

## Mutations récentes de l'agriculture équatorienne et conséquences sur la durabilité des agrosystèmes andins

Georges DE NONI et Marc VIENNOT

Centre Orstom, BP 5045,  
34032 Montpellier cedex 1, France.

### RÉSUMÉ

*Jusqu'à l'arrivée des Espagnols, les Andes équatoriennes étaient cultivées par des sociétés qui avaient su développer des stratégies agricoles adaptées aux conditions extrêmes de la montagne.*

*La conquête espagnole introduit l'élevage bovin, de nouvelles cultures et techniques culturales, regroupe les populations dans le cadre contraignant de l'hacienda, et bouleverse le système ancestral. Les cultures se pratiquent désormais dans les bassins interandins tandis que l'élevage s'étend sur les versants de façon très extensive ; le front d'occupation des sols reste stable car la population a très peu augmenté en trois siècles.*

*Au choc de la conquête succède, à la fin du siècle dernier, celui de l'explosion démographique : la population décuple en moins d'un siècle, passant d'un million d'habitants à onze millions de nos jours. Les structures agricoles coloniales deviennent caduques. Pour désamorcer une crise sociale, le gouvernement abolit l'état de servitude et promulgue les lois de réforme agraire (1964 et 1974). Les propriétaires d'hacienda sont contraints de se défaire d'une partie de leurs terres et de les concéder à leurs employés. La redistribution concerne surtout les terres des versants trop déclives ou accidentées et celles de haute montagne, de climat froid et humide. On assiste à une « relocalisation » du petit paysannat et à la constitution d'un nouveau « minifundio » qui va rapidement se diviser, car les quelques hectares octroyés par foyer ne suffisent pas pour assurer l'alimentation d'une population en expansion. Le minifundio va s'étendre sur les zones marginales jusqu'alors délaissées puis coloniser les terres froides de parcours, jusqu'à 4 000 m d'altitude.*

*Le minifundio se caractérise par une densité de population très élevée : 50 à plus de 200 habitants au kilomètre carré. Il intéresse 80 % des exploitations mais n'occupe que 20 % des terres consacrées aux cultures vivrières. Dans la majeure partie des cas, ce sont des terres difficiles (relief, climat), jadis affectées à l'élevage.*

*Les haciendas, concentrées dans le bassin, pratiquent un élevage extensif. Elles ne représentent que 1 % des exploitations mais occupent 35 % des terres et sont localisées sur les terres faciles. Seules capables de dégager des excédents, les haciendas profitent de la législation, bénéficient des aides et ont accès aux grands marchés.*

*L'agriculture est en situation de crise ; malgré l'augmentation de surface du minifundio, la production de céréales est tombée au quart de ce qu'elle était en 1970. Le minifundio est confronté à une érosion catastrophique qui affecte ses potentialités alimentaires ; pourtant, des études ont montré que des techniques conservatoires simples, et à la portée du paysan, pouvaient la ramener à un niveau admissible. L'érosion se situe de 0,2 à plus de 0,4 t/ha/an à Mojanda, sur des parcelles améliorées, contre 0,8 à 1,8 t/ha/an sur les parcelles traditionnelles, tandis qu'à Riobamba on a mesuré 0,3 à 4,5 t/ha/an contre 4,5 à plus de 50 t/ha/an. Il est indispensable d'intervenir rapidement avant d'atteindre des niveaux de dégradation qui nécessiteraient une réhabilitation plus complexe dont le coût est hors de portée du paysan.*

MOTS CLÉS : Équateur — Andes — Érosion — Ruissellement — Agrosystème — Stratégies paysannes — Durabilité.



*El minifundio se caracteriza por su alta densidad poblacional : 50 hasta 200 hab./km<sup>2</sup>. Se refiere al 80 % de las unidades agrícolas, sin embargo no ocupan más del 20 % de las tierras. Se dedica sobre todo a cultivos alimenticios de autoconsumo en tierras difíciles mientras que las haciendas ubicadas en las tierras fáciles de las cuencas, se dedican a una ganadería muy extensiva. Representan el 1 % de las unidades en el 35 % de las tierras. Son capaces de sacar excedentes agrícolas, aprovechan la legislación, se benefician de los incentivos y tienen acceso a los grandes mercados.*

*La situación agrícola está en una grave crisis. A pesar del aumento de las superficies cultivadas en el minifundio, la producción agrícola disminuyó desde 1970 : por las cereales del 400 %. El minifundio se encuentra arrastrado por una erosión catastrófica que afecta sus posibilidades alimenticias. Estudios llevados conjuntamente entre el Ecuador y el Orstom mostraron que técnicas sencillas de conservación y al alcance del campesino la pueden reducir hasta ser admisible. En Mojanda, la erosión se sitúa entre 0,2 hasta 0,4 t/ha/año en las parcelas mejoradas, 0,8 hasta 1,8 en la parcela tradicional mientras que, en Riobamba se midió 0,3 hasta 4,5 en la mejorada y 5,5 hasta más de 50 t/ha/año en la tradicional. Es menester intervenir rápidamente sin llegar a niveles de degradación que necesiten una rehabilitación compleja cuyo costo estaría fuera de los medios del campesino.*

PALABRAS CLAVES : Ecuador — Andes — Erosión — Ecurrimiento — Estrategia campesina — Durabilidad.

