

ETUDE DES FACTEURS DE L'EROSION HYDRIQUE SUR DES VERSANTS VOLCANIQUES CULTIVÉS : UNE REPOSE A UNE DEMANDE DE DEVELOPPEMENT

*G. De Noni et M. Viennot **

** Laboratoire de Comportement des Sols Cultivés (LCSC), ORSTOM, BP 5045,
34032 Montpellier cedex 1 (France)*

Résumé : l'étude menée par l'ORSTOM en Equateur, notamment dans la partie andine du pays, pose le problème de la durabilité des agrosystèmes d'une haute montagne tropicale soumise à une forte érosion accélérée des sols cultivés. La carte de l'érosion du pays montre qu'il existe trois dynamiques principales d'où ressort l'influence de l'érosion concentrée. Des mesures effectuées sur des parcelles de ruissellement indiquent pour leur part que les pertes en eau et en terre sont élevées, notamment sur les parcelles témoins non cultivées : KRM > 10% et perte en terre de l'ordre de 100 t.ha⁻¹. L'évaluation des facteurs explicatifs de l'érosion conduit à souligner le rôle prépondérant de la pente et celui de l'homme, notamment le petit paysannat ("minifundio") qui a subi de profondes mutations au cours des 3 dernières décennies et qui souffre d'un manque d'appui extérieur. L'exemple du site expérimental de Mojanda montre sur la base d'un travail concerté entre les différents acteurs qu'il est possible de réduire l'érosion (< 0,3 t.ha⁻¹) et le ruissellement (< 0,2%) à des coûts très bas, d'augmenter les rendements et d'appliquer les résultats de la recherche en vraie grandeur.

Mots clés : agrosystème, érosion concentrée, cartographie, parcelles de ruissellement, pente, facteur anthropique, conservation, durabilité, Andes, Equateur.

INTRODUCTION

L'Equateur est situé sur la façade pacifique du continent sud-américain et couvre une superficie de 270.670 km², soit la moitié à peine du territoire français. Le pays est traversé par la Cordillère des Andes et s'étend de part et d'autre de la ligne équatoriale sur 1°25' de latitude au nord et sur 5° de latitude au sud. Il est limité au Nord par la Colombie et, au Sud et à l'Est, par le Pérou.

Comme dans la plupart des pays en voie de développement, l'agriculture a été de tous temps pour l'Equateur l'activité principale qui a assuré la survie des populations. Malgré les initiatives de l'état pour diversifier l'activité économique d'une population en forte croissance démographique, la production agricole reste dominante et le pays n'a d'autre recours que de puiser encore d'avantage dans les potentialités offertes par la ressource sol, soumise dans ces conditions à une forte accélération de l'érosion.

1) POSITIONNEMENT ET INTERET DE L'ETUDE

L'Equateur est formé de 3 grandes régions géographiques qui sont :

- au centre du pays, la montagne andine appelée "Sierra", qui est divisée en deux cordillères parallèles séparées par une dépression. Cette dernière est subdivisée en une série de petits bassins, pour la plupart d'origine tectonique, qui s'étagent du nord au sud entre 1500 et 3000 m. (Sauer, 1965 ; Derruau, De Noni, 1979). Dans la partie nord et centre de la Sierra, depuis la frontière colombienne jusqu'à la zone de Alausi, soit sur les 2/3 environ de la région, les cordillères portent de hauts strato-volcans (4500-6000 m) qui ont émis de puissants dépôts pyroclastiques. Les sols sont des andosols qui se répartissent sur les versants en fonction de l'altitude.

Dans la partie sud de la Sierra, depuis la zone de Alausi jusqu'à la frontière péruvienne, les pyroclastites disparaissent. Le modelé est taillé dans les roches du socle sur les cordillères et dans des dépôts détritiques sédimentaires dans les bassins de la dépression. Les sols dominant dans cette partie de la Sierra sont des sols ferrallitiques et fersiallitiques sur les cordillères, et des sols molliques et vertiques dans la dépression ;

- à l'ouest de la Sierra, une façade côtière ("Costa") ouverte sur l'Océan Pacifique. En comparaison, la Costa présente de faibles altitudes (0-500 m) où prédominent deux types de paysages : des reliefs sédimentaires argileux et gréseux, modelés en une mosaïque de collines et de reliefs monoclinaux, et une vaste plaine alluviale qui se termine par le delta du "rio Guayas". Les principaux sols sont des sols ferrallitiques dans la zone nord humide et des sols vertiques et molliques dans les zones plus sèches du centre et du sud ;

- et à l'est de la Sierra, un vaste espace forestier qui fait partie du bassin amazonien, "l'Oriente", dont les altitudes sont comprises entre 200 et 600 m. La topographie est formée par un relief monotone de collines argileuses rouges disposées en demi-orange où dominant les sols ferrallitiques.

