

Relation entre érosion et systèmes de production dans le bassin-versant sud du lac de Managua (Nicaragua)

Christian PRAT

Centre ORSTOM de Bondy, 70-74, route d'Aulnay, 93140 Bondy

RÉSUMÉ

Une équipe de l'ORSTOM et de la DIRENA (Direction des ressources naturelles et de l'environnement) au Nicaragua a équipé (seuil, limnigraphe, pluviographe, etc.) et étudié en détail (carte de sols, simulations de pluies, suivi de l'état de la surface des sols, profil hydrique...) un certain nombre de bassins-versants de référence de tailles diverses (1 ha à 15 km²). Un des objectifs de cette étude est de connaître le milieu et d'étudier en particulier le ruissellement et l'érosion des sols.

Après avoir analysé différents paramètres, il apparaît évident que les caractéristiques climatiques (sécheresse pendant 6 mois, premières pluies violentes), orographique (pentes allant de 1-2 % à plus de 100 % avec une moyenne de 10-20 %), pédologiques (sols superficiels, horizons indurés de « talpetate »-tuf volcanique, structure peu stable) favorisent le ruissellement et l'érosion des sols, mais ne les expliquent pas complètement. En revanche, les types ainsi que les modes et techniques culturales qui sont déterminés par les conditions socio-politico-économiques locales et nationales sont en étroites corrélations avec l'intensité du ruissellement et de l'érosion. Ainsi, le coton, cultivé de façon ultra-moderne, et l'oignon, cultivé à la main, favorisent énormément la dégradation des sols alors que le café, lui, les protège.

Enfin, nous avons fait un bilan d'une partie du système antiérosif d'absorption (talus bordé en amont par un canal) mis en place depuis 3 ans par la DIRENA. Basé sur une analyse hydrologique de la situation, manquant de références, prenant en compte des formules inadéquates et les demandes des paysans d'augmenter la taille des terrasses, oubliant le facteur sol, ce système, qui n'agit qu'au niveau des effets, se révèle être inefficace. Grâce au bon travail d'information de la DIRENA, les paysans sont dorénavant conscients du problème. C'est pourquoi ils se mobilisent pour garantir le bon état du système, mais ce qu'ils peuvent faire est insuffisant par rapport à l'état de dégradation du système.

A partir de l'analyse de l'ensemble de ces données, il est fait quelques recommandations d'ordres agro-socio-économique dont l'objet est d'agir sur la cause du ruissellement et de l'érosion et non sur ses effets.

MOTS-CLÉS : Nicaragua — Andosols — Talpetate — Tuf volcanique — Simulation de pluie — Profil hydrique — Systèmes agraires — Système antiérosif.

ABSTRACT

RELATION BETWEEN EROSION AND SYSTEMS OF PRODUCTION IN THE SOUTHERN WATERSHED OF THE LAKE OF MANAGUA (NICARAGUA)

In Nicaragua, a research team including ORSTOM and DIRENA (dirección de los recursos naturales y del ambiente) equipped (limnigraph, raingauge, etc.) and studied in detail (soil maps, rain simulations, follow up of the surface roughness and structure, water profiles...) some typical watersheds of different sizes (1 ha up to 15 km²). One of the aims of this study is to know the environment and to study runoff and soil erosion.

After having analysed different parameters, it seems obvious that the climatic (a six month drought, first violent rains), the relief (slopes from 1-2 % up to more than 100 % with an average of 10-20 %), and the edaphic characteristics (surface soils, indurated horizon of "talpetate" = volcanic tuff, not very stable structure) contribute to runoff and soil erosion, but do not explain everything. On the contrary, the types of cultivation as well as the cultivation techniques which are determined by the local and national social, political and economic conditions are closely related to the intensity of runoff and erosion. Therefore, cotton which is cultivated in an ultramodern way highly contributes to the soil degradation, while coffee protects them.

Finally, we made a synthesis of part of the soil conservation system of absorption (contour ridges bordered upstream by a canal) which has been set up by DIRENA since three years. This system which is based on an hydrological analysis of the situation lacks references, takes account of inadequate formulas and of the requests made by the peasants concerning the increased size of terraces and forgets the soil factor proves to be ineffective since it works only on the effects. Owing to the relevant information given by DIRENA, the country people become aware of the problem. Therefore, they get ready to preserve the system but the steps likely to be taken by them are inadequate to the degradation of the system.

On the basis of the analysis of the whole data, some agricultural, social and economic recommendations are made with a view to acting on the causes of runoff and erosion and not on its effects.

KEY WORDS : Nicaragua — Andosols — Talpetate — Volcanic tuff — Rain simulations — Water profile — Agrarian systems — Soil conservation system.

RESUMEN

RELACIÓN ENTRE EROSIÓN Y SISTEMAS DE PRODUCCIÓN EN LA CUENCA VERTIENTE SUR DEL LAGO DE MANAGUA (NICARAGUA)

Un equipo de ORSTOM y de DIRENA (Dirección de los recursos naturales y del ambiente) en Nicaragua, instaló equipos científicos (vertederos, limnigrafos, pluviógrafos...) y estudió en detalle (mapa de suelos, simulación de lluvia, seguimiento del estado de la superficie de los suelos, perfil hídrico...) unas cuantas cuencas de referencias de varios tamaños (1 ha hasta 15 km²). Uno de los objetivos de este estudio es conocer el medio y estudiar en particular el escurrimiento y la erosión de los suelos.

Después haber analizado diferentes parámetros, aparece evidente que las características climáticas (sequía durante 6 meses, primeras lluvias muy violentas), del relieve (pendientes entre unos por cientos hasta más de 100 %, con un promedio de 10 a 20 %), edáficas (suelos superficiales, horizontes endurecidos de « Talpetate » = toba volcánica, estructura poco estable) favorecen el escurrimiento y la erosión de los suelos, pero no explican todo. En cambio, los tipos de cultivos así como los modos y las técnicas culturales, determinadas por las condiciones socio-político-económicas del lugar y del país, son en estrechas correlaciones con la intensidad del escurrimiento y el grado de erosión. Así, el algodón, cultivado de modo ultra-moderno y la cebolla, cultivada a mano, favorecen enormemente la degradación de los suelos cuando el café protege el suelo.

Además, se hizo un balance de una parte del sistema anti-erosivo de absorción (bordos bordados río arriba por una zanja) instalado desde 3 años por DIRENA. Por haber analizado la situación bajo un ángulo meramente hidrológico, por tomar en cuenta formulas inadecuadas, por falta de referencias, por respetar a los deseos de los campesinos que querían terrazas más amplias, por olvidarse del factor suelo, este sistema actúa solamente sobre los efectos y se revela ineficaz. Gracias a una buena información por parte de DIRENA, los campesinos son concientes ahora del problema. Por eso, se mobilizan para dar mantenimiento a estas obras, pero lo que pueden hacer es insuficiente en relación al estado tan malo del sistema.

