

**GEOMORPHO-PEDOGENESE
DANS DES ACCUMULATIONS ALLUVIALES
D'UN PIEMONT ANDIN: ETUDE DU CONTACT
ANDES-LLANOS OCCIDENTAUX AU VENEZUELA
(REGION DE GUANARE-BARINAS)¹**

DANIEL POUYLLAU*, MICHEL POUYLLAU* et MAGGY SEURIN*

RESUMÉ.- Le piémont sud-oriental des Andes vénézuéliennes étudié et située entre les villes de Guanare et de Barinas, s'étend sur 150.000 ha dans une zone où la forêt sèche tropicale est la végétation climacique. Durant l'orogénèse andine mio-pliocène et quaternaire, une intense érosion a entraîné, en même temps, le déblaiement des matériaux des hauts-bassins, leur transport vers la dépression des Llanos et le dépôt en nappes généralisées; le démantèlement de celles-ci a conduit à la topographie actuelle des terrasses. L'étude de ce piémont permet d'émettre une série d'hypothèses sur l'évolution géomorphologique régionale.

ABSTRACT.- The piemont in the South-East region of the Andes in Venezuela we study, lying between the towns of Guanare and Barinas, spreads over 150.000 ha of a zone where a dry tropical forest constitutes the climatic vegetation. During the orogenic period of the Andes -i.e. mio-pliocene and quaternary-, a strong erosion produced at the same time a removal of material belonging to the high basins, its transportation towards the depressed areas of the Llanos, and the breaking up of the widespread sheet structures thus constituted, and finally created the present topography with terraces. The study of this piemont thus allows the formulation of a series of hypotheses concerning the geomorphologic evolution of this region.

RESUMEN.- El piedemonte suroriental de los Andes venezolanos, ubicado entre las ciudades de Guanare y de Barinas, cubre 150.000 has. y su vegetación climácica es el bosque seco tropical. Durante la orogénesis andina, mio-pliocena y cuaternaria, una intensa erosión originó al mismo tiempo el arrastre de los materiales de las cuencas altas, su transporte hacia

¹ Received, May 1990.

* Centre d'Etudes de Géographie Tropicale. Centre National de la Recherche Scientifique, Esplanade des Antilles, Domaine Universitaire, 33405 - TALENCE CEDEX, France.

secteur où les unités géomorpho-pédologiques revêtent leur plus grande spécificité, en particulier dans le domaine des accumulations alluviales. Cette région, dont l'altitude varie entre 150 mètres (plaine des Llanos) et 800-1.000 mètres (vers la Cordillère des Andes), est soumise à un climat tropical avec un seul maximum pluviométrique (juin-juillet) et un seul minimum (décembre-mars). La moyenne annuelle des températures oscille entre 24 et 26° C avec une amplitude de seulement 2°5 (CONTRERAS, 1984).

La végétation climatique typique du piémont est une forêt sèche tropicale qui apparaît dégradée dans certains secteurs à forte pente et par suite de la présence de nombreux affleurements rocheux. Une deuxième dégradation, plus anthropique, est liée depuis 1950 à un phénomène d'invasion par des paysans sans terre (*conqueros*), à l'exploitation forestière mal contrôlée et à l'ouverture, sans études préliminaires, de voies de communication. Cette dégradation a entraîné un processus de ruissellement superficiel diffus et le développement de ravines dans les lutites et grès fins de certaines formations géologiques. Au-dessus de 800-1000 mètres, l'existence d'un front montagneux important et l'abondance des précipitations favorisent un type de forêt mixte semi-caducifoliée. Des galeries forestières caducifoliées accompagnent les lits majeurs des principales rivières. Les nappes alluviales du contact Piémont-Llanos ne supportent, quant à elles, qu'une végétation basse de type *chaparral* soumise à chaque saison sèche aux feux de savanes.

Dans cet article nous envisagerons successivement, l'organisation géomorphologique régionale, la présentation des accumulations alluviales dans le contact piémont-Llanos et dans les vallées, les processus pédogénétiques et la géochronologie des terrasses et enfin les conclusions et hypothèses d'évolution.

1. L'organisation geomorpho-pedologique regionale

La chaîne andine vénézuélienne correspond à un ensemble géologique développé sur les bordures occidentale et nord-occidentale du craton guyanais. Cette chaîne est formée d'un substratum précambrien (précambrien et jurassique), surmonté d'un crétacé transgressif. A la fin de l'Eocène, des proto-Andes s'individualisent avec formation et transgression de molasses miocènes. La surrection andine se poursuit conduisant à la séparation du bassin de Maracaïbo de celui de Barinas-Apure et les bordures continuent à être remblayées par des molasses continentales (RONDO, 1997; STEPHAN, *et al*, 1980).

Le piémont sud-oriental s'est formé dans des sédiments d'origine continentale qui ont remblayé le miogéosynclinal des Llanos. Durant toute l'orogénèse andine, de la fin de l'Eocène jusqu'au début du Quaternaire, une intense érosion a entraîné en même temps: le déblaiement des matériaux des hauts-bassins, leur transport vers la dépression des Llanos et le déman-

tèlement des nappes généralisées ainsi déposées conduisant à la topographie actuelle des terrasses. Le contact montagne-piémont est clairement visible sur les images satellitaires et mis en évidence par les interprétations biogéographiques: la forêt dense sempervirente couvre les reliefs montagneux tandis que les collines du piémont, fortement érodées, sont recouvertes d'une formation arbustive plus basse (DUPESSEY *et al*, 1976; POUYLLAU *et al*, 1979). Ce contact suit une ligne générale orientée SW-NE.

