

# Ruissellement et érosion sur des parcelles de cangahua réhabilitée (période 1994-1996)

Georges DE NONI, Marc VIENNOT, Germán TRUJILLO, Edmundo CUSTODE

## Abstract

*In the highlands of Ecuador, the response to an increase in alimentary needs leads to extend cultivable lands. Under these conditions, the reclamation of the pyroclastic hardened volcanic soils by mechanical works is a vital necessity. However the new soil material which has been roturated and disaggregated, presents such a susceptibility that it becomes important to protect it against erosion.*

*In order to offer sustainable alternatives, experimental studies have been undertaken in two experimental stations located in the interandean valley next to Quito (2,500 - 2,900 m), in a subhumid to subarid climate with two dry seasons (2 to 4 months).*

*The field experiment was carried out during 2 cultural years, in small runoff plots where daily runoff, erosion and rain have been measured. In oat plots, conservative cultural practices have been tested: a cover with a pre-irrigated oat, a flat terrace, a pervious check dam with cangahua blocks, in comparison with a reference plot.*

*On the reference plot, results showed that erosion and runoff were important despite a weak erosivity ( $80 < R_{us} < 100$ ); moreover, erosion hazards might occur at any time during the year. The cover effect was important and increased according to the development of the oat. As far as erosion was concerned, weak erosion was observed between the treatments but these differences were significant when compared to the reference plot; the behaviour of the runoff was complex.*

*The technique using pervious check dams with cangahua blocks must be recommended for the good results it gave, its low cost and the easy acceptance by peasants.*

**Keywords:** *Hardened Volcanic Soils - Cangahua - Field Experiments - Erosion, Reclamation - Conservation - Highlands - Ecuador*

## INTRODUCTION

Entre 1986 et 1991, une opération de recherche menée par l'ORSTOM et le MAG (DNA) avait permis d'évaluer les pertes en eau et en sol dans des situations agricoles représentatives de la Sierra et de son piedmont occidental, grâce à des parcelles de ruissellement de 100 à 1 000 m<sup>2</sup> de surface groupées dans des stations. L'efficacité de mesures conservatrices, facilement acceptables par le paysannat et peu coûteuses en

argent et en travail (De Noni *et al.*, 1986, 1990, 1997), avait également été testée, notamment dans les stations de La Tola et Cangahua.

Par la suite, entre 1994 et mai 1996, une nouvelle opération a été lancée, dans le cadre d'un contrat de l'Union Européenne (UE) passé entre l'ORSTOM et l'Université Centrale de Quito, pour étudier les problèmes de susceptibilité à l'érosion que pose la *cangahua* réhabilitée après avoir été pulvérisée et émiétée.

L'objectif de cette communication est de présenter, sur la base de données obtenues sur des parcelles de ruissellement au cours de ces deux années, un bilan des pertes en eau et en sol, et de pouvoir ainsi juger de l'efficacité de quelques aménagements dans ces parcelles.

Pour mener à bien cette étude, il a été décidé de reprendre les parcelles suivies entre 1986 et 1991 et de les adapter au nouvel objectif, afin de conserver le bénéfice des résultats acquis.

La station de La Tola est située au pied d'un petit édifice volcanique (Ilaló), à 2 500 m d'altitude et à une quinzaine de kilomètres à l'est de Quito ; celle de Cangahua, se trouve au nord de cette même ville, à 80 km environ, à 2 900 m d'altitude, au pied des premiers contreforts internes de la cordillère Orientale.

### PROBLÉMATIQUE DE LA CANGAHUA

La *cangahua*, est une formation volcanique indurée. Elle résulte de l'altération de matériaux pyroclastiques (cendres, lapilli) qui caractérisent la région centrale, montagneuse et volcanique du tiers nord de l'Équateur appelée *Sierra* (figure 1). On ne l'observe qu'entre 1 600 et 3 200 m d'altitude et est associée à un climat tempéré

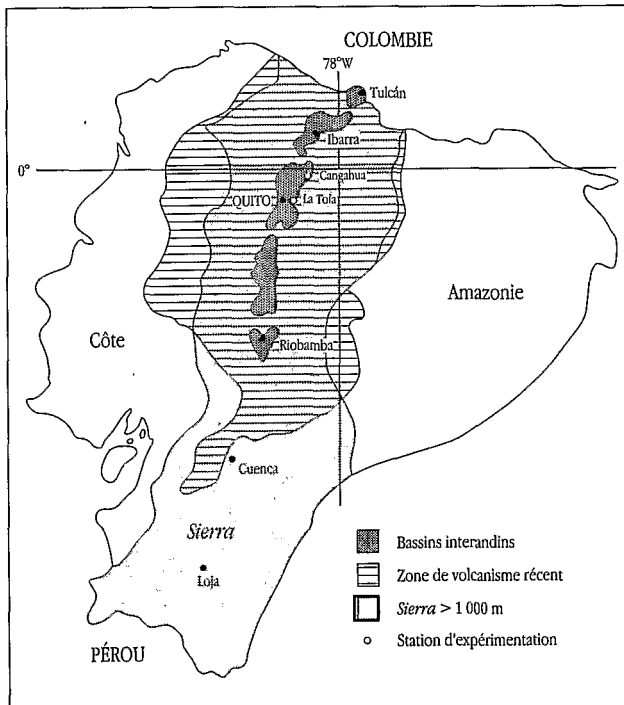
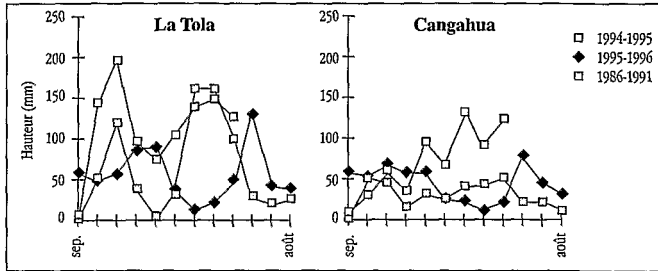