Depuis le début du siècle, ces 3 régions ont connu une forte croissance démographique, notamment en milieu rural, la population étant passée de 1 à plus

de 10 millions d'habitants aujourd'hui (INEC, 1991). Les défrichements ont augmenté considérablement durant la période, dans des conditions souvent difficiles (topographie, sols, climat, accessibilité) conduisant à l'érosion des sols. Alerté par l'évolution de cette situation, le gouvernement équatorien a donc recherché la collaboration d'une coopération étrangère. C'est ainsi que l'ORSTOM (Institut français de Recherche Scientifique pour le Développement en Coopération) est intervenu dans ce pays en collaboration avec le Ministère équatorien de l'Agriculture et de l'Elevage de l'Equateur (MAG), avec pour objectif, sur la base d'une analyse des manifestations et des facteurs de l'érosion accélérée des sols, de proposer une gestion mieux adaptée des agrosystèmes mis en cause.

2) L'EROSION DES SOLS CULTIVES EN EQUATEUR

Comme il n'existait aucune évaluation de l'état de l'érosion en Equateur, notre démarche s'est orientée vers les 2 approches suivantes :

- i) une approche qualitative pour établir un inventaire des dynamiques dominantes : typologie et extension spatiale,
- ii) une approche quantitative pour mesurer la gravité des dynamiques sur quelques sites représentatifs, choisis sur la base de l'inventaire initial. En terme de stratégie, l'objectif était d'identifier des projets-pilotes pouvant servir d'exemples pour informer et former le paysannat local à la lutte anti-érosive.

L'approche qualitative : une carte des principales dynamiques érosives affectant les zones agricoles du pays a été dressée. L'échelle initiale de la carte est 1/1.000.000, la carte présentée ici a été réduite à 1/4.000.000 (Almeida, De Noni et al., 1984). Cette carte souligne l'ampleur de l'érosion dans la Sierra par rapport à la Costa et à l'Oriente qui ne sont affectés que localement. Elle montre que les dynamiques forment un réseau dense de manifestations à l'intérieur de la Sierra, plus précisément dans la dépression inter-andine. Ce réseau est plus diffus sur les hautes terres et sur les versants externes tournés vers la Costa et l'Oriente, hormis le long des axes de communication qui traversent la chaîne et qu'utilisent de façon préférentielle les fronts pionniers de colonisation. Globalement, les empreintes de l'érosion semble plus dense dans la Sierra nord et centre, domaine des pyroclastites, qu'elle n'est dans la Sierra méridionale non volcanique.

Principales dynamiques érosives de la Sierra

| DYNAMIQUES | SUBSTRAT, SOLS, UTILIS. DES TERRES | | PENTES ET FORMES D'EROSION | |
|--|--|---|--|--|
| | Substrat volcanique | Roches du socle et sédimentaires | | |
| Ruissellement concentré relayé spatial. par Ruissellement diffus | - Pyroclastites sablo-ponceuses (Andosols vitriques) sur cangahua - Maïs (2500-3000 m), Orge, Fève, pomme de terre (3200-3600m) | | Pentes de 2/5 à 70% - Chevelu lâche rigoles + ravines sur pyroclas., - Chevelu plus dense, ravines entaillant pyroclast. + cangahua, Pentes de 5 à 40%) - R. diffus sur cangahua Pentes > 40% - Ravines localisées sur cangahua EVOLUTION VERS DECAPAGE GENERALISE DE LA CANGAHUA | |
| Ruissellement diffus relayé spatial. par Ruissellement concentré | | Altérites sur roches du socle (sols ferral. et fersial.) et dépôts de sable, argile, conglomé. (sols molliques) - Maïs, localement canne à sucre et café sur les cordillères (1500-3200 m) | Pentes de 5 à 15% - R. diffus sur sommet des versants, Pentes de 20 à 70%, - Chevelu dense rigoles + ravines sur partie rectiligne des versants Pentes de 10 à 20%, - Ravinement généralisé à la base des versants EVOLUTION VERS BAD-LANDS | |
| Ruissellement concentré relayé spatial. par Mouvements de masse | - Pyroclastites argileuses (Andosols molliques) sur cangahua - Pâturages (2500 -3200m) | Altérites sur roches du socle et couches d'argile (sols vertiques) - Pâturages (2000 -3000m) | Pentes 10/15%-40% | |
| | | | Substrat volcanique - Paquets de sol glissés, cisail. (mouv. masse superfi./reptation) - Talus d'érosion façonnés par R. concentré + ravinement EVOLUTION VERS DECAPAGE GENERALISE DE LA CANGAHUA | Socle+ dépôts - Niches de décollement + coups de cuiller (foirage en profondeur de l'argile) - Ravinement généralisé des zones arrachées EVOLUTION VERS BAD-LANDS |
| Ruissellement concentré relayé temp. par Erosion éolienne | - Pyroclastites de sables fins (Andosols vitriques) sur cangahua - Maïs (2500-3000 m)/Orge, pomme de terre (3200-3600m) | | Pentes de 5 à 40% (pluie < 600 mm/an, zones très exposées aux vents dominants (foehn) - Chevelu lâche, rigoles + ravines (sept-nov. et fév.-mai) - Nebkas, Rebdous, petites barkanes (déc.-jan. et juin-Août) EVOLUTION VERS DECAPAGE GENERALISE DE LA CANGAHUA | |

