

L'effet de l'affectation du sol sur l'origine du ravin de Dingilet (Ethiopie du Nord)

Maude Veyret-Picot^a, Jan Nyssen^{a,c}, Jean Poesen^a, Jan Moeyersons^b, Mitiku Haile^c,
Jozef Deckers^d

^aLab. for Experimental Geomorphology, K.U.Leuven, Redingenstraat 16, B-3000 Leuven, Belgium

^bRoyal Museum for Central Africa, B-3080 Tervuren, Belgium

^cMekelle University, PO Box 231, Mekelle, Ethiopia

^dInst. Land and Water Management, K.U.Leuven, Vital Decosterstraat 102, B-3000 Leuven, Belgium

Corresponding e-mail address: maude.veyret-picot@geo.kuleuven.ac.be

Résumé

Le ravinement dans les hautes terres du Nord de l'Ethiopie est supposé être dû à la réduction de la capacité d'infiltration des sols et particulièrement la diminution du rôle protecteur de la végétation. On vérifie cette hypothèse par la reconstitution de l'évolution d'un grand ravin pendant ces dernières décennies. En absence de sources écrites, on fait appel à des techniques d'enquête pour la reconstitution de l'évolution du ravin. Les enquêtes, complétées de trois ans de mesures de sections du ravin à l'aide d'un théodolite, ont fourni de l'information sûre quant au développement du ravin.

Le ravin a connu une croissance sigmoïde dans le temps. Son initiation est due aux activités humaines, c'est-à-dire à la réduction de la couverture du sol, à la plantation d'eucalyptus. Son évolution postérieure a été accélérée par une longue sécheresse (1979-1990). A l'heure actuelle, les méthodes de gestion des eaux et des sols freinent son développement.

Mots de clés : Ethiopie, évolution de ravin, méthodes d'enquête, eucalyptus, sécheresse, gestion des eaux et des sols

Abstract

In the northern Ethiopian Highlands, gullying is caused by a lowering of the soils' infiltration capacity and particularly the decreasing protective role of the vegetation. Through a reconstruction of the evolution of a large gully over the last decades, this statement has been verified. Written records being unavailable, the long-term gully evolution is established using specific interview techniques, borrowed from Participatory Rural Appraisal methods. Completed with three year gully cross-section measurements by theodolite, reliable information on the gully development was obtained.

The growth of the gully was sigmoidal in time. The initiation of the gully is due to human impact, i.e. land cover changes and eucalyptus plantation, but its rapid subsequent development has been triggered by a dry spell (1979-1990). Nowadays, the soil and water conservation measures lower the gully development rate.

Key words : Ethiopia, gully evolution, PRA methods, eucalyptus, dry spell, soil and water conservation measures

Problématique

Des travaux de terrain dans d'autres parties du monde démontrent que les ravins se développent rapidement au début mais en ralentissant ensuite (Graf 1977, Rutherford et al. 1997, Nachtergaele

2001). En plus de cela, Nachtergaele (2001) a observé qu'après les premières années d'activité d'érosion intensive, la végétation se réinstalle dans le lit du ravin, ce qui cause une réduction de la vitesse des eaux de ruissellement et une croissance de la déposition des sédiments. A partir d'un certain moment dans son évolution il y a donc une diminution du volume du ravin. Mais une évolution pareille n'est pas possible pour la majorité des ravins en Ethiopie, qui sont employés comme endroits de pâturage ou sentier de bétail, avec la conséquence que la végétation n'a pas la possibilité de se réinstaller. En contrepartie, la déposition de sédiment peut être antécédente à la construction des structures de gestion des sols et des eaux, comme par exemple les barrages de contrôle.

La connaissance du développement des ravins dans le Nord de l'Ethiopie est très restreinte. Des documents historiques sont complètement absents. Les photos aériennes sont en général à l'échelle de 1 : 50.000, ce qui empêche l'analyse ou la mesure des dimensions et de l'évolution des ravins. Les interviews simples et courts avec des personnes rencontrées occasionnellement rapportent en général de l'information peu fiable. Si l'on veut augmenter cette connaissance, il ne reste que deux moyens: la mesure directe de l'évolution du volume du ravin sur le terrain et l'adaptation des techniques d'enquête existantes, pour qu'elles puissent fournir de l'information sur l'âge, le développement et les facteurs contrôlant la naissance des ravins.

