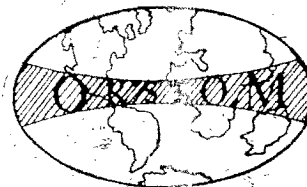


MINISTERIO DE AGRICULTURA  
Y GANADERIA  
DIRECCION DE PLANIFICACION  
ECUADOR



O. R. S. T. O. M.  
OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE  
ET TECHNIQUE OUTRE - MER  
FRANCIA

MEMOIRE DE STAGE DE DEUXIEME ANNEE DE  
SPECIALISATION

G.L. DE NONI - MISSION ORSTOM  
QUITO - EQUATEUR

1980

## SOMMAIRE

|                                                                                             |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1. INTRODUCTION .....                                                                       | 1  |
| 2. ACTIVITE DEPLOYEE                                                                        |    |
| 2.1. Thèmes généraux de recherches.....                                                     | 1  |
| 2.2. Programme détaillé du stage .....                                                      | 2  |
| 3. LES ETUDES PEDO-GEOMORPHOLOGIQUES DANS LA PROVINCE<br>AMAZONIENNE DU PASTAZA .....       | 3  |
| 3.1. Les conditions d'affectation et d'exécution.....                                       | 3  |
| 3.2. Commentaire de la notice explicative.....                                              | 4  |
| 3.2.1. Présentation géographique sommaire de<br>la province du Pastaza.....                 | 4  |
| 3.2.2. La documentation cartographique et pho-<br>tographique .....                         | 6  |
| 3.2.2.1. La documentation cartographique .....                                              | 6  |
| 3.2.2.2. La documentation photographique.....                                               | 8  |
| 3.2.3. La documentation bibliographique.....                                                | 9  |
| 3.2.4. L'observation sur le terrain .....                                                   | 12 |
| 3.2.5. Critères et résultats techniques, de la car-<br>tographie pédo-géomorphologique..... | 12 |
| 3.2.5.1 Critères et résultats techniques géo-<br>morphologiques .....                       | 12 |
| 3.2.5.1.1. Critères géomorphologi-<br>ques .....                                            | 12 |
| 3.2.5.1.2. Résultats techniques<br>géomorphologiques .....                                  | 13 |
| 3.2.5.2. Critères et résultats techniques pé-<br>dologiques.....                            | 18 |
| 3.2.5.2.1. Critères pédologiques.....                                                       | 18 |
| 3.2.5.2.2. Résultats techniques pé-<br>dologiques.....                                      | 18 |
| 3.2.6. Résultats pratiques et conclusion générale.....                                      | 19 |

|            |                                                                                                                |    |
|------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 4.         | PHOTO-INTERPRETATION D'UNE PARTIE DU VERSANT ORIENTAL DE<br>LA CORDILLERE DES ANDES.....                       | 22 |
| 4.1.       | Le cadre de la photo-interprétation et les documents<br>utilisés.....                                          | 22 |
| 4.2.       | La légende de la photo-interprétation.....                                                                     | 23 |
| 4.3.       | Les résultats acquis .....                                                                                     | 25 |
| 5.         | ETUDE DE QUELQUES PHENOMENES MORPHO-DYNAMIQUES ACTUELS DANS<br>LA SIERRA EQUATORIENNE .....                    | 29 |
| 5.1.       | Position du problème et les objectifs .....                                                                    | 29 |
| 5.2.       | Les étapes de la réalisation.....                                                                              | 29 |
| 5.2.1.     | Les documents de Pronareg.....                                                                                 | 30 |
| 5.2.2.     | Les photographies aériennes .....                                                                              | 31 |
| 5.2.3.     | Les travaux de terrain .....                                                                                   | 32 |
| 5.3.       | La réalisation des premiers objectifs.....                                                                     | 32 |
| 5.3.1.     | Présentation du domaine étudié.....                                                                            | 33 |
| 5.3.2.     | Cinq cas analysés sur le terrain .....                                                                         | 33 |
| 5.3.2.1.   | Trois cas concernant des petits mou-<br>vements de masse associés à du ruïs-<br>sellement .....                | 34 |
| 5.3.2.1.1. | Le premier cas dans les<br>environs de Quito.....                                                              | 34 |
| 5.3.2.1.2. | Le second cas, à Alanga-<br>si.....                                                                            | 42 |
| 5.3.2.1.3. | Le troisième cas, à As-<br>casubi.....                                                                         | 45 |
| 5.3.2.2.   | Le quatrième cas, dans la région de<br>Saquisili: ruissellement diffus et<br>concentré.....                    | 51 |
| 5.3.2.3.   | Le cinquième cas, entre les bassins<br>de Guayllabamba et Cayambe: érosion et<br>accumulations éoliennes ..... | 59 |
| 5.3.3.     | Conclusion.....                                                                                                | 66 |
| 5.3.4.     | Bibliographie .....                                                                                            | 69 |

|                           |    |
|---------------------------|----|
| 6. PERSPECTIVES .....     | 71 |
| 7. REMARQUES ANNEXES..... | 72 |
| 8. PUBLICATIONS .....     | 73 |

CARTE Pédo-géomorphologique de la province du Pastaza

(1/500.000) ..... en annexe.

GEORGES-LAURENT DE NONI

DISCIPLINE: Géographie  
ELEVE DE: Deuxième année  
LIEU D'AFFECTATION: Mission ORSTOM de QUITO (Equateur)  
DATE DE DEPART: 04 - 11 - 1979  
DIRECTEUR D'ETUDES: M. DERRUAU  
RESPONSABLE LOCAL: M. WINCKELL

1. INTRODUCTION:

Ce mémoire de stage relate les travaux que j'ai effectué, au sein de la mission ORSTOM de Quito, au cours de ma deuxième année de spécialisation. Les thèmes de recherches ont été élaborés avec Monsieur A.WINCKELL, mon responsable local, Monsieur F.VICARIOT, Chef de Mission, et avec l'accord de Monsieur le Professeur M. DERRUAU, mon directeur d'études.

2. Activité déployée

L'activité déployée résulte de priorités locales, définies dans le cadre de la convention MAG (1) - ORSTOM.

2.1 Thèmes généraux de recherches

Dans l'ordre chronologique, les thèmes généraux de recherches sont les suivants:

- Publication des résultats de l'étude pédo-géomorphologique de la province du PASTAZA.
- Etude par photointerprétation d'un secteur de la partie Sud-Est du Versant oriental de la Cordillère des Andes.
- Etudes de quelques phénomènes morpho-dynamiques actuels dans la Sierra Equatorienne.