A partir del análisis de todos estos elementos, se hizo unas recomendaciones de tupo agro-socio-económico cuyo meta es actuar, no sobre los efectos pero si sobre las causas que provocan el escurrimiento y la erosión.

PALABRAS CLAVES : Nicaragua — Andosoles — Talpetate — Toba volcánica — Simulación de lluvia — Perfil hídrico — Sistemas agrarios — Sistema anti-erosivo.

INTRODUCTION

Depuis 1985, au Nicaragua (fig. 1), une équipe pluridisciplinaire de l'ORSTOM (hydrologue, agroclimatologue et pédologue) participe dans le cadre d'une convention avec la DIRENA (Direccion de los Recursos

Naturales y del Ambiente) à une étude intégrée du bassin-versant sud du lac de Managua (fig. 2). Un des thèmes de recherche de cette étude consiste en l'évaluation des effets d'aménagements et de pratiques culturales sur les risques excessifs de ruissellement et d'érosion hydrique.

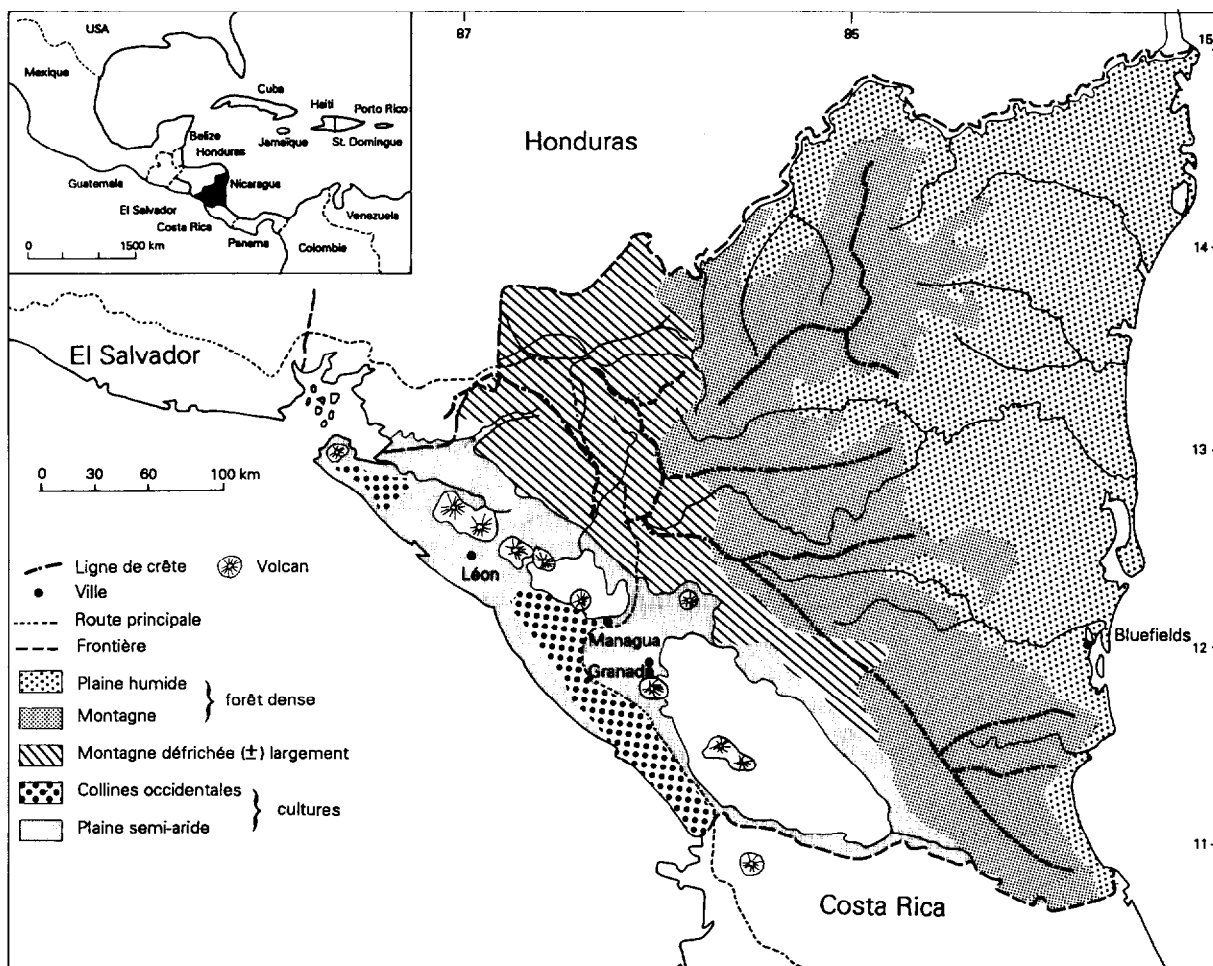


FIG. 1. — Situation et aspect géographique du Nicaragua (d'après FOUCHER, 1979).
Situation and geographic sight of Nicaragua.

Au travers d'observations et de mesures en milieu « naturel » (c'est-à-dire de zones pouvant être cultivées mais n'ayant pas de systèmes antiérosifs), nous obtenons des données telles qu'infiltration, ruissellement, charge solide... qui nous permettront d'établir un modèle de ruissellement.

Cet article est une première analyse d'une partie de nos résultats sur les relations entre les systèmes de cultures et l'érosion hydrique de ce secteur.

PRÉSENTATION DU MILIEU NATUREL

Le bassin-versant sud du lac de Managua (850 km²) est délimité au sud par une sierra volcanique de formation récente (Pléistocène et Holocène) (Mc BIRNEY, 1965 ; CATASTRO, 1972 ; WEYL, 1980), et au nord par les eaux du lac de Managua. En moins de 30 km, on passe de 60 m à plus de 900 m d'altitude.