Trois dynamiques principales ressortent et révèlent l'influence de l'érosion concentrée dans la Sierra, ce sont :

- le ruissellement concentré relayé spatialement par le ruissellement diffus,
- les mouvements de masse relayés spatialement par le ruissellement concentré,
- et le ruissellement concentré relayé temporellement par l'érosion éolienne.

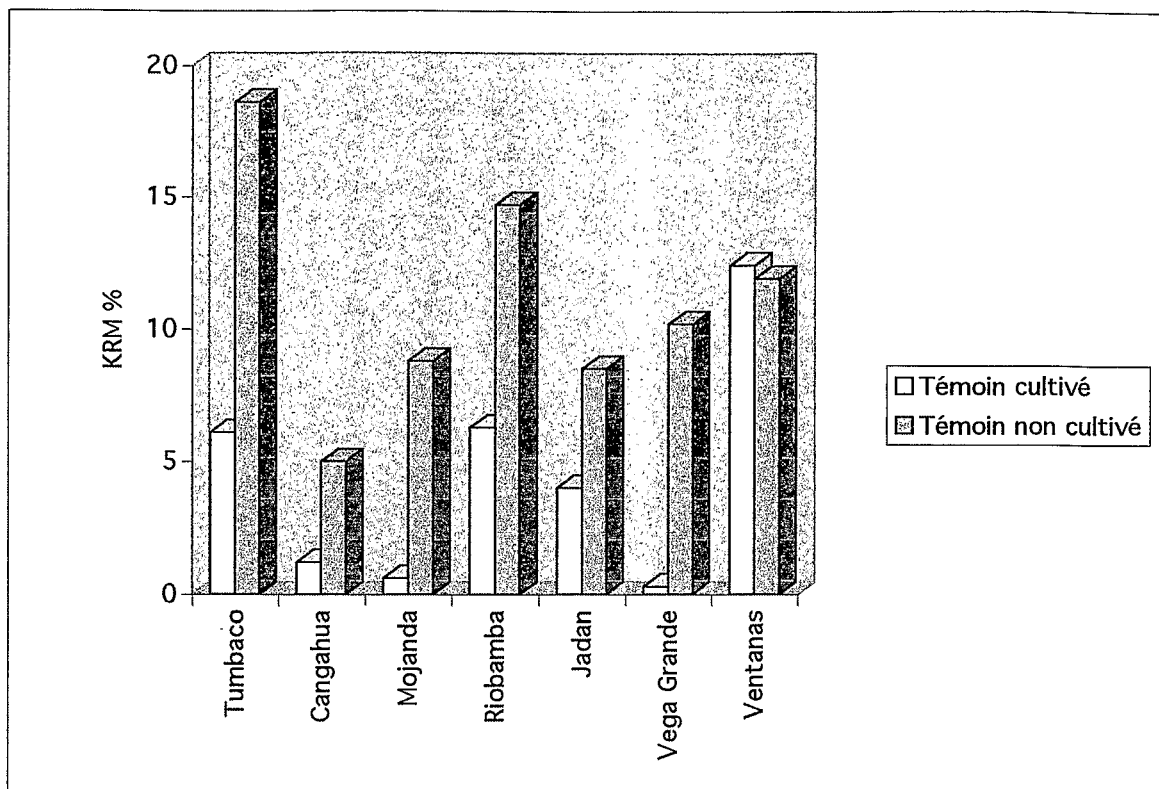
Les caractéristiques des principales dynamiques qui affectent la Sierra ont été récapitulées dans un tableau (voir page suivante). A côté des formes de ravinement relativement classiques (rigoles, ravines, bad-lands), l'érosion concentrée se distingue par sa capacité à faire affleurer en surface, sur de grandes étendues, une formation volcanique indurée très originale, typique des Andes équatoriennes, "la cangahua", matériau peu perméable, très ruisselant et stérile pour l'agriculture.