.../...

(1) M.A.G. : Ministerio de Agricultura y Ganadería

## 2.2 Programme détaillé du stage.

- A partir du début du mois de novembre 1979, j'ai effectué la rédaction définitive de la notice explicative accompagnant la carte pédo-géomorphologique de la province du PASTAZA, qui avait été imprimée en couleurs préalablement par l'Institut géographique Militaire de la République d'Equateur. Le document final a été remis au responsable de l'impression à la fin du mois de décembre de la même année. Cinq cent exemplaires ont été imprimés sur une petite machine Offset et la diffusion, à la charge de la contrepartie équatorienne, a commencé durant le mois de mars 1980.

- En vue de la préparation de cartes pédologiques et à la demande de Monsieur Colmet-Daage, j'ai procédé, à partir du mois de Janvier 1980, à l'étude par photointerprétation d'une partie du Versant Oriental de la Cordillère des Andes. La zone étudiée correspondait à 19 cartes de sols à 1/50.000, appartenant partiellement aux provinces de Morona-Santiago et Zamora-Chinchipe. Il s'est agi essentiellement d'une interprétation des pentes, et des grands ensembles géologiques caractéristiques. Les calques d'interprétation, avec leurs légendes, ont été remis à Monsieur F.Colmet-Daage à la fin du mois de mars 1980.

.. Depuis le mois d'Avril 1980, je me consacre à l'étude de la dynamique actuelle des Versants dans les Andes équatoriennes. Jusqu'à ce jour, j'ai effectué, dans les régions de Quito et Latacunga, l'étude géomorphologique de cinq cas analysés sur le terrain. Ce nouveau programme "erosion" n'en est qu'à ses débuts et devrait aboutir à une meilleure connaissance des faits observés, à l'explication de leur déclenchement, de leur dynamique et à l'énoncé de quelques principes relatifs à la protection des terres soumises à ces phénomènes.

.../...

### 3. Les études Pédo-géomorphologiques dans la province Amazonienne du Pastaza.

La finalité des études pédo-géomorphologiques dans la province du Pastaza est de poursuivre l'inventaire des ressources naturelles renouvelables de l'Amazonie équatorienne, qui a débuté dans la province du Napo. (Sourdat, Custode 1977; Sourdat, Custode et Barral 1977; Barral, Orrego et Lopez 1978; Sourdat, Custode 1978).

Comme pour la province du Napo, le document final est une carte thématique, à petite échelle et en couleurs, des formes de relief et des sols prédominants (voir annexe), accompagnée d'un texte qui est une notice explicative détaillée.

#### 3.1. Les conditions d'affectation et d'exécution.

- J'ai été affecté à Quito en Octobre 1976 en qualité de V.S.N.A., puis d'Allocataire de Recherches à partir de Mars 1978, et enfin d'Elève en Octobre 1978. Durant la fin de l'année 1976, pour prendre contact avec l'Amazonie équatorienne, j'ai travaillé avec Monsieur Michel Sourdat, pédologue de l'ORSTOM, à la cartographie de la province du Napo. Puis, au cours du premier trimestre 1977, à la demande de nos partenaires équatoriens désireux de voir s'étendre les activités de l'ORSTOM au reste de la région amazonienne, j'ai commencé la cartographie pédo-géomorphologique de reconnaissance, à 1/500.000, de la province du Pastaza.

- Pour ce travail, j'ai bénéficié de la présence à mes côtés, de Monsieur O. Guevara, ingénieur agronome, qui s'est intéressé plus particulièrement aux sols de la province du Pastaza et à leurs possibilités d'utilisation, et de Monsieur A. Muñoz, photogrammètre, pour les tâches plus techniques de cartographie. Je tiens à souligner également le rôle prédominant de Monsieur M. Sourdat, responsable des études pédo-géomorphologiques pour l'ensemble de la région amazonienne, dont les conseils et l'expérience nous ont grandement aidé pour mener à terme ce travail.

### 3.2. Commentaire de la notice explicative.

La notice explicative est rédigée en espagnol et se compose d'une introduction, d'une première partie méthodologique, d'une seconde partie qui est le commentaire de la carte Pédogéomorphologique et d'une conclusion générale. Pour ne pas reprendre systématiquement le plan de la notice originale, nous insisterons davantage ici, avec le commentaire des résultats obtenus, sur les principes de la méthode qui ont guidé notre intervention dans la province du Pastaza.

#### 3.2.1. Présentation géographique sommaire de la province du Pastaza.

La zone cartographiée correspond aux limites politico-administratives usuelles de la province du Pastaza. Située au coeur de la région Amazonienne équatorienne, la province du Pastaza, qui tire son nom du cours d'eau principal, est une province grande comme la Belgique. La superficie est de 32.008 Km<sup>2</sup> (selon les sources de l'Institut Géographique Militaire de la République d'Equateur), ce qui représente environ 12% de la superficie totale du territoire national. La province du Pastaza est limitée au Nord par la province du Napo, au Sud par la province du Morona-Santiago, à l'Ouest par la province du Tungurahua et à l'Est par la ligne du Protocole de Río de Janeiro. (voir carte page 7)

Le climat se caractérise par la subégalité des températures et de la pluviosité tout au long de l'année, et l'absence d'une saison sèche bien marquée. En règle générale, la température moyenne annuelle se situe entre 24 et 25°. L'amplitude annuelle et les oscillations diurnes sont très faibles et ne dépassent pas 2 ou 3 degrés, qui sont encore atténués sous couvert forestier. Le long du versant andin, les températures moyennes annuelles s'abaissent parce qu'elles sont zonifiées par l'altitude et passent rapidement de 20° à moins de 10°. Il en est de même pour les précipitations qui sont toujours abondantes, bien réparties annuellement, et qui tombent sous la forme d'averses violentes. Au dessous de 600 mètres d'altitude, les précipitations se situent entre 2000 et 3000 millimètres par an, pour passer à 4000 millimètres, voire même 5000 millimètres, lors-

.../...



qu'on atteint la montagne. Dans ce contexte climatique équatorial humide, tout concourt à l'épanouissement d'une végétation climatique arborée qui offre une remarquable diversité de détails liés à une très grande richesse floristique.