Ver l'aval, le contact piémont-plaine des Llanos est franc; il se situe à la limite des revers de nappes alluviales soulevées par néotectonique (Formation Guanapa ou Q4 défini par ZINCK, 1970) et des dépôts alluviaux du Quaternaire moyen et récent des Llanos. Les glacis colluviaux, formés à partir du démantèlement du revers des nappes, font partie du piémont car soumis à une dynamique déterminée dans celui-ci. Ces nappes peuvent être qualifiées de nappes alluviales généralisées car elles s'entendent pratiquement d'une manière ininterrompue sur plus de 200 km entre Acarigua, au NE de la zone étudiée, et Barinas.

L'ensemble des formations géologiques a subi d'importantes déformations durant l'orogénèse andine mio-pliocène qui se poursuivent actuellement comme en témoignent les failles qui affectent les dépôts alluviaux récents (ZINCK, 1970; POUYLLAU *et al*, 1982) ainsi que les appareils morainiques intra-andins (TRICART *et al*, 1962; SCHUBERT, 1972, 1985; SOULAS, 1985).

Les corrélations entre les unités géomorphologiques, la structure géologique régionale et la lithologie sont évidentes dans le piémont. L'étude des paysages géomorphologiques a été menée en tenant compte des principes de description et d'identification des unités de formes par plusieurs auteurs (ZINCK, 1970, 1980; POUYLLAU, 1976; BLANCANEUX *et al*, 1977, 1978, 1984; STEEGMAYER *et al*, 1978; POUYLLAU *et al*, 1978) et en France par la publication d'Informatique et Biosphère (1971).

Deux types de paysages géomorphologiques, définis par des attributs morphographiques, morphogénétiques et morphochronologiques, le piémont proprement dit et les vallées, sont présents dans la zone étudiée. Le paysage de piémont est constitué par des monoclinaux, des collines, des petites vallées alluvio-colluviales et des nappes alluviales soulevées (il s'agit, en fait, de l'essentiel de la région étudiée). Le paysage de vallée (cinq principales dans la région étudiée) recoupe l'ensemble du paysage piémont pour se terminer dans la grande plaine d'épandage des Llanos. Deux systèmes de reliefs peuvent y être identifiés: les reliefs correspondant à des niveaux sub-horizontaux supérieurs (accumulations du Pléistocène) et ceux appartenant aux niveaux d'accumulations alluviales holocènes et actuelles.

1.1. La dominante structurale dans les systèmes de reliefs de piémont

Cette dominante est essentielle dans l'explication du modèle de détail du pli-faïlle de Peña Larga-Tucupudo et des reliefs monoclinaux l'accompagnant (figure 1).

La pli-faille de Peña Larga-Tucupido représente l'axe structural principal du piémont, de l'interfluve Río La Yuca-Río Masparro jusqu'à l'interfluve Río Tucupido-Río Guanare, soit 60 kms environ; ce relief atteint 700 m d'altitude et il est traversé, en cluses par trois rivières, les ríos Tucupido, Boconó et Masparro.

Les reliefs monoclinaux se différencient, régionalement, en fonction des formations géologiques et des effets géotectoniques. Dans l'interfluve Boconó-Masparro, ces monoclinaux sont taillés dans la Formation Parangula, les grès érodés formant de petits chevrons.

1.2. Les collines et les petites vallées alluvio-colluviales

Les collines se sont formées dans des grès peu consolidés, des limolites et des lutites tertiaires. Elles sont fortement démantelées par l'érosion en position de reliefs inversés par rapport aux nappes alluviales du Quaternaire ancien. Quatre types de collines peuvent être observées et différenciées:

- des collines à versants concaves, présentes pratiquement dans tout le piémont; elles correspondent au résultat de l'érosion des formations tendres mio-pliocènes par les rivières intermittentes (*quebradas*) drainant le piémont: l'érosion régressive dans ces réseaux digités de rivières a réduit les interfluves à d'étroites lignes de partage des eaux, des versants concaves assurant la transition vers les fonds de petites vallées alluvio-colluviales;

- des collines à versants essentiellement convexes, développées sur des affleurements de la Formation Parangula, entre le Río Tucupido et le Río Guanare; la retombée du pli anticlinal de Peña Larga, qui s'ennoie dans ce secteur sous cette formation, est probablement la cause de ces versants convexes;

- des collines à versants rectilignes entre le Río Masparro et le Río La Yuca; l'influence des pendages des couches de grès et certains mouvements néotectoniques qui ont soulevé, au nord de cette zone, du matériel quaternaire et d'autres couches sont en relation avec ce type de versants;

- quelques versants convexo-concaves existent au-delà de l'interfluve du Río Guanare vers le nord-est dans des grès et lutites de la Formation Río Yuca.

Ces zones de collines ont été déboisées surtout à partir de 1950 et de très nombreuses marques de reprise d'érosion apparaissent: les sommets dénudés des collines sont les zones de départ du ruissellement qui se développe en particulier dans l'interfluve Río Guanare-Río Portuguesa, vers le nord-est, et dans la vallée du Río Tucupido.

L'étude du ruissellement superficiel diffus a été réalisée à partir des observations de terrain et de la photo-interprétation en recherchant la densité des marques laissées sur les versants (petites ravines en particulier). Dans les collines du piémont, particulièrement dans celles érodées dans les formations tendres, le tendance est au ruissellement superficiel

généralisé. Dans certains cas localisés, le processus de ruissellement diffus de surface passe à un processus de ruissellement concentré sous forme de ravines ("cárcavas") principalement sur la ligne de partage des eaux Río Guanare-Río Portuguesa¹.

Un grand nombre de petites vallées drainent le système de collines: des microbassins intracollinaires se sont formés par l'action du réseau hydrographique constitué par des rivières ("quebradas") qui ne fonctionnent que durant la saison des pluies. Le binôme érosion-accumulation génère trois types de phénomènes: décapage des formations tendres par le ruissellement superficiel diffus, concentration dans les entailles profondes en ravines et accumulation des matériaux transportés au bas des versants et dans les bas-fonds.