## INTRODUCTION

L'Équateur est formé de trois grandes régions naturelles : la côte pacifique à l'ouest, une partie du bassin amont de l'Amazonie à l'est, et au centre, entre ces deux régions, la montagne andine ou « Sierra ». Au cours des trente années écoulées, l'agriculture a été le siège de mutations profondes en dépit des contraintes imposées par le milieu : vastes espaces vierges et mal connus sur la côte et en Amazonie, pente et altitude dans la Sierra. Ces conditions naturelles difficiles, parfois extrêmes, n'ont pas empêché la progression des fronts de colonisation agricole, en particulier dans la Sierra, où la mutation des populations vivant en altitude constituait un défi majeur par rapport à la situation des milieux côtier ou amazonien, dont la mise en valeur n'était limitée ni par le froid ni par le relief.

Tant que les densités de population sont restées faibles dans la Sierra, les hommes ont pu maîtriser l'exploitation des ressources naturelles tout en préservant l'environnement. La référence la plus remarquable se situe à l'époque précolombienne, où les sociétés indigènes avaient développé des stratégies et des techniques agricoles bien adaptées aux pentes andines ; par exemple, l'irrigation associée à des terrasses de culture et l'utilisation de terroirs localisés dans plusieurs étages écologiques. Par la suite, la conquête espagnole, en provoquant un regroupement de la population dans un seul étage écologique situé dans le bassin interandin et en renforçant la pression de l'homme sur le sol, a certainement contribué à une extension des risques de dégradation sans déclencher pour autant des phénomènes manifestes eu égard aux faibles densités humaines de l'époque (à la fin du siècle dernier, la population ne dépasse pas un million d'habitants). C'est à l'époque contemporaine que le fort accroissement démographique

du secteur rural (la population actuelle est supérieure à dix millions d'habitants) et la réforme agraire vont conduire à une redistribution spatiale du petit paysannat (« minifundio ») vers les sommets et à une accélération des phénomènes de dégradation.

En s'installant sur les versants et les hautes terres andines, le minifundio a engendré un modèle d'agrosystème qui lui est propre et qui sort des normes classiques de l'agronomie. Dorénavant, le seul recours du paysan est de composer avec les conditions du milieu, car un retour vers des terres situées sous la cote des 3 000 m d'altitude dépendrait d'une nécessaire évolution sociale à l'échelon national, dont il est difficile, *a priori*, d'évaluer la perspective. Il semble donc justifié de s'interroger sur la « durabilité » de ces hautes terres transformées en agrosystème, tant pour la génération actuelle que pour la suivante. C'est dans cet esprit qu'une étude a été menée dans deux régions des Andes équatoriennes d'altitude supérieure à 3 200 m, dans les minifundios de Mojanda et Riobamba, où l'érosion agricole constitue une des contraintes majeures pour une gestion durable des terres.

## LES MUTATIONS DE L'AGRICULTURE DANS LES ANDES

Au cours des trente dernières années, les Andes ont été le siège d'importantes transformations agraires qui ont modifié radicalement l'utilisation et l'occupation des sols sur les versants et les hautes terres de la Sierra. Le minifundio, principalement cantonné jusqu'alors sous la dépendance des haciendas, va quitter les terres du bassin et se sédentariser dans l'étage écologique situé au-delà de 3 000-3 200 m.



versants présentent des profils longitudinaux à dominante rectiligne, en forme de planèze, d'échelle kilométrique pour les plus significatifs, des pentes vigoureuses (40-70 %) et des dénivelées impressionnantes entrecoupées par des gorges profondes (*quebradas*).

Sur ces versants, on distingue principalement les types suivants de végétation (en partie « secondarisée » ou introduite depuis la colonisation) :

— des prairies de « kikuyo » (*Pennisetum clandestinum*), de « orejuela » (*Alchemia orbiculata*), de « milin » (*Cynodon* sp.), de luzerne (*Medicago* sp.)... ;

— des arbustes du type « chilca » (*Baccharis* sp.) et « rétama » = genêt (*Spartium junceum*)... ;

— des arbres tels le « quishuar » (*Buddleia incana*), le cyprès (*Cupressus macrocarpa*), le « capulí » (*Prunus serotina*)... et surtout l'eucalyptus (*Eucalyptus globulus*) qui, introduit au siècle dernier, fait l'objet de reboisements importants qui ont profondément modifié les paysages agraires.

Sur la partie haute des versants, à partir de 3 500-3 600 m, la végétation devient plus fermée et moins diversifiée car le risque de gelée est fort de juin à août pendant l'été. Elle est dominée par une formation arborée ouverte connue sous le vocable de *matorral* ou *chaparral*.

À partir de 3 800 m, on pénètre dans le domaine des hautes terres. Le relief s'adoucit et laisse entrevoir un modelé monotone où alternent des bas-fonds tourbeux et de larges ondulations aux pentes comprises entre 20 et 40 %. On observe également de nombreux petits lacs, témoins de l'action passée des glaciers. Cet étage est couvert uniformément par une formation herbacée d'altitude (*Stipa ichu*) appelée *páramo*. Les risques de gelée sont de plus en plus importants à cette altitude tout au long de l'année. Au-delà de 4 200-4 400 m, la végétation disparaît pour laisser place à la roche puis aux neiges pérennes.