Par comparaison avec les trois autres provinces de la région amazonique équatorienne, la province du Pastaza est la moins peuplée et la moins dense :

| <u>PROVINCES</u>    | <u>CHEFS-LIEUX</u> | <u>SUPERFICIES</u><br><u>(1) Km<sup>2</sup></u> | <u>POPULATION</u><br><u>1974 (2)</u> | <u>DENSITE</u><br><u>HAB/Km<sup>2</sup></u> |
|---------------------|--------------------|-------------------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------------|
| NAPO                | TENA               | 51.798                                          | 62.186                               | 1,20                                        |
| PASTAZA             | PUYO               | 32.008                                          | 23.465                               | 0,73                                        |
| MORONA<br>SANTIAGO  | MACAS              | 25.430                                          | 53.325                               | 2,09                                        |
| ZAMORA<br>CHINCHIPE | ZAMORA             | 20.799                                          | 34.493                               | 1,65                                        |

(1) Source : I.G.M. (Instituto Geográfico Militar)

(2) Source : I.N.E.C. (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos)

Cette faible densité s'explique par le fait que la province du Pastaza a rencontré des conditions de mise en valeur plus difficiles. Dans la province du Napo, c'est l'industrie pétrolière qui a permis le développement accéléré d'un réseau de routes et de chemins de pénétration, qui ont attiré de nombreux paysans marginaux de la Sierra et même de la Costa. Les provinces du Morona-Santiago et du Zamora-Chinchipe se sont révélées, également, plus attractives parce que plus proches des provinces serréniennes méridionales à population rurale traditionnellement émigrante.

Dans la province du Pastaza, l'exploitation pétrolière en est au stade de la prospection et la fièvre de l'or noir n'a pas encore conduit à un défrichement irrationnel et anarchique de la forêt. Quelques projets routiers sont en cours de réalisation mais la

.../...

plupart n'ont pas encore débuté. Pour le moment, la forêt conserve donc toute son intégrité écologique, que respectent les groupes autochtones (Auca, Achuar et Schuar), à l'exception de la zone de piedmont, le long de la route Baños-Puyo-Tena-Papallacta, où un front de colonisation déjà ancien, a détruit la forêt au profit d'une savane arborée où dominant les pâturages.

### 3.2.2. La documentation cartographique et photographique.

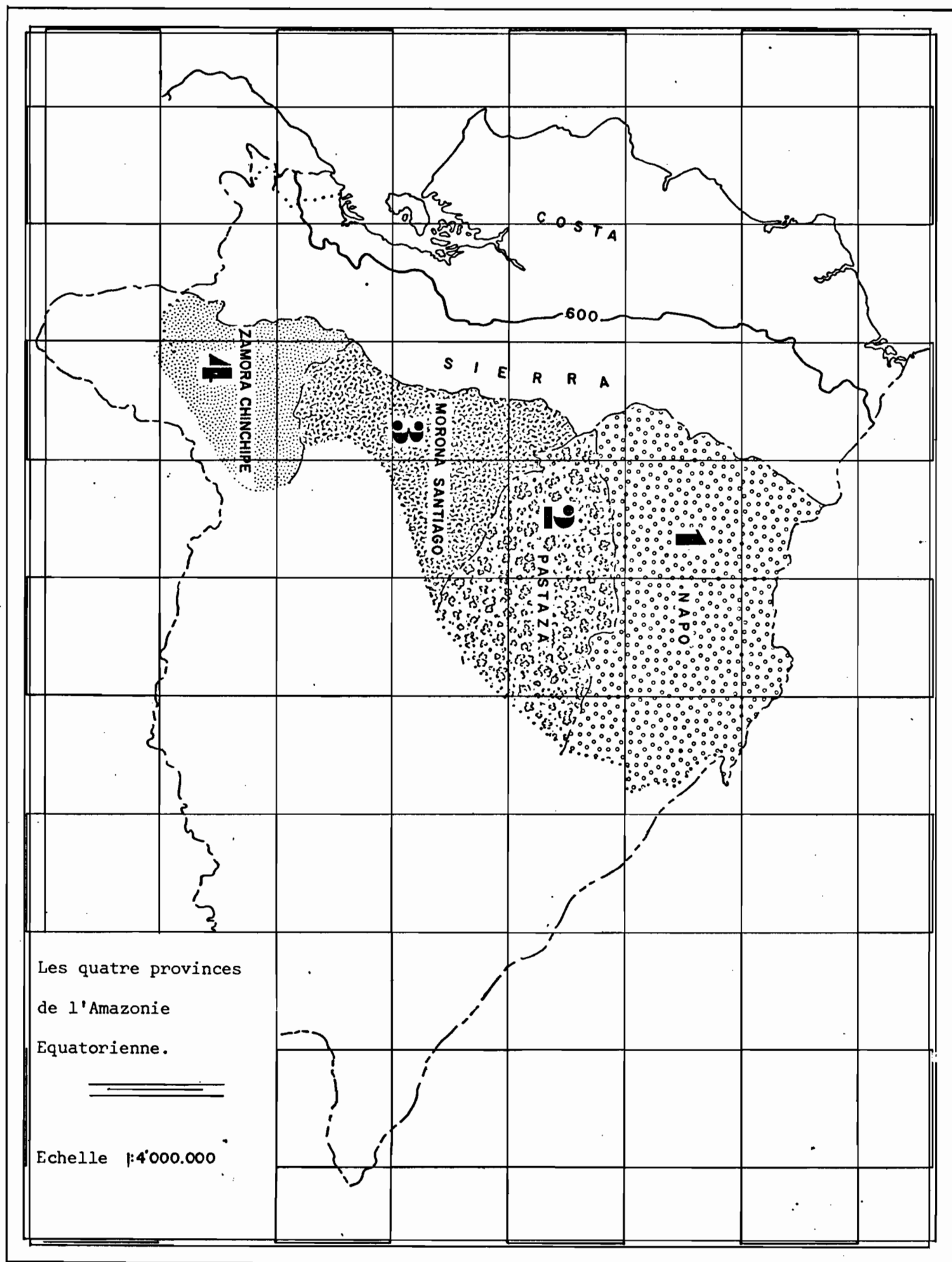
Avant d'aborder l'analyse systématique de la géomorphologie et des sols prédominants, la première démarche consiste à repérer les limites géographiques et les grandes unités de relief de la zone à étudier en recherchant la documentation cartographique et photographique existante, si possible à des échelles différentes.

#### 3.2.2.1. La documentation cartographique.

La documentation cartographique est quasi-inexistante en ce qui concerne la province du Pastaza. Nous avons disposé, seulement, de deux documents à petite échelle : l'un hypsométrique au 1/1'000.000, l'autre géologique également au 1/1'000.000. Aux échelles plus grandes, les documents sont provisoires et sujets à une réactualisation de l'information.