2. Les accumulations alluviales dans la zone de contact Piémont-Llanos et dans les vallées

Des séries complexes d'accumulations alluviales recouvrent tout le contact Piémont-Llanos. Ces accumulations, compte-tenu de leur géochronologie et de leur dynamique de mise en place, peuvent être individualisées en trois groupes: d'une part, des nappes alluviales généralisées du Pléistocène, soulevées par des mouvements de néotectonique; d'autre part, des niveaux sub-horizontaux de terrasses, localisés près des grands axes hydrographiques actuels; enfin, des niveaux d'accumulation holocènes et actuels².

L'étude de la dynamique de la mise en place de ces accumulations, les corrélations de vallée à vallée (Río Boconó et Río Guanare, en particulier) et les relations entre système intra-piémont et plaine alluviale des Llanos permettent de proposer des hypothèses pour une géochronologie des formations alluviales.

2.1. Les nappes alluviales pléistocènes du contact Piémont-Llanos

Ces nappes, fortement soulevées par des mouvements néotectoniques, jalonnent le contact Piémont-Llanos depuis Acarigua jusqu'au SW de Barinas, soit sur plus de 200 km. Leur position au pied des Andes et dans ce secteur est à mettre en relation avec la présence, au sein du massif, des plus hauts sommets (Pico Bolívar, 5.007 m, Sierra de Santo Domingo-Mucuñuque, 4.700 m, Teta de Niquitao, 4.700 m, etc.) et des bassins fluviaux les plus grands (Ríos Santo Domingo, Boconó, Guanare). Les apports de sédiments ont, en effet, été plus importants dans cette région vu l'ampleur des bassins-

¹ Ces problèmes d'érosion de versants doivent faire l'objet d'un suivi précis vu leur incidence sur les trois retenues construites sur les Ríos Tucupido, Boconó et Masparro.

² Adoptant la géochronologie relative employée au Venezuela, nous les identifions sous les références Q4, Q3, Q2, Q1 et Q0.

versants et des très forts gradients de pente. Ces formations ont été étudiées par ZINCK *et al*, (1966) dans la région de Barinas et dans la vallée du Río Santo Domingo, plus à l'ouest. Ces nappes alluviales du Pléistocène (Q4), discordantes sur la Formation Río Yuca, forment un véritable relief de cuestas avec des fronts regardant vers le NW (Cordillère des Andes) et des revers s'ennoyant sous les formations plus récentes des Llanos. L'action tectonique et néotectonique est généralisée sur l'ensemble des nappes et se manifeste sous la forme de failles, décrochements et pendages importants.

Ces formations soulevées ont été érodées et la transition vers les sédiments plus récents des plaines des Llanos se fait par des glacis colluviaux parfois entaillés par des ravines; le matériel érodé se retrouve en aval sous forme de cônes de déjection plus récents fossilisant le bas de glacis colluviaux.

2.2. Les niveaux de terrasses sub-horizontales

La photo-interprétation et les levés de terrain permettent d'identifier, dans chaque vallée, les différents niveaux de terrasses et le lit majeur. Nous avons sélectionné deux systèmes de terrasses dans les vallées des Ríos Guanare et Boconó, car ceux-ci possèdent des bassins-versants de dimensions comparables (de 150.000 à 200.000 ha) et ayant un dénivelé (allant de 3.500-4.000 m à 150 m) voisin. Les trois autres vallées (Ríos Masparro, La Yuca et Tucupido) ont des bassins-versants moins étendus, limités au front montagneux et au piémont, et des accumulations moins importantes.

Dans la vallée du Río Guanare, sur la rive gauche, quatre niveaux principaux de terrasses peuvent être identifiés en amont de la ville de Guanare.

Leurs altitudes absolues sont les suivantes:

-Niveau actuel de la rivière Q0a	: 170 m	(0)
-Niveau Q1 (Alcabala La Colonia)	: 180 m	(+ 10 m)
-Niveau Q2 (La Colonia)	: 230 m	(+ 60 m)
-Niveau Q3 (UNELLEZ. Mesa de Cavacas)	: 245 m	(+ 75 m)
-Niveau Q4 (Buenos Aires)	: 320 m	(+ 150 m)

Dans la vallée du Río Boconó, en amont du pli-faille de Peña Larga, une autre série de niveaux existe, cette fois-ci sur la rive droite de la rivière; ce système mesure sept kilomètres de long et quatre de large.

Leurs altitudes sont les suivantes:

-Niveau actuel de la rivière Q0a	: 200 m	(0)
-Niveau holocène (?) Q0b	: 225-230 m	(+15-20 m)
-Niveau Q1	: 310 m	(+90 m)
-Niveau Q2	: 340-380 m	(+120-160 m)
-Niveau Q3	: 460 m	(+240 m)
-Niveau Q4	: 480 m	(+260 m)

L'observation des photographies aériennes entraîne une première série de corrélations morphométriques; les données géomorphologiques, associées aux évolutions pédogénétiques, permettent d'approfondir l'étude de la mise en place de ces systèmes au Pléistocène et à l'Holocène.

Le type de sédiment et la dynamique ont été étudiés lors des analyses sédimentologiques tandis que le degré d'évolution était apprécié par l'étude de profils et les analyses chimiques. Le choix des sites de prise d'échantillons a été fait en tenant compte des méthodes utilisées dans les levés géomorpho-pédologiques (dans la vallée du Río Boconó les niveaux Q0b et Q1 n'ont pas pu être échantillonnés car recouverts par le lac du barrage Boconó-Tucupido, ils ont été cependant identifiés sur photographies aériennes antérieures à la mise en eau).