Avant les pénétrations successives des fronts de colonisation, ces types de végétation spontanée occupaient l'espace de façon plus homogène et procuraient ainsi aux sols une protection efficace. Des observations de terrain réalisées de nos jours, entre 3 200 et 4 000 m, dans des zones encore vierges de toute pression humaine, dans des conditions comparables à celles qu'on pouvait trouver à cette époque, confirment cette hypothèse. Lorsque l'érosion est présente, ses manifestations sont localisées et contribuent à la dynamique d'un écosystème en déséquilibre naturel (DE NONI et VIENNOT, 1985). En milieu humide (précipitations supérieures à 1 500 mm/an), des mouvements de masse, localisés et discontinus sont à l'origine de la formation de petits abrupts semi-circulaires (« loupes de glissement ») qui se développent à partir de ruptures de pente importantes, supérieures à 50 %. Ils se produisent, par exemple, à l'intersection du plan incliné du versant et de la paroi abrupte d'une gorge ou à la suite d'une discontinuité lithologique. Les processus dus au ruissellement ont

peu d'impact grâce à la bonne couverture végétale, et les excédents d'eau se concentrent rapidement dans les très nombreuses gorges, témoins des débâcles interglaciaires. En milieu plus sec (précipitations inférieures à 1 500 mm/an), le ruissellement semble plus développé car le modelé est creusé, sur le pourtour des gorges, par un réseau dense de ravines. Ces manifestations, ainsi que celles plus localisées de déflation d'origine éolienne, restent cependant normales et conformes à ce type de climat. On observe, en effet, de petites accumulations de sable volcanique (« rebdous » ou « nebkas ») piégées contre les parois rocheuses ou par la végétation ainsi que des « yardangs » de taille moyenne. À partir de 4 000-4 200 m intervient l'influence du système périglaciaire dont l'action reste cependant limitée en raison de la situation équatoriale de cette montagne où le rythme des alternances gel-dégel est plus sensible aux amplitudes diurnes qu'au changement de saison (champs de « thufurs », reptation lente du sol).

### Les mutations agraires et la délocalisation du minifundio

Durant près de cinq siècles, les structures agraires, héritées de la conquête espagnole, ont peu évolué et sont restées figées sur le modèle de l'hacienda dominant un minifundio assujéti. Au cours des trente dernières années, ces structures ont éclaté avec l'installation du minifundio sur les versants et les hautes terres. Face au mécontentement social alimenté par une forte croissance démographique (la population a été multipliée par dix en un siècle), mais aussi avec l'émergence pour l'État équatorien d'autres centres d'intérêt (cultures d'exportation sur la côte et pétrole amazonien), une loi de réforme agraire est promulguée en deux fois, 1964 et 1974. Celle-ci abolit l'état de servitude (le *huasipungo*) auquel est soumise l'abondante main-d'œuvre des haciendas et demande aux grands propriétaires terriens de renoncer à leurs privilèges féodaux et de faciliter la cession de terres au petit paysannat. Le *huasipungero* devient donc un homme libre et propriétaire d'un terrain mais dans des conditions particulièrement difficiles. En effet, les *hacendados* bloquent l'attribution des bonnes terres (bassins et bas de versant), même non utilisées, et provoquent ainsi un transfert massif de population vers les versants puis les hautes terres. Le processus de mutation est en cours ; dès le départ il confine le minifundio à la marginalité : d'un point de vue agronomique d'abord, car la nature est plus contraignante à cette altitude que dans les zones plus basses (1 500-3 000 m) où le petit paysan avait appris à cultiver la terre ; d'un point de vue socio-économique ensuite, considérant que ces hautes terres sont éloignées des circuits commerciaux traditionnels et difficiles d'accès (DE NONI, 1986).

La « délocalisation » du minifundio en altitude a contribué à modifier profondément les caractéristiques initiales de la végétation naturelle ainsi que le mode de fonc-

tionnement de l'écosystème. Cette évolution a donné lieu à la création d'un damier très dense de parcelles de culture de subsistance, la vente au marché n'étant envisagée qu'exceptionnellement, lorsqu'il y a des surplus de récolte. L'élevage est peu répandu car, face au manque de terres, il est pratiqué sur des terres de parcours en indivision ; en outre, son développement est tributaire d'investissements de capitaux qui ne sont pas actuellement disponibles dans le minifundio. Les surfaces cultivées sont en général inférieures à 20 ha, la taille moyenne étant de l'ordre de 5 ha et la parcelle unitaire dépassant rarement 1 ha. Il n'y a aucune limite de pente pour cultiver, si ce n'est l'absence de sol sur le versant. En fonction du gradient altitudinal, on peut distinguer plusieurs grands types de terroir (DE NONI et VIENNOT, 1990).

Les terroirs de versant (entre 3 000-3 200 m et 3 600 m) sont identifiables dès que la pente augmente (plus de 20 %), au-dessus des glacis-terrasses ou des cônes de déjections qui forment contact avec les bonnes terres des bassins. La culture principale est le maïs, associé fréquemment au haricot grimpant et plus localement à la fève, entre 3 000 et 3 200 m. Plus haut sur le versant, le minifundio est tout aussi dense et oriente sa production vers l'orge, la pomme de terre, la fève, le lupin, le quinoa, et localement l'oignon ; car le maïs a dépassé sa limite altitudinale maximale. Le minifundio continue l'installation de nouvelles parcelles malgré le compartimentage de certains versants en un réseau dense de profondes gorges (des pentes dépassant 70 %, voire de 100 %, et des sols peu épais).