Figure 1  
Carte de localisation des stations de La Tola et de Cangahua

relativement sec : pluviométrie moyenne annuelle inférieure à 800 mm (figure 2), marquée par 2 saisons sèches qui provoquent un fort déficit hydrique (Custode *et al.*, 1992). Dans le bassin de Quito cette formation n'affleure qu'après le décapage des horizons supérieurs qui la coiffent. Elle est normalement surmontée d'un sol argileux noir, humifère à propriétés vertiques. Ce sol d'excellente fertilité peut disparaître sous l'effet de l'érosion en faisant apparaître la *cangahua* qui est stérile en l'état. Mise à l'affleurement, la *cangahua* devient l'une des composantes majeures des paysages de la *Sierra*.



**Figure 2**  
Hauteur mensuelle de pluie en  
1994-1995, 1995-1996  
et 1986-1991  
(La Tola et Cangahua)

Dans la région des deux stations, l'érosion s'est initiée dans le sillon interandin à la rupture de pente entre les grands versants andins et le fond du bassin, dans des zones où l'activité agricole est menée de façon précaire sur des terres fortement sollicitées par le petit paysannat local. L'érosion s'est amplifiée, il y a un siècle, sous l'action conjuguée de l'accroissement de la population et de la demande alimentaire et se poursuit sur les versants avec le front de colonisation.

Selon une évaluation (Almeida *et al.*, 1994), la surface concernée par la *cangahua* atteint 20 % des terres cultivables de la *Sierra* du nord et du centre. La réintégration au domaine agricole des *cangahuas* indurées, est donc une nécessité impérieuse. Des expériences menées en Équateur et des études réalisées au Mexique (Zebrowski *et al.*, 1992) montrent que la réhabilitation des *cangahuas* est techniquement possible à condition de passer par des opérations manuelles ou mécaniques de défonçage et d'émiettement qui visent à rompre la cohésion du matériau induré et à le diviser. Le matériau ainsi formé jouit de propriétés physiques nettement plus favorables ; cependant son affinement se traduit par une telle susceptibilité à l'érosion hydrique, que la durabilité et la productivité du néo-sol ne sont pas assurées. Cette susceptibilité va de pair avec une grande pauvreté en matière organique de la *cangahua* indurée.

## LES STATIONS DE MESURES DE LA TOLA ET DE CANGAHUA

### Le dispositif

Les parcelles de ruissellement ont été aménagées après avoir nettoyé la surface du sol jusqu'au matériau induré qui a été lui-même défoncé sur 40 cm puis pulvérisé par une charrue à disques.

La station de La Tola comporte 4 parcelles de ruissellement de 100 m<sup>2</sup> (10 m x 10 m), reliées chacune par un canal à un système de cuves successives qui permettent de recueillir et de mesurer les eaux et les sédiments entraînés. Il s'agit des parcelles suivantes :

- P1 parcelle avec une pente de 12 à 15 pour cent,
- P2 parcelle avec une pente de 12 à 18 pour cent, avec une préculture irriguée, installée avant les pluies pour obtenir un effet de couverture,
- P3 parcelle avec une pente de 12 à 14 pour cent et un muret filtrant de blocs de *cangahua* en bas de pente pour réduire l'érosion,
- P4 parcelle (terrasse) de pente très faible (0 à 2 pour cent).

La parcelle irriguée (P2) a été semée en avoine (mise en place à la mi-septembre 1994) pour tester l'effet couverture d'une préculture. Cependant, du fait du type d'irrigation pratiquée (simulation de l'irrigation par aspersion avec un tuyau d'arrosage), cette parcelle montre une fonte importante des agrégats et la naissance d'une croûte structurale qui ont majoré le ruissellement. Sur le reste des parcelles, l'avoine a été mise en place en décembre et a montré une levée et un développement médiocres car la sécheresse de Noël s'est poursuivie jusqu'en mars. Les pluies sont alors arrivées sur une surface anormalement peu couverte. L'année culturale suivante, en 1995, les semis d'avoine ont normalement levé mais ont été ravagés par le passage d'un troupeau.