3. Processus pédogénétiques et géochronologie des terrasses

Dans toute approche géochronologique, il est nécessaire d'étudier les corrélations des processus pédogénétiques, les séquences de terrasses devant, théoriquement, s'accompagner de séquences chronologiques de sols. Cette méthode permet de lever certaines ambiguïtés en complétant les données fournies par l'analyse géomorphologique, en particulier dans des paysages modifiés par la néotectonique. Au Venezuela, cette méthode a été appliquée par ZINCK *et al* (1970) dans les terrasses du Río Guarapiche (Llanos orientaux).

Pour les terrasses du piémont andin, nous avons complété l'analyse géomorphologique en interprétant quatre profils étudiés dans le cadre du levé pédologique réalisé par le *Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables-MARNR* (LARREAL, *et al*, 1978 et 1979). Seuls les niveaux Q4, Q3, Q1 et Q0 ont pu être utilisés, Q2 ayant été mal échantillonné (le recouvrement des terrasses par les barrages n'a pas permis de rééchantillonnages).

Les descriptions des quatre profils et leurs caractéristiques granulométriques sont les suivantes:

Profil 3.1., Terrasse Q0

Géomorphologie: terrasse alluviale

Classification taxonomique: Typic Ustropept

Morphologie du profil:

Ap; 0-16 cm: sablo-limoneux; 10 YR 3/2; structure subanguleuse, modérée et fine; consistance friable à l'état humide et peu plastique à l'état mouillé; transition horizontale, nette.

Bs 1; 16-36 cm; sablo-limoneux; 10 YR 4/2 quelques taches YR 5/1, petites, fortement contrastées; structure subanguleuse, faible, fine; consistance friable à l'état humide et peu plastique à l'état mouillé; transition horizontale, nette.

Bs 2; 36-55 cm; sablo-limoneux; 10 YR 4/2; structure subanguleuse, faible, fine; consistance friable à l'état humide, non plastique et non adhésive à l'état mouillé; transition horizontale, nette.

C 1; 55-65 cm; sablo-limoneux; 2,5 Y 5/2; structure particulaire sans cohésion; consistance friable à l'état humide, non plastique et non adhésive à l'état mouillé, transition horizontale, nette.

2C 2; 65-90 cm; sableux; 2,5 Y 3/1; structure particulaire sans cohésion; sans consistance: transition horizontale, nette.

3C 3; 90-145 cm; sableux; couleurs variées; structure particulaire sans cohésion; sans consistance.

Profil 3.2., Terrasse Q1

Géomorphologie: terrasse alluviale

Classification taxonomique: Aquultic Haplustalf

Morphologie du profil:

Ah 1; 0-13 cm; limoneux; 10 YR 3/2; structure subanguleuse, modérée, très fine; consistance ferme à l'état humide, adhésive à l'état mouillé; transition horizontale et graduelle.

Bt 1; 13-33 cm; limono-argileux; 10 YR 4/3; structure subanguleuse, modérée, moyenne; consistance ferme à l'état humide, adhésive à l'état mouillé; transition horizontale et graduelle.

Bt 2; 33-54 cm; sablo-limoneux; 10 YR 5/3; taches fréquentes, petites, claires, fortement contrastées 10 YR 6/1; structure subanguleuse, modérée, moyenne; consistance ferme à l'état humide, adhésive à l'état mouillé; transition horizontale, graduelle.

Btg 3; 54-81 cm; sablo-limoneux; couleurs bigarrées: 2,5 YR 4/6 (30 %), 10 YR 6/1 (30 %) 10 YR 5/3 (40 %); structure subanguleuse, modérée, moyenne; consistance friable à l'état humide, adhésive à l'état mouillée; transition horizontale, nette.

2Cg 1; 81-104 cm; argilo-limoneux; 10 YR 5/1 (60 %) et 2,5 YR 4/8 (30 %); taches fréquentes, moyennes, claires 10 YR 5/3: structure subanguleuse, forte, moyenne; consistance ferme à l'état humide, très adhésive et très plastique à l'état humide; transition horizontale, diffuse.

Profil 3.3, Terrasse Q3

Géomorphologie: terrasse alluviale

Classification taxonomique: Oxic Paleustult

Morphologie du profil:

Ap; 0-8 cm; sablo-limoneux; 10 YR 3/3; structure subanguleuse, modérée, moyenne; consistance friable à l'état humide, adhésive et plastique à l'état mouillée; transition horizontale, nette.

Bt 1; 8-28 cm; argilo sableux; 7,5 YR 4/4; structure subanguleuse, modérée, moyenne; consistance friable à l'état humide, très adhésive et très plastique à l'état mouillée; transition horizontale, diffuse.

Bt 2; 28-54 cm; argilo-limoneux; 5 YR 4/6; structure subanguleuse, modérée, moyenné, consistance ferme à l'état humide, très adhésive et très plastique à l'état mouillé; transition horizontale, diffuse.

Bt 3; 54-74 cm; argilo-limoneux; 5 YR 4/6; structure subanguleuse, modérée, moyenne; consistance friable à l'état humide, très adhésive et très plastique à l'état mouillé; transition ondulée, abrupte.

Bt 4; 74-140 cm; argilo-limoneux; 5 YR 4/6; structure subanguleuse, modérée, moyenne; consistance friable à l'état humide, adhésive et plastique à l'état mouillé.

Profil 3.4., Terrasse Q4

Géomorphologie; terrasse alluviale

Classification taxonomique: Oxic Paleustult

Morphologie du profil:

Ap; 0-10 cm; sablo-limoneux; 5 YR 4/3; structure subanguleuse, modérée, moyenne; consistance friable à l'état humide, peu adhésive et plastique à l'état mouillé; transition ondulée, nette.

Bt 1; 10-31 cm; sablo-argileux; 5 YR 4/6; structure subanguleuse, modérée, fine; consistance friable à l'état humide, adhésive et plastique à l'état mouillé; transition horizontale, diffuse.

Bt 2; 31-57 cm; limono-argileux; 5 YR 4/6; structure subanguleuse, forte, moyenne; consistance friable à l'état humide, adhésive et plastique à l'état mouillé; transition ondulée, nette.