Ce relief marqué entraîne une variation du climat,

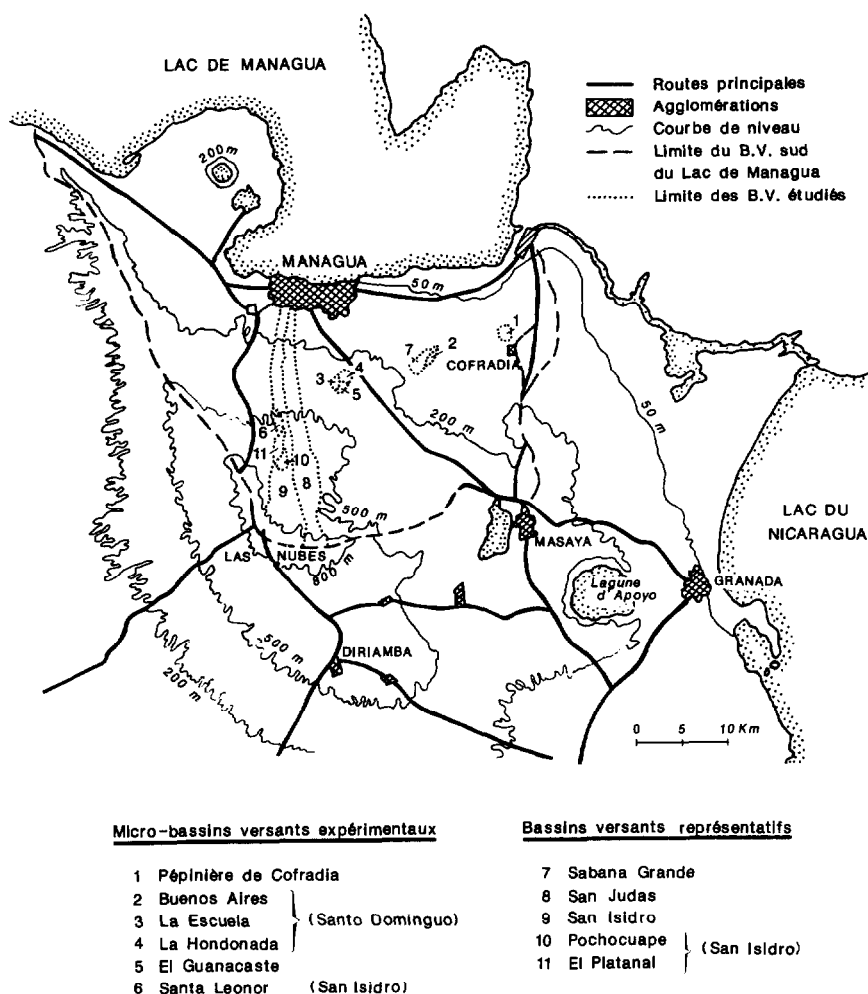


FIG. 2. — Localisation du bassin-versant sud du lac Managua et des zones de références du programme ORSTOM/DIRENA.
Localization of Managua lake southern watershed and of program reference zones.

de tropical à longue saison sèche (5 mois) à l'aval (fig. 3) à tropical perhumide à l'amont sur les crêtes (HOLDRIDGE, 1959).

Les formations superficielles, toutes très récentes (quelques milliers d'années selon CLIFFORD, 1980) sont des produits pyroclastiques : cendres, lapilli basaltiques, ponces et coulées hydro-magmatiques (tufs, dont certains sont appelés localement « talpetate »).

Nous distinguerons successivement d'aval en amont trois secteurs : glacis de piémont (planèze volcanique), puis bas et haut piémont plus ou moins vallonné (planèze disséquée), et montagne (fig. 4 et tabl. 1).

Les coopératives (CAS, CCS) (1) et les producteurs privés se rencontrent dans l'ensemble du bassin versant alors que les fermes d'état (UPE) (2) se trouvent en « montagne ». La taille des exploitations n'est pas la même : de l'ordre d'une centaine d'hectares dans le glacis de piémont, de quelques hectares voire quelques ares dans le piémont, et d'une dizaine d'hectares dans le haut piémont et la « montagne ».

Bien que les données relatives aux caractéristiques naturelles du milieu (géomorphologie, pentes, sols, etc.) font prévoir une érosion très intense dans la zone de « montagne », moyenne en piémont et faible à très

(1) CAS : « Cooperativa Agrícolas Sandinista ». CCS : « Cooperativa de Créditos y Servicios ».
 (2) UPE : « Unidad de Producción Estatal ».

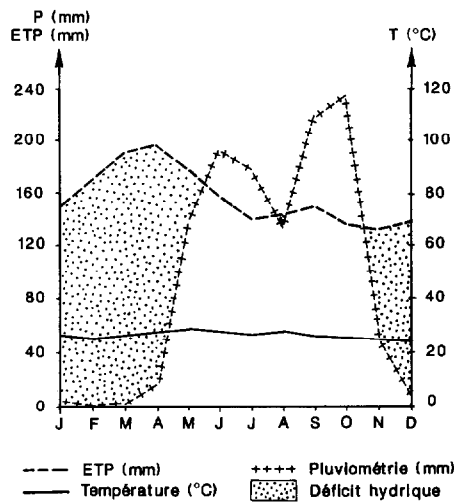


FIG. 3. — Diagramme ombro-thermique de Gaussen pour la station climatique de la UNAN.
Rain temperature diagram at UNAN climatic station.

faible sur le glacis, on observe en fait exactement le contraire : érosion très forte sur le glacis et en piémont, mais faible en « montagne ».

Grâce aux suivis et mesures effectués, il apparaît que l'érosion est surtout due à un usage inadéquat du milieu. Les caractéristiques des sols, de la saison sèche, des intensités des pluies, des pentes... ne sont que des facteurs qui concourent à l'aggravation ou à l'amélioration de la situation.

Il est difficile de séparer chaque élément qui intervient dans l'érosion car ils agissent en synergie. Toutefois, après avoir étudié la dynamique de l'eau, nous analyserons le rôle des facteurs anthropiques (degré de mécanisation, type et mode de cultures).

ÉROSION HYDRIQUE ET MILIEU NATUREL

Simulation de pluies

La simulation a été réalisée avec un mini-simulateur de pluie, modèle ORSTOM (ASSELIN, 1976 ;