La station de Cangahua est constituée de 3 parcelles :

- P1 parcelle témoin avec une pente de 15 pour cent,
- P2 parcelle avec une pente de 15 pour cent, avec une préculture irriguée installée avant les pluies pour obtenir un effet de couverture,
- P3 parcelle avec une pente de 15 pour cent et un muret filtrant de blocs de *cangahua* en bas de pente pour réduire l'érosion.

À Cangahua il n'y a pas de parcelle plane simulant l'aménagement en terrasse.

### Les conditions climatiques

Pour les deux sites étudiés, le climat est de type tempéré isomésique (*Soil Taxonomy*) : température moyenne annuelle de l'ordre de 13 °C à Cangahua et légèrement inférieure à 15 °C à La Tola, sans variation significative des températures moyennes mensuelles (Pourrut, 1983, 1994). Les amplitudes diurnes des températures sont en revanche importantes tout au long de l'année.

Malgré des températures moyennes relativement basses, l'ETP est nettement supérieure aux pluies annuelles, particulièrement à Cangahua, de juin à août, en saison estivale, quand l'ensoleillement est fort et que le pouvoir évaporant de l'air est élevé alors que les précipitations sont réduites. Les réserves en eau du sol s'épuisent, l'alimentation hydrique des cultures annuelles n'est plus assurée sans apport d'eau complémentaire, ce qui correspond au régime d'humidité ustique tel qu'il a été défini par la *Soil Taxonomy*. Tous les 2 ou 3 ans cette situation de stress hydrique apparaît également en janvier ; elle a prévalu en 1994-1995.

Les pluies sont comprises entre 400 et 800 mm selon les années. Elles débutent en septembre (période de préparation des terres) et sont importantes en octobre et novembre (semis). Elles baissent et s'interrompent parfois en décembre et janvier puis reprennent en mars avec des valeurs élevées en avril et mai. Elles se terminent au début de juin (récolte du maïs, fève...). La saison sèche, qui démarre alors, n'est marquée que par quelques orages qui tombent sous forme de grêle et qui ne contribuent guère à l'alimentation hydrique des sols et des cultures.

Les courbes de répartition mensuelle des pluies (figure 2) illustrent quelques caractères importants :

- une irrégularité interannuelle importante puisque sur les 7 années d'observation, la

pluie moyenne annuelle a été de 685 mm à La Tola, les minimums et maximums ayant été de 626 et 1 049 mm. À Cangahua ces paramètres ont été respectivement de 535, 452 et 657 mm ;

- une grande disparité régionale. Ainsi, les 2 stations, bien que distantes de moins de 50 km, montrent des différences très significatives : sur les 2 années culturales d'observations, à La Tola de septembre 1994 à août 1995 et de septembre 1995 à août 1996, les précipitations ont été normales en 1994-1995 et très excédentaires en 1995-1996, tandis qu'à Cangahua, elles ont été fortement déficitaires en 1994-1995 et presque normales en 1995-1996.

L'analyse des pluviogrammes des 285 pluies enregistrées dans la station de La Tola et des 243 enregistrées durant la même période à Cangahua, montre que les petits événements sont majoritaires (tableau 1).

Hauteurs de pluie (mm)	La Tola		Cangahua		Intensités de pluie (mm/h)	La Tola		Cangahua	
	fréquence	%	fréquence	%		IM15	IM30	IM15	IM30
0 - 4	174	61,1	178	73,3	0 - 4	127	145	33	44
5 - 9	49	17,2	41	16,9	5 - 9	35	29	16	11
10 - 14	20	7,0	13	5,3	10 - 14	14	9	5	6
15 - 19	20	7,0	5	2,1	15 - 19	5	10	3	6
20 - 24	12	4,2	5	2,1	20 - 24	9	7	5	3
25 - 29	5	1,8	1	0,4	25 - 29	9	3	1	0
30 - 34	3	1,1	0	0,0	30 - 34	5	2	2	0
35 - 39	0	0,0	0	0,0	35 - 39	6	1	2	0
40 - 44	1	0,4	0	0,0	40 - 44	2	0	2	0
45 - 49	1	0,4	0	0,0	45 - 49	0	0	1	0
50 - 54	0	0,0	0	0,0	50 - 54	1	0	0	0
55 - 59	0	0,0	0	0,0	55 - 59	1	0	0	0
60 - 64	0	0,0	0	0,0	60 - 64	1	0	0	0
total	285	100,0	243	100,0	total	215	206	70	70
max	47,0		26,6		max	63,2	38,6	48,0	24,0

**Tableau 1 - Hauteurs et intensités maximales de pluie en 15 et 30 minutes (1994-96)  
Stations de la Tola et de Cangahua**

En ne retenant que les pluies supérieures à 10 mm pouvant donner lieu à un ruissellement et à des pertes en terre, on voit que seulement 20 % d'entre elles répondent à ce critère d' « efficacité » (62 pluies à La Tola qui représentent 64 à 68 % de la pluie annuelle et 24 pluies à Cangahua, soit 27 et 48 % de la pluie annuelle).