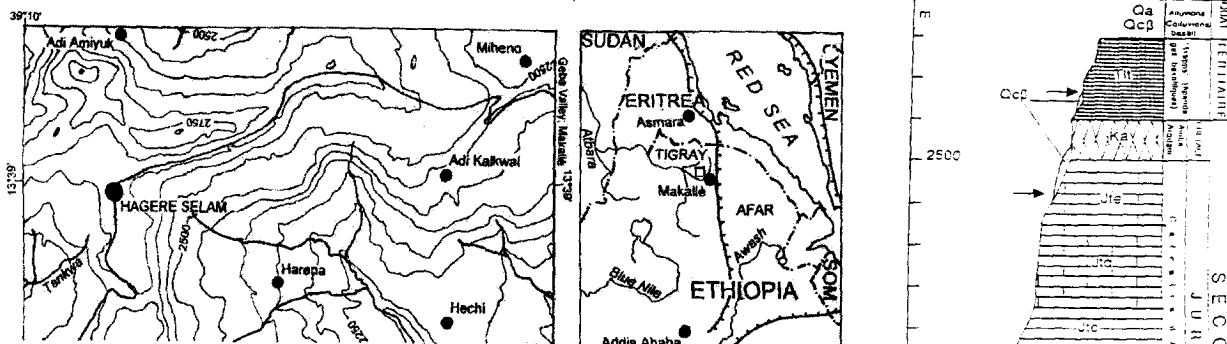
Les objectifs de cette recherche étaient (1) d'obtenir de l'information plus précise sur l'évolution des ravins à moyen et long terme dans les Hautes Terres de l'Ethiopie, et (2) de connecter cette évolution à des changements environnementaux.

Milieu

La région d'étude a une superficie de 647.3 ha et se situe dans la région du Tigré, dans le Nord-Est de l'Ethiopie (figure 1). Ce bassin se trouve sur l'épaule occidentale de la vallée du Rift. Par conséquent il est fort influencé par les mouvements tectoniques du système du Rift. L'érosion accélérée est une implication importante de cette situation (Nyssen et al. 2000). Le relief du terrain d'étude s'explique par l'érosion différentielle des couches géologiques sub-horizontales. Le paysage se manifeste comme une altération de fortes pentes, voire même des escarpements, formées par les rebords des couches 'dures', et de replats (figure 2).

Le climat connaît un régime identifié comme 'ustic moisture' (Virgo & Murno 1978). En dehors de la saison de pluie, les averses sont rares, bien que les agriculteurs sont chaque année dans l'incertitude à propos du début et de la fin de la saison de pluie. Cela cause des difficultés additionnelles pour choisir le temps exact de semer, récolter, etc. (Reij et al. 1996). La forte intensité des pluies cause, surtout sur des sols défrichés avant la germination, d'importants augmentations d'érosion diffuse et concentrée (Hudson 1976). La température et le volume des précipitations annuelles dépendent de l'altitude. Pour le terrain d'étude les moyennes sont respectivement 12-19°C (Virgo & Murno 1978) et 750 mm (Nyssen et al. 2002).

En termes de superficie touchée et pertes annuelles de sol, les effets du ravinement sont moins désastreux que ceux du ruissellement aréolaire (Virgo & Murno 1978, Hurni 1988). Les paysans, ressentant directement les conséquences du ravinement, tentent d'en empêcher le développement par installant des méthodes de conservation, comme les 'Daget' et plus récemment les murailles de pierres,



Méthodes

La méthodologie adoptée lors des enquêtes est en grande partie basée sur le travail de Hinton et Young (1999). Il s'agit des enquêtes participatives (en anglais: Participatory Rural Appraisal-methods, PRA).

Sur base de l'information obtenue des informants, une carte de base, contenant des points de repère (grands arbres, chemins qui traversent le ravin), a été construite. Ce premier document rudimentaire a été plus élaborée à l'aide d'interviews approfondis avec deux personnes âgées (plus de 50 ans), rappelant leur jeunesse, leur vie autour du ravin, leurs interactions quotidiennes avec le ravin. Plusieurs événements de l'évolution du ravin ont pu être datés. Dans une étape suivante, des groupes de 5 personnes du même âge (respectivement des groupes d'hommes d'environ 30, 40 et 50 ans) ont été interviewés (figure 3). En groupe, ils discutèrent des événements donnés et essayèrent de se rappeler quand un certain événement avait eu lieu. Sur base de ces informations, une chronologie relative et absolue des événements a été construite pour chaque groupe. La ligne chronologique des différents groupes a été comparée. Comme une date significativement différente étaient attribuée à certains événements, un contrôle était nécessaire. Ce contrôle contenait une dernière série d'interviews individuelles d'habitants du village. La complexité de cette technique permet de fournir des résultats avec une précision de l'ordre de quelques années. Elle permet donc de reconstruire le moment d'origine et le développement du ravin à long terme.

Pour obtenir des taux d'érosion à court terme, des mesures détaillées ont été réalisées avec un théodolite. Dans 20 sections une quinzaine de points de rupture dans le lit et les berges du ravin ont été mesurés en 1999, 2000 et 2001. Le ravin de Dingilet était partagé en 19 segments de 50 m de long. Les points mesurés sont par exemple le point le plus bas, le plus haut, une marche, etc. (figure 4). A partir des différences en superficie d'une section d'une année à l'autre, des volumes d'érosion peuvent être calculés. La comparaison de ces volumes d'érosion pour les différentes années donne la vitesse d'érosion pour ces années.