À partir de 3 600 m, sur les hautes terres, les cultures avancent progressivement. C'est un monde en pleine mutation où ne cesse de s'étendre, tant qu'il y a de l'espace, la frontière agricole. Le réseau de parcelles est moins dense pour l'instant que sur les versants plus bas et la pomme de terre est cultivée jusqu'à 3 800 m. Pour les plus nantis, on observe localement la présence d'un élevage extensif d'ovins et de caprins, parfois de lamas, qui atteint 4 400 m. Bien que les pentes soient un peu moins fortes (inférieures à 40 %), les conditions climatiques y sont plus rudes. L'habitat est exclusivement indigène et les parcelles sont de petite taille.

Sur la carte du bassin de Cayambe (fig. 1) élaborée à partir de cartes thématiques et de photographies aériennes couvrant pratiquement une période d'un demi-siècle, la légende met en relief les conséquences des mutations agricoles sur les versants et les hautes terres. On note clairement que le minifundio occupe massivement, à partir de 3 000-3 200 m, les terroirs de versant cédés par les haciendas durant la réforme agraire, celles-ci se cantonnant sur les bonnes terres du bassin (2 800-3 000 m). On remarque, enfin, que le minifundio progresse en altitude, jusqu'à 3 600 m, aux dépens des formations végétales naturelles, *matorral* et *páramo*.

## LES CONSÉQUENCES DES MUTATIONS SUR LES HOMMES ET LE MILIEU

### Sur les hommes

La Sierra est la région du pays où la pression de l'homme sur la terre est la plus forte. Les études de distribution de la population (DELAUNAY, 1989) montrent en effet que c'est dans la Sierra que l'on observe les plus fortes densités rurales. Celles-ci peuvent varier de 50 habitants au kilomètre carré à plus de 200 habitants, comme par exemple dans la région d'Ambato (province de Tungurahua).

En règle générale, les fortes densités de population correspondent au minifundio. Les recensements agricoles réalisés par le ministère de l'Agriculture permettent de regrouper les unités de production par grande classe de taille et d'évaluer leur importance en nombre et en superficie. Les principales données existantes ont été regroupées dans le tableau I.

TABLEAU I

La structure agraire en Équateur de 1954 à 1985 : nombre d'exploitations et superficie (en pourcentage de la superficie totale)  
*Farming structure in Ecuador (1954 to 1985) : number of farm and area (in percent of the total area)*

Taille en hectares	1954		1974		1985	
	nombre	superficie	nombre	superficie	nombre	superficie
< 20	90	17	85	18	84	21
20 - 100	8	18	13	34	15	44
> 100	2	65	2	48	1	35

On remarquera que, quelles que soient les années considérées, les petites propriétés, de 0 à 20 ha, sont largement majoritaires : elles regroupent plus de 80 % des unités de production. Ces données montrent également une inégalité très marquée dans la distribution des superficies par taille d'exploitation, le minifundio n'occupant guère dans le meilleur des cas, en 1985, que 20 % des terres agricoles, ce qui entraîne une pression d'autant plus forte de l'homme sur le sol.

L'occupation actuelle des sols est un bon indicateur de l'inégalité qui oppose haciendas et minifundios depuis la réforme agraire, et révèle une situation agronomique paradoxale. D'une part, on trouve les haciendas qui sont tournées principalement vers l'élevage et qui sont installées sur les terres planes, facilement exploitables, des bassins interandins. Leur gestion du cheptel bovin est très extensive et vise à occulter la présence de terres inexploitées afin d'éviter l'extension du minifundio dans cette partie de la Sierra : c'est ainsi que le nombre de têtes par hectare est passé de 1,1 en 1972 à 0,7 en 1985 alors que, pendant la même période, la superficie des pâturages aug-

mentait considérablement. D'autre part, on constate, avec la mutation du minifundio en altitude, que les cultures ont disparu quasi complètement des bassins et se trouvent dorénavant sur les versants et les hautes terres, où l'agriculture est confrontée à des contraintes agronomiques importantes.

Malgré les efforts du petit paysan pour orienter le minifundio vers les cultures alimentaires de base — céréales (maïs, blé et orge) et tubercules (pomme de terre) —, la situation actuelle est précaire. Selon les régions, l'autoconsommation est à peine garantie ; quant aux excédents de production, ils sont rares et tributaires d'une année agricole exceptionnelle et ils se heurtent parfois, comme nous le verrons ci-après pour le blé, à des systèmes de subventions gérés par l'État. Les données du ministère de l'Agriculture sur l'évolution de la production agricole au cours des quinze dernières années illustrent parfaitement cet état de crise (tabl. II).

TABLEAU II  
La production agricole dans la Sierra de 1970 à 1985  
(en milliers de tonnes)  
*Agricultural production in the highlands from 1970 to 1985*  
(in thousands of metric tons)

Cultures	1970	1975	1980	1985
Orge	79	63	24	27
Maïs	168	90	45	35
Blé	81	64	31	18
Pomme de terre	542	499	323	423

On notera que la baisse de la production agricole est générale et vertigineuse pour toutes ces cultures entre 1970 et 1980. Elle est moins marquée entre 1980 et 1985, période durant laquelle on observe même une légère reprise de la production d'orge et un accroissement net pour la pomme de terre. Il semblerait que le palier inférieur de production ait été atteint par ces deux cultures au cours de la décennie précédente. Par contre, la production de maïs continue à décroître et la chute de celle du blé est toujours aussi spectaculaire, même si cela peut s'expliquer par un transfert vers l'amont de l'agriculture vivrière. Cette dernière culture, par exemple, a subi les contrecoups de choix politiques qui ont nui aux intérêts du minifundio. Au cours de la décennie passée, l'État a opté pour une politique d'importation de blé en provenance des USA et de subventions des grains auprès des distributeurs locaux. En 1985, la tonne de blé en provenance des USA coûtait 21 351 sucres (1 dollar = 120 sucres à cette époque) à l'État équatorien qui le revendait aux distributeurs locaux à 11 942 sucres. L'État prenait donc à sa charge une subvention de 9 409 sucres, soit 44 % du prix initial de la tonne (PELTRE-WURTZ, 1989).