La Tola est nettement plus arrosée que Cangahua, les pluies y sont plus nombreuses et les hauteurs d'eau journalières nettement plus fortes.

Les pluviogrammes donnent également des indications sur les intensités maximales de pluies (IM) qui sont le reflet de l'agressivité climatique. Nous avons également classé ces intensités mesurées en 15 et 30 minutes et exprimées en millimètres par heure.

Il est difficile de comparer les intensités de La Tola à celles de Cangahua car pour cette dernière, les enregistrements sont particulièrement incomplets. On remarque que plus de 50 % des événements présentent des intensités faibles (moins de 5 mm/h en 15 mn). À La Tola, 3 pluies dépassent 50 mm/h (la plus forte valeur est de 63,2 mm/h en 15 mn), tandis qu'à Cangahua toutes les intensités de pluies sont inférieures à 50 mm/h (la plus forte intensité est de 48 mm/h en 15 mn). Ces valeurs d'intensité sont très modestes pour une région située en zone équatoriale, mais conformes à celles mesurées en zone montagneuse protégée des influences océaniques. Il s'agit donc d'un climat peu agressif, où toute proportion gardée, le climat de La Tola est plus agressif que celui de Cangahua. L'indice d'érosivité  $R_{us}$  calculé est de l'ordre de 100 à La Tola et de 80 à Cangahua.

On remarque que l'érosion est provoquée par un faible nombre d'événements que nous qualifierons de majeurs (tableau 2), plus particulièrement à La Tola où 5 pluies représentant seulement 8 % du total annuel sont responsables de 35 à 50 % du ruissellement et de 60 à 82 % de l'érosion tandis qu'à Cangahua 14 % des pluies ont provoqué 43 à 70 % du ruissellement et 58 à 70 % de l'érosion.

	pluie mm	Parcelle 1		Parcelle 2		Parcelle 3		Parcelle 4		
		ruiss. l/ha	ER kg/ha	ruiss. l/ha	ER kg/ha	ruiss. l/ha	ER kg/ha	ruiss. l/ha	ER kg/ha	
Tumbaco	quantité	78,8	121 170	22 566	183 524	9 007	185 415	10 943	205 390	6 774
	% tot. an	8,4	34,9	82,1	31,9	73,8	52,2	81,1	34,9	59,6
Cangahua	quantité	75,4	60 981	2 655	41 247	1 322	38 947	833		
	% tot. an	13,8	47,2	64,3	35,8	57,8	43	69,2		

**Tableau 2 - Contribution des 5 pluies les plus intenses au ruissellement et à l'érosion La Tola et Cangahua (1994-1996)**

Ceci est tout à fait conforme aux résultats antérieurs (De Noni, Viennot 1986, 1992). Il confirme que dans la montagne andine, la lutte contre l'érosion passe surtout par un bon contrôle des quelques événements majeurs.

## LES RÉSULTATS

### Mise en forme des données

Elle consiste, par une analyse critique des résultats, à faire correspondre, pour chacune des parcelles et en retournant aux documents originels, les pluies avec les événements érosifs. Cette opération, relativement facile pour La Tola où nous disposons de la plupart des valeurs d'intensité maximales (IM 15 et IM 30), s'est révélée beaucoup plus délicate à Cangahua où les lacunes sont nombreuses. Il manque en particulier toutes les intensités de 1994 et 1995.

Il est regrettable que les terres de fond aient été négligées quand elles représentaient moins de 300 g et que les périodes estivales n'aient pas fait l'objet d'un suivi plus régulier. Dans ce cas, il y a donc eu surévaluation des sédiments en suspension par rapport aux sédiments de fond. Néanmoins, cette incidence est mineure considérant que les résultats montrent que leur contribution est réduite dans le bilan total de l'érosion. Heureusement, les fortes érosions, qui constituent l'essentiel du phénomène, ont bien été

prises en compte. En règle générale, les suspensions ont été regroupées avec les sédiments de fond.

D'autre part, en raison de l'imprécision des mesures dans les bacs servant à recueillir le ruissellement, le calcul peut donner des valeurs de ruissellement nulles alors qu'il y a eu érosion mais cette dernière n'est pas suffisamment forte pour modifier les résultats finaux. Nous avons cependant préféré les conserver.

### La station de La Tola

Le tableau 3 montre les résultats de pluie, de ruissellement, de coefficient de ruissellement et d'érosion pour les années 1994-1995 et 1995-1996 que l'on comparera avec ceux de la période 1986-1991 (tableau 4), obtenus sur deux types de parcelles : une parcelle cultivée selon le mode traditionnel (pertes en eau et en terre élevées) et une parcelle cultivée améliorée par des mesures destinées à limiter l'érosion (pertes en eau et en terre faibles).