##### - La carte hypsométrique, au 1/1'000.000

C'est une carte générale de l'Equateur éditée en polychromie par l'Institut Géographique Militaire et actualisée au 31 Décembre 1974. Les couleurs de base sont au nombre de cinq : le noir, le rouge, le bleu pour la planimétrie et le vert, le marron pour l'hypsométrie. Pour intensifier la représentation du relief, l'Institut Géographique Militaire a superposé sur l'hypsométrie les courbes de niveau principales. Pour la province du Pastaza, ces courbes de niveau s'échelonnent, de l'Est vers l'Ouest, depuis 300 mètres jusqu'à 2500 mètres au dessus du niveau de la mer. De 300 jusqu'à 1500 mètres, l'équidistance des isohypses est de 300 mètres. A partir de 1500 mètres sur les versants de la Cordillère orientale, l'équidistance des isohypses augmente et passe à 500 mètres.



L'échelle trop petite n'a pas permis la figuration des courbes de niveau intercalaires indispensables pour l'interprétation des détails de la morphologie, comme par exemple les irrégularités d'un versant ou la profondeur d'une vallée. Il n'a pas été possible de dresser un profil topographique bien utile à la compréhension de certaines formes.

- La carte géologique, au 1/1'000.000

Comme pour l'information topographique, il n'existe pas pour la province du Pastaza de cartes géologiques à grande échelle. Toutefois en 1969, l'Institut Géographique Militaire a édité une carte géologique à l'échelle du 1/1'000.000, fruit d'un travail de coopération entre la Direction Générale de Géologie et des Mines de la République d'Equateur et le service géologique de l'Institut Français du Pétrole. La carte hypsométrique au 1/1'000.000, précédemment décrite, a servi de fond cartographique pour la restitution de l'information géologique. C'est la première synthèse cartographique et géologique à l'échelle nationale.

Cette carte géologique nous renseigne sur l'emplacement, la nature et l'âge des formations lithologiques, mais à une échelle trop petite qui passe sous silence des indications morphologiques et morphogénétiques qui nous auraient été fort utiles.

Cependant, la carte hypsométrique comme la carte géologique ont présenté un grand intérêt pour planifier les itinéraires de terrain et surtout pour confectionner un fond cartographique pour la restitution de notre information pédo-géomorphologique.

3.2.2.2. La documentation photographique.

Devant l'imprécision de la carte hypsométrique et de la carte géologique, les photographies aériennes se sont révélées un instrument de travail indispensable.

Il s'agit de photographies aériennes verticales et conventionnelles prises par l'Institut Géographique Militaire avec des émulsions pan-chromatiques. L'échelle des photographies n'est que le 1/60.000. Cette échelle est constante et ne varie pratiquement pas d'une photo à l'autre étant donné les faibles différences de relief et la monotonie d'ensemble de la topographie de la province du Pastaza. Dans une même bande, la valeur de recouvrement entre deux photographies aériennes consécutives oscille toujours entre 40 et 50%. Les différentes lignes de vol présentent un parallélisme rigoureux, ce qui a facilité l'assemblage photogramétrique de toutes les bandes. D'une bande à l'autre, les photos se recouvrent très légèrement, d'approximativement 10%.

Cependant, considérant la complexité du milieu naturel amazonien et la densité de la couverture végétale, un jeu de photos au 1/40.000, des pellicules infra-rouges ou en fausses couleurs auraient été souhaitables. Nous disposons depuis peu d'une excellente scène LANDSAT, couvrant la quasi totalité de la province, mais qui arrive trop tard parce que la carte est déjà publiée.

Nous avons interprété environ 400 photographies en utilisant le grossissement numéro 3, dans certains cas le numéro 8, de notre stéréoscope "Wild" à miroirs et à platine mobile. Pour obtenir une restitution homogène de l'ensemble de la photointerprétation, des photomosaïques non contrôlées ont été réalisées, décalquées puis réduites par le procédé "XEROX" pour se rapprocher de l'échelle au 1/500.000.

La restitution définitive s'est effectuée au moyen d'un pantographe optique.

### 3.2.3. La documentation bibliographique

Comme pour toute autre recherche, la cartographie demande également un inventaire exhaustif des connaissances bibliographiques. Nous avons orienté notre recherche dans deux domaines : l'un général et de nature méthodologique, l'autre plus régionale sur la Région amazonique équatorienne.

.../...

Dans le domaine général, nous avons utilisé les travaux suivants concernant notre spécialité :

- pour la réalisation technique de la cartographie, nous nous sommes inspirés, dans la mesure où le permettait notre petite échelle de travail, des recherches méthodologiques effectuées dans le cadre de la R.C.P. no. 77 "Cartes géomorphologiques" et exposées dans le volume "Mémoires et Documents du C.N.R.S., année 1971, Volume 12" et de la légende géomorphologique utilisée pour la cartographie de la côte équatorienne, sous la responsabilité de Monsieur A. Winckell.
- Pour mieux comprendre la géographie physique de la Cordillère des Andes et des régions basses qui la bordent, nous avons consulté les différents travaux contenus dans "La Revue de Géographie physique et de Géologie Dynamique, Volume XV, fascicules 1-2, de l'année 1973.
- Considérant les termes de référence de la convention liant le Ministère de l'Agriculture et de l'Elevage de la République d'Equateur à l'ORSTOM, la notice explicative de la carte doit être rédigée en espagnol. Pour une meilleure traduction des termes techniques, nous avons utilisé les ouvrages suivants : pour la géomorphologie, la traduction en espagnol du Précis de Géomorphologie de Monsieur le Professeur Max DERRUAU (Barcelone 1960), pour la géologie, le dictionnaire géologique et minéralogique édité par RODUERO (Madrid 1974) et pour la pédologie, la publication intitulée "Guía y claves para la descripción de perfiles de suelos" et réalisé par l'ingénieur Guillermo DEL POZO (MAG, Quito 1974).
- En ce qui concerne le domaine régional, nous avons rencontré plus de difficultés à cause de l'insuffisance et de la disparité des sources bibliographiques. Après avoir effectué des recherches dans les bibliothèques du Ministère de l'Agriculture et de l'Elevage, du Ministère des Ressources Naturelles et de la Direction Générale de Géologie et des Mines de la République d'Equateur, nous avons pu composer la liste bibliographique suivante :

BARRAL (H.), LOPEZ (C.), ORREGO (C.) : 1978, informe sobre la colonización de la provincia del Napo y las transformaciones en las sociedades indígenas, MAG/ORSTOM, Quito.

CAMPBELL (C.J.) : 1970, Guide to the Puerto Napo area, Eastern Ecuador with notes on the regional Geology of the Oriente basin, Ecuador Geol. Geophys. Soc.

