

Ruissellement, érosion et gestion conservatoire des andosols : cas des systèmes culturaux en Équateur et en Martinique

**BOUNMANH KHAMSOUK¹, GEORGES DE NONI²,
ÉRIC ROOSE², MARC DOREL³**

¹BANALLIANCE, rue L.-G. Damas, 97232 Lamentin, Martinique,
Courriel : benoit@banalliance.com

²IRD, B. P. 5 045, 34032 Montpellier, France,
Courriels : denoni@mpl.ird.fr ; roose@mpl.ird.fr

³CIRAD Neuf Châteaux, 97130 Capesterre-Belle-Eau, Guadeloupe,
Courriel : marc.dorel@cirad.fr

Abstract

Because of their remarkable physico-chemical properties, Andosols are considered generally as fertile soils, well aggregated and very resistant to water erosion. Nevertheless recent measurements in cropped Andosols under bananas plantations in Martinique island and food crops in Ecuador steeplands have shown that its is necessary to moderate this opinion. Field studies with runoff plots were installed in volcanic steeplands which are densely covered with crops : (i) – In Martinique, ten runoff plots (100-200 m²) are set up in a banana plantation located on a clay volcanic Nitisol on 10-25-40 % slopes ; (ii) - in Ecuador, six runoff plots (100-1000 m²) on 20-40 % slopes were installed in the farmers fields with traditional crop rotation (barley, beans, potatoes) on a volcanic Mollisol. In each situation, under well mulched crops and soil conservation's practices (grass strip, stones bunds), runoff and erosion were negligible, but as soon as soils are denuded and compacted by grazing or by farmers or desiccated by the sun, it was observed in each situation moderate increase of runoff (10 to 30 % of the rain amount) and severe erosion up to 150 t.ha⁻¹.year¹.

Looking to soil surface features, it was observed very few sealing crust, very stable aggregates but high susceptibility to compaction. As soon as fields have more than 15% slope, runoff is collected in rills and gullies. Erosion is not a selective process because runoff is able to take off aggregated topsoil as a whole. In opposite to general opinion runoff does not increase with the slope steepness but erosion increase strongly, so that from 20 to 40 % slope erosion processes change from sheet and rill erosion to rill and creep erosion. Between 10 and 40 %

slope, when cropped plots are mulched by crops residues or weeds, runoff and erosion are insignificant.

In conclusion, simple antierosive measures (mulch, 10-20 m of grass strips, stone bunds) can be used by farmers when they are obliged to crop very steep hillslopes because of the increase of infiltration and the decrease of sealing crust formation.

Key words: Ecuador ; Martinique island ; volcanic soils ; erosion risks ; slope effect ; erosion process ; soil and water management.

1 Introduction

En raison de leurs propriétés physicochimiques remarquables, les sols volcaniques sont souvent considérés comme des sols fertiles, très bien structurés et résistants à l'érosion hydrique. Mais des études sur des sols volcaniques accidentés cultivés sous systèmes bananiers en Martinique et sous cultures vivrières traditionnelles en Équateur doivent relativiser ces idées reçues (De Noni *et al.*, 1984, 1986 ; Khamsook, Roose, 2003). En effet, en raison des conditions hostiles (pluies agressives voire tempête tropicale, topographies accidentées), l'érosion hydrique sur ces terres volcaniques cultivées d'altitude peut provoquer une dégradation environnementale importante dans ces pays. Le présent article va traiter de l'érosion hydrique et de ses *processus* mesurés sur les andosols latino-caribéenne et propose quelques mesures simples et efficaces pour limiter la perte en terre.

2 Site, matériels et méthodes

Malgré leurs différences et l'éloignement géographique entre l'Équateur (1°25 N - 5° S ; 75°-81° W) et la Martinique (14-16° N ; 60-62° W), des études sur l'érosion hydrique des sols volcaniques cultivés ont montré des résultats similaires, notamment à travers les *processus* érosifs.

a) Équateur

Dans les montagnes volcaniques de la Sierra (altitude : 1 500-3 200 m ; pluviosité : 1 000-2 000 mm/an), l'érosion du sol peut être très active en raison de l'exploitation intense des versants pentus par la population rurale. Face à ce problème, une étude expérimentale sur l'érosion d'un mollisol (tableau 1) est donc réalisée sur deux sites caractéristiques : à Mojanda (3 000 m) cultivé en haricot et à Tumbaco (2 600 m) cultivé en maïs.

b) Martinique

Source économique importante de l'île, la production intensive de banane Cavendish d'exportation occupe près de 8 200 ha de terres agricoles du nord et du centre de l'île (altitude : 5-800 m ; pluviosité : 500-5 000 mm/an) et cette culture industrielle peut présenter des risques de dégradation environnementale (érosion des sols, pollution des eaux). Pour estimer ces risques, une étude expérimentale

sur l'érosion d'un Nitisol (tableau 1) a été réalisée dans la plantation bananière Rivière Lézarde (25-40 m d'altitude) située en région centrale de l'île.