Bien que les données soient incomplètes, les résultats globaux annuels mettent en évidence la faiblesse de la pluie, en particulier les 3 derniers mois de 1994 durant lesquels le ruissellement et l'érosion sont presque nuls.

mois	pluie (mm)	Parcelle 1			Parcelle 2			Parcelle 3			Parcelle 4		
		Qr (m <sup>3</sup> /ha)	Kr mois (%)	Er (m <sup>3</sup> /ha)	Qr (m <sup>3</sup> /ha)	Kr mois (%)	Er (m <sup>3</sup> /ha)	Qr (m <sup>3</sup> /ha)	Kr mois (%)	Er (m <sup>3</sup> /ha)	Qr (m <sup>3</sup> /ha)	Kr mois (%)	Er (m <sup>3</sup> /ha)
septembre	5,6												
octobre	52,8												
novembre	119,6												
décembre	38,8	3,3	0,8	-			-						-
janvier	4,9												
février	31,8			-			-			-			-
mars	161,3			1,4	8,8	0,5	0,9			0,7	15,8	1,0	0,6
avril	161,6	17,9	1,1	0,8	18,1	1,1	0,3	0,3	-	0,3	20,5	1,3	0,3
mai	100,1	21,4	2,1	1,2	19,8	2,0	10,0			0,6	43,6	4,4	1,3
juin	27,6			-			0,1			0,1	2,0	0,7	0,2
juillet	20,2												
août	26,1												
1994-1995	750,4	42,6	0,6	11,3	46,7	0,6	2,2	0,3	0,0	1 651,7	81,9	1,1	2,4
septembre	7,2												
octobre	146,4	21,1	1,4	19,3	14,4	1,0	5,3			6,3	25,6	1,7	4,1
novembre	200,9	6,2	0,3	1,5	32,1	1,6	1,7			1,5	19,0	0,9	0,8
décembre	96,8												
janvier	75,3			-			-			-			-
février	104,0			-	17,0	1,6	0,1			-	12,6	1,2	0,1
mars	141,1	1,5	0,1	0,1	52,3	3,7	0,2	1,5	0,1	0,1	51,6	3,7	0,4
avril	150,0	216,5	14,4	1,5	280,6	18,7	2,3	19,4	13,0	3,7	253,5	16,9	3,2
mai	127,5	58,8	4,6	1,4	132,4	10,4	0,3	68,0	5,3	0,2	144,1	11,3	0,4
1995-1996	1 049,2	304,2	4,6	24,0	528,7	8,1	10,0	355,1	4,4	11,9	506,5	7,7	9,0
moyenne	898,8	173,4	1,9	17,7	287,7	3,2	6,1	177,7	2,0	831,8	294,2	3,3	5,7

- : valeur non nulle

**Tableau 3 - Moyennes mensuelles et annuelles, du ruissellement, du coefficient de ruissellement et de l'érosion. La Tola (1994-1996)**

		Parcelle cultivée améliorée	Parcelle cultivée traditionnelle
Pluie (mm)	moyenne 1986-1991	685	
Ruissel. (m <sup>3</sup> /ha)		146	417
KR (%)		2,1	6,1
Érosion (t/ha)		4,4	19,3

**Tableau 4**  
Moyenne annuelle du ruissellement et de l'érosion (1986-1991)  
La Tola

L'année 1995 se caractérise par des séries d'observations presque complètes et par des pluies nettement excédentaires (985 mm) alors que la sécheresse de 1994 s'est poursuivie jusqu'au mois de mars.

Pour l'année 1996, les observations s'interrompent à la fin du mois de mai. En ne considérant que les 5 mois d'observation, 1996 se place déjà parmi les années exceptionnelles par les valeurs du ruissellement et de l'érosion. En effet, ces valeurs dépassent celles observées entre 1986 et 1991 sur les parcelles cultivées améliorées et atteignent même celles des parcelles cultivées témoins.

En 1994 le seul mois où l'érosion est notable est celui de décembre qui est cependant nettement moins pluvieux que celui de novembre. Sur un sol remanié et émiété, le ruissellement et l'érosion ne peuvent se déclencher qu'après le développement de croûtes superficielles.

En 1995, la couverture végétale, qui s'est bien développée grâce aux pluies automnales de 1994, va progressivement perdre son effet protecteur au cours des 3 mois (décembre à début mars), durant lesquels les pluies ne dépassent pas 40 mm (5 mm seulement en janvier). Cependant, les fortes pluies de mars vont être sans effet érosif car elles peuvent s'infiltrer et reconstituer les réserves hydriques du sol. Les pluies d'avril et de mai, bien qu'égales ou inférieures à celles de mars, initient un ruissellement qui représente plus de 50 % du total annuel mais moins de 15 % de l'érosion (la parcelle P3 continue de ne pas ruisseler).