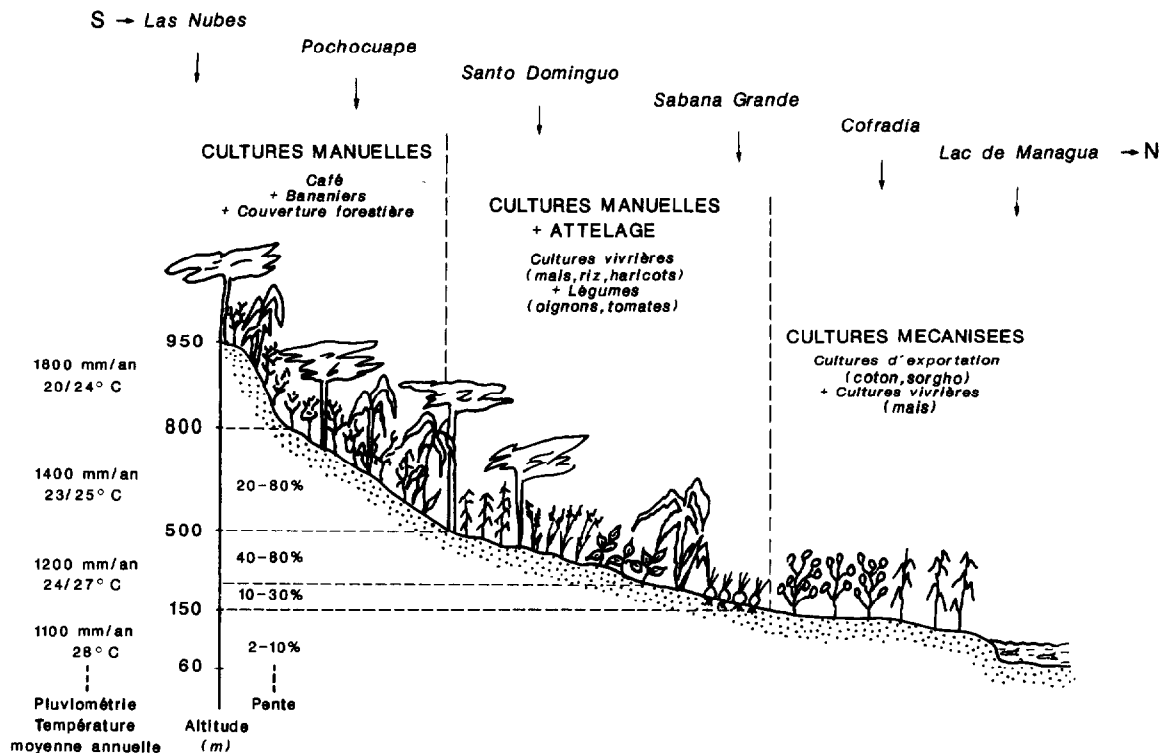


FIG. 4. — Toposequence du bassin versant sud du lac de Managua.
Managua lake southern watershed toposequence.

TABLEAU I
Répartition des sols
Soils distribution

SITUATION	SOLS	PROFONDEUR	TEXTURE	M. O.	STRUCTURE
Glacis de piémont	Bruns Andiques Alluviaux	généralement très profonds	Limono-argileuse	Elevée	Grumeleuse dans les 30 premiers centimètres
Hauts et Bas de piémont	Bruns Andiques et Andosols Alluviaux	superficiels à talpetate profonds	Limono-argileux à Sablo-Limoneux	Elevée	et massive à sous structure sub-anguleuse en dessous de 30 cm de prof.
Montagne	Bruns Andiques et Andosols	superficiels à profonds à talpetate	Limono-argileux à Sablo-Limoneux	Elevée	

DIRENA-ORSTOM, 1988). La relation intensité-fréquence-durée que nous avons établie est valable pour la majeure partie de notre secteur d'étude. Elle nous a permis de définir le spectre des pluies simulées (tabl. II).

Chaque parcelle a reçu 2 pluies simulées à 24 h d'intervalle. Plusieurs campagnes de simulation (ORSTOM-IRENA, 1988) ont été effectuées sur les sols de piémont (glacis, bas et haut piémont). Le traitement des données a été réalisé avec un programme informatique mis au point par Ph. VAUCHEL.

Pour une même pente, la différence de nature de sols et des premiers horizons (sols andiques et alluvio-colluvionaires ; superficiels, moyennement profonds, très profonds ; à horizon induré ou sans, etc.) est apparente dans la mesure où les horizons de surfaces sont quel-

que peu différents. Globalement, le ruissellement avec des sols sableux à sablo-limoneux est deux fois plus faible qu'avec des sols limoneux à limono-argileux.

Pour des pentes différentes, il est certain qu'il y a un effet, mais nous n'avons pas encore pu définir avec précision son rôle sur le ruissellement et le transport solide.

Il existe une différence de comportement du sol vis-à-vis des pluies en fonction de son degré d'humidité (IK) (VALENTIN, 1985). Pour un sol sec (IK voisin de 0), on peut observer des ruissellements importants pour des sols ayant été cultivés 4 mois auparavant et faibles pour des sols venant d'être labourés. Pour un sol saturé (IK voisin de 50) et quel que soit le travail qu'il ait subi, le ruissellement est fort.

Le degré de couverture, que ce soit par de la végétation, des débris organiques, des sables grossiers ou des morceaux de « talpetate », influencera autant le ruissellement que le transport de particules solides (fig. 5).

Le travail du sol joue un rôle prépondérant dans le ruissellement comme dans l'érosion des sols. Si un sol compacté provoque un ruissellement élevé, la proportion de particules arrachées sera faible au niveau de la parcelle. Mais si l'on passe à l'échelle du bassin-versant, il est probable que l'érosion sera élevée (d'ici quelques mois nous serons en mesure de préciser ce point important). Un sol fraîchement labouré a un impact sur le ruissellement en fonction de la nature du labour (dans le sens ou perpendiculaire à la pente). En effet, les labours perpendiculaires à la pente forment des petits barrages qui retiennent l'eau qui aura pu ruisseler. Mais dès les premières pluies, les labours, quel que soit leur orientation, provoquent un transport solide important, sauf si les pentes sont très faibles (< 10 % max.), et si les pluies ne durent pas trop longtemps. En effet,

TABLEAU II

Séquences intensité-durée et récurrence par rapport aux pluies naturelles, au cours d'une pluie simulée
Intensity-duration sequence and recurrence with regard to natural rains, during a simulated rainfall

INTENSITE mm/h	DUREE mn	HAUT. D'EAU mm	RECURRENCE
40	30	20	ANNUELLE
120	15	30	DECENNALE
90	30	45	QUINQUENNALE
60	15	15	ANNUELLE
40	15	20	ANNUELLE
TOTAL	105	130	

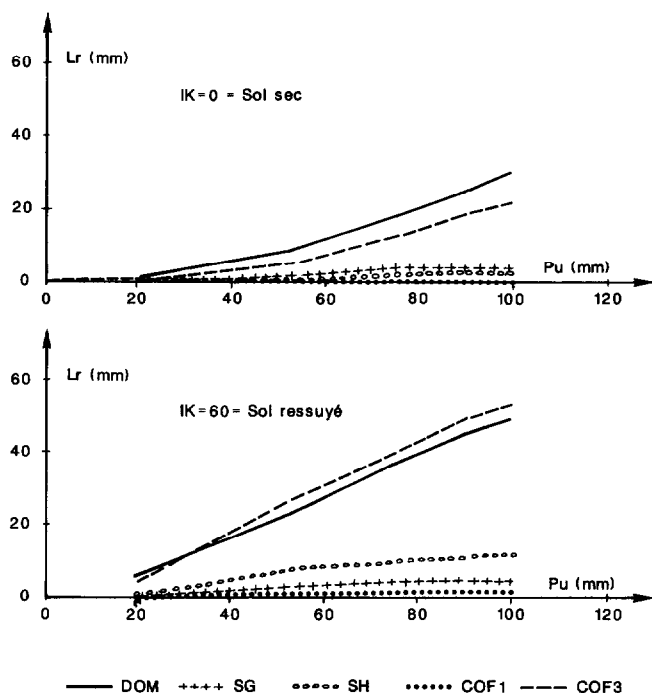


FIG. 5. — Relation entre lame ruisselée (L_r) et pluie utile (P_u) en fonction de l'humidité préalable (IK) et de la couverture du sol.