Pour déterminer l'érosion et ses processus, des parcelles expérimentales (100-200 m²) en Martinique et (100-1000 m²) en Équateur ont été installées selon des critères bien déterminés (Wischmeier, Smith, 1958, 1978 ; Roose, 1980 ; Hudson, 1996) sur les versants accidentés exploités par les cultures spécifiques : systèmes bananiers en Martinique et cultures céréalières et traditionnelles en Équateur. Ruissellement et érosion sont directement mesurés au champ après chaque pluie érosive : la précision des résultats, fiable pour les pluies faibles à modérées, devient approximative sous les grands événements tels les tempêtes tropicales (P>100 mm en 24 heures).

Tableau 1. Caractéristiques des sols superficiels (0-10 cm) étudiés en Équateur et en Martinique.

	Équateur	Martinique
Classification FAO du sol	Mollisol	Nitisol
Pente (%)	20-40	10-40
Densité apparente (g/cm³)	0,9	0,77-0,92
Acidité (pH eau)	5,4-7,4	4,9-5,7
Taux d'argile (%)	14,5-24	62-74
Taux de matière organique (%)	2-2,3	2,7-3,3
Indice d'érodibilité du sol*	0,30	0,08-0,1

* d'après Wischmeier *et al.* (1971)

Situées sur différentes pentes variant de 10 à 40 %, les parcelles d'érosion portent des traitements cultivés spécifiques décrits ci-dessous et qui sont répétés durant deux ans en Martinique et durant cinq ans en Équateur.

- Sol nu (100 m²) : traitement standard pour mesurer le comportement du sol sous l'agressivité des pluies (Wischmeier, Smith, 1958, 1978). En tout, cinq parcelles sont installées : deux en Équateur (Tw) et (Mw), trois en Martinique (Nu11), (Nu25) et (Nu40).

- Systèmes cultivés : traitement type des cultures rencontrées dans les deux pays. En Équateur, deux parcelles (100 m²) portent des traitements culturaux traditionnels avec le maïs (Tt) et avec des rotations annuelles haricot-pomme de terre-orge (Mt) ; deux autres essais (1000 m²) cultivés avec une gestion conservatoire du sol soit par des bandes enherbées (Te), soit par des cordons progressives de pierres (Me). En Martinique, sept parcelles (200 m²) portent des systèmes culturaux typiques avec des bananeraies établies (Ba9 et Ba11), des cannes à sucre paillées (Ca10, Ca25 et Ca40), des ananas billonnés traditionnels (An7) et des ananas plantés à plat avec paillis (An9).

La pluviosité est déterminée par son intensité en trente minutes (mm.h^{-1}) à partir d'une station météorologique automatique. Le ruissellement est défini par deux paramètres : le coefficient de ruissellement annuel Cram (%), rapport annuel du ruissellement sur la pluviosité et le coefficient de ruissellement maximal Crmax (%), rapport du ruissellement maximal sur son averse érosive. L'érosion E ($\text{t.ha}^{-1}.\text{an}^{-1}$) est estimée par le poids total sec de perte en terre évacuée par le ruissellement (sédiments de fond et matière en suspension). En outre, le taux de macro-agrégats ($>200 \mu\text{m}$) érodés est déterminé par un tamisage à l'eau des sédiments humides sur certains traitements sensibles. D'autres paramètres (humidité pondérale du sol, taux de surfaces couvertes dues au paillis et couverture végétale) sont également mesurés mensuellement.

3 Résultats

3.1 Pluviosité

Dans les hautes montagnes équatoriales, la pluviosité annuelle est plus faible qu'en plaines : 700 mm.an^{-1} à Tumbaco et 900 mm.an^{-1} à Mojanda. Les intensités des pluies sont généralement inférieures à 40 mm.h^{-1} durant trente minutes et quelques fortes averses pouvant atteindre des intensités de $40\text{-}80 \text{ mm.h}^{-1}$ sont responsables de 80 % de la perte en terre annuelle mesurée. En Martinique, la pluviosité annuelle à Rivière Lézarde s'élève à $2\,420 \text{ mm.an}^{-1}$. Les fortes averses érosives se manifestent durant la saison cyclonique (juillet-novembre), avec des tempêtes de $74\text{-}190 \text{ mm}$ d'eau et d'intensité de $37\text{-}76 \text{ mm.h}^{-1}$ en trente minutes. C'est durant cette période que l'érosion mesurée est la plus active.