Le minifundio ne peut lutter devant une telle disparité et éprouve, dans ce contexte, d'énormes difficultés pour s'affranchir de la misère et de la dépendance alimentaire. On estime que 90 % environ des familles du minifundio se trouvent dans des conditions de « pauvreté absolue » (moins de 2 500 calories et 45 grammes de protéines par personne et par jour).

### Sur le milieu

Confrontés, sur des parcelles en général exiguës, à des contraintes naturelles importantes, les hommes du minifundio sont tenus, pour survivre, de travailler très intensivement le sol. Dans ces conditions, l'érosion anthropique se développe très rapidement et elle est d'autant plus active qu'elle se manifeste dans un milieu non aménagé.

L'étude cartographique réalisée conjointement par l'Orstom et le ministère équatorien de l'Agriculture sur « Les principaux processus d'érosion en Équateur » (ALMEIDA *et al.*, 1984), permet d'estimer que globalement 50 % de la superficie du pays est affectée par des processus de dégradation. La Sierra est la région la plus touchée, en particulier les zones situées sur les versants et les hautes terres des cordillères où se développe une érosion active, par ruissellement concentré, à mesure que se déplace le front de colonisation agricole.

En 1986, l'Orstom a participé à l'installation de stations de mesure du ruissellement sur des sols agricoles (DE NONI *et al.*, 1986, 1989-1990). Parmi les sites d'étude, ceux de Riobamba et de Mojanda sont représentatifs des conditions que connaissent les communautés agricoles organisées en minifundio. La station de Riobamba est située à Tuntacta, à 3 400 m d'altitude, sur une portion de versant dominée par les glaciers du grand volcan Chimborazo (6 310 m). Les sols, d'origine volcanique, se sont formés à partir de pyroclastites, de coulées ou de matériaux morainiques et dans des conditions de climat tempéré froid et humide. Ce sont des sols sablo-limoneux riches en verres à profil peu différencié A/C, pauvres en matière organique, désaturés en A et au sommet de C = andosols vitriques à horizon A désaturés (QUANTIN, 1992) ou lithic Udivitrands (Soil Survey Staff, 1975 ; ORTIZ-SOLORIO, 1990). Ils ont une capacité de rétention en eau de l'ordre de 20 %, une densité apparente faible mais supérieure à 1 ; à peine structurés, ils sont sensibles à l'érosion éolienne dans les zones à microclimat plus sec.

La station de Mojanda est localisée à Santa Mónica, à 3 300 m d'altitude. Elle est installée sur le versant oriental d'un vieil édifice volcanique qui culmine à près de 4 500 m ; en contrebas s'étendent les haciendas d'élevage du bassin de Quito-Cayambe. Les sols sont également d'origine volcanique et développés sous climat tempéré froid et humide, riches en matière organique. Ce sont des mollisols argileux épais formés aux dépens de cendres et ponces, ils sont riches en halloysites = sols brunifiés des

pays tropicaux, sols bruns dystrophes andiques ou halloy-sitic Argiudolls, et situés entre des Melanudands à l'amont (au-dessus de 3 500 m) et des mollisols à montmorillonite à l'aval (en dessous de 3 000 m). Ils ont une capacité de rétention en eau supérieure à 20 %, une densité apparente proche de 1 ; ils sont bien structurés en agrégats stables de 0,5 cm qui deviennent millimétriques sous culture et en cas de dessiccation.

À Riobamba comme à Mojanda, les unités de production familiales ont une superficie comprise entre 1 et 5 ha et occupent des terroirs de versant dont la pente est en général supérieure à 40 %. Elles sont morcelées en champs de quelques ares à un hectare où plusieurs systèmes de tenure coexistent. C'est le domaine du minifundio, avec sa mosaïque typique de petites parcelles irrégulières, son aspect hétérogène dû à la coexistence de nombreuses cultures vivrières (souvent au sein de la même parcelle) et de prairies naturelles, parfois pâturées. Les parties boisées sont réduites et l'on note dans le même temps une disparition du *matorral* qui n'occupe plus que les zones éloi-

gnées, trop déclives ou non cultivables. En outre, on constate, de façon généralisée et préoccupante, la disparition des limites du parcellaire, afin d'optimiser les labours au tracteur dont l'utilisation ne semble guère justifiée, au demeurant, sur ces fortes pentes. Au-dessus de 3 800-4 000 m, le *páramo* est largement prédominant mais laisse entrevoir néanmoins l'introduction localisée de parcelles de culture.

Pour mesurer l'érosion sur les sites de Riobamba et de Mojanda, les stations sont équipées de parcelles de ruissellement de 100 m<sup>2</sup> (5 m x 20 m). Elles sont de deux types : parcelle sur labour à plat, sans culture, pour simuler, quelle que soit la saison, le comportement du sol au moment du semis dans un environnement où la culture est continue et la jachère très irrégulière (situation proche du protocole défini par WISCHMEIER et SMITH, 1978) ; parcelle sous culture traditionnelle : pomme de terre, orge et fève. Les données obtenues apparaissent dans le tableau III. Ces résultats appellent plusieurs remarques.