Bt 3; 57-88 cm; limono-argileux; 5 YR 4/6; structure subanguleuse, modérée, moyenne; consistance friable à l'état humide, adhésive et plastique à l'état mouillée; transition ondulée, nette.

Bt 4; 88-121 cm; argilo limoneux; 5 YR 4/6; structure subanguleuse, forte, moyenne; consistance friable à l'état mouillé; transition horizontale, diffuse.

Bt 5; 121-165 cm; argilo-limoneux; 2,5 YR 3/6; structure subanguleuse, modérée à forte, très fine; consistance très friable à l'état humide, adhésive et plastique à l'état mouillé.

A partir des analyses chimiques, effectuées au laboratoire des sols du Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables de Guanare (Tableau 1), nous avons retenu comme repères géochronologiques les critères pédogénétiques suivants:

-la lixiviation des argiles (rapport B/A);

-le pH en eau 1:1;

-le taux de saturation en bases $\frac{S \times 100}{T}$

-la capacité totale d'échange (CEC);

-la teneur en matière organique;

-la présence et le type d'horizon de diagnostic.

GEOMORPHOLOGY AND PEDOLOGY IN THE ANDES-LLANOS

TABLEAU 1.
 Analyses granulométriques et chimiques des échantillons des quatre profils pédologiques des niveaux de terrasses Q0,
 Q1, Q3, Q4
 (Source: LARREAL, M. et alii, 1979)

Profils N.º	% Prof.	Horiz.	Sable			Limon			Argile			PH			Sat. Bas	CEC*	% C. Org.	p.p.m. P ₂ O ₅	% M.O.
			Sable	Limon	Argile	H ₂ O	KCl	CaCl ₂	H ₂ O	KCl	CaCl ₂								
3.1 Q0	0-16	Ap	48,9	32,8	18,3	6,3	5,5	5,6	70	13,5	1,25	11,0	2,15						
	16-36	Bs1	62,1	22,1	15,8	6,7	5,7	5,8	64	10,3	0,62	Traces	1,07						
	36-55	Bs2	71,7	16,3	12,0	6,8	5,5	5,8	53	8,3	0,39	"	0,67						
	55-65	C1	72,3	18,2	9,5	6,7	5,5	5,7	60	8,8	0,31	"	0,53						
	65-90	2C2	86,0	5,7	8,3	6,7	5,4	5,7	67	6,5	0,04	"	0,06						
90-130	3C3	95,2	1,5	3,3	6,7	5,5	5,7	59	6,1	0,08	"	0,14							
3.2 Q1	0-13	Ah1	18,6	59,1	22,3	5,8	4,8	5,1	58	26,2	3,04	Traces	5,25						
	13-33	Bt1	25,9	44,3	29,8	5,1	3,8	4,3	33	20,9	1,33	"	2,30						
	33-54	Bt2	36,5	31,2	32,2	5,1	3,7	4,0	25	15,4	0,62	"	1,07						
	54-81	Btg3	39,8	32,9	27,3	5,3	3,8	4,1	35	11,5	0,52	"	0,90						
	81-104	2Cg1	10,0	42,7	47,3	5,6	3,9	4,4	51	19,2	0,59	"	1,02						
104-145	2Cg2	2,8	49,9	47,3	6,1	4,4	4,9	60	18,4	0,59	"	1,02							
3.3 Q3	0-8	Ap	44,9	31,8	23,3	4,9	3,7	4,1	15	14,2	1,79	2,0	3,09						
	8-28	Bt1	31,0	28,2	40,6	4,7	3,5	3,8	8	14,3	0,82	Traces	1,42						
	28-54	Bt2	24,7	29,5	45,8	4,7	3,6	3,8	6	13,1	0,62	"	1,07						
	54-74	Bt3	27,4	28,1	44,5	4,8	3,6	3,9	5	11,5	0,51	"	0,88						
	74-140	Bt4	25,1	31,3	43,6	4,8	3,7	3,9	8	12,7	0,62	"	1,07						
3.4 Q4	0-10	Ap	49,5	31,4	19,1	5,1	4,0	4,3	20	8,6	1,40	1,0	2,42						
	10-31	Bt1	45,2	23,2	31,6	4,7	3,7	4,0	7	8,2	0,62	Traces	1,07						
	31-57	Bt2	38,7	29,7	31,6	4,7	3,8	4,0	5	6,6	0,47	"	0,80						
	57-88	Bt3	38,6	27,3	34,1	4,9	3,9	4,1	4	6,8	0,20	"	0,34						
	88-121	Bt4	36,4	27,0	36,6	5,0	3,8	4,0	3	6,7	0,16	"	0,28						
121-165	Bt5	36,0	27,9	36,1	4,9	3,8	4,0	5	6,0	0,16	"	0,28							

Ces informations sont enfin complétées par des éléments de classification des sols (Soil Taxonomy y Classification française).

L'étude des variations pédogénétiques suivant la profondeur nous a semblé utile car cette l'évolution, sauf reprise de la morphogénèse, est signe d'identification géochronologique; nous y avons ajouté la relation % d'argile suivant la profondeur:

a) *Relation argile-profondeur (figure 2)*

Les pourcentages d'argile apparaissent normaux en fonction de l'évolution pédogénétique des niveaux. Dans Q1, une forte accumulation d'argile apparaît à partir de 80 cm. Il s'agit, contrairement à ce qu'un examen de la courbe laisserait penser, d'un horizon C gleysifié (matériau parental provenant d'une ancienne cuvette marginale argileuse). L'enrichissement en argile se situe dans les Bt 1 et Bt 2 (13-54 cm). La position de Q0 à gauche de la figure est logique compte tenu de la jeunesse du sol (inceptisol); Q4 est fortement lessivé.