3.2 Paramètres culturaux des traitements testés

Quatre situations sont distinctes au niveau des états de surfaces durant les campagnes de mesures : (i) – les sols nus où des débris organiques et les cailloux représentent moins de 20 % de la surface parcellaire ; (ii) – les bananeraies établies où les résidus organiques occupent constamment 40-60 % de la surface ; (iii) – les traitements classiques (ananas billonné en Martinique et rotation vivrière orge-pomme de terre-maïs-haricot en Équateur) où la couverture végétale couvre progressivement la parcelle de 35 % jusqu'à 80 % de sa surface ; (iv) – les traitements à mulch (canne à sucre et ananas à plat) où le paillis représente plus de 60 % de la surface.

Quant à l'humidité du sol, celle-ci varie de 30 % à 65 % sur les traitements testés en Martinique tandis qu'elle reste inférieure à 25 % sur les systèmes testés en Équateur.

3.3 Ruissellement et érosion des andosols cultivés

Les résultats du ruissellement et de l'érosion sont récapitulés dans le tableau 2.

Tableau 2. Ruissellement et érosion mesurés sur les systèmes culturaux typiques de l'Équateur et de la Martinique (et détermination du taux de macro-agrégats érodés).

Traitements	Parcelle d'érosion	Pente (%)	Ruissellement		Erosion E (t/ha/an)	Taux de Macro-agrégats (%)
			Cram (%)	Crmax (%)		
EQUATEUR						
Sol nu	Tw	20	18,6	63	87,2	X
	Mw	40	8,8	34	131,6	X
Culture céréalière traditionnelle	Tt	20	6,1	34	19,3	X
	Mt	40	0,6	6,2	0,8	X
Culture céréalière avec gestion conservatoire du sol	Te	20	2,1	5,8	4,4	X
	Me	40	0,1	2,4	0,4	X
MARTINIQUE						
Sol nu	Nu11	11	7,1	45	86	84
	Nu25	25	5,2	32	127,5	75
	Nu40	40	4,3	28	147,5	79
Canne à sucre paillée	Ca10	11	0,5	6	0,1	X
	Ca25	25	0,6	6	0,1	X
	Ca40	40	0,7	8	0,2	X
Bananaïe établie avec gestion du paillis	Ba9	9	2,4	24	0,4	X
	Ba11	11	2,8	27	0,5	X
Ananas mécanisé et billonné	An7	7	11,5	51		78
Ananas à plat avec paillage	An9	9	0,6	7		X

x : non déterminé

4 - Discussion

Malgré des contextes différents entre l'Équateur et la Martinique, les résultats observés dans les deux pays montrent des caractéristiques remarquables et communes, décrites ci-dessous.

* L'effet de l'augmentation de pente sur la diminution du ruissellement ont été soulignés également sur des sols d'Afrique (Heusch, 1971 ; Roose, 1980 ; Roose *et al.*, 1993) ou dans des *processus* de ruissellement hortonien (Poesen, 1984) ou plus récemment lors des simulations de pluies (Khamsouk, 2001 ; Janeau *et al.*, 2003). Quelques interprétations explicatives sont retenues : (i) – sur forte pente, l'infiltration sous l'action gravitaire augmenterait et ressuierait rapidement le sol (Heusch, 1971) ; (ii) – la hausse de l'infiltration sur les pentes serait due à l'ouverture accrue du sol superficiel par le craquèlement/cisaillement due à l'érosion (Govers, 1990) ; surtout, l'encroustement de la surface du sol, très rapide sur faible pente est détruite à mesure qu'elle se forme par l'énergie du ruissellement très forte sur pente de plus de 15 % (Roose, 1980).

* L'effet de la pente sur l'érosion qui croît avec la pente en raison de la capacité de transport accrue du ruissellement. Cette perte en terre sur les fortes pentes est due à un changement de *processus* érosif évoluant d'une érosion concentrée en rigole à une érosion concentrée par reptation comme des boules de neige (De Noni *et al.*, 1984, 1986 ; Khamsouk, Roose, 2003). Des auteurs ont établi une augmentation exponentielle de l'érosion avec la pente (Zingg, 1940 ; Hudson, Jackson, 1959, Lal, 1976). Ici, sur ces deux sols volcaniques, la relation entre pente et perte en terre est linéaire.