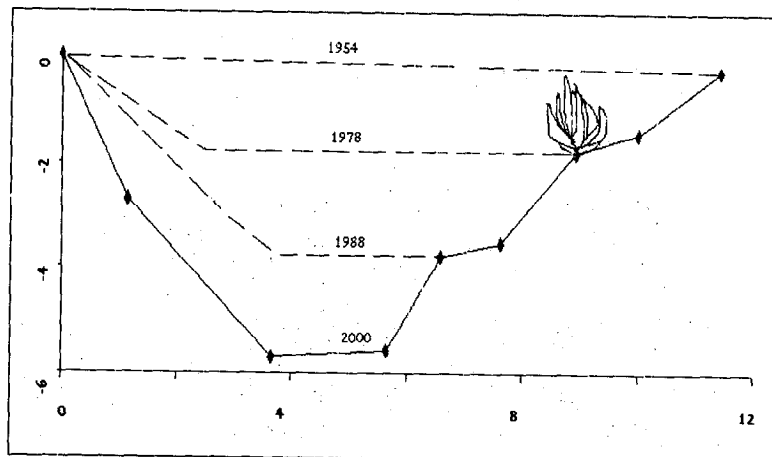


Figure 3 : Section 12 du ravin de Dingilet, et son évolution (distances en m). La topographie mesurée est représentée par une ligne continue, les sections hypothétiques par des pointillés. Remarquez un niveau de stabilité (1988) et une ancienne haie d'aloë (1978).

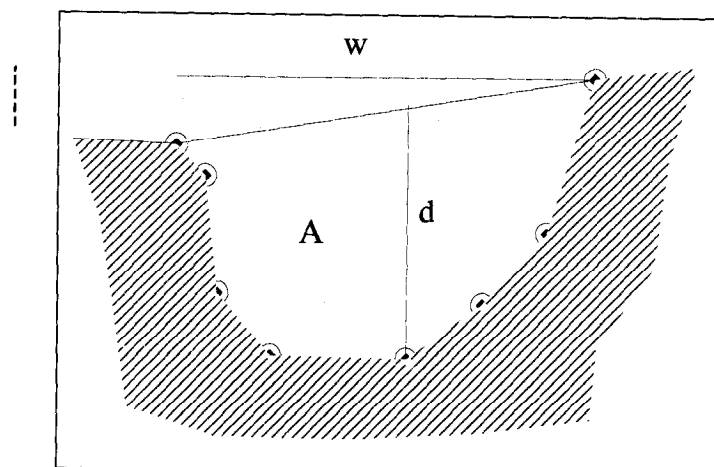


Figure 4: Exemple d'une section de ravin (section 10 en 2000). Le ravin a une largeur (w) de 6.05 m, une profondeur (d) de 3.59 m et la superficie de la section est 15.63 m^2 . Les cercles indiquent les points mesurés avec le theodolite.

Résultats

La vallée de Dingilet dans laquelle le ravin se trouve, est plantée d'eucalyptus. Les terrains sont employés comme pâturages communautaires, et plusieurs sentiers croisent le ravin qui a actuellement une profondeur de 5 à 8 m.

D'après tous les agriculteurs interrogés, avant 1965 la vallée était un endroit marécageux qui contenait de l'eau pendant toute l'année. Le ravinement devient seulement significatif à partir de 1972. Les interviews montrent que l'incision a été initiée vers la partie inférieure du ravin, entre 1960 et 1970. Les dates obtenues grâce aux interviews, ont été intégrés dans une chronoséquence de profils longitudinaux entre les sections 4 et 14 (figure 5). La figure 5 montre que le développement du ravin n'est pas linéaire dans le temps, mais que l'incision la plus importante se situe dans la période entre 1977 et 1981.