La saison des pluies d'automne débute en octobre. Le sol commence par perdre son état motteux de surface. Le 17 quand il est suffisamment humecté, débute le ruissellement et surtout l'érosion. Plus de 50 % des pertes annuelles se produisent durant le seul mois d'octobre où les terres sont le plus sensibles à l'érosion. Néanmoins, l'érosion affiche des valeurs admissibles : la perte est équivalente à une couche de 2 mm de sol. En novembre, les pluies sont maximales et le ruissellement reste élevé, mais les pertes en terre s'amenuisent avec le développement de la végétation (une avoine) qui sera malencontreusement pâturée à la fin du mois. La faible érosion de décembre est due à une préparation des terres en période de faibles pluies.

Durant le début d'année 1996, le ruissellement augmente avec l'accumulation de pluie. Il atteint un maximum en avril puis décroît, mais durant cette période excessivement pluvieuse, l'érosion reste moyenne.

L'analyse des résultats du tableau 5 montre que seul un petit nombre de pluies donne lieu à un ruissellement notable.

La parcelle P1 (pente de 12-15 pour cent sans aménagement) est celle qui ruisselle le moins avec la P3 (pente de 12-15 pour cent avec un muret de blocs de *cangabua*). Paradoxalement, la P2 (12-15 pour cent avec irrigation et culture précoce) et surtout la P4 (terrasse presque plane) donnent lieu à un fort ruissellement. Ces parcelles se caractérisent



en effet à la fois par un plus grand nombre d'événements ruisselants et par un coefficient de ruissellement supérieur pour chacune des pluies.

	P1	P2	P3	P4
nombre de pluies	19	23	16	30
m <sup>3</sup> /ha	340	570	350	590
classement	1	3	2	4

**Tableau 5 - Ruissellement sur les parcelles La Tola (1994-1996)**

Les périodes ou semaines pluvieuses, au cours desquelles les pluies se succèdent journellement, provoquent des ruissellements exceptionnels : en 1995, la 3<sup>e</sup> décade de mai et la 3<sup>e</sup> décade d'octobre, et en 1996, la 2<sup>e</sup> décade d'avril et la dernière décade de mai. Le processus étant amorcé, il peut se poursuivre avec des pluies inférieures à 10 mm/h sur les parcelles les plus ruisselantes. À partir du 20 mars 1996, les parcelles saturées réagissent à presque toutes les pluies.

Si le ruissellement est élevé, l'érosion est beaucoup plus limitée (tableau 6).

	P1	P2	P3	P4
nombre d'événements érosifs	3	3	3	4
tonnes/hectare	27	12	13	11
classement	4	2	3	1

**Tableau 6  
Érosion sur les parcelles  
La Tola (1994-1996)**

En 1995, P1 est la parcelle qui a donné lieu, pour une seule pluie (25 octobre 1995), à la plus forte érosion (19 t/ha), tandis que les 3 autres ont eu un meilleur comportement et des résultats globalement semblables. Mais en 1996, avec des différences faibles, ce sont les parcelles P3 et P4 qui s'érodent le plus.

Pour préciser les liaisons entre d'une part, la pluie (P), la quantité ruisselée (R), le coefficient de ruissellement (KR %), l'intensité maximale en 15 et 30 minutes (IM 15, IM 30) et, d'autre part, l'érosion (E) — somme des suspensions et des terres de fond — pour chaque parcelle, nous avons calculé les coefficients de corrélation linéaire.

Il ressort que les corrélations entre E et P, IM 15, IM 30 sont relativement faibles tout en étant du même ordre de grandeur. Avec R, les corrélations sont plus satisfaisantes sauf pour P2 où les conditions de simulation de l'irrigation ont dégradé les états de surface. En ce qui concerne le coefficient de ruissellement, celui-ci est une mauvaise variable explicative sauf sur la P3. La faiblesse des corrélations sur la P2 et la P4 exprime que l'effet couverture du sol ou l'absence de pente agissent en limitant non seulement le ruissellement mais encore sa capacité de transport (compétence).

Ces résultats montrent que:

- le contrôle des événements exceptionnels est important ;
- P2 et surtout P4 montrent des valeurs de coefficient anormalement élevées dans une zone écologiquement déficitaire. On ne peut que préconiser une meilleure technique d'irrigation par aspersion pour limiter les phénomènes de réarrangements superficiels qui ferment des sols et permettent le ruissellement ;
- P4 est une parcelle qui s'inonde et se sature. Sa structure fragile se détruit anormalement vite. Il y aurait lieu de lui donner un peu de pente et de procéder à des sarclages

après chaque période pluvieuse importante ce qui est tout à fait réalisable à partir de février quand les pluies reprennent avec une végétation bien installée.

### La station de Cangahua

L'analyse des résultats fait ressortir que la première saison pluvieuse de l'année 1994-1995 est à peu près inexistante et qu'elle n'a donc provoqué ni ruissellement ni érosion. Les résultats sont répertoriés dans le tableau 7 et comparés à ceux de la période 1986-1991 présentés dans le tableau 8, comme cela a été fait pour la station de La Tola.