* Le processus érosif non sélectif qui entraîne des agrégats peu émoussés et en forte concentration hors de la parcelle d'érosion. Malgré la grande stabilité des agrégats due aux propriétés du sol (fort taux d'argile et de MO, peu de matière en suspension dans le ruissellement, constituants volcaniques), l'érosion des agrégats reste élevée sur les fortes pentes : la capacité de transport du ruissellement est donc suffisamment élevée pour éroder les agrégats du sol superficiel dans sa totalité.

* La faisabilité de conserver les ressources en sol contre l'érosion. La couverture du sol reste un moyen simple et efficace pour limiter l'érosion. En effet, à travers les résultats mesurés sur les traitements gérant les résidus organiques en surface sur des versants pentus (> 20 %), le ruissellement et l'érosion sont faibles en Équateur et en Martinique. Ici, le rôle efficace du paillage et des adventices contre l'érosion est bien évident quel que soit les types de cultures testés : leur action peut également réduire les pertes chimiques dues au ruissellement et à la perte en terre (Lal, 1979 ; Duchaufour *et al.*, 1991 ; Roose, 1980, 1994 ; Rishirumhirwa, 1997). En Équateur, la mise en place de bandes enherbées et de cordons de pierres limitent également l'érosion en ralentissant la capacité de transport du ruissellement. Toutes ces pratiques de gestion conservatrice du sol sont simples à appliquer par les agriculteurs et ne nécessitent pas d'aménagement lourd, ni onéreux.

Finalement, les résultats obtenus sur les andosols pentus en Équateur et Martinique montrent que l'érosion de ces sols volcaniques peut être sévère, surtout en condition de culture intensive sur fortes pentes quand le sol est dénudé, travaillé par des machines lourdes, puis tassé et desséché par les pratiques de production végétale. Face à ces risques de dégradation, la gestion conservatoire du sol reste facilement réalisable par de simples pratiques antiérosives (paillage en bande, bande enherbée, cordons de pierres) favorisant à la fois l'infiltration de l'eau pluviale et la diminution de la vitesse du ruissellement et de l'érosion hydrique. Ces simples pratiques doivent être faciles à appliquer dans des conditions acceptables pour les agriculteurs car ces premiers acteurs contribuent directement à la conservation des ressources en sol et à la protection de l'environnement.

Références bibliographiques

- DE NONI, G., NOUVELOT, J.-F., TRUJILLO, G., 1984, *Érosion and conservation of volcanic ash soils in the highlands of Ecuador : a case study*, Sixth international soil classification workshop, Chile and Ecuador part 1, SMSS (Washington), PUCS (Santiago de Chile), pp. 263-274
- DE NONI, G., NOUVELOT, J.F., TRUJILLO, G., 1986, « Estudio cuantitativo de la erosión con fines de protección de los suelos : las parcelas de Alangasi y llalo », CEDIG-ORSTOM, *Documentos de investigación*, n° 6, pp. 35-47
- DUCHAUFOUR, H., BIZIMANA, M., MIKOKORO, C., 1991, *Rapport annuel ISABU 1989-1990, partie érosion*, département des études du milieu et des systèmes de production, programme argoforesterie, sylviculture et érosion, ISABU
- GOVERS, G., 1990, « A field study on topographical and topsoil effects on runoff generation », in *Geomorphology-Hydrology-Soils*, Catena supplement, n° 18, pp. 91-111
- HEUSCH, B., 1971, « Estimation et contrôle de l'érosion hydrique », *Société des sciences naturelles et*

5. Diagnostic du risque et prise en compte des contraintes paysannes

physiques du Maroc, n° 37, pp. 41-54

HUDSON, N.W., JACKSON, D.C., 1959, « Results achieved in the measurements of erosion and runoff in Southern Rhodesia », in *C.R. 3^e Inter-African Soils Conf. Dalaba, section 2*, pp. 1-15

HUDSON, N.W., 1996, « Mesures de terrain de l'érosion et d'écoulement des eaux de surface », *Bulletin pédologique de la FAO*, Rome

JANEAU, J.L., BRICQUET, J.P., PLANCHON, O., VALENTIN, C., 2003, « Soil crusting and infiltration on steep slopes in northern Thailand », *European Journal of Soil Science*, n° 54, pp. 543-553

KHAMSOUK, B., 2001, *Impact de la culture bananière sur l'environnement, Influence des systèmes de cultures bananières sur l'érosion, le bilan hydrique et les pertes en nutriments sur un sol volcanique en Martinique (cas du sol brun rouille à halloysite)*, thèse École nationale supérieure d'agronomie de Montpellier, Montpellier