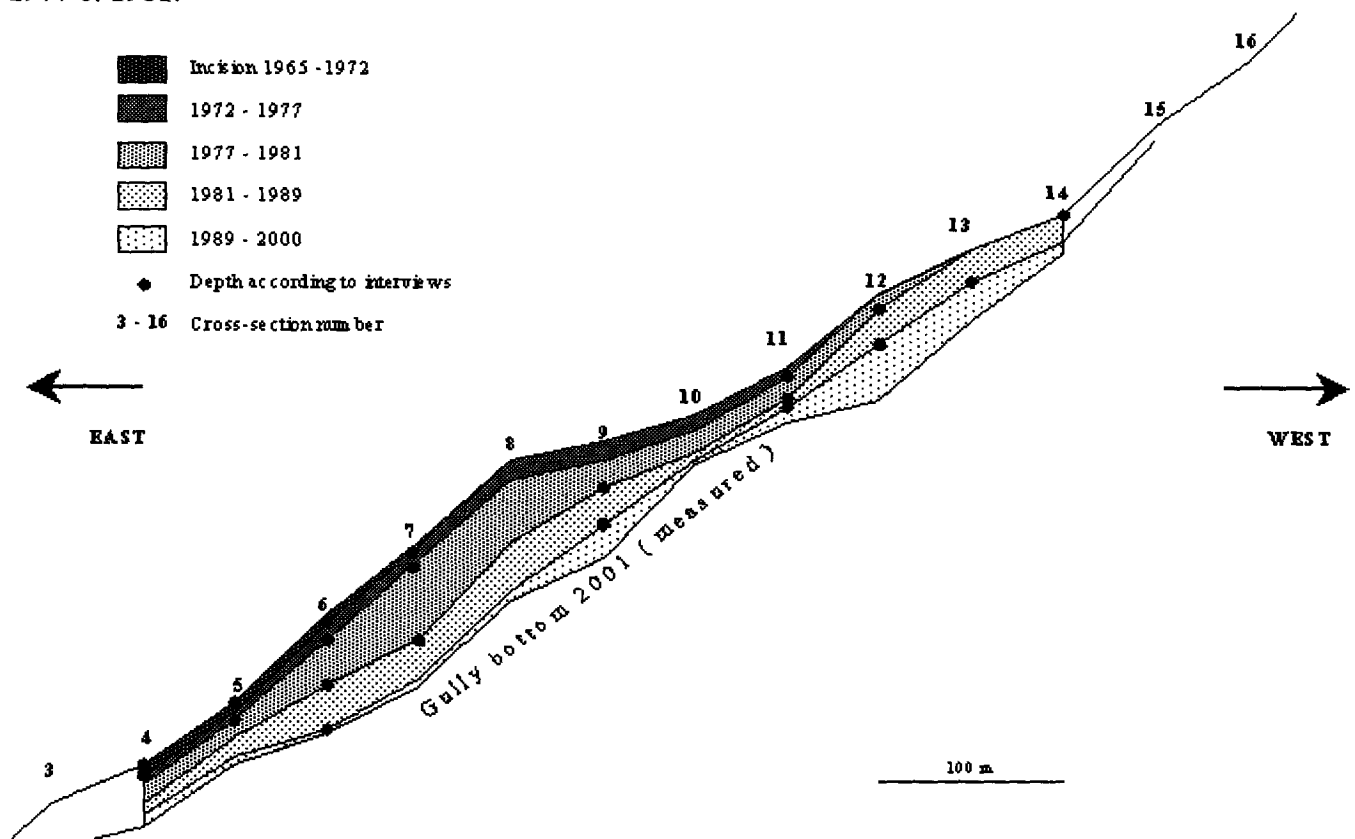


Figure 5 : Profils longitudinaux de la surface et du lit du ravin de Dingilet depuis 1965, basés sur des interviews et mesures. Exagération verticale 10x.

Les caractéristiques topographiques du ravin étudié, c.à.d. le pendage (S) du terrain à l'endroit de la tête du ravin, combiné à la surface drainée (A) vers cet endroit (Montgomery, Dietrich, 1994) sont nettement supérieurs au seuil observé dans la région d'étude. L'incision significative en 1972 se situait sur la partie la plus pentée de la vallée (pente de 10%), mesuré le long du ravin actuel. La valeur de la relation SA était si élevée à cause de son grand bassin de drainage (107 ha).

L'initiation du ravin a eu lieu à un moment où beaucoup de changements dans l'affectation du sol ont eu lieu. On note les défrichements des petits bois entre les champs sur les versants du bassin et la plantation, en pleine vallée marécageuse, d'eucalyptus. Ces changements avaient comme première conséquence que la capacité d'infiltration des sols diminuait, et par après un plus grand volume des eaux de ruissellement se réalisait.

Discussion

Le ravinement dans le terrain d'étude, démontré par l'évolution d'un grand ravin à Dingilet, est lié à des changements récents de l'environnement. Plusieurs types de conversion (affectation du sol et couvert végétal), effectués pendant la deuxième partie du siècle dernier, ont pu être reconnus. Tous ces changements mènent à des taux de ruissellement plus élevés. Le ravinement peut être considéré comme une conséquence d'une pression croissante sur la terre.

La réaction de l'homme à la dégradation des terres, aboutit à une intensification de l'agriculture, comprenant l'introduction de techniques de gestion des sols et de l'eau. La plantation généralisée d'eucalyptus cadre dans ces initiatives entreprises par les habitants pour améliorer leurs conditions de vie. Cela augmente momentanément les revenus, mais des taux d'évaporation dangereusement élevés finissent par assécher les rivières et les marécages (Scott & Lesch, 1997; Le Maitre et al., 1999). L'introduction de cet arbre exotique à Dingilet a certainement contribué au développement de la fissuration saisonnière des Vertisols et de leur ravinement. Ensuite, la période d'érosion intense entre 1977 et 1990 (figure 6) correspond à une longue période quasi ininterrompue de sécheresse dans les Hautes Terres de l'Ethiopie. Le couvert végétal moins dense fragilise le sol, contribue à une fissuration plus prononcée du sol, ce qui provoque l'origine de pipes et tunnels et finalement le ravin.