Les 3 derniers mois de 1994 bien que normalement pluvieux, et les 2 premiers de 1995 ne montrent ni érosion ni ruissellement notables (tableau 7).

mois	pluie (mm)	Parcelle 1			Parcelle 2			Parcelle 3		
		Qr (m <sup>3</sup> /ha)	Kr mois (%)	Er (m <sup>3</sup> /ha)	Qr (m <sup>3</sup> /ha)	Kr mois (%)	Er (m <sup>3</sup> /ha)	Qr (m <sup>3</sup> /ha)	Kr mois (%)	Er (m <sup>3</sup> /ha)
septembre	5,6									
octobre	52,8									
novembre	119,6									
décembre	38,8	2,2	1,3		1,7			2,9	-	
janvier	4,9									
février	31,8									
mars	161,3	6,0	1,5	0,2	6,0	1,5	0,1	6,0	1,5	0,1
avril	161,6	5,0	1,1	-	4,5	1,0	0,1	5,0	1,1	-
mai	100,1	23,4	4,5	1,1	21,9	4,2	0,6	19,4	3,7	0,6
juin	27,6	17,0	7,8	0,4	7,0	3,2	0,2	5,0	2,3	0,1
juillet	20,2									
août	26,1									
1994-1995	750,4	53,7	1,5	1,7	41,1	1,1	1,0	38,3	1,0	0,8
septembre	7,2									
octobre	146,4	5,8	1,6	0,1	16,5	1,9	-	5,3	1,5	-
novembre	200,9									
décembre	96,8	10,0	2,8		10,0	2,8	-	3,0	0,8	-
janvier	75,3	8,2	0,8	0,2	4,9	0,5	0,1	4,9	0,5	-
février	104,0	7,1	1,0	0,1	2,1	0,3	0,4	1,1	0,2	-
mars	141,1	6,7	0,5	0,1	2,7	0,2	-	3,2	0,2	-
avril	150,0	5,2	0,6	0,3	3,4	0,4	-	10,0	1,1	0,1
mai	127,5	32,7	2,6	1,5	16,6	1,3	0,7	24,9	2,0	0,2
1995-1996	1 049,2	75,6	1,1	2,4	46,1	0,7	1,3	52,3	0,8	0,4
moyenne	898,8	64,6	1,2	2,1	43,6	0,6	1,1	45,3	0,9	0,6

- : valeur non nulle

**Tableau 7 - Moyennes mensuelles et annuelles du ruissellement, du coefficient de ruissellement et de l'érosion. Cangahua (1994-1996)**

Le ruissellement débute en mars et se poursuit jusqu'au début du mois de juin mais l'érosion reste faible. Celle-ci n'apparaît qu'en mai et en juin avec une période de pluies régulières durant laquelle elle représente les 3/4 des pertes annuelles. La saison pluvieuse 1995-1996 débute en octobre mais n'est marquée par aucun événement important. L'année 1996 démarre sans qu'il y ait eu de véritable « été de Noël ». Les 4 premiers mois donnent lieu chacun à un ruissellement de 5 à 10 m<sup>3</sup> selon les parcelles, tandis que le dernier mois

d'observation (mai) fournit, pour une pluviosité comparable, un ruissellement équivalent à ces 4 mois réunis. L'érosion correspondante est faible (2 t/ha) pour la parcelle P 1. La moitié de cette quantité intervient pendant le seul mois de mai.

À Cangahua, où la période d'observations ne comprend que des années de pluviosité inférieure ou égale à la normale sans événement exceptionnel, le ruissellement et l'érosion sont faibles.

Ils sont inférieurs à ceux de La Tola (5 fois moins de ruissellement et 2 fois moins d'érosion). Les pluies capables de les déclencher sont comprises entre 7 et 23 mm/h et sur toute la période d'observation, seules quelques pluies sont efficaces et capables de donner lieu à un ruissellement supérieur à 1 m<sup>3</sup>.

La parcelle P2 (irriguée, à démarrage précoce des cultures) est celle qui ruisselle le moins suivie de près par la P3 (pente de 15 pour cent avec muret de *cangahua*). La P1 (pente de 15 pour cent sans aménagement) montre que les événements ruisselants sont à peine plus nombreux mais un peu plus importants.

L'érosion est très réduite ce que montre le tableau 8 dans lequel on a choisi de ne comptabiliser que les érosions supérieures à 0,5 t/ha.

		Parcelle cultivée améliorée	Parcelle cultivée traditionnelle
Pluie (mm)	moyenne 1986-1991	535,5	
Ruissel. (m <sup>3</sup> /ha)		9	65
KR (%)		0,2	1,2
Érosion (t/ha)		0,3	3

**Tableau 8**  
Moyenne annuelle du ruissellement et de l'érosion Cangahua (1986-1991)

**Tableau 9**  
Ruissellement sur les parcelles. Cangahua (1994-1996)

	P1	P2	P3
Nombre de pluies	17	16	16
Ruissel. (m <sup>3</sup> /ha)	129	87	91
Classement	3	1	2

	P1	P2	P3
Nombre d'événements érosifs	3	1	1
t/ha	4	3,3	1,2
Classement	3	2	1

**Tableau 10**  
Érosion sur les parcelles. Cangahua (1994-1996)

Encore ici on peut souligner l'efficacité de l'aménagement avec des blocs de *cangahua* pour limiter l'érosion.