FAUCHER (B.), SAVOYAT (E.) : 1973, esquisse géologique des Andes de l'Equateur, revue de Géographie physique et de Géologie dynamique, Paris.

FEININGER (T.) : 1975, Origin of Petroleum in the Oriente of Ecuador, AAPG, Bull. Vol. 59

I.N.C.R.A.E. : 1979, Seminario sobre manejo de sistemas ecológicos y alternativas de producción agro-silvo-pastoral en la región Amazónica ecuatoriana (Limoncocha, Noviembre de 1978, publicación 004, Quito).

SAUER (W.) : 1965, Geología del Ecuador, Min. de Educación, Quito.

SERVICIO NACIONAL DE GEOLOGIA Y MINAS : 1969, Mapa Geológico de la República del Ecuador, 1'1000 000, Quito.

SOURDAT (M.), CUSTODE (E.) : 1977, Reconocimiento morfoedafológico y edafológico de la Amazonía ecuatoriana, zona Nor-oriental, MAG/ORSTOM, Quito.

SOURDAT (M.), CUSTODE (E.), BARRAL (H.) : 1977, Mapa morfo-edafológico y distribución de la población de la provincia del Napo, 1/750.000, Atlas Geográfico del Ecuador, Quito.

SOURDAT (M.), CUSTODE (E.) : 1978, Características físico-químicas de los suelos del Nor-oriental, MAG/ORSTOM, Quito.

TSCHOPP (H.J.) : 1953, Oil explorations in the Orient of Ecuador, AAPG, Bull, Vol 37.

Bien que sommaire, cette liste bibliographique nous a permis, en même temps que s'organisaient nos premières sorties sur le terrain, d'esquisser l'évolution paléogéographique de la province du Pastaza qu'il était indispensable de reconstituer, avant d'aborder la cartographie des unités pédo-géomorphologiques, pour connaître les caractéristiques prédominantes de la lithologie, des formations superficielles et leurs conditions de mise en place.

### 3.2.4. L'observation sur le terrain.

En règle générale dans la province du Pastaza, la précarité du réseau routier, les fortes pentes de l'amont, les marécages de l'aval, la dense forêt vierge ralentissent la progression et limitent l'observation.

Nous avons donc fondé nos travaux de terrain sur l'étude préalable des photos aériennes qui nous ont permis de définir un certain nombre d'aspects pédo-géomorphologiques caractéristiques. L'examen des photographies aériennes a montré que tous les types d'unités apparaissant sur les clichés, et inaccessibles par des pistes, pouvaient être traversés et étudiés en navigant sur le río Curaray, depuis la ligne du Protocole de Río de Janeiro jusqu'au campement militaire de Curaray et de là, plus en amont, jusqu'à Villano. Nous nous sommes donc bornés à effectuer ce parcours représentatif et nous nous sommes efforcés de reconnaître chacune des unités pédo-géomorphologiques présentes sur notre carte. Le long de cet itinéraire fluvial, les observations habituelles de terrain (sondages à la tarière, études de coupes ...) ont été réalisées. En même temps, les photographies aériennes ont été systématiquement étudiées de nouveau au stéréoscope de poche pour compléter notre photo-interprétation préliminaire et justifier nos extrapolations. Bien entendu, pour les zones accessibles par des routes ou des pistes, les travaux de terrain ont été plus exhaustifs et moins ponctuels.

Au cours de ces prospections, de nombreux échantillons ont été prélevés. Les analyses ont été effectuées dans les laboratoires du Ministère de l'Agriculture et de l'Elevage de la République d'Equateur.

### 3.2.5. Critères et résultats techniques de la cartographie pédo-géomorphologique.

#### 3.2.5.1. Critères et résultats techniques géomorphologiques.

##### 3.2.5.1.1. Critères géomorphologiques

Etant donné la nature de notre travail, nous avons orienté l'utilisation des critères géomorphologiques dans une représentation cartographique des formes de relief plus descriptive et dimensionnelle qu'explicative.



Nous avons utilisé les critères géomorphologiques suivants :

- Les critères morphographiques et morphométriques.

Nous avons utilisé les critères morphographiques (morphologie, drainage) pour la description et la distribution des formes de relief et les critères morphométriques (altitudes relatives et absolues, classes de pente) pour évaluer le degré de dissection de chaque unité.

- Les critères morphogénétiques.

Nous nous sommes intéressés aux critères morphogénétiques, à partir de l'esquisse paléogéographique, pour compléter nos informations morphographiques et morphométriques dans le sens de l'étude pédologique qui devait se superposer à la cartographie géomorphologique. Nous avons mis l'accent, en particulier, sur les propriétés géologiques des principaux types de matériaux composant la lithologie et les formations superficielles.

### 3.2.5.1.2. Résultats techniques géomorphologiques

L'utilisation de ces critères nous a permis de déterminer dans la province du Pastaza les six grands ensembles géomorphologiques suivants : (voir carte en annexe).

#### . La partie cordillérenne

La province du Pastaza occupe ici les derniers contreforts de la cordillère orientale des Andes, depuis environ la courbe de niveau des 1200 mètres jusqu'à celle des 3000 mètres qui recoupe la limite administrative occidentale de la province.

Dans la partie haute, ce sont des roches métamorphiques (schistes à séricite, micaschistes et gneiss) qui forment l'ossature de la chaîne. Leur agencement est interrompu, une dizaine de kilomètres après la localité de Río Negro, par un énorme batholite de granite rouge, riche en quartz et feldspaths alcalins, qui s'avance en direction de l'Est jusqu'à Mera. Les cendres andésitiques éoliennes, de un à quelques mètres d'épaisseur, recouvrent presque uniformément ces roches cristallines, fortement cataclassées. Les coulées d'andésite, de couleur

grise, d'aspect bulleux et riches en augite, du Tunguruhua ont envahi la gorge du río Pastaza, y créant cascades et replats. Les versants présentent de fortes pentes rectilignes, généralement supérieures à 70%, et sont entaillés par de petits vallons à fond plat, dont la largeur varie de un à trois mètres, qui se raccordent aux parois sub-verticales de la gorge du río Pastaza.

. Le piedmont de la province du Pastaza.

C'est la zone de contact entre la cordillère orientale et la plaine subandine dont l'altitude d'ensemble va de 900 à 1200 mètres. C'est le début de l'énorme cône de déjection mio-quaternaire, qui fut séparé de sa partie aval lors de l'édification de l'anticlinal Arajuno-Canelos. Il est limité à l'Est, au pied de la montagne, par une frange de petits cônes de déjection contigus et s'interrompt prématurément, à l'Ouest, par un front de cuestras qui surplombe le bombement évidé Arajuno-Canelos.