L'approche quantitative : Grâce aux enseignements de cette carte, 7 sites représentatifs ont été choisis dans la Sierra : Tumbaco, Cangahua, Mojanda, Riobamba dans la Sierra pyroclastique, Jadan et Vega Grande dans la Sierra non volcanique du Sud et Ventanas sur le piedmont du versant externe côtier. Sur chaque site, un couple de parcelles de ruissellement conventionnelles (bacs de récupération des eaux + pluviographes), situé chez le paysan, a été installé pour mesurer l'érosion. Les parcelles ont 100 m² (20 X 5 m) de surface : l'une (témoin cultivé) est travaillée et cultivée selon les pratiques locales ; l'autre (témoin non cultivé) est travaillée mais ne porte ni végétation ni culture. Les valeurs moyennes par site des coefficients de ruissellement (KRM %) et de l'érosion (Er. t.ha⁻¹) pour toute la période d'expérimentation (1986-91) ont été exprimées sous la forme de deux histogrammes (fig. 1). Globalement pour toutes les sites, les pertes en eau et en terre sont élevées, notamment sur les parcelles témoins non cultivées : KRM > 10% et perte en terre de l'ordre de 100 t.ha⁻¹ (De Noni, Viennot, Trujillo, 1986).

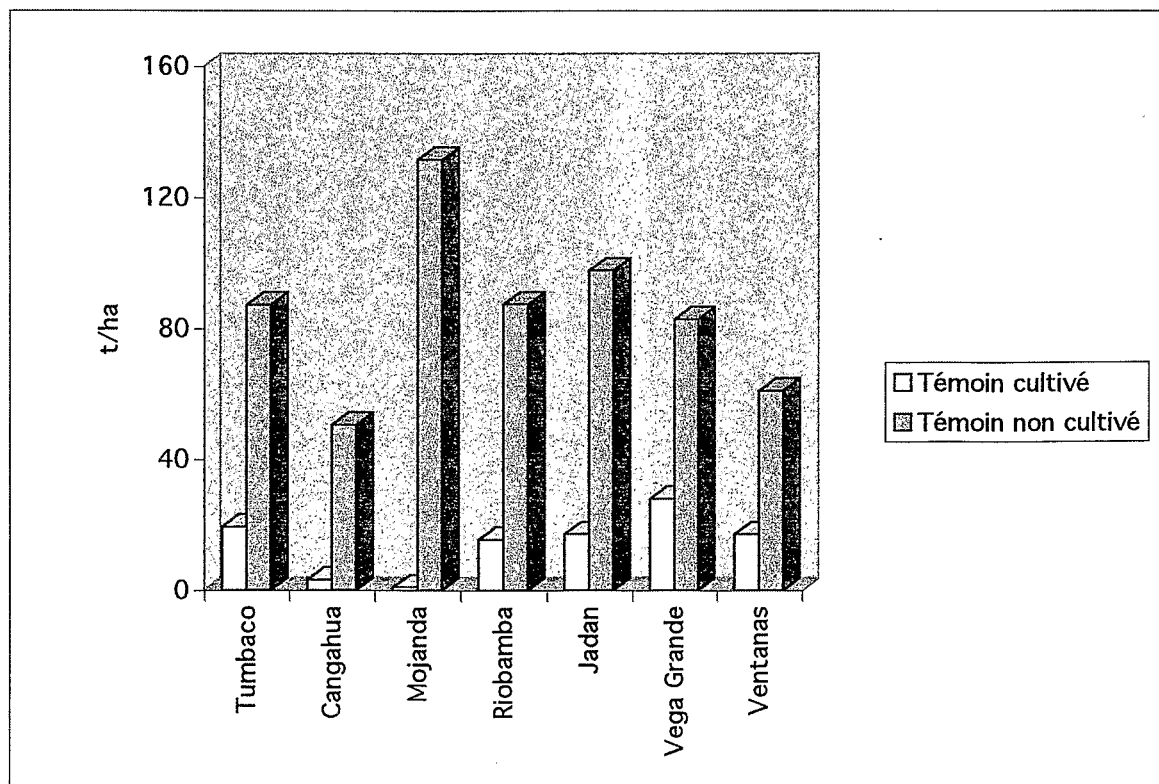
3) LES FACTEURS EXPLICATIFS DE L'ÉROSION DANS LA SIERRA

Concernant les causes de l'érosion dans la Sierra, deux facteurs explicatifs ressortent : le rôle de la pente dans un cadre physique particulier de haute montagne tropicale ainsi que le contexte socio-économique spécifique de la Sierra caractérisé par une évolution historique qui a provoqué de profondes modifications sociales au sein du paysannat. Pour les autres facteurs physiques, aucune relation probante n'a été trouvée entre les constituants du sol et les pertes en terre et en eau si ce n'est l'absence de sélectivité texturale entre le sol "in situ" et

Coefficients annuels moyens de ruissellement (1986-91)



Pertes en terre annuelles moyennes (1986-91)



les sédiments érodés ; quant aux précipitations, leur agressivité est faible par rapport à d'autres milieux tropicaux. Les valeurs de l'indice d'érosivité, calculées selon Wischmeier et Smith (1978), fluctuent entre 60 et 100 qui sont des valeurs rencontrées généralement en zone tempérée.