COF 1 : sol profond, compacté, couvert par végétation à 85 %
 SG 9 : sol très superficiel avec couche de palagonite indurée, couvert par des débris de maïs à 90 %

SH 4 : sol profond, couvert par des morceaux de « talpetate »

DOM 3 : sol superficiel, compacté, nu

COF 3 : sol profond, labouré fraîchement, nu

Relation between surface runoff (L_r) and useful rainfall (P_u) according to previous moisture (IK) and vegetative cover.

les microbarrages que constituent les billons perpendiculaires à la pente se rompent une fois leur capacité de stockage atteinte, ou même généralement avant du fait de la fragilité de la structure de ces sols. Ce phénomène d'érosion en griffe est très important sur notre secteur d'étude.

Le degré de l'intensité de l'érosion repose pour beaucoup sur le travail et le degré de couverture du sol. Au cours de l'année, un de ces facteurs pourra prédominer sur l'autre.

Une des explications de ces résultats tient en la relative homogénéité de l'horizon de surface alors que les sols peuvent être très différents en profondeur. Ainsi, presque tous les horizons de surface ont une texture limono-sableuse et une structure grumeleuse à polyédrique sub-anguleuse avec une sous-structure micro-grumeleuse.

Alors que les résultats de laboratoire indiquent une grande stabilité structurale (IS voisin de 1), la structure du sol *in-situ* est en fait très fragile. Les micro-agrégats sont composés d'argiles essentiellement de type primaire (allophanes, halloysites...). Très légers ($da = 0,9$) quand ils sont secs, ils sont facilement entraînés en suspension dans la nappe ruisselée. Ainsi, alors que ces sols ont une teneur élevée en matières organiques (MO), les premières pluies détruisent la structure qui se fond pour former une pellicule de battance souvent très fine (1 mm). Il semblerait que ce ne soit pas tant la quantité de MO mais plutôt la nature des acides organiques qui soit responsable de cette destructuration. Si le travail du sol joue un certain rôle au début de la saison des pluies, il ne se fera plus beaucoup sentir après quelques pluies du fait de la destruction du relief de surface du sol.

D'autre part, l'érosion régressive en ravine est une forme caractéristique de l'érosion dans notre zone d'étude. Elle apparaît quelle que soit la taille des bassins-versants (de 1 ha à plusieurs km²). Les pluies exceptionnelles, par leur intensité et/ou par leur durée, provoquent une érosion régressive très impressionnante. Ainsi au niveau du glacis de piémont, la pluie du 16 mai 1985, d'une hauteur d'eau de 216 mm et d'une durée de une heure trente, conduisit (entre autres !) à la formation d'une ravine de plus de 100 m de long, 20 m de large et 3 m de profondeur, soit 6 000 t de terres arrachées !

Suivi de profils hydriques

Un suivi prévu de mi-88 à mi-89 par sonde neutronique de 5 profils hydriques installés sur deux toposéquences sur le haut piémont a pour but de déterminer *in situ*, le rôle du « talpetate » sur l'hydrodynamique de ces sols (fig. 6).

Le talpetate de par sa texture argileuse a une forte capacité de rétention en eau (porosité texturale : 10-15 % et structurale : 55-60 %). Malgré cette caractéristique, cet horizon induré ralentit la pénétration du front d'humectation en début de saison des pluies sans toutefois la stopper. A chaque « forte » pluie (parfois seulement > 20 mm/h ! tabl. III), le talpetate, en favorisant un drainage latéral dans les horizons de surface, provoque leur saturation en eau et les fragilise, conduisant à terme à leur disparition. Toutefois, le talpetate, de par sa résistance physique, sert de plancher au ruissellement et empêche ainsi un affouillement plus profond du sol. Quand le talpetate disparaît ou est trop destructuré, les rigoles et les ravines s'approfondissent à cause de l'eau qui prend de la force en ruisselant sur le talpetate, mis à nu dans les parties amont du bassin.

Nous étudions actuellement la nature et les proportions des restitutions de l'eau absorbée par le talpetate.