b) *Désaturation du complexe absorbant*

En parallèle avec le lessivage des argiles, le processus de désaturation du complexe absorbant apparaît. L'analyse des courbes taux de saturation en bases/profondeur (figure 3) montre clairement deux ensembles; d'une part, Q0 et Q1 où le processus se manifeste plutôt sous forme de perte en carbonates et premières manifestations de ferruginisation; d'autre part, l'ensemble Q3 et Q4 est identifié avec un taux de saturation en bases très faible: nous trouvons là le résultat de l'acidification très intense des formations pédologiques anciennes. Les courbes des relations pH/profondeur confirment cela (figure 4).

c) *Dégradation du complexe absorbant*

La dégradation du complexe absorbant (figure 5) se manifeste dans une capacité d'échange cationique (CEC) plus faible en me/100 g A. dans les formations pédologiques anciennes. La courbe présentée démontre clairement cette évolution avec Q0 à CEC élevée alors que Q1, et surtout Q3 et Q4 ont une CEC particulièrement faible.

En regroupant et comparant les critères d'évolution pédogénétique précédemment identifiés avec les taxons de la Soil Taxonomy et les horizons de diagnostic qui permettent leur individualisation, nous pouvons obtenir une étroite corrélation entre géochronologie, taxon et processus (tabl. 2). Bien qu'étant un système taxonomique hiérarchisé et non un système naturel ou génétique, la Soil Taxonomy permet de donner une première approche de l'âge de la formation pédologique et donc de cerner l'âge du dépôt, sauf modification majeure (érosion, sol tronqué, sol fossile).

Les divers tableaux que nous avons interprétés montrent que cette méthode précise les autres techniques d'analyse: les différences entre les niveaux Q3, Q1 et Q0 apparaissent clairement mais la difficulté d'interprétation des origines de Q4 et de Q3 reste réelle.

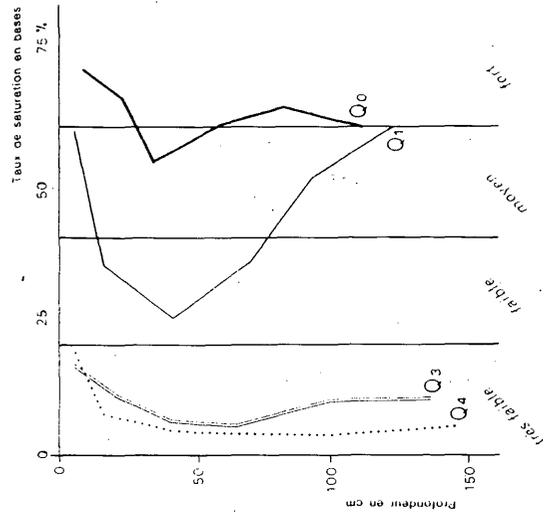


Fig. 3. Relation taux de saturation en bases/profondeur (terrasses Rio Guanare).

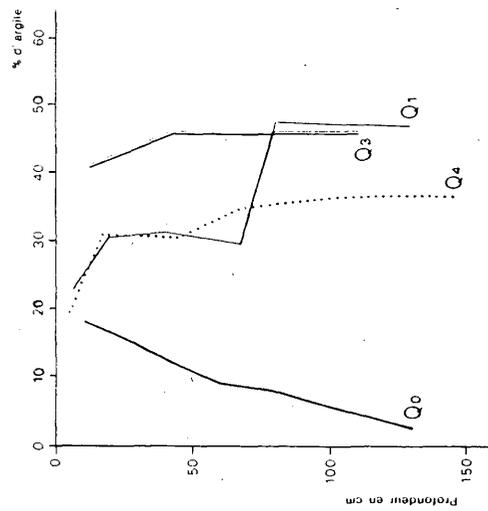


Fig. 2. Relation argile/profondeur (terrasses Rio Guanare)

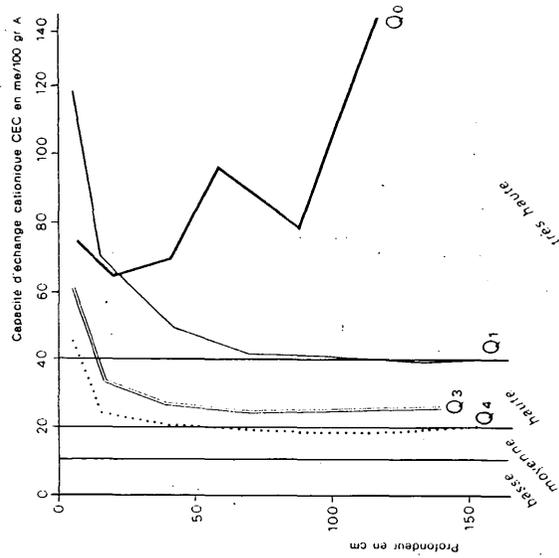


Fig. 5. Relation capacité d'échange cationique (CEC)/profondeur (terrasses Rio Guanare)

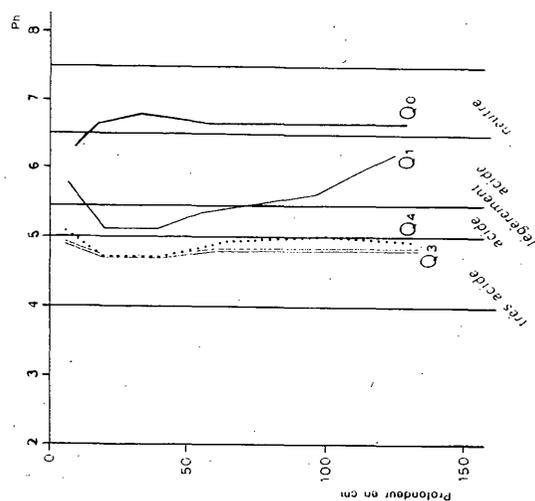


Fig. 4. Relation pH/profondeur, (terrasses Rio Guanare).