3.1) Le rôle de la pente

L'examen de la distribution spatiale des pentes montre l'importance de cet élément dans la constitution du relief de la Sierra par rapport aux deux autres régions. Pour illustrer cet état du milieu physique, une carte des pentes de l'Equateur, à l'échelle de 1/4.000.000, a été réalisée. Le zonage des pentes ainsi obtenu montre que les pentes supérieures à 25 % sont très largement dominantes. En superposant à la carte des pentes, une carte de densités de population et une carte des grands types d'occupation du sol, un certain nombre d'informations ressortent :

- i) les densités de population les plus fortes, comprises entre 80 et 150 hab./km² se situent principalement dans les zones où les classes de pente sont comprises entre 25 et 40 % et supérieures à 40% ;
- ii) ces densités de population correspondent à des milieux où l'occupation des sols est consacrée à l'agriculture alors que, paradoxalement, les pâturages se situent sur les meilleures terres (< 12 % de pente), en général dans les fonds de vallée.

Les données chiffrées obtenues sur les parcelles de ruissellement montrent également le rôle de la pente. Les seules régressions satisfaisantes ont été obtenues en corrélant les valeurs globales d'érosion mesurées sur les sept stations et l'inclinaison de leurs pentes. Elles montrent qu'existe une dépendance fonctionnelle entre les deux variables, l'érosion croissant de façon linéaire avec l'inclinaison de la pente. Plus de 60 % des variations de l'érosion s'expliquent par les variations de l'inclinaison de pente ($r=0,78$, significatif au seuil de 1 %). Cette conclusion rejoint un certain nombre de travaux, notamment ceux de Poesen (1987), Lal (1988) Hudson (1992), Roose (1981, 94), qui montrent également que l'érosion croît avec l'inclinaison de la pente car l'énergie cinétique du ruissellement augmente et l'emporte sur l'énergie cinétique des pluies dès que les pentes dépassent 15 %, ce qui est bien le cas des sept stations étudiées.

3.2) Le rôle de l'homme

En règle générale, les Andes sont souvent prises en exemple pour illustrer le cas d'une montagne perçue comme "maniable" (étagement peu commun d'agrosystèmes sur près de 4000 m de dénivellation) et "maîtrisable" (façonnement des versants en "andenes" par les sociétés précoloniales).

Ces appréciations méritent, néanmoins, d'être nuancées en partie aujourd'hui. Outre le choc culturel provoqué par la conquête espagnole au XVI^{ème} siècle, se développèrent à partir des années 1960 de profondes mutations affectant la répartition spatiale de la population. Pendant près de cinq siècles, l'occupation des terres a été détenue par de grands domaines, "haciendas ou latifundios", hérités de la conquête espagnole et fondés sur l'emploi d'une importante main-d'oeuvre servile formant une structure particulière, le "minifundio". A partir des années 60, le mécontentement social, alimenté par une forte croissance démographique, conduisit à la promulgation d'une loi de réforme agraire. Celle-ci permit d'abolir l'état de servitude du "minifundio" et contraignit les grands propriétaires terriens à renoncer à leurs privilèges féodaux et à faciliter la cession de terres aux petits paysans qui retrouvaient ainsi un statut "d'homme libre". Néanmoins, les bonnes terres ne furent pas cédées et on assista à un transfert massif de population sur les versants puis sur les hautes terres. Le processus majeur de mutation était en cours et dès son départ, il confinait le minifundio à la marginalité.

Progressivement, le minifundio a créé sur les versants un damier très dense de petites parcelles de cultures, situés dans des conditions physiques difficiles (pentes, sol peu épais, climat froid) et consacrées principalement à l'autosubsistance (orge, fève, pomme de terre). L'élevage est peu répandu : son développement est limité tant par le manque de capitaux nécessaires au paysan pour acheter des bêtes que par l'exiguïté des parcelles. Les surfaces cultivées sont en général inférieures à 20 ha, la taille moyenne étant de l'ordre de 5 ha et la parcelle unitaire dépasse rarement 1 ha. Il n'y a aucune limite d'altitude ni de pente pour cultiver si ce n'est l'absence de sol sur le versant (De Noni B., De Noni G., Viennot, 1990 a).