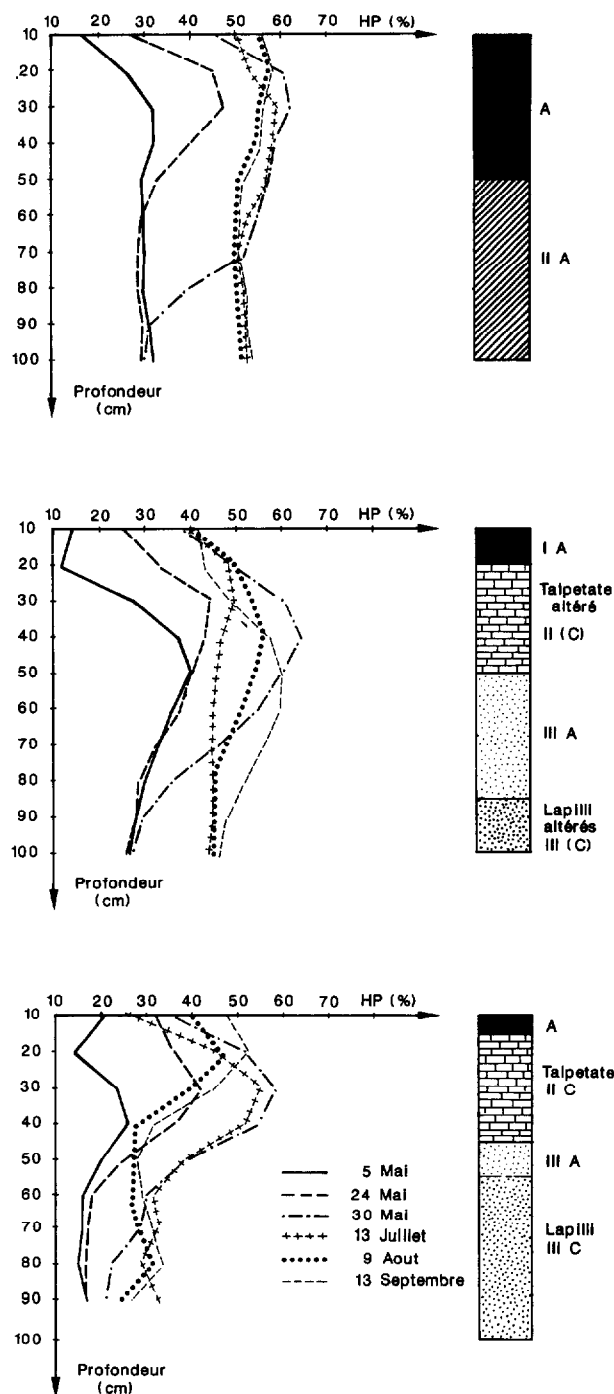


FIG. 6. — Suivi du profil hydrique dans trois sols du mini-bassin-versant « La Hondonada » (Sto. Domingo).
Water profile continuous survey in three mini-watershed soils.

(1) Alors que les coûts de production tournent autour de 40-45 \$, les cours sont passés de 90 \$ en 1980 à 45 \$ en 1988 (Ramiro Saborio, « asociación de algoderos de León »).

Mesures des débits et des taux d'érosion dans les bassins versants

Là où les caféiers et bananiers ont été installés depuis longtemps il n'y a presque pas de ruissellement et les taux d'érosion sont très bas (0,5 t/ha). En revanche, dans les bassins cultivés, nous avons enregistré pour des pluies de 100 mm en début de saison des pluies, des taux d'érosion de 35 t/ha.

A l'heure actuelle, nous n'avons pas encore toutes les données car la saison des pluies a été très longue cette année. Nous devons donc nous contenter ici de tendances.

ÉROSION ET ACTIONS DE L'HOMME

Il est utile de préciser certains points du tableau IV.

La mécanisation

Par manque de matériel, les travaux commencent trop tôt (2/3 mois avant la saison des pluies), et se font trop rapidement, destructurant les sols en les réduisant en poussière. Une partie de ces sols sera emportée par les vents, et une autre le sera par les pluies (des pellicules de battance se forment dès la première précipitation).

Les terres travaillées à la main ou avec des animaux conservent mieux leur structure, mais celle-ci disparaît au bout de quelques pluies, à cause de l'instabilité des sols.

Cultures et pratiques culturales

Le cotonnier fut cultivé de façon industrielle et en monoculture continue à partir des années 1950. Du fait de son cycle de croissance, il est impossible de faire une autre culture, à moins de disposer d'un système d'irrigation. Ainsi entre la récolte et le semis, les sols se retrouvent nus pendant 2 à 3 mois, face aux vents et aux premières pluies. En comparant les cartes des sols faites à la fin des années 1960 et celles réalisées aujourd'hui, on s'aperçoit qu'en 20 ans, 30 à 50 cm de sols ont disparu ! Les baisses de rendements ne couvrent à peine les coûts de production (1), et dans de nombreuses zones cette culture a donc disparu.

Les oignons sont repiqués en planches. Celles-ci jouent le rôle de mini-barrages qui concentrent les eaux de ruissellement, provoquant une érosion en rigoles et en ravines entre les planches et dans les zones basses.

On trouve les cultures associées suivantes : maïs-haricot (le haricot se développe une fois le maïs mûr), riz pluvial-maïs, haricot-sorgho. Toutes permettent une

TABLEAU III
Effet de la pente sur le ruissellement et l'érosion (mini-simulateur, parcelle 1 m² dénudée)
Slope effect on runoff and erosion (Mini-simulator, 1 sq meter bare plot)

Refér.	Pente	Coef. humid. IK	Pluie imbib. Pi mm	Pluie effica. Pe mm	Lame infil. Li mm	Lame ruis. Lr mm	Coef. ruis. K %	Ruis. maxi. Rx mm/h	Eros. gr/l
SH 8.1	8	0.0	30.4	69.6	93.7	7.3	7.3	9	10.6
SH 8.2	8	62.6	2.3	97.7	52.2	49.4	49.4	76	339.5
SH 2.1	18	0.0	23.3	76.8	83.3	17.3	17.3	25	28.7
SH 2.2	18	62.8	2.6	97.4	45.4	57.3	57.3	82	734.5
SH 14.1	25	0.0	32.1	67.9	85.7	14.3	14.3	42	37.7
SH 14.2	25	56.9	6.1	93.9	54.2	47.5	47.5	78	864.4

Durée de la pluie 90' - Intensité totale (I): 66.7 mm/h - Pu: 100 mm

couverture du sol importante et pendant presque toute la saison des pluies. Malheureusement, peu de paysans dans ce secteur utilisent ces systèmes cultureux.

LA RÉPONSE DE LA DIRENA FACE À L'ÉROSION

En 1984 et 1985, la DIRENA a construit un système anti-érosif d'absorption, constitué par plusieurs dizaines de kilomètres de talus bordés en amont par un canal, dans une petite partie de la zone de haut piémont. La DIRENA a aussi installé de nombreux seuils en bois dans les ravines et a assuré une campagne d'information permanente auprès des agriculteurs de ce secteur.

A partir d'un bilan de l'état physique d'une partie de ces ouvrages et d'une enquête socio-économique réalisés fin 1987 (PRAT, 1987 ; BLANCO *et al.*, 1988), nous avons pu constater que globalement ce système ne fonctionne pas correctement autant pour des raisons théoriques que pratiques. Seuls les seuils construits en bois ou en gabions ont effectivement permis le contrôle de l'érosion, encore faudrait-il qu'il y ait maintenant un programme de reboisement de ces ravines pour les stabiliser définitivement.

En effet, la formule américaine (1) ne prend en compte ni la répartition des pluies dans l'année ni les intensités maximales des pluies, minorant ainsi le volume d'eaux à évacuer. Le principe même des canaux d'absorption est mauvais dans la mesure où d'une part il n'agit que sur les effets et non sur les causes de l'éro-

sion et qu'il ne tient pas compte de la présence du tapetate qui limite l'infiltration. Qui plus est aucun canal d'évacuation de trop plein d'eau n'a été prévu ! Les sols étant très fragiles, toute construction en terre est également très fragile, et ne résiste ni au piétinement ni aux pluies. Malgré le sous-dimensionnement des données théoriques et à cause de la pression sociale, les ouvrages ont été modifiés afin d'augmenter leur espacement ! Enfin la réalisation de ces travaux sur le terrain n'a pas été très bien faite.