TABLEAU III  
Pertes en terre (t/ha), période 1986-1990  
*Sediment loss (t/ha) from 1986 to 1990*

Année	Mojanda			Riobamba		
	Pluviosité annuelle (mm)	Pertes en terre (t/ha)		Pluviosité annuelle (mm)	Pertes en terre (t/ha)	
		sol cultivé	sol nu		sol cultivé	sol nu
1986 - 87	669	1,2	5,6	724	1,7	66,7
1987 - 88	843	0,7	113,7	751	52,6	179,6
1988 - 89	1 246	0,4	115,3	997	6,2	19,8
1989 - 90	815	0,1	166,3	501	9,6	48,5

Les effets de l'érosion sont manifestes :

— sur le sol cultivé, l'érosion est faible à Mojanda (< 1 t/ha/an), modérée à forte à Riobamba (2 à 10 et même 52 t/ha/an) ;

— sur le sol nu, l'érosion est très forte à Mojanda (atteignant 110 à 170 t/ha/an), très forte également à Riobamba (50 à 180 t/ha/an).

L'irrégularité interannuelle des manifestations érosives est générale : les résultats montrent des variations considérables d'une année à l'autre. C'est ainsi que, par rapport à 1986-1987, on observe en 1987-1988 trente fois plus de terre perdue à Riobamba sur le sol cultivé et, pour la même période, vingt fois plus de terre perdue à Mojanda sur le sol nu.

Pour une pente moitié moins déclive, l'érosion et le ruissellement annuels sur le sol cultivé peuvent être plus forts à Riobamba ; pour l'année 1987-1988, l'érosion est de 53 t/ha/an avec un coefficient de ruissellement (K) de 15 % ; à Mojanda, en revanche, l'érosion ne dépasse pas 1 t/ha avec un K de 1 % ; cependant, sur le sol nu, les pertes en terre cumulées pour la période sont supérieures à Mojanda : respectivement 402 t/ha contre 315 t/ha.

Le sol de Riobamba est donc plus érodible que celui de Mojanda, mais les pluies sont plus érosives à Mojanda qu'à Riobamba.

Pour expliquer cette situation, il est nécessaire d'évaluer pour ces deux sols, d'une part, leur comportement intrinsèque (« érodibilité ») à l'agressivité de la pluie (« érosi-



« vité ») et, d'autre part, l'influence des pratiques culturales (« érodabilité ») sur leur comportement. En premier lieu, dans l'hypothèse où l'on établit une possible liaison entre érosivité et érodabilité, nous avons regroupé, dans les tableaux IV et V, les pluies par classe d'intensité maximale durant 30 minutes ( $I_{30}$ ) :

TABLEAU IV  
Nombre de pluies, période 1986-1990, classées par intensité en 30 minutes  
*Number of rainfall (1986 to 1990) at Mojanda sorted according to 30 minutes maximum intensities*

MOJANDA											
Classe mm	1 5	5 10	10 15	15 20	20 25	25 30	30 35	35 40	40 45	45 50	Intensité maximale (mm/h)
1986 - 87	40	17	8	2						1	53,8
1987 - 88	112	43	17	3	4	1	2				32,8
1988 - 89	149	52	17	8	3	2	1				33,0
1989 - 90	96	31	11	4	2		1		1		48,8
Total	397	143	53	17	9	3	4		1	1	53,8

TABLEAU V  
Nombre de pluies, période 1986-1990, Mojanda, classées par intensité maximale en 30 minutes  
*Number of rainfall (1986 to 1990) at Riobamba sorted according to 30 minutes maximum intensities*

Riobamba											
Classe mm	1 5	5 10	10 15	15 20	20 25	25 30	30 35	35 40	40 45	45 50	Intensité maximale (mm/h)
1986 - 87	23	7	2	1	2	1					26,0
1987 - 88	110	37	11	7	3	3	2				34,2
1988 - 89	80	26	8	5	5						24,4
1989 - 90	47	6	6	5		1					40,8
Total	260	76	27	18	10	5	2				40,8

Globalement, pour les deux sites, les intensités sont faibles : elles se regroupent massivement dans les classes inférieures à 10 mm ; seules quatre pluies sont supérieures à 35 mm à Mojanda et aucune à Riobamba. Ces valeurs ne permettent donc pas d'attribuer aux seules intensités le comportement érodable de ces sols. En revanche, l'influence des pratiques culturales associées, tant à Mojanda qu'à Riobamba, à une pression très forte de l'homme sur les sols permet de caractériser le comportement du sol à l'érosion en fonction du type de travail qui lui est appliqué. Sur le sol cultivé, avec un labour profond isohypse, l'érosion ne dépasse pas, pour toute la période, 20 t/ha (2 t/ha à Mojanda et 17,5 t/ha à Riobamba si l'on excepte l'érosion exceptionnelle de l'année 1987-1988). Sur le labour à plat, traditionnellement utilisé par exemple pour l'orge qui fait partie des rotations culturales majeures, l'érosion, pour cette même période, évolue dans le même sens pour

les deux sites et est supérieure à 300 t/ha, soit près de quinze fois plus que sur l'autre traitement. Cela confirme que, parmi les cultures majeures de la zone, l'orge est la plus sensible à l'érosion. Par ailleurs, ces résultats ne correspondent qu'à des épisodes pluvieux ayant provoqué l'exportation de l'eau de ruissellement et de la terre dans les bacs de sédimentation situés au pied de la parcelle et ne prennent pas en compte les déplacements de terre, plus lents, que l'homme peut provoquer en « conditions sèches ». Ce type d'érosion particulier, induit par des labours profonds, manuels ou mécaniques, conduit également, malgré l'absence de pluie, à des déplacements de volumes importants de terre. Des observations complémentaires effectuées à Mojanda, hors des parcelles de 100 m<sup>2</sup>, montrent que les déplacements de terre les plus importants sont à attribuer au travail du sol et qu'ils peuvent être de l'ordre de 40 tonnes par hectare et par an.