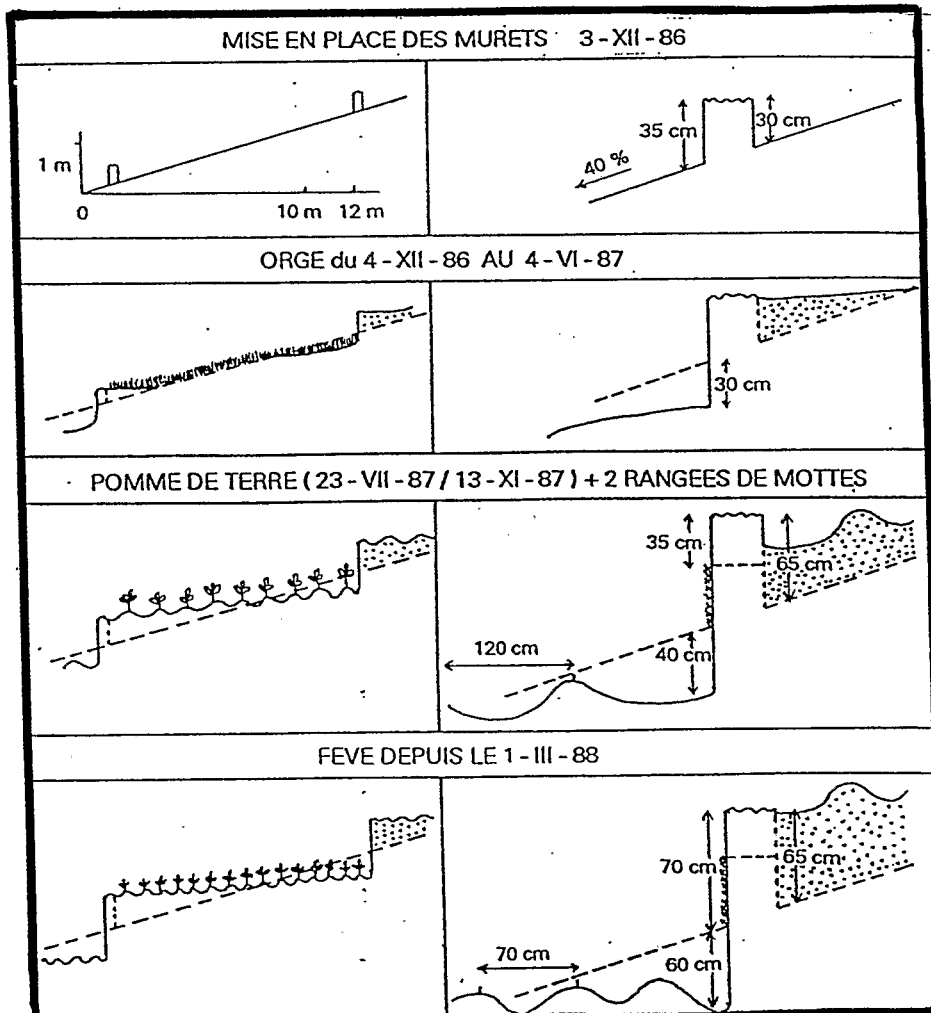
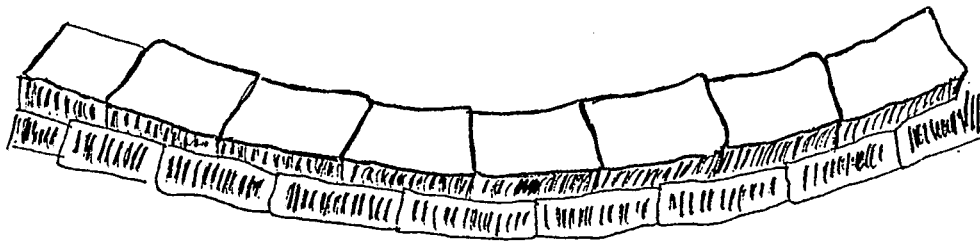
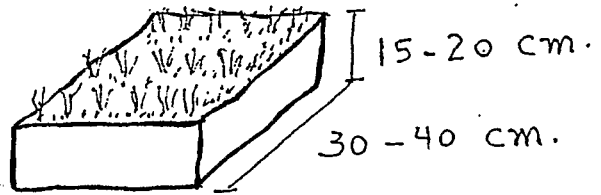
4) L'EXEMPLE DU SITE (PROJET-PILOTE) DE MOJANDA : LA REPONSE A UNE DEMANDE DE DEVELOPPEMENT