GEOMORPHOLOGY AND PEDOLOGY IN THE ANDES-LLANOS

TABLEAU 2
Processus pédogénétiques, taxons et âge relatif.

Age Relatif	Lessivage argiles B/A	pH H ₂ O	% Saturation bases	CEC %	Horizons Diagnostics (d'après Soil Taxonomy)	Classification taxonomique
Q0	0.75	6.6	62	8.9	ochrique cambique	Entisol
Q1	0.92	5.5	44	18.6	cambique argillique	Inceptisol
Q3	1.9	4.7	8.4	12.9	ochrique, albique, argillique plinthite	Ultisol
Q4	1.8	4.9	7.3	7.1	ochrique argillique oxiplinthite	Ultisol sous groupe oxic

(synthèses des données les plus représentatives)

4. Conclusions et hypothèses d'évolution

L'étude préliminaire du piémont andin que nous avons menée permet de préciser les systèmes de reliefs caractéristiques de cette région. La coupe géologique type de cette région est représentative du piémont sud-oriental des Andes; du front montagneux à la plaine des Llanos, les grands ensembles typiques d'un piémont sont présents, large synclinal remblayé par la Formation Río Yuca ayant évolué en collines, pli-faille de Peña Larga correspondant à une axe anticlinal, cluses des principales rivières, et enfin les grandes nappes alluviales du Quaternaire ancien soulevées par des mouvements tectoniques liés à la surrection des Andes et à la subsidence des Llanos. Notre étude ayant porté essentiellement sur les formations alluviales, il nous paraît intéressant, en conclusion, de proposer des hypothèses sur l'évolution géochronologique de ce piémont. Reprenant la figure 2, nous pouvons individualiser clairement les cinq systèmes fluviaux qui ont construit des ensembles de terrasses:

- dans les systèmes des Ríos Boconó, Guanare et La Yuca, les séquences de terrasses sont pratiquement complètes du Q4 au Q0;
- dans les systèmes des Ríos Masparro et Tucupido, les séquences sont incomplètes et seuls les niveaux du Q2 au Q0a sont présents;
- dans le bassin du Tucupido, un énorme remblaiement Q0b existe en amont de l'anticlinal de Peña Larga;

-dans les systèmes Boconó et Guanare, les séquences de terrasses sont situées en position opposée: rive gauche dans la vallée du Río Guanare et rive droite dans le Río Boconó.

Ces observations permettent de proposer l'hypothèse d'évolution suivantes durant el Quaternaire:

1. Une accumulation généralisée se dépose sur le piémont durant le Pléistocène Q4;
2. Cette accumulation se poursuit, mais avec une moindre force durant Q3 dans les vallées et au-delà dans les Llanos;
3. Pendant Q3 ou durant la transition Q3-Q2, le pli-faille de Peña Larga se forme, entraînant d'une part, le blocage partiel des systèmes alluviaux Masparro, Boconó, Tucupido, et d'autre part, la subsidence de certains secteurs, Masparro et Tucupido;
4. Dans ces secteurs en subsidence les accumulations Q4 et Q3 sont soit démantelées, soit recouvertes par Q2, Q1 et Q0: dans le cas du Tucupido, le blocage du système provoque même un remblaiement généralisé par Q0b. Ce remblaiement pourrait expliquer, en partie, le déversement de la rivière Higueroles d'un ancien lit qui se dirigeait vers l'est, en direction du tracé actuel vers le sud;
5. Le soulèvement du pli-faille entraîne le démantèlement des terrasses rive droite du Río Guanare et rive gauche du Río Boconó; l'enneigement du pli vers le NE pourrait être à l'origine de mouvements tectoniques entre les niveaux de terrasses du Río Guanare.

Les grandes unités du piémont sont ainsi précisées. Il est clair que cette étude préliminaire doit être le départ de travaux plus précis et complémentaires qui permettraient d'affiner nos connaissances sur le piémont andin vénézuélien en particulier, et sur les piémonts circum-amazoniens des Andes en général. Actuellement, et à partir des recherches géomorphologiques, la principale piste de recherche doit s'orienter vers les interrelations homme/environnement; cette région, en état "climax", est potentiellement en déséquilibre tant physique, problèmes d'érosion de versants, que biochimique avec la dégradation des sols. L'intervention anthropique, extrêmement sévère, ajoute un facteur prioritaire dans la génération des déséquilibres. Le remplissage rapide des lac de barrages, construits sur les Ríos Tucupido, Boconó et Masparro au début des années 1980, démontre amplement la gravité des problèmes.

Remerciements. Nous remercions particulièrement, pour leur appui scientifique et technique, le Centre d'Etudes de Géographie Tropicale de Bordeaux-Talence (CEGET-CNRS), le Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables (MARNR) de Guanare, l'Universidad Nacional Experimental de los Llanos Occidentales Ezequiel Zamora (UNELLEZ) de Guanare.