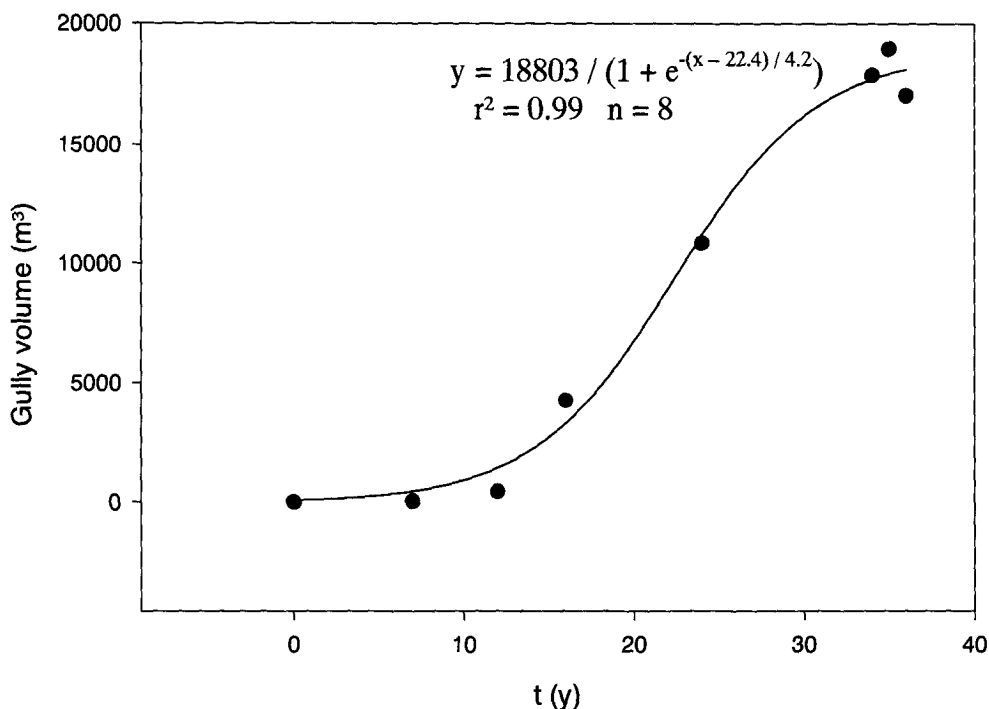


Figure 6 : L'évolution du ravin de Dingilet depuis son initiation ($t = 0$ pour l'an 1960) pour les sections de 4 à 14. Le taux annuel d'érosion à long terme du ravin à Dingilet ($5 \text{ t ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$) est similaire à celui de la région d'étude avec une superficie de 647.3 ha ($4.7 \text{ t ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$, Nyssen 2001).

La forme sigmoïde de la courbe représentant l'évolution du volume du ravin de Dingilet (figure 6), est différente de la forme théorique du modèle de Graf (1977) et Rutherford et al. (1997). Les raisons de la croissance exponentielle jusqu'environ 1990 sont probablement les conversions graduelles de la végétation sur les versants, accentués par la sécheresse depuis 1977, et en même temps l'introduction des plantations d'eucalyptus dans le bassin. La partie plus aplatie de la courbe après cette date est due à des pluies plus régulières et à l'implantation des techniques de gestion des sols et des eaux dans le bassin et dans le ravin.

L'évolution du volume total des ravins (Veyret-Picot 2001, Nyssen 2001) sur une superficie de 756 ha (superficie de la région d'étude plus superficie du bassin de Dingilet, respectivement 647.3 ha et 108.3 ha) est montrée dans la figure 7. Les évolutions des ravins individuels dans la région d'étude sont représentées comme fonctions exponentielles négatives (cfr. figure 6). La forme de la courbe totale a une grande similarité avec celle de Dingilet.