Le cas de l'un des 7 sites étudiés, le site de Mojanda, permet, d'illustrer les résultats acquis en terme de stratégie anti-érosive, à partir de l'évaluation scientifique de l'état de l'érosion. Mojanda a été retenu pour les raisons suivantes : i) c'est milieu d'altitude (3300 m) qui a connu un développement important du minifundio au cours des 30 dernières années, ii) l'occupation des sols est dense et les pentes sont fortes (de l'ordre de 40%), iii) le sol dominant est un andosol hydraté saturé, argilo-limoneux, de 0,6 à 0,8 cm d'épaisseur où l'érosion a formé localement un ravinement profond.

Afin de se rapprocher le plus possible des réalités de terrain et d'intégrer la population du minifundio dans une action participative forte, notre action s'est appuyée sur les 2 points suivants :

LA PRATIQUE DU MURET DE « CHAMBAS » (STATION DE MOJANDA)

La chamba est une motte de terre et d'herbe avec racines. L'empilement des chambas, les unes sur les autres, permet de former un petit mur



Station de Mojanda : Mise en place et évolution de la hauteur des murets qui passe de 0,30-0,35m à 1,30m, entre 1986 et 1988

- i) choix de méthodes conservatoires simples, efficaces et adaptées au contexte socio-économique local. Les enquêtes réalisées sur le site ayant révélé l'absence de stratégie locale, des ouvrages simples, disposés perpendiculairement à la plus grande pente, ont été envisagés pour freiner l'énergie du ruissellement et le transfert de l'eau, l'objectif étant de favoriser la formation progressive de "pseudo-terrasses". L'environnement étant dépourvu de cailloux et de pierres, en raison de l'importante couche de pyroclastites, les agriculteurs utilisent la bande enherbée ou le muret formé de mottes de terre et d'herbe avec racines ("chambas" dans le langage local) pour cloisonner leurs parcelles. On s'est donc inspiré de cette tradition locale ;

- ii) tester expérimentalement l'efficacité de ces méthodes, avec le concours du paysan. De nouvelles parcelles de ruissellement (parcelles améliorées), plus grandes (50m X 20m), ont été installées pour tester les méthodes conservatoires et placées à côté des premières parcelles témoins afin de mesurer l'érosion et de pouvoir comparer les résultats entre parcelles. Deux parcelles améliorées ont été construites à Mojanda : l'une avec des murets de mottes d'herbe qui, retournées et empilées, ont permis de créer des terrasses perméables de construction progressive et l'autre, avec des bandes enherbées qui ont évolué, peu à peu, en terrasses (fig. 2).

Après 5 années de mesures, les résultats obtenus sont très encourageants par rapport à ceux enregistrés sur les parcelles témoins : KRM < 0,2% et érosion < 0,3 t.ha⁻¹ (De Noni, Viennot, Trujillo, 1990 b)

Néanmoins, notre action ne s'est pas limitée à la seule prise en compte de l'évaluation des pertes en eau et en terre elle a pris en compte d'autres éléments indispensables à la réussite d'une stratégie anti-érosive, notamment au plan de la sensibilisation du paysannat, concernant :

- le coût d'installation et d'entretien des ouvrages. Pour les cinq années culturales considérées, ce coût, estimé à 1500 FF par hectare, est relativement bas et adapté aux conditions économiques du paysannat local. Deux éléments principaux ont permis d'obtenir ce résultat : d'une part, les ouvrages évoluant progressivement et naturellement en pseudo-terrasses, le temps de travail consacré par l'agriculteur à ce type d'activité est minimal ; d'autre part l'utilisation exclusive de matériaux autochtones revient à un coût très bas prix et permet à l'agriculteur d'acquérir rapidement la maîtrise nécessaire pour construire ces ouvrages,

- les rendements : la récolte de pommes de terre a été multipliée par 2 et celle de fève par 4. Cette évolution permet ainsi au paysan de sortir du cadre très restreint de l'autosubsistance et de s'insérer à l'économie locale de marché.

Notre action s'est terminée à Mojanda par une application de notre stratégie hors du cadre expérimental pour tester sa faisabilité en vraie grandeur. Une trentaine de familles a participé à l'opération définie par les règles suivantes :

- une somme d'argent remboursable au bout d'une année selon un taux d'intérêt faible (10 %, les taux locaux étant supérieurs à 50%), de l'ordre de 1.000 Frs, était prêtée à chaque famille afin d'améliorer la qualité des intrants (achat de semences améliorés, d'engrais etc ...),
- pour accéder à ce prêt et démontrer ainsi leurs motivations, les paysans s'engageaient volontairement à installer sur leurs parcelles les ouvrages conservatoires testés sur le site.