TABLEAU VI  
Coûts de construction et d'entretien des ouvrages, période 1986-1990  
*Cost for construction and maintenance of soil conservation works (1986 to 1990)*

Année	Talus en mottes herbeuses « chambas »			Murets en blocs de cendre indurée			Bandes enherbées	
	Nombre de jours-homme (j/h) et type de travaux	Coût (sucre) pour 20 m linéaires	coût / ha (sucre)	Nombre de jours-homme (j/h) et type de travaux	Coût (sucre) pour 20 m linéaires	Coût / ha (sucre)	Nombre de jours-homme (j/h) et type de travaux	Coût / ha (sucre)
1	1j/h piochage 2j/h pose de 2 rangs	2 625	131 250	2j/h défonçage 3j/h transport + pose de 2 rangs	4 375	218 750	3j/h tracé des bandes et semis	46 000 dont 25 000 semences
2	idem	2 625	131 250	idem	4 375	218 750	2 j/h entretien  + 3 coupes par an	84 000
3	1j/h piochage 1j/h pose de 1 rang	1 750	87 500	1j/h défonçage 2j/h transport + pose de 2 rangs	2 625	131 250		84 000
4	idem	1 750	87 500	idem	2 625	131 250		84 000
5	1j/h entretien		21 000	1j/h entretien		31 000		84 000
Coût total pour la période		458 500 soit 1 310 FF		721 000 soit 2 060 FF			382 000 soit 1 091 FF	

irréversible l'équilibre de l'écosystème. En fait, l'érosion anthropique a débuté en deçà de 3 200 m, dans le bassin interandin et sur les parties basses des versants, en liaison avec l'installation des premières vagues de migrants. Elle a provoqué le décapage du sol sur de grands espaces et le départ des agriculteurs vers les régions hautes. Actuellement, 20 % (3 000 km<sup>2</sup> environ) de la surface de la région volcanique interandine sont occupés par une cendre volcanique indurée, la *cangahua*, stérile en l'état pour l'agriculture. Des essais de réhabilitation, menés parallèlement en Équateur et au Mexique, où l'on retrouve une formation « *tepetate* » aux caractéristiques très proches de celles de la *cangahua*, montrent qu'il est possible de récupérer ce matériau pour la culture (DE NONI *et al.*, 1994). Pour rendre un sol de nouveau apte à la culture et obtenir des rendements corrects, il est nécessaire :

— de pulvériser le sol induré (pour le moins sur une vingtaine de centimètres) et d'installer sur la parcelle des ouvrages conservatoires pour freiner le ruissellement car l'horizon résultant de cette opération est devenu pulvérulent et très érodible ;

— de corriger par une fertilisation chimique les carences initiales de ces sols en azote et en phosphore.

Le coût global d'un projet de réhabilitation de ce type est bien plus élevé qu'une opération de conservation des sols, mis à part la construction et la gestion des ouvrages conservatoires (murets en blocs de *cangahua*) dont le coût est équivalent aux estimations affichées dans le tableau VI. L'augmentation de coût est due principalement aux tra-

voux de pulvérisation qui nécessitent sur de grandes surfaces l'utilisation d'engins mécaniques, et à l'achat de fertilisants. Au Mexique, on estime qu'il faut huit années normales de culture pour que l'agriculteur puisse amortir les dépenses correspondantes (QUANTIN, 1992). Pour les petits agriculteurs, l'aide de l'État est absolument nécessaire pour garantir, à l'échelle régionale, le succès des projets de réhabilitation.

L'installation du minifundio sur les versants et les hautes terres andines pose le problème de la durabilité de ces nouveaux agrosystèmes car l'érosion accélère, depuis deux décennies, la dégradation des ressources naturelles au détriment des générations actuelles et futures. Cette situation n'est pas seulement le résultat des contraintes naturelles imposées à l'homme par le massif montagneux des Andes, elle est aussi la conséquence de l'évolution sociale et historique du pays, qui s'est traduite par la mutation et la délocalisation du minifundio en altitude. Dans le contexte actuel, l'extension spatiale des phénomènes de dégradation est rapide et fait diminuer à mesure l'espérance de durabilité de ces agrosystèmes. Aussi, afin d'éviter d'avoir recours, comme pour les terres de *cangahua* situées plus bas, à des aménagements coûteux de réhabilitation, il est nécessaire d'intervenir avant qu'il ne soit trop tard et d'engager à cet effet une véritable concertation entre « minifundistes », chercheurs-techniciens et décideurs politiques. Ce n'est qu'à ce prix que l'État équatorien pourra s'engager et s'investir aux côtés du petit paysannat pour constituer une agriculture durable de montagne.