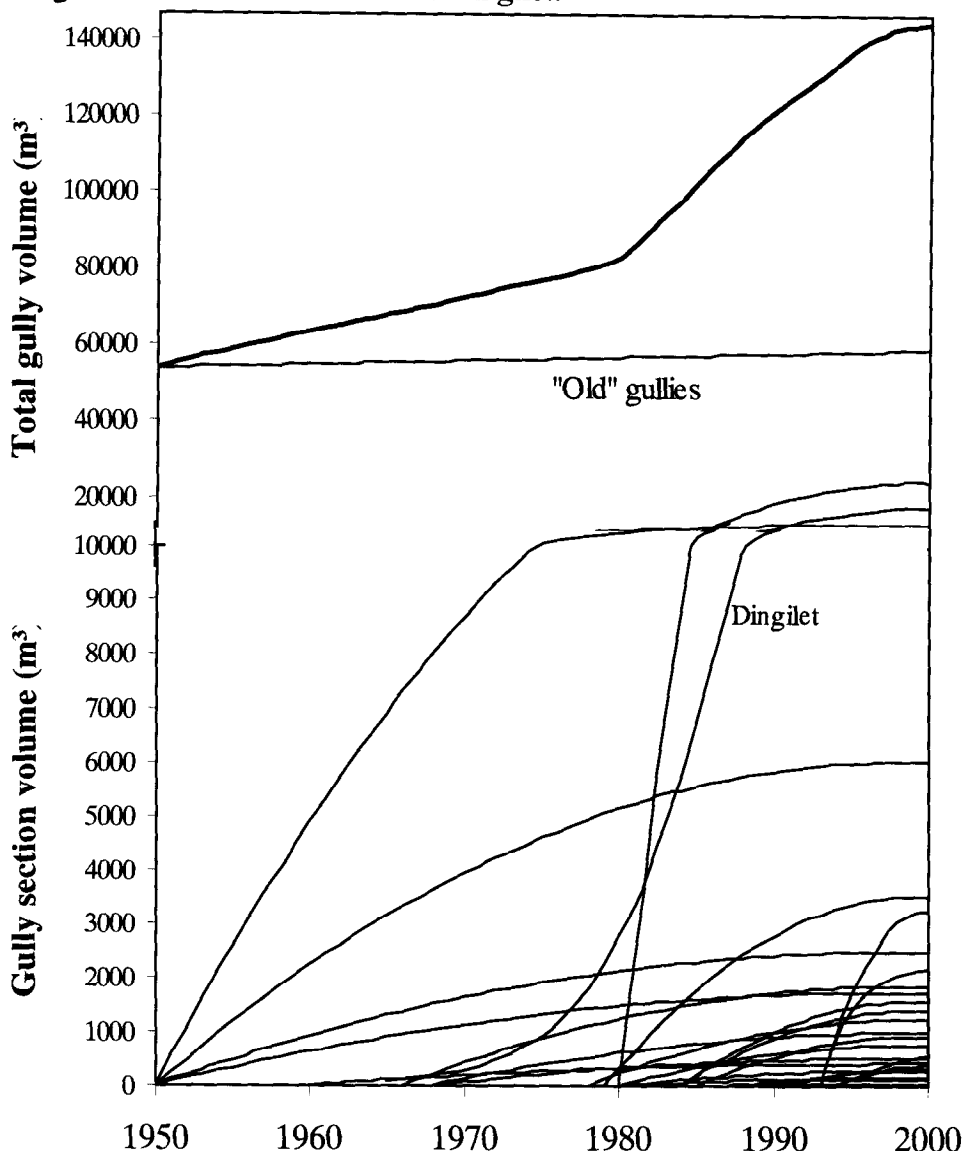


Figure 7 : Evolutions des volumes des ravins dans une région de 756 ha. Les anciens ravins datent d'avant 1950 d'après les interviewés. La totale (courbe épaisse) est la somme des volumes de tous les ravins dans la région étudiée.

Le taux de ravinement de $4.7 \text{ t ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$ doit être vu comme une moyenne à long terme. Pendant des périodes critiques (p.e. les années 1980) le volume total des ravins augmente vite. Mais depuis 1995 plus aucun nouveau ravin ne s'est formé dans la région d'étude. La courbe s'aplatit (figure 7). Sous les conditions actuelles, c.-a. d. de la précipitation 'normale' et des techniques de conservation des sols et des eaux dans tout le bassin, les ravins ont le rôle de transférer les sédiments, plutôt que d'être une source de sédiments.

Conclusions

Des évidences historiques (évolution à long terme), combinées aux mesures sur le terrain (évolution à court terme), forment une nouvelle méthode de reconstitution du début et de l'évolution du ravin de Dingilet. Les techniques d'enquête étaient en grande partie inspirées sur la méthode de Participatory Rural Appraisal (PRA).

Le ravinement dans la zone étudiée peut être relié à des changements environnementaux récents, qui causent de plus grands volumes d'eau de ruissellement. La même chose peut être dit pour la pression sur les terres, maintenant sensiblement plus élevée. De l'autre côté, le ravinement à Dingilet a commencé postérieurement à la plantation d'eucalyptus qui a mené à une dessiccation et une fissuration des Vertisols dans le fond de la vallée.

L'hypothèse que le ravinement est rapide au début de son existence peut être questionnée, car l'évolution du volume du ravin étudié est sigmoïde dans le temps avec sa plus grande croissance pendant les années avec des conditions environnementales défavorables pour la végétation.

Seulement depuis ces dernières années, une stabilisation de l'érosion se fait remarquer. Ceci s'explique par des conditions climatiques améliorées et l'implantation de techniques de gestion des sols et des eaux.

Bibliographie

- Ayres, Q.C., Scoates, D., 1939. Land Drainage and Reclamation. McGraw-Hill Book Company, Inc., New York & London, 472 p.
- Bosshart, U., 1997. Catchment Discharge and Suspended Sediment Transport as Indicators of Physical Soil and Water Conservation in the Mayketin Catchment, Afdeyu Research Unit, A case study in the northern Highlands of Eritrea. Soil Conservation Research Programme, Addis Abeba, n° 39, 130 p.
- Bosshart, U., 1997. Catchment Discharge and Suspended Sediment Transport as Indicators of Physical Soil and Water Conservation in the Minchet Catchment, Anjeni Research Unit, A Case Study in the North-western Highlands of Ethiopia. Soil Conservation Research Programme, Addis Abeba, n° 40, 115 p.
- Brice, J.C., 1966. Erosion and deposition in the loess-mantled Great Plains, Medicine Creek drainage basin, Nebraska. US Geological Survey, Professional Paper, 352-H:255-339.
- Bull, W.B., 1997. Discontinuous ephemeral streams. *Geomorphology*, 19:227-276.
- Cooke, R.U., Reeves, R.W., 1976. Arroyos and Environmental Change in the American South-West. Clarendon Press, Oxford, 213 p.
- Das, D.C., 1977. Soil Conservation Practices and Erosion Control in India - A Case Study. In "Soil Erosion and its Control", Morgan éditeur, Van Nostrand Reinhold Company, New York, 118-150.
- Dent, D.L., van Mensvoort, M.E.F., 1978. Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning. Agricultural Handbook 537, US Department of agriculture, Government printing office Washington (D.C.), 58 p.
- De Ploey, J., 1983. Runoff and rill generation of sandy and loamy topsoils. *Zeitschrift für Geomorphologie Supplementband*, 46:15-23.
- Desmet, P.J.J., Govers, G., 1995. Comparison of Routing Algorithms for Digital Elevation Models and Their Implications for the Prediction of the Location of Ephemeral Gullies. First Joint European Conference and Exhibition on Geographical Information, Den Haag, 324-329.
- DTWA, 2000. Report of the First 5 Years' Plan. Dogu'a Tembien Woreda Administration, 39 p.