Hormis quelques intrusions granodioritiques et dioritiques mises en évidence par l'érosion dans l'espace compris entre Puyo, 10 de Agosto et Tnte. Ortiz, la nature pétrographique du matériel est détritique et relativement homogène : il s'agit de blocs et de galets métamorphiques et granitiques fortement météorisés, d'éléments volcaniques surtout andésitiques en cours d'argilification et enfin d'un matériel quartzeux imparfaitement roulé. L'ensemble de ce complexe détritico-volcano-cristallin est recouvert uniformément d'un manteau de cendres andésitiques éoliennes jusqu'à trois mètres d'épaisseur.

Il en résulte une morphologie de plateau dont la surface est modelée en ondulations régulières, à l'aspect de demi-oranges. Les pentes sont fortes et comprises dans la classe 25-40%. La dénivellation relative de chaque ondulation varie de 20 à 50 mètres et la distance interfluviale de 100 à 300 mètres.

. Le couloir longitudinal Arajuno-Canelos.

Il s'agit d'un couloir longitudinal et parallèle à la cordillère orientale de 10 à 30 kilomètres de largeur, qui traverse toute la province,

entre les courbes de niveau 900 et 600 mètres, en passant par les localités repères d'Arajuno et Canelos. C'est une zone de faiblesse fortement plissée et tectonisée lors du surélèvement andin plio-quaternaire. Les sédiments gréseux et argileux s'inclinent en direction opposée. Le plan axial s'abaisse en direction de l'Est et les couches présentent un fort pendage de ce côté qui s'exprime dans le paysage par une morphologie typique de chevrons.

L'érosion a démantelé dans son ensemble l'agencement en voute anticlinale du couloir Arajuno-Canelos. Elle a évidé la couche gréseuse sommitale et incisé profondément les flancs. Il en résulte une morphologie anarchique et très hétérogène où prédominent des collines aux sommets pointus, aux versants rectilignes à sub-rectilignes, et aux caractéristiques morphométriques accentuées. Aux couches à prédominance argileuse correspondent des collines dont la dénivellation est de 50 à 150 mètres, la distance interfluviale supérieure à 500 mètres, et la pente comprise dans la classe 25-40%. Les collines, modelées dans des grès, riches dans leur ensemble en éléments volcaniques, ont une dénivellation supérieure à 150 mètres, une distance interfluviale également supérieure à 500 mètres et une pente comprise dans la classe 40-70%.

#### . Les reliefs de "Mesas" ou plateaux.

Cet ensemble géomorphologique est la continuité structurale de l'énorme cône de déjection qui commence dans la zone de piedmont. L'altitude d'ensemble va de 300 à 600 mètres.

Par reliefs de "mesas" ou plateaux, nous entendons des formes de relief dominant les vallées d'environ 100 à 150 mètres, à la structure monoclinale où les couches peuvent être horizontales ou modérément inclinées ("cuestas"), mais dont les sommets ne sont pas strictement plans. Ils sont découpés en croupes allongées dont la vigueur est de 30 à 50 mètres et séparées par des talwegs secondaires. Le rebord des plateaux est net ou émoussé suivant les roches dans lesquelles il est taillé. Les formations lithologiques présentent des faciés très monotones où alternent des conglomérats, des grès, grauweekes en particulier plus ou moins fins, et des argiles.

.../...

Dans le détail, notre cartographie géomorphologique isole la partie sommitale des plateaux et leurs versants. En ce qui concerne la morphologie de surface et selon le stade de dissection, nous avons reconnu les trois formes prédominantes suivantes :

| <u>FORMES DE RELIEF</u> | <u>DISSECTION DU RELIEF</u>           | <u>PENTES EN %</u> |
|-------------------------|---------------------------------------|--------------------|
| 1 ere forme             | surface plane, à légèrement ondulée   | 5 - 12             |
| 2 eme forme             | surface ondulée, convexe vers le haut | 25 - 40            |
| 3 eme forme             | surface disséquée, terminée en pointe | 40 - 70            |

L'échelle de la carte (1/500.000) ne nous a pas permis une cartographie plus satisfaisante des versants. Nous avons essayé d'individualiser les versants à abrupt sommital et concavité basale par une ligne noire plus épaisse que les limites pédo-géomorphologiques conventionnelles de la carte. Cependant, nous avons pu différencier et cartographier les reliefs d'érosion, en forme de lanières et de croupes allongées, qui dérivent des versant gréseux.

#### . La mer de collines.

Au-dessous de la courbe de niveau des 300 mètres, s'étend une formation argileuse subhorizontale pré-miocène, aux teintes vives et variées, rouges, grises, jaunes, bigarrées, alternant localement avec des grès à grains fins. C'est une sédimentation à faciès prédominant continental avec quelques récurrences marin-lagunaires, représentative de tout le bas Pastaza.

Nous avons distingué les 4 groupes de collines suivants :

.../...

| <u>FORMES DE RELIEF</u>                                            |           | <u>DENIVELLATION</u> | <u>DISTANCE</u><br><u>INTERFLUVIALE</u> | <u>PENTE EN</u><br><u>%</u> |
|--------------------------------------------------------------------|-----------|----------------------|-----------------------------------------|-----------------------------|
| Convexes<br>vers le<br>haut et<br>versants<br>convexo-<br>concaves | 1e groupe | - 20 m               | - 300 m                                 | 12 - 25                     |
|                                                                    | 2e groupe | 20 à 50 m            |                                         | 25 - 40                     |
|                                                                    | 3e groupe |                      | 300 à 500 m                             |                             |
|                                                                    | 4e groupe | 50 à 150 m           |                                         |                             |

Nous expliquerons les dissemblances morphologiques des groupes de collines 1, 2 et 3 par l'oeuvre générale de l'érosion en climat tropical humide, qui a rencontré un terrain favorable à la dissection dans une structure qui présente des variations lithologiques continentales et marines, et des déformations plio-quaternaires à grands rayons de courbure. Le groupe 4 de collines appartient morphogénétiquement à la zone des plateaux : il correspond soit à des formes d'érosion, très avancées, de ces dernières, soit au modèle réalisé aux dépens de formations éboulées des corniches de grauackes.

#### . Terrasses et plaines alluviales.

Nous avons différencié cinq types de formes alluviales.