## BIBLIOGRAPHIE

- ALMEIDA (G.), DE NONI (G.) *et al.*, 1984 — *Los principales procesos erosivos en Ecuador*. Quito, Pronareg-Pronacos-Orstom, 31 p.
- DELAUNAY (D.), 1989 — « Espacios demográficos y redes migratorias ». Quito, Corporación Editora Nacional/Colegio de Geógrafos del Ecuador, coll. Études de géographie : 71-98.
- DE NONI (G.), 1986 — *Breve historia de la erosión en el Ecuador*. Quito, Cedig-Orstom, Documentos de investigación, 6 : 15-23.
- DE NONI (G.), VIENNOT (M.), 1985 — Estudio de algunos procesos de erosión en la Sierra volcánica del Ecuador (3 200 m-4 800 m). *Revista Colombiana de la Ciencia del Suelo*, 16 (1) : 23-31.
- DE NONI (G.), VIENNOT (M.), 1989 — Le projet DNA-Orstom sur l'étude de l'érosion et des pratiques de conservation des sols en Équateur. *Bull. Réseau Érosion*, 5 p.
- DE NONI (G.), VIENNOT (M.), 1990 — « De l'approximation cartographique aux réalisations de terrain : la lutte contre l'érosion agricole dans les Andes équatoriennes ». In : *Colloque sur les sociétés rurales de montagne (Andes et Himalaya)*, CNRS-Université de Grenoble : 61-65.
- DE NONI (G.), VIENNOT (M.), TRUJILLO (G.), 1986 — L'érosion et la conservation des sols en Équateur. *Cah. Orstom, sér. Pédol.*, 22 (2) : 235-245.
- DE NONI (G.), VIENNOT (M.), TRUJILLO (G.), 1989-1990 — Mesures de l'érosion dans les Andes de l'Équateur. *Cah. Orstom, sér. Pédol.*, 25 (1-2) : 183-196.
- DE NONI (G.), JANEAU (J.-L.), PRAT (C.), TRUJILLO (G.), VIENNOT (M.), 1994 — « Hydrodynamique, érodibilité et conservation des sols volcaniques indurés d'Amérique latine (Équateur, Mexique et Nicaragua) : impact du matériau originel et effet de la réhabilitation agricole ». In : *15<sup>e</sup> Congrès mondial de la science du sol*, vol. 6 a, ISSS-MSSS, Acapulco, Mexico : 554-570.
- ORTIZ-SOLORIO (C. A.), 1990 — *Claves para la taxonomía de suelos*. (Traduction : Agriculture Handbook n° 436, complété pour les andisols). Montecillo, Mexicó, CP et IMTA, 576 p.
- PELTRE-WURTZ (J.), 1989 — « El pan que comemos es estadounidense ». Quito, Corporación Editora Nacional/Colegio de Geógrafos del Ecuador, coll. Études de géographie : 7-16.
- QUANTIN (P.), 1992 — *Les sols de l'archipel volcanique des Nouvelles-Hébrides (Vanuatu). Étude de la pédogenèse initiale en milieu tropical*. Paris, Orstom, coll. Études et thèses, 498 p.
- QUANTIN (P.), 1992 — *Étude des sols volcaniques indurés « tepetates » des bassins de Mexico et de Tlaxcala (Mexique), en vue de leur réhabilitation agricole*. Rapport scientifique final, contrat CEE, 77 p.
- ROOSE (E.), 1994 — Introduction à la gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols (GCES). *Bull. Pédol. FAO*, 70, 420 p.
- Soil Survey Staff, 1975 — *Soil Taxonomy*. Washington, US Department of Agriculture, Agriculture Handbook n° 436, 754 p.
- WISCHMEIER (W. H.), SMITH (D. D.), 1978 — *Predicting rainfall erosion losses. A guide to conservation planning*. Washington, US Department of Agriculture, Agriculture Handbook n° 537, 58 p.

# Impact des minifundios d'altitude sur la durabilité des agrosystèmes andins : 277-288

Photos : G. De Noni



**Station de Riobamba (3 400 m),** sur des andosols vitriques. La végétation naturelle (*paramo*) a disparu et les cultures (ici récolte de l'orge) montent inexorablement à des altitudes inhabituelles. Au second plan, les neiges pérennes du volcan Chimborazo (6 310 m).



**Station de Mojanda (3 300 m),** sur des mollisols argileux. L'espace est utilisé par des parcelles de petite taille (ici préparation d'un labour pour le semis de la pomme de terre). Les parties boisées sont réduites alors que, à cette altitude, la végétation naturelle est constituée par une formation arbustive dense et fermée (*matorral*).



**En Équateur,** où les pierres et les cailloux sont rares et le bois utilisé à des fins domestiques ou de construction, les agriculteurs se servent des bandes enherbées entre les parcelles pour délimiter leurs propriétés.



**Dans l'état,** ces bandes enherbées sont peu efficaces pour lutter contre l'érosion. Mais lorsqu'elles sont disposées perpendiculairement à la plus grande pente, elles permettent de briser l'énergie du ruissellement et de piéger la plus grande partie de la terre. Le coût d'installation et d'entretien de cette technique est de l'ordre de 1 000 F/ha cumulés sur 5 ans.



**Pour réhabiliter** une formation volcanique induite comme la *cangahua*, il faut : 1° débiter le matériau en gros blocs (photo), 2° pulvériser ceux-ci pour pouvoir réaliser un lit de semence, 3° corriger par des amendements les carences chimiques initiales.



**Le coût d'un ouvrage** de réhabilitation est bien plus élevé qu'une opération de conservation. Une fois pulvérisée, la *cangahua* devient un matériau très érodible, d'où la nécessité de disposer une partie des blocs sur la parcelle pour créer des micro-barrages perméables.