- Fantechi, R., 1995.** Desertification in a European context: physical and socio-economic aspects. Commission of the European Communities, Directorate-general science, research and development, S.L., 635 p.
- FAO, 1965.** Soil Erosion by Water: Some Measures for its Control on Cultivated Lands. FAO/UNESCO, Rome, 284 p.
- Girma Kebede, Jacob, M.J., 1988.** Drought, famine and the political economy of environmental degradation in Ethiopia. *Geography*, 73:(318)65-70.
- Graf, W.L., 1977.** The rate law in fluvial geomorphology. *American Journal of Science*, 277:178-191.
- Gobin, A.M., Campling, P., Deckers, J.A., Poesen, J., Feyen, J., 1999.** Soil erosion assessment at the Udi-Nsukka Cuesta (Southeastern Nigeria). *Land Degradation & Development*, 10:141-160.
- Govers, G., Desmet, P.J.J., 1995.** A Procedure for the Calculation of the LS-Factor for USLE-Type Models on Topographically Complex Landscape Units. First Joint European Conference and Exhibition on Geographical Information, Den Haag, 330-335.
- Heede, B.H., Mufich, J.G., 1973.** Functional relationships and a computer program for gully control. *Journal of Environment Management*, 1:321-344.
- Hinton, R., Young, D., 1999.** An Introduction to Participatory Techniques. <http://www.vso.org.uk/pubs/wpapers/pra/intro.htm>.
- Hudson, N., 1976.** Soil Conservation. BT Batsford Limited, London & Worcester, 300 p.
- Hurault, J., 1971.** La signification morphologique des lavaka. *Revue de Géomorphologie Dynamique*, 9:121-8.
- Hurni, H., 1988.** Land degradation, famine and land resource scenarios in Ethiopia In "World soil erosion and conservation", Pimétel éditeur, Cambridge University Press., Cambridge, 27-61.
- Ilico B.V., 1981.** Agricultural compendium for rural development in the tropics and subtropics. Elsevier, Amsterdam, 711 p.
- Jiang, D., Qi, L., Tan, J., 1981.** Soil Erosion and Conservation in the Wuding River Valley, China. In "Soil Erosion and its Control", Morgan éditeur, Van Nostrand Reinhold Company, New York, 99-117.
- Kirkby, M.J., Morgan, R.P.C., 1980.** Soil erosion. John Wiley & Sons, New York, 256 p.
- Krüger, H.J., Berhanu Fantew, Yohannes Gebre Michael, Kefeni Kejela, 1997.** Inventory of Indigenous Soil and Water Conservation Measures on Selected Sites in the Ethiopian Highlands. Soil Conservation Research Programme Ethiopia, Addis Abeba, n° 34, 95 p.
- BoARN, 1997.** Water and Soil Conservation; Forestry Development, Manuel for Agricultural Cadres. Bureau of Agriculture and Natural Resources, Mekelle, 33 p.
- Maidment, D.R., 1993.** Handbook of Hydrology. MacGraw-Hill, New York, 148 p.
- Mermut, A.R., Padmanabham, E., Eswaran, H., Dasog, G.S., 1996.** Pedogenesis. In "Vertisols and technologies for their management", Ahmad, Mermut éditeurs, Elsevier, Amsterdam, 43-61.
- Messerli, B., Hurni, H., 1990.** African Mountains and Highlands: Problems and Perspectives. African Mountains Association, 433 p.
- Moeyersons, J., 1991.** Ravine formation on Steep Slopes: Forward versus Regressive Erosion. Some Case Studies from Rwanda. *Catena*, 18:309-324.
- Moeyersons, J., 2000.** Woestijnvorming en mens in Afrika, *Mededeling der zittingen*, 46 (2):151-170.
- Nachtergaele, J., Poesen, J., Oostwoud Wijdenes, D., Vandekerckhove, L., 2000.** Medium-term evolution of a gully developed in a loess-derived soil. Manuscript, K.U.Leuven, 19 p.
- Nyssen, J., 1995.** Soil erosion in the Tigray Highlands (Ethiopia). 1. Natural and human environment in its relationship to soil erosion, *Geo-Eco-Trop.*, 19(1-4):51-82.
- Nyssen, J., 1997.** Vegetation and soil erosion in Dega Tembien (Tigray, Ethiopia), *Bull. Jard. Bot. Nat. Belg./ Bull. Nat. Plantentuin Belg.*, 66:39-62.
- Nyssen*, J., 1997.** Soil Erosion in the Tigray Highlands (Ethiopia). II. Soil Loss Estimation, *Geo-Eco-Trop*, 21(1-4):27-49.