KHAMSOUK, B., ROOSE, É., 2003, « Ruissellement et érosion d'un sol volcanique tropical cultivé en systèmes intensifs en Martinique », *Cahier Agricultures*, vol. 12, n° 3, pp. 145-151

LAL, R., 1976, « Soil erosion problems on an alfisol in Western Nigeria, Effects of slope, crop rotation and residue management », *Geoderma*, n° 16, pp. 363-375

LAL, R., 1979, « Soil erosion problem on an alfisol in Western Nigeria and their control », *IITA Technical Bulletin*, n°1

POESEN, J., 1984, « The influence of slope angle on infiltration rate and Hortonian overland flow volume », *Geomorphologie*, n° 49, pp. 117-131

RISHIRUMUHIRWA, T., 1997, *Rôle du bananier dans le fonctionnement des exploitations agricoles dans les hauts plateaux de l'Afrique orientale (Application au cas de la région Kirimiro-Burundi)*, thèse n° 1636, École polytechnique fédérale de Lausanne, Lausanne

ROOSE, É., 1980, « Dynamique actuelle des sols ferrallitiques et ferrugineux tropicaux d'Afrique occidentale », *Travaux et Documents ORSTOM*, n° 130, Paris

ROOSE, É., ARABI, M., BRAHAMIA, K., CHEBBANI, R., MAZOUR, M., MORSLI, B., 1993, « Érosion en nappe et ruissellement en montagne méditerranéenne algérienne, Réduction des risques érosifs et infiltration de la production agricole pour la GCES, Synthèse des campagnes 1984-1995 sur un réseau de 50 parcelles d'érosion », *Cahiers ORSTOM Pédologie*, n° 28, pp. 289-308

ROOSE, É., 1994, Introduction à la gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols (GCES), *Bulletin Pédologique de la FAO*, n° 70, Rome

WISCHMEIER, W. H., SMITH, D. D., 1958, « Rainfall energy and its relationship to soil loss », *American Geophysicist Union*, n° 39, pp. 285-291

WISCHMEIER, W. H., JONHSON, C. B., CROSS, B. V., 1971, « A soil erodibility nomograph for farmland and construction sites », *Journal of Soil and Water Conservation*, n° 26, pp. 189-192

WISCHMEIER, W. H., SMITH, D. D., 1978, « Predicting rainfall erosion losses. A guide to conservation planning », United States Department of Agriculture, *Agriculture Handbook*, n° 282

ZINGG, A. W., 1940, « Degree and length of land slope as it affects soil loss and runoff », *Agriculture Engineering*, n° 21, pp. 59-64

Actes des Journées scientifiques
du réseau de chercheurs
Érosion et GCES

**ÉROSION ET
GESTION
CONSERVATOIRE DE
L'EAU ET DE LA
FERTILITÉ DES SOLS**

Sous la direction de :

**Simone Ratsivalaka
Georges Serpantié
Georges De Noni
Éric Roose**



Éditions scientifiques GB

as

actualité scientifique



Agence universitaire de la Francophonie



Université d'Antananarivo



Agence universitaire de la Francophonie

ÉROSION ET GESTION CONSERVATOIRE DE L' EAU ET DE LA FERTILITÉ DES SOLS

ACTES
DES JOURNEES SCIENTIFIQUES
DU RÉSEAU ÉROSION ET GCES DE L'AUF
ANTANANARIVO (MADAGASCAR) , DU 25 AU 27 OCTOBRE 2005

Sous la direction de

Simone RATSIVALAKA
Georges SERPANTIÉ
Georges DE NONI
Éric ROOSE

Copyright© 2006 Contemporary Publishing International (C.P.I). Publié sous licence par les Éditions scientifiques GB et en partenariat avec l'Agence universitaire de la Francophonie (AUF)

Tous droits de traduction, de reproduction et d'adaptation réservés pour tous pays. Toute reproduction ou représentation intégrale ou partielle, par quelque procédé que ce soit (électronique, mécanique, photocopie, enregistrement, quelque système de stockage et de récupération d'information) des pages publiées dans le présent ouvrage faite sans autorisation écrite de l'éditeur, est interdite.

Éditions scientifiques GB
41, rue Barrault
75013 Paris
France

ISBN : 2-84703-032-8

Les textes publiés dans ce volume n'engagent que la responsabilité de leurs auteurs. Pour faciliter la lecture, la mise en pages a été harmonisée, mais la spécificité de chacun, dans le système des titres, le choix de transcriptions et des abréviations, l'emploi de majuscules, a été souvent conservée.