##### - Terrasses alluviales hautes et très hautes :

Elles dominent le talweg actuel de 5 à plus <sup>de</sup> 10 mètres par un rebord abrupt. Leur sommet n'est plus parfaitement plat mais les pentes y restent faibles (0-5%). Les alluvions, en processus d'intense météorisation, présentent une teinte saumonée et une granulométrie argilo-limoneuse.

##### - Terrasse alluviales basses et très basses, plus le lit actuel.

Elles présentent une dénivellation inférieure à 5 mètres par rapport au talweg actuel. La granulométrie des alluvions est limono-sableuse dans la zone des plateaux et passe à limono-argileuse dans la zone des collines. Etant donné leur position topographique, les conditions de drainage ne sont pas très satisfaisantes et la nappe phréatique est toujours proche de la surface du sol.

- Cuvettes de décantation :

Ce sont des marécages quasi-permanents correspondant à d'anciens méandres et à des talwegs abandonnés où se décantent des argiles et des débris organiques.

- Terrasses indifferenciées :

L'existence de cette unité s'explique pour les besoins de la cartographie à 1/500.000. Pour la clarté du dessin et à cause de la largeur limitée du lit majeur dans l'ensemble de la zone des plateaux et dans certaines parties de la zone des collines, il était impossible de représenter les différents niveaux alluviaux.

- Plaines alluviales :

Elles sont en général mal drainées et occupent seulement 3% de la surface totale des zones alluviales. L'équivalent du quadrilatère alluvial de Shushufindi, situé dans la province amazonienne voisine du Napo, n'existe pas dans la province du Pastaza.

### 3.2.5.2. Critères et résultats techniques pédologiques.

#### 3.2.5.2.1. Critères pédologiques.

Pour la cartographie des sols prédominants de la province du Pastaza, nous avons dû adopter les critères pédologiques plus originaux de la classification américaine des sols de la U.S.D.A. <sup>(1)</sup> Soils Taxonomy, qui est la seule employée par les ingénieurs agronomes équatoriens. Cette classification a présenté l'avantage, à l'échelle où nous avons travaillé, de s'harmoniser relativement bien, et sans poser outre-mesure des problèmes de références taxonomiques, avec l'information géomorphologique.

#### 3.2.5.2.2. Résultats techniques pédologiques.

En accord avec les observations de terrain et l'échelle du 1/500.000,

.../...

(1) U.S. Department of Agriculture

nous avons remarqué qu'il existait, comme pour la province du Napo, une corrélation très fiable entre la géomorphologie et la pédologie. Ceci nous a autorisé à associer à chaque unité géomorphologique un type de sol prédominant, d'autant plus que les aménageurs équatoriens préfèrent se référer à des unités mixtes pédo-géomorphologiques qu'à des éléments isolés. La légende de la carte pédo-géomorphologique fait correspondre à chaque forme de relief un type de sol représentatif (voir annexe).

Pour une description plus détaillée de ces différents types de sols, nous renvoyons au texte de Monsieur M. SOURDAT : "Problématique de l'aménagement et intervention morpho-pédologique dans la Région Amazonique Equatorienne". (MAG-ORSTOM, Quito 1980)

### 3.2.6. Résultats pratiques et conclusion générale.

Considérant, comme nous l'avons exposé dans la présentation géographique que la province de Pastaza est peu peuplée et peu dense, l'esquisse d'un aménagement des terres ne pouvait être concevable que sur les bases d'un inventaire pédo-géomorphologique. Nous avons essayé d'interpréter, d'une manière agronomique, les variables pédo-géomorphologiques en les classant en fonction de leur fertilité et de leurs aptitudes agricoles. Dans le tableau de la page 21, nous récapitulons les unités pédo-géomorphologiques de la province du Pastaza en les associant à diverses possibilités d'utilisation du sol.

Ce tableau résume l'état d'esprit dans lequel nous avons réalisé notre travail. Réaliser l'inventaire pédo-géomorphologique n'était pas un but en soi, et ne présentait un réel intérêt que dans la mesure où l'on en tirait quelques idées directrices d'un aménagement des terres de la province du Pastaza.

C'est pour cela que nous avons orienté notre cartographie dans le sens d'une géomorphologie et d'une pédologie appliquées au service des responsables de la planification agricole de l'espace oriental équatorien.

.../...

Pour atteindre cet objectif, nous avons négligé, volontairement, certains aspects plus fondamentaux de la géomorphologie et de la pédologie classiques au profit d'une étude plus descriptive que génétique, et allant dans le sens de la conservation de la végétation climacique arborée de la province du Pastaza, qui constitue un espace écologique d'importance vitale.

Le choix des possibilités d'utilisation du sol peut paraître trop conservateur parce qu'il privilégie la conservation du capital bio-écologique de la forêt au détriment d'une agriculture intensive et spéculative. Cependant, faute d'expérimentations agronomiques et devant l'urgence de proposer des recommandations, il est apparu plus prudent de ne pas risquer la destruction du capital bio-écologique de la forêt que d'extrapoler sur les bénéfices hypothétiques que réaliserait une colonisation massive. (voir tableau de la p.21).



TABLEAU RECAPITULATIF DES UNITES PEDO-GEOMORPHOLOGIQUES ET DE LEURS  
POSSIBILITES D'UTILISATION.