Au bout de 2 années de suivi, on constatait que les agriculteurs géraient sans problème particulier les ouvrages conservatoires, qu'ils étaient satisfaits des rendements obtenus et qu'ils respectaient avec régularité les échéances de remboursement du crédit. Cet exemple, qui a connu un vif succès, montre que les paysans peuvent s'intégrer positivement à une opération de conservation des sols, sur la base d'une concertation entre les différents acteurs : agriculteurs, techniciens, chercheurs et responsables politico-économiques.

CONCLUSION

Le bilan de notre recherche peut s'exprimer par un certain nombre d'acquis. On n'évoquera ici, brièvement, que quelques acquis :

- d'ordre scientifique, sur la connaissance de l'érosion accélérée des sols cultivés d'une haute montagne tropicale, notamment sur le rôle de l'énergie du ruissellement en relation avec l'inclinaison de la pente. Les montagnes occupent des surfaces appréciables dans les régions chaudes (Amérique du Sud, Afrique du Nord et de l'Est, Asie) et sont des milieux encore mal connus. Globalement, notre recherche pose, par l'étude d'un cas précis, le problème de la durabilité des agrosystèmes dans ces milieux en général fort peuplés. Plus particulièrement, elle remet en cause la stabilité des sols volcaniques, maintes fois évoquées ;

- d'ordre appliqué, sur la gestion conservatoire des versants cultivés des montagnes des régions chaudes, notamment sur la possibilité de conduire en vraie grandeur un programme concerté entre les différents acteurs. De nombreux programmes de conservation des sols connaissent un taux important d'échecs (Hudson, 1991) parce qu'ils sont fondés sur l'introduction de pratiques extérieures à la région, minimisant ainsi la participation du paysannat. En contrepartie, notre recherche montre qu'on peut arriver à de bons résultats en s'appuyant sur les usages et traditions locales.

BIBLIOGRAPHIE

Almeida (G.), De Noni (G.), Nouvelot (J.F.), Trujillo (G.), Winckell (A.), 1984.- Los principales procesos erosivos en Ecuador, PRONAREG - PRONACOS - ORSTOM, Quito, 31p., avec une carte du pays (2 couleurs) à l'échelle de 1/1000.000.

De Noni (G.), Derruau (M.) - 1979 - "Sur la géomorphologie des pyroclastites dans les Andes de l'Equateur" (partie méridionale exclue). Cahiers ORSTOM, série Sciences Humaines, Vol. XVI, 3, p. 251-259.

De Noni (G.), Trujillo (G.), Viennot (M.), 1986 - L'érosion et la conservation des sols en Equateur, Cah. ORSTOM, sér. pédol., vol. XXII, n° 2, p. 235-245.

De Noni (B), De Noni (G.), Viennot(M.),1990 a - Le poids de l'histoire sur la morphogenèse agricole des Andes de l'Equateur. *in* La Terre et les Hommes, Mélanges offerts à M. Derruau. A.P.F.L.C. Clermont-Ferrand, p. 511-534 .

De Noni (G.), Viennot (M.), Trujillo (G.), 1990 b - Mesures de l'érosion dans les Andes de Equateur, cah. ORSTOM, sér. Pédologie, vol.XXV, n° 1-2, Paris, p.183-196.

Hudson (N.W.), 1991. - A study of the reasons for success or failure of soil conservation projects, FAO Soil Bulletin, n°64, Rome, 65 p.

Hudson (N.W.), 1992. - Land Husbandry, Batsford, London, 192 p.

INEC, 1991 : Recensement de population. Document préliminaire, Quito.

Lal (R.), Editor, 1988. - Soil erosion research methods, Soil and Water conservation Society (Ankeny, Iowa-USA) et Soil Conservation and Environment International Society of Soil Science (Wageningen, Pays-bas), 244 p.

Poesen (J.), 1987. - The role of slope angle in surface seal formation, in V. Gardner (editor), International Geomorphology II, pp. 437-448.

Roose (E.), 1981. - Dynamique actuelle des sols ferralitiques et ferrugineux tropicaux d'Afrique occidentale, Travaux et documents de l'ORSTOM, Paris, 569 p.

Roose (E.), 1994. - Introduction à la GCES, Bull. pédologique de la FAO, n°70, Rome, 420 p.

Sauer (W.), 1965 - Geología del Ecuador, Editorial del Ministerio de Educacion, Quito, 383 p.

Wischmeier (W.H.), Smith (D.), 1978. - Predicting rainfall erosion losses, a guide to conservation planning, Agriculture Handbook n° 537, Washington D.C., 58p.