Ainsi, selon nos mesures, pour une même pente, la largeur de la terrasse selon la formule utilisée par la DIRENA devait être de 9 m, elle est en réalité de 13 à 40 m ! En deux ans, la hauteur des talus et la profondeur des fossés ont diminué de trois à quatre fois par rapport à leur valeur initiale. C'est ce qu'illustre la figure 7 montrant l'absence de relation entre la pente et la largeur des terrasses. A ces données s'ajoutent les caractéristiques propres des systèmes de cultures qui, comme ici, peuvent accélérer l'érosion.

Malgré les trop nombreuses perforations des talus, les paysans réparent systématiquement les dégâts, plantent des arbustes... même s'ils savent que les bœufs viendront les manger en saison sèche ! Cette attitude est le fruit du travail de formation de la DIRENA qui a réussi à les persuader de l'enjeu de la conservation des sols. Conscients de la situation, les paysans demandent aujourd'hui à la DIRENA un programme de conservation des sols vraiment efficace.

(1) Equation de RAMSER (*in* : SUAREZ DE CASTRO, 1982) : I.V. = (2 + P/3 (ou 4) × 0.305 où I.V. = Intervalle vertical, P = Pente, 3 si pluviométrie < 1 200 mm/an ou 4 si pluviométrie > 1 200 mm/an.

TABLEAU IV
Erosion, systèmes et pratiques culturales
Erosion, cropping system and works

EROSION	LOCALISATION	CULTURES	TECHNIQUES	OBSERVATIONS
EROSION TRES FORTE	Glacis Bas Piémont	Coton	*Labour par disques *Epanchage par avion *Récolte mécanisée	*Recouvrement 50% de la surface du sol en 3 mois *Préparation trop fine du sol 2 à 3 mois avant les pluies *Erosion éolienne très forte
	Glacis Bas Piémont	Mais	id.	*Recouvrement 50% de la surface du sol en 6 semaines *Préparation trop fine du sol 2 à 3 mois avant les pluies *Système racinaire retient peu le sol *Erosion éolienne très forte
	Haut et Bas Piémont	Oignons	*Labour avec araire *Préparation, nettoyage, traitements fait à la main *Planche largeur 2 m *Récolte manuelle	*Recouvrement 30% maximum de la surface du sol *Préparation trop fine du sol *Planches traversées perpendiculairement par des sentiers *Planches obliques à la pente *Syst. racinaire peu développé ne retenant pas le sol *Peu de rotations (culture de rentes)
EROSION FORTE	Glacis Bas Piémont	Sorgho	*Labour par disques *Epanchage par avion *2 Récoltes mécanisées	*Recouvrement 50% de la surface du sol en 6 semaines *Préparation trop fine du sol *Semis après une autre culture *Syst. racinaire très développé
	Haut et Bas Piémont	Mais	*Labour avec araire *Nettoyage, traitements et récoltes fait à la main	*Semis en début de saison des pluies *Suit courbes de niveaux *Recouvrement 50% de la surface du sol en 6 semaines *Syst. racinaire retient peu le sol
	Haut et Bas Piémont	Tomate Poivron Piment Manioc etc	id.	*Semis en courbes de niveaux ou perpendiculaire à la pente *Billonnage *Cult. semées durant saison des pluies *Recouvrement 50% sol en 2 mois par les cultures et en 2 semaines par les adventices *Syst. racinaire des adventices retient bien le sol *Nombreux débris en fin de cultures
EROSION TRES FAIBLE	Haut Piémont Montagne	Café	*Culture perenne (50 à 100 ans) *Semis, nettoyage, trai- tements fait à la main	*Plantations n'ont pas d'orientations privilégiées *Recouvrement 50% sol en 3 à 4 ans mais en quelques mois par les adventices, feuilles, débris... *Risques d'érosion pendant rénovations des plants *Nécessité de contrôle ruissellement dans chemins d'accès
	Haut et Bas Piémont	Riz pluvial	*Labour avec araire *Semis, nettoyage, trai- tement et récolte fait à la main	*Semis sans orientations privilégiée *Billonnage *Cult. semées durant saison des pluies *Recouvrement 50% de la surface du sol en 2 mois par les cultures et en 2 semaines par les adventices *Syst. racinaire des adventices retient bien le sol *Nombreux débris en fin de cultures
	Haut et Bas Piémont	Sorgho	id.	*id. mais pas de billonnages
	Haut et Bas Piémont	Cultures associées	id.	*id. que pour riz pluvial, mais sol à couverture <50% pen- dant les 3 premières sem. de saison pluies et >50% après

DISCUSSION

Globalement ces données nous conduisent aux remarques suivantes : c'est l'homme qui joue le plus grand rôle dans l'apparition du ruissellement et de l'érosion et non pas le milieu naturel (sols, pente, climat, etc.). Les pratiques culturales et les types de cultures sont les éléments qui sont causes des phénomènes de destruction des sols : ils sont d'autant plus sensibles à l'éro-

sion qu'ils auront été destructurés et planés (cultures en glacis de piémont et en « bas piémont » en particulier).

Pour une couverture très faible en début de saison des pluies, les pratiques culturales pourront jouer un rôle, quoique limité par l'apparition rapide d'une pellicule de battance très fine (cultures de glacis de piémont et de « bas piémont », oignons). Il semble préférable de cultiver en billons perpendiculaires à la pente, tech-

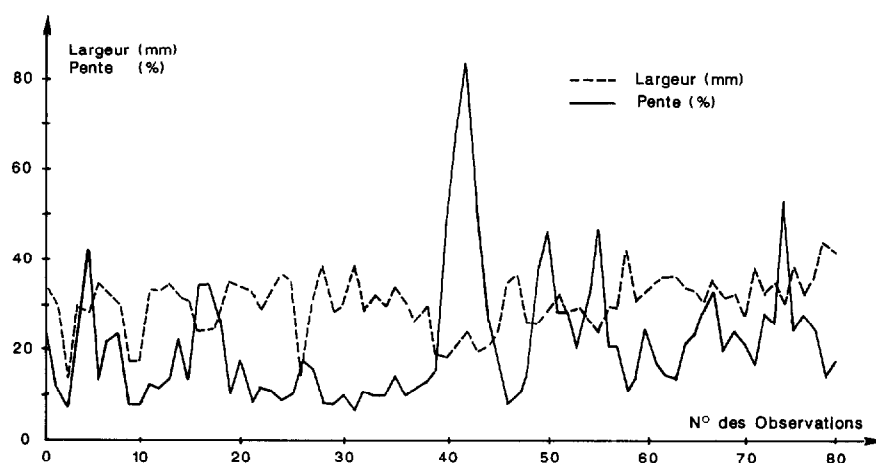


FIG. 7. — Relation entre la largeur et la pente de banquettes ouvrages de la DIRENA à Santo Domingo (d'après BLANCO et MARTINEZ, 1988).