| Classe de Pentes en % | CARACTERISTIQUES MORPHOLOGIQUES ET PHYSICO-CHIMIQUES DES SOLS                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                  | Possibilités d'utilisation du sol.                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|-----------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 0 - 5                 | ZONES ALLUVIALES                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | terrasses et plaines alluviales hautes et très hautes. Alluvions anciennes plus ou moins bien drainées.                          | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Franco argileux à argileux.</li> <li>- Profonds et compacts</li> <li>- Ph de 4,2 à 5,1</li> <li>- Forte toxicité d'aluminium.</li> <li>- Basse fertilité</li> </ul>                                             | Polycultures de subsistence de préférence de cycle court, considérant les périodes annuelles d'inondation.                                                                                                                                                                                                                                                              |
|                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | Terrasses très basses et basses et plaines alluviales basses. Alluvions récentes, bien drainées mais avec risques d'inondations  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Sableux à franco limoneux profonds et légers</li> <li>- Ph de 5,1 à 6,4</li> <li>- Toxicité d'aluminium basse.</li> <li>- Fertilité moyenne</li> </ul>                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | Terrasses indifférenciées, cuvettes de décantation et plaine alluviale très basse. Alluvions récentes et anciennes mal drainées. | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Franco limoneux à argileux</li> <li>- Mauvais drainage</li> <li>- Ph de 4,5 à 6,3</li> <li>- Basse toxicité d'aluminium</li> <li>- Haute fertilité</li> </ul>                                                   | Possibilités variées d'utilisation, mais en prévoyant des ouvrages de drainage probablement très coûteux.                                                                                                                                                                                                                                                               |
| 5 - 12                | <ul style="list-style-type: none"> <li>- <u>Sur les collines</u></li> <li>- très argileux</li> <li>- peu profonds et compacts</li> <li>- Ph de 3,6 à 5</li> <li>- très forte toxicité d'aluminium</li> <li>- fertilité très basse</li> </ul>                                                                                                      |                                                                                                                                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- <u>Sur les plateaux et cuestas.</u></li> <li>- argilo-sableux à argileux</li> <li>- profonds et compacts</li> <li>- Ph de 4,1 à 5,2</li> <li>- forte toxicité d'aluminium</li> <li>- basse fertilité</li> </ul> | - Systèmes de production agro-silvo-pastoral, verticalement stratifiés, pour la conservation des écosystèmes naturels et le maintien de l'équilibre climato-hydrologique.<br><br>- Localiser et délimiter des zones écologiques pour la préservation de la flore et de la faune, sans oublier les habitats traditionnels des groupes indigènes, (Auca, Schuar, Aschuar) |
| 12 - 25               | <ul style="list-style-type: none"> <li>- <u>Sur les chevrons et formes de relief sub-structurales</u></li> <li>- très peu profonds</li> <li>- fertilité de basse à très basse selon le substrat.</li> </ul>                                                                                                                                       |                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| 25 - 40               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| (1)<br>25 - 40        | Sur toutes les formes de relief pré-existantes, présence d'une couverture de cendres andésitiques éoliennes. <ul style="list-style-type: none"> <li>- Limo-allophaniques.</li> <li>- profonds et meubles, sursaturés d'eau (de 150 à 300%)</li> <li>- Ph de 4,9 à 5,9</li> <li>- Toxicité d'aluminium variable-Fertilité très basse.</li> </ul>   |                                                                                                                                  | Idem aux recommandations ci-dessus, mais en plus essayer de réhabiliter le capital bio-écologique et de récupérer la fertilité de sols par une rotation adéquate de cultures.                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| 40 - 70               | Sur les formes de relief exogènes, structurales et sub-structurales, plus accidentés, les sols sont moins profonds mais présentent des caractéristiques physico-chimiques et de fertilité semblables à ceux décrits antérieurement aussi bien lorsqu'il y a une couverture de cendres volcaniques (-900 m) que lorsqu'elle est absente (+ 900 m). |                                                                                                                                  | cultures de subsistence avec un contrôle très strict de l'érosion.<br>Maintien de la forêt.<br>Reforestation.                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| + 70                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |

Inaptes pour l'élevage intensif à cause de la compaction accentuée et de la dénaturalisation des horizons superficiels du sol, produit du pâturage direct.

(1)

Cette unité correspond spécifiquement aux reliefs du piedmont situés dans la zone de Puyo.

Inaptes pour l'élevage intensif à cause de la compaction accentuée et de la dénaturalisation des horizons superficiels du sol, produit du pâturage direct.

#### 4. / Photo-interprétation d'une partie du versant oriental de la Cordillère des Andes.

Le photointerpréteur équatorien de Monsieur Colmet-Daage ayant démissionné du Ministère de l'Agriculture et de l'Elevage, j'ai été chargé de procéder à l'étude par photo-interprétation d'une partie du versant oriental de la Cordillère des Andes pour continuer la cartographie pédologique à 1/50.000, de la Sierra. J'ai été assisté de Monsieur F. MOLINA, photogrammètre, qui m'a aidé pour l'étude des photographies aériennes au stéréoscope, pour l'assemblage de ces dernières, et pour reporter les tracés des limites de l'interprétation sur des calques.

##### 4.1. / Le cadre de la photointerprétation et les documents utilisés.

- La zone photointerprétée s'étend sur 19 cartes de sols, à 1/50.000, qui correspondent aux provinces amazoniennes du Morona-Santiago et du Zamora-Chinchipe. Le quadrillage géométrique de l'Equateur en petits rectangles, dont chacun représente une feuille à 1/50.000, ne permet pas de respecter les limites de provinces. C'est pour cette raison que la zone étudiée fait partie de la cartographie de la Sierra bien qu'elle empiète sur les limites politico-administratives de la région amazonienne. De plus, ces deux provinces appartiennent ici davantage au domaine serrénien qu'à l'Amazonie proprement dite, parce qu'elles occupent les derniers contreforts de la cordillère orientale bordés par une zone subandine accidentée, depuis environ la courbe de niveau 1200 mètres jusqu'à celle des 3000 mètres.

Les cartes Rio Bomboiza, Numbani, Chiguina Rosario, Gualaquiza, Chuchumbleza et des portions de celles de Tutupali, los Encuentros, Rio Quimiquito font partie de la province du Morona-Santiago et en limitent l'extrémité sud. Le reste des cartes appartient au Zamora-Chinchipe qui est la province amazonienne la plus méridionale, juste au contact avec le Pérou.

.../...

- Il n'existe pas pour cette zone de cartes topographiques, ni de croquis planimétriques. Les photographies aériennes sont donc les seuls documents de base fiables. Nous avons utilisé les photographies aériennes verticales de la couverture panchromatique régulière, à l'échelle de 1/60.000 et de 1/37.000. exécutée par l'Institut Géographique Militaire. Nous avons disposé des missions suivantes :

- . Gualaquiza - Rio Chumbiaza (1/60.000).
- . Rio Quimiquito (1/37.000).
- . Rio Chinchipe (1/37.000).

Des zones non couvertes par les photographies aériennes subsistent localement sur les cartes de El Mebiso del Vergel, Rio Vergel, Shaisne Rio Quimiquito, Numbani et Rio Bomboiza.

De plus, l'extrémité orientale des cartes de El Mebiso del Vergel, Rio Vergel, Shaime, La Guamitza, Guayzimi, n'a pas été interprétée parce que les photographies aériennes n'ont pas pu être achetées pour des raisons budgétaires. Enfin, pour compléter l'information de la carte Rio Bomboiza, j'ai repris une partie de la photointerprétation que Monsieur M. SOURDAT avait déjà effectuée pour la réalisation de la carte pédo-géomorphologique du Morona-Santiago.

#### 4.2. La légende de la photointerprétation.

La légende utilisée est celle employée par le groupe des géomorphologues travaillant sur la côte équatorienne et nous a été fournie par Monsieur A. Winckell