Les relations liant les différents paramètres de l'érosion sont très ténues et comme dans le cas de La Tola, c'est le coefficient de ruissellement qui explique le moins mal l'érosion. Ceci étant et en excluant P2 compte tenu d'un protocole particulier, les corrélations sont plus satisfaisantes entre E et IM 15, IM 30 qu'entre E et P.

Malgré le manque de résultats significatifs à Cangahua, on peut affirmer que le traitement P3 est le plus efficace pour réduire l'érosion. À Cangahua, l'expérience prouve que l'érodibilité des sols est assez forte et qu'il pourrait être judicieux de considérer les pluies à partir de 7 mm/h.

## CONCLUSION

La *cangabua* réhabilitée montre une forte susceptibilité à l'érosion hydrique malgré une agressivité climatique modérée ( $R_{USA}$ ) de 80 à 100 et des pentes de 15 pour cent. À La Tola, une érosion moyenne annuelle de 19 t/ha a été observée sans aménagement anti-érosif, mais elle est seulement de 7,5 t/ha avec pré-irrigation, de 8 avec muret et enfin de 6,5 avec des terrasses. À Cangahua, l'érosion est beaucoup plus faible : seulement de 2,2 t/ha sans aménagement, de 1,2 avec pré-irrigation et de 0,5 avec murets.

Le ruissellement total est deux à trois fois plus élevé à La Tola où la capacité d'entraînement de l'eau (ruisselée/érosion) est nettement plus importante et les aménagements favorisant la formation de croûtes structurales montrent les plus forts taux de ruissellement sans entraîner pour autant une augmentation de l'érosion. Ces résultats confirment ceux obtenus durant la période 1986-1991 sur ces mêmes sites.

À La Tola et à Cangahua, les résultats montrent que les aménagements choisis réduisent de façon significative l'érosion ; le facteur varie de 2 à 5 selon leur nature, l'année et la station. Il est plus difficile de limiter le ruissellement qui est le moteur de l'érosion. Ce sont donc les aménagements favorisant l'infiltration qui sont utiles et avant tout, ceux qui assurent une structure stable et ouverte en période pluvieuse. Dans les zones délicates, les bandes enherbées absorbantes peuvent remplir ce rôle. En conclusion c'est l'aménagement de type P3, avec muret de *cangabua*, qui semble le plus intéressant car à la fois efficace et peu coûteux : de l'ordre de 600 FF la première année en incluant frais d'installation et d'entretien. Ce coût est divisé par 3 les années suivantes. En conséquence, ces 2 années d'observation confirment les travaux antérieurs : il semble bien que ce type

## Referencias bibliográficas

- ALMEIDA, G.; DE NONI, G. *et al.*, 1984: Los principales procesos erosivos en Ecuador, PRONAREG-PRONACOS-ORSTOM, Quito, 31 p. + 1 mapa a escala 1:1'000.000.
- CUSTODE, E.; DE NONI, G.; TRUJILLO, G.; VIENNOT, M., 1992: La cangahua en el Ecuador: caracterización morfo-edafológica y comportamiento frente a la erosión, en *Terra*, Vol. 10 (número especial: Suelos volcánicos endurecidos, Primer Simposio Internacional, México, 20-26 de octubre de 1991), ORSTOM-Colegio de Postgraduados de Montecillo, México, p. 332-346.
- DE NONI, G.; TRUJILLO, G.; VIENNOT, M., 1986: L'érosion et la conservation des sols en Équateur, dans *Cahiers ORSTOM, Série Pédologie*, Vol. XXII, 2, p. 235-245.
- DE NONI, G.; VIENNOT, M.; TRUJILLO, G., 1989-1990: Mesures de l'érosion dans les Andes de l'Équateur, dans *Cahiers ORSTOM, Série Pédologie*, Vol. XXV, N° 1-2, Paris, p. 183-196.
- DE NONI, G.; VIENNOT, M.; TRUJILLO, G., 1997: *L'homme, la montagne et l'érosion des sols cultivés. Cas des Andes équatoriennes (Amérique du Sud)*, ORSTOM Montpellier, 200 p, 16 cartes, 20 tab., 38 fig., annexes (sous presse).
- POURRUT, P., 1983: Los climas del Ecuador. Fundamentos explicativos, en *Documentos de investigación*, N° 4, CEDIG-ORSTOM, Quito, p. 8-43.
- POURRUT, P., 1994: *L'eau en Équateur, Principaux acquis en hydroclimatologie*, ORSTOM, Paris, 147p.
- ZEBROWSKI, C.; PRAT, C.; ETCHEVERS, J.; ARIAS, H.; MIRANDA, M. E., 1992: *Terra*, Vol. 10 (número especial: Suelos volcánicos endurecidos, Primer Simposio Internacional, México, 20-26 de octubre de 1991), ORSTOM-Colegio de Postgraduados de Montecillo, México, 572 p.