Bibliographie

- BLANCANEUX, P. & POUYLLAU, M. (1977). Les relations géomorpho-pédologiques de la retombée nor-occidentale du massif guyanais (Venezuela). 1ère partie: Les concepts et définitions. *Cahiers ORSTOM, Série Pédologie*, 15 (4): 437-448.
- BLANCANEUX, P. & POUYLLAU, M. (1978). Les relations géomorpho-pédologiques de la retombée nor-occidentale du massif guyanais (Venezuela). 2ème partie: Les unités géomorpho-pédologiques. *Cahiers ORSTOM, Série Pédologie*, 16 (3): 293-315.
- CONTRERAS F. G. (1984). *Inventario Nacional de Tierras. Cuencas Altas Guanare-Masparro. Estudio climatológico e hidrológico*. Guanare, Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables, División de Información e Investigación del Ambiente, 250 p.
- DUPESSEY, J. M.; POUYLLAU, D. & POUYLLAU, M. (1976). Utilización de los sensores remotos de tipo Landsat en los programas de la Dirección General de Recursos hidráulicos del MOP (Venezuela). In: *Congreso venezolano de la Ciencia del Suelo*, 4, Ministerio de Obras Públicas, 18 p., Caracas.
- INFORMATIQUE et BIOSPHERE (1971). *Glossaire de pédologie. Description de l'environnement en vue de traitement informatique*. Informatique et Biosphère, 173 p., Paris.
- LARREAL, R. M. et alii (1978). Estudio agrológico gran visión en las Cuencas Altas sector Río Guanare-La Yuca, In: *Síntesis de Conferencias presentadas durante la Semana de la Información de la DGIIA*. Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables, Dirección General de Información e Investigación del Ambiente, 5 p. (Serie Informes Técnicos DGIIA/IT/23), Caracas.
- LARREAL, R. M. et alii (1979). *Metodología y algunos resultados de los estudios de suelos de las Cuencas entre los Ríos Guanare y Masparro*. Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables, Departamento de Suelos, Vegetación y Fauna, 57 p. (Comunicación Reunión de la Asociación latinoamericana de Ciencias Agrícolas, 10, Acapulco, 1979), Guanare.
- POUYLLAU, D.; CONTRERAS, G. & REAUD, G. (1978). El Inventario Nacional de Tierras en los Andes venezolanos: Estudio integral de las Cuencas Altas del Programa Guanare-Masparro (Ejemplo de los Estudios temáticos en la región de Boconó). In: *Congreso de la Sociedad Venezolana de la Ciencia del Suelo*, 5, Barquisimeto. Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables, 33 p., Caracas.
- POUYLLAU, D. et alii (1979). Cartographie de l'utilisation du sol et des unités géomorpho-pédologiques à partir d'images Landsat 1 dans la région du "Programa Guanare-Masparro" (Venezuela). *Photo-interprétation*, 4: 32-42.
- POUYLLAU, D. et alii (1982). Estudio geomorfológico del Piedemonte andino entre Guanare y Barinas, zona protectora del Programa Guanare-Masparro, Venezuela (primeros resultados). In: *Memorias. Congreso Venezolano de la Ciencia del Suelo*, 6, Suelo, Ambiente, Productividad: nuestro reto hacia el futuro. CONICIT, SVCS, MARNR, pp. 278-322, Guanare.
- POUYLLAU, D. et alii (1990). Piémont et accumulations alluviales dans la région Guanare-Masparro. Contact Andes-Llanos occidentaux. Venezuela. *Travaux et Documents de Géographie Tropicale*. CEGET-CNRS, pp. 77-135, Bordeaux-Talence.
- POUYLLAU, M. (1976). *La géographie dans un plan de contrôle des eaux et récupération de terres: essai méthodologique et cartographique (Llanos de l'Apure, sud-ouest du Venezuela)*. Université de Bordeaux III, 317 p., Talence.

- REAUD-THOMAS, G. (1990). Végétation et utilisation du sol dans la région Guanare-Masparro, Andes vénézuéliennes. Travaux et Documents de Géographie Tropicale. CEGET-CNRS, Bordeaux-Talence.
- RONDON, L. F. (1977) Geología de la región de Guanare, Estado Portuguesa. In: *Congreso Latinoamericano de Geología*, 2, 1973. Memoria, Tomo III. *Boletín de Geología*. Publicación especial, n.º 7, Ministerio de Minas e Hidrocarburos, pp. 1681-1685, Caracas.
- SCHUBERT, C. (1972). Cronología glacial tardía y evidencias neotectónicas en los Andes venezolanos nororientales. *Acta Científica Venezolana*, 23 (3): 89-94.
- SCHUBERT, C. (1985). Cuencas cenozoicas tardías de Venezuela. In: *Memorias. Congreso Geológico Venezolano*, 6, Tomo IV. Sociedad venezolana de Geólogos, pp. 2663-2679, Caracas.
- SOULAS, J. P. (1985) Neotectónica del flanco occidental de los Andes de Venezuela, entre 70° 30' y 71° 00' W (Fallas de Boconó, Valera, Tuñame, Piñango y del Piedemonte). In: *Memorias. Congreso Geológico Venezolano*, 6, Tomo IV. Sociedad Venezolana de Geólogos, pp. 2687-2711, Caracas.
- STEEGMAYER, P. & BUSTOS, C. R. (1978). *Proposición metodológica para estudios de suelos en Cuencas Altas*. Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables, 35 p., San Cristóbal.
- STEPHAN, J. F. et alii (1980). La chaîne caraïbe du Pacifique à l'Atlantique. In: *Congrès Géologique International*, 26, 1980, Colloque C 5, Géologie des chaînes alpines issues de la Téthys. DGRST, BRGM, CNRS, pp. 38-59, Paris.
- TRICART, J. & MILLIES-LACROIX, A. (1962). Les terrasses quaternaires des Andes vénézuéliennes. *Bulletin de la Société Géologique de France*, 7e Série, 4 (2): 202-218.
- ZINCK, A. (1970). *Aplicación de la geomorfología al levantamiento de suelos en zonas aluviales*. Ministerio de Obras Públicas, 105 p., Barcelona (Venezuela).
- ZINCK, A. (1980). *Definición del ambiente geomorfológico con fines de descripción de suelos*. CIDIAT, 114 p., Mérida.
- ZINCK, A. & STAGNO, P. (1966). *Estudio edafológico de la zona Santo-Domingo-Río Pagüey, Estado Barinas*. Ministerio de Obras Públicas, 304 p., Guanare.
- ZINCK, A. & URRIOLOA, P. L. (1970). *Origen y evolución de la formación Mesa. Un enfoque edafológico*. Ministerio de Obras Públicas, 70 p., Barcelona (Venezuela).