *Natural Hazards*, 53 (2) : 291-311.
- MONTGOMERY D. R., DIETRICH W. E., 1994 – « Landscape dissection and drainage area-slope thresholds ». In Kirkby M. J. (ed.) : *Process Models and Theoretical Geomorphology*, Chichester, Wiley : 221-245.
- MUHIGWA J.-B., 1999 – Analyse des perturbations dans le régime pluviométrique du Sud-Kivu durant les 50 dernières années. *Mus. roy. Afr. centr., Dépt. Géol. Min., Rapp. Ann.* 1997 et 1998 : 112-121.
- MUHINDO SAHANI, 2004 – *Érosion des sols et potentiel agroforestier de quelques ligneux en milieu paysan dans la zone agroécologique de Beni-Lubero, (Nord-Kivu/RDC)*. Mémoire de fin d'études pour l'obtention d'un DES interuniversitaire en gestion des risques naturels, Communauté francophone de Belgique, université de Liège et faculté universitaire des sciences agronomiques de Gembloux, 70 p.
- MUNYOLOLO Y., WAFULA M., KASEREKA M., CIRABA M., MUKAMBILWA K., MAVONGA T., CIRIMWAMI M., MUHIGIRWA B., BAGALWA R., MUNDALA M., 1999 – Recrudescence des glissements de terrain suite à la réactivation séismique du bassin du lac Kivu. Région de Bukavu (Rép. Dém. Congo). *Mus. roy. Afr. centr., Dépt. Géol. Min., Rapp. Ann.* 1997 et 1998 : 285-298.
- RISHIRUMUHIRWA TH., 2006 – « Lutte antiérosive et recherche en gestion et conservation des sols au Burundi ». In Ratsivalaka S., Serpenté G., De Noni G., Roose É. (éd.) : *Érosion et gestion conservatoire de l'eau et de la fertilité des sols*, actes des journées scientifiques du réseau Érosion et GCES de l'AUF, Antananarivo (Madagascar), 25-27 octobre 2005, Paris, Éditions scientifiques AUF-GB : 57-63.
- ROOSE É., 1994 – Introduction à la GCES. *Bull. Sols FAO*, Rome, 70, 420 p.
- ROOSE É., NDAYIZIGIYE F., 1996 – Agroforestry and GCES in Rwanda. *Soil Technology*, 11 (1) : 109-119.
- RWILIMA CH., FAUGÈRE T., 1981 – *Évolution entre 1958 et 1979 du couvert forestier et du débit des sources dans trois régions naturelles du Rwanda*. Kigali, Geomines-Somirwa, AIDR, 14 p.
- TONDEUR G., 1951 – Rapport annuel de la Mission antiérosive pour l'exercice 1950. *Bull. Agricole du Congo belge*, 17 (4) : 803-830.
- VANDECASTEELE I., MOEYERSONS J., TREFOIS PH., 2010 – « An assessment of the spatial and temporal distribution of natural hazards in central Africa ». In Jürgen Runge (ed.) : *Paleoecology of Africa*, 30, special issue: *African Palaeoenvironments and Geomorphic Landscape Evolution*, London, UK, CRC Press, Taylor & Francis Group : 279-300.
- WEIS G., 1959 – Le pays d'Uvira, étude de géographie régionale sur la bordure occidentale du lac Tanganika. *Acad. Roy. Sci. Coloniales, Cl. Sci. nat.*, Mem. in-8 degrees, n.s., f. 5.