Relation between breadth and slope of bench terracing.

nique qui, si elle n'arrête pas l'érosion a le mérite de réduire son intensité. Toutefois en concentrant l'eau, ce système facilite l'érosion en griffe pour des pentes supérieures à 15 %. De plus, il faut que le labour suive les courbes de niveaux (laissant toutefois une légère pente) ce qui est rarement le cas. Des systèmes anti-érosifs biologiques pourraient jouer un rôle important. Le talpetate n'intervient pratiquement pas dans la dynamique de l'eau à cette époque.

Une fois la saison des pluies installée, la dynamique de l'eau n'est plus conditionnée seulement par l'état de surface du sol, mais d'abord par le degré de la couverture végétale, et ensuite par la présence ou l'absence du talpetate. Cependant, chaque fois que des travaux du sol supprimeront une partie de la couverture végétale, ou quand des cultures seront peu couvrantes (oignon), ce sera l'état de surface du sol qui conditionnera de nouveau la dynamique de l'eau et de l'érosion.

Le bilan de l'état des ouvrages antiérosifs installés par la DIRENA, montrent leur peu d'efficacité. Au lieu d'une érosion en griffe, répartie sur l'ensemble des champs, il y a une concentration de l'eau en quelques points qui provoque une érosion en ravines (profondeurs > 50 cm, largeur > 35 cm). Le fait de cultiver en suivant les talus ne change pas grand chose à cette situation.

On peut penser que si le système avait été bien conçu et réalisé, les résultats auraient été différents. Ce n'est pas si sûr, car celui-ci agit sur les effets (ruissellement) et non sur les causes (infiltration réduite) de l'érosion.

Pour cela il faudrait essayer de développer des systèmes *biologiques* et non pas seulement *hydrauliques* : par exemple laisser des bandes enherbées qui joueraient le

rôle de filtre (terrasses progressives), cultiver en bandes alternées, promouvoir les cultures associées, et prendre une série de mesures tendant à modifier certaines pratiques (interdire et/ou limiter les surfaces en oignons, interdire le brûlis, enterrer à moitié les résidus, limiter le temps de repos entre deux labours croisés où l'un est forcément dans le sens et l'autre perpendiculaire à la pente, interdire l'accès du bétail aux champs par la construction de barrières, utiliser les gros morceaux de talpetate comme filtre et protection contre la pluie et le piétinement dans les chemins, etc.).

Vis-à-vis des cultures hautement mécanisées, il est également nécessaire d'introduire comme dans le cas précédent des systèmes biologiques de contrôle de l'érosion, et de modifier certaines pratiques culturales (réduire la vitesse de passage, limiter l'utilisation des herbicides, labourer en début de saison des pluies, pratiquer les rotations, etc.).

CONCLUSION

Ce n'est qu'en associant des systèmes antiérosifs de type biologique à des systèmes agraires, des modes et types de cultures appropriés aux conditions du milieu que l'on peut espérer contrôler et limiter l'érosion, parce que ce phénomène est ici plus d'origine humaine que géologique ou pédologique. Quoi qu'il en soit, la validation de ces observations ne pourra se faire que si ce programme de recherche continue en installant différents systèmes antiérosifs sur les bassins-versants déjà équipés afin de comparer les résultats.

Manuscrit accepté par le Comité de Rédaction le 23-10-1989.

BIBLIOGRAPHIE

- ASSELINE (J.), VALENTIN (Ch.), 1976. — Construction et mise au point d'un infiltromètre à aspersion. *Cah. ORSTOM, série Hydrol.*, 15 (4) : 321-349.
- BLANCO BETETA (O.), MARTINEZ ORTEGA (M.), 1988. — Balance del estado del sistema anti-erosivo de una parte de la area de Los Altos de Sto. Domingo (Cooperativa Agricola Camilo Ortega Saavedra). Septiembre de 1987 - Enero de 1988. Monografía. ISCA/ORSTOM-IRENA. Managua, Nicaragua. 60 p., *multigr.*
- CARLIER (G.), 1984. — Géologie du Nicaragua. Doc. int. ORSTOM. Paris. 29 p.
- CATASTRO 1972. — Geologia y levantamiento de suelos de la región pacífica de Nicaragua. Vol. I, II, III, IV. CATASTRO. Managua, Nicaragua. 1 000 p.
- CLIFFORD BICE (D.), 1980. — Tephra stratigraphy and physical aspects of recent volcanism near Managua, Nicaragua. Thèse. University of California. Berkeley, USA. 423 p.
- FOUCHER (M.), 1979. — Enquête au Nicaragua. *Hérodote* n° 16/4 : 5-35.
- HOLDRIDGE (L.R.), 1959. — Mapas ecológicos de Guatemala, El Salvador, Nicaragua y Costa-Rica. IICA. San Jose, Costa-Rica.
- IRENA 1983. — Plan de ordenamiento y manejo de la cuenca sur del lago de Managua. Dep. planificación de cuencas hidrográficas. Vol. I, II, III, IV. IRENA. Managua, Nicaragua. 900 p.
- MCBIRNEY (A.R.), WILLIAMS (H.), 1965. — Volcanic History of Nicaragua. Pub. Geol. Sci. Univ. Calif., Berkeley and Los Angeles, USA. n° 55 : 1-65.
- ORSTOM-IRENA 1988. — Resultados de las campañas de simulación de lluvia de 1987 y 1988. Micro-cuencas experimentales en Cofradia, St. Domingo y Sabana Grande. Managua. ORSTOM-IRENA. Managua, Nicaragua. 100 p., *multigr.*
- PRAT (Ch.), 1987. — Guía para realizar una encuesta sobre la erosión de los suelos en edafología y en socio-economía. Caso de la erosión de los suelos en la cuenca sur del lago de Managua. ORSTOM-IRENA. Managua, Nicaragua. 17 p. *multigr.*
- SUAREZ DE CASTRO (F.), 1982. — Conservación de suelos. Ed. IICA. San José, Costa-Rica. 315 p.
- VALENTIN (C.), 1985. — Organisations pelliculaires superficielles de quelques sols de région sub-désertique (Agadez-République du Niger) - Dynamique de formation et conséquences sur l'économie en eau. Thèse. Ed. ORSTOM. Paris. 260 p.
- WEYL (R.), 1980. — Geology of Central America. 2d. Ed. Gebrüder Borntraeger. Berlin, RFA. 371 p., 202 fig., 13 tabl. 8 dep.