- Nyssen, J., 1998.** Soil and water conservation under changing socio-economic conditions in the Tembien Highlands (Tigray, Ethiopia), *Bulletin de la Société Géographique de Liège*, 35:5-17.
- Nyssen*, J., Mitiku Haile, Moeyersons, J., Poesen, J. & Deckers, J., 2000a.** Potentialities for Integration and Introduced Soil and Water Conservation Techniques in the Tembien Highlands. In "Farmer Innovation in Land Husbandry. Proceedings of Anglophone Regional Workshop, Mekelle, Tigray, Ethiopia", Mitiku Haile et al. éditeurs, 178-180.
- Nyssen, J., Moeyersons, J., Deckers, J., Mitiku Haile, Poesen, J., 2000b.** Vertic movements and the development of stone covers and gullies, Tigray Highlands, Ethiopia. *Zeitschrift für Geomorphologie, N.F.*, 44(2):145-164.
- Nyssen, J., 2001.** Erosion processes and soil conservation in a tropical mountain catchment under threat of anthropogenic desertification- a case study from Northern Ethiopia, Mémoire, K.U.Leuven, CD-Rom
- Nyssen, J., Poesen, J., Moeyersons, J., Lavrysen, E., Mitiku Haile, Deckers, J., 2002.** Spatial distribution of rock fragments in cultivated soils in northern Ethiopia as affected by lateral and vertical displacement processes. *Geomorphology*, 43(1-2): 1-16.
- Poesen, J., 1992.** Mechanisms of Overland-flow Generation and Sediment Production on Loamy and Sandy Soils with and without Rock Fragments. In "Overland Flow: Hydraulics and Erosion Mechanics", Parsons, Abrahams éditeurs, UCL Press, London, 275-305.
- Poesen, J., Bunte, K., 1994.** Effects of rock fragment size and cover on overland flow hydraulics, local turbulence and sediment yield on an erodible soil surface. *Earth Surface Processes and Landforms*, 19:115-135.
- Poesen, J., Govers, G., Goossens, D., 1996.** Verdichting en erosie van de bodem in Vlaanderen. *Tijdschrift van de Belgische Vereniging van Aardrijkskundige Studies*, 2:141-181.
- Reij, C., Scoones, I., Toulmin, C., 1996.** Sustaining the Soil, Indigenous Soil and Water Conservation in Africa, Earthscan Publications Limited, London, 247 p.
- Riquier, J., 1958.** Le 'lavaka' de Madagascar. *Bulletin de Société Géographique, Marseilles*, 69:181-91.
- Rutherford, I.D., Prosser, I.P., Davis, J., 1997.** Simple approaches to predicting rates and extent of gully development. In "Proceedings of the Conference on Management of Landscapes Disturbed by Channel Incision", Wang, Langendoen, Shields éditeurs, 1125-1130.
- Santisteban, L.M., Casali, J., López, J.J., 2000.** Estimation of ephemeral gully erosion using topographic indices. <http://www.zalf.de/essc/text2abs.htm>.
- Selby, M.J., 1993.** Hillslope Materials and Processes, Second Edition. Oxford University Press Inc., New York, 412 p.
- Schumm, S.A., Hadley, R.F., 1957.** Arroyos and the semiarid cycle of erosion. *American Journal of Science*. 225:161-74.
- Schumm, S.A., 1999.** Causes and Controls of Channel Incision. In "Incised River Channels", Darby, Simon éditeurs, John Wiley & Sons Ltd., New York, 19-29.
- Schwab, G.O., Frevert, R.K., Edminster, T.W., Barnes, K.K., 1993.** Soil and Water Conservation Engineering. John Wiley & Sons, New York, 507 p.
- Showers, K.B., 1996.** Soil erosion in the Kingdom of Lesotho and development of historical environmental impact assessment. *Ecological Applications*, 6(2):653-664.
- Vandekerckhove, L., 2001.** Gully Initiation and Development in Mediterranean Environments. Mémoire, K.U.Leuven, 319 p.
- Vandekerckhove, L., Poesen, J., Oostwoud Wijdenes, D., Nachtergaele, J., Kosmas, C., Roxo, M.J., de Figueiredo, T., 2000.** Thresholds for Gully Initiation and Sedimentation in Mediterranean Europe. *Earth Surface Processes and Landforms*, 25:1-20.
- Verhey, W., Ameryckx, J., 1988.** Mineral Fractions and Classification of Soil Texture. *Pedologie*, 2:215-225.
- Veyret-Picot, M., 2001.** Ravijnontwikkeling en –erosiecontrolemaatregelen in een tropisch berggrivierbekken, Tigray, Ethiopië, Mémoire, K.U.Leuven, 180 p.
- Virgo, K.J., Munro, R.N., 1978.** Soil and erosion features of the central plateau region of Tigray, Ethiopia. *Geoderma*, 20:131-157.
- Wolde-Georgis, T., 1997,** El Niño and Drought Early Warning in Ethiopia. <http://www.brad.ac.uk/research/ijas/ijasno2/Georgis.html>.
- Young, R.A., Mutchler, C.K., 1977.** Erodibility of some Minnesota soils. *Journal for soil and water conservation*, 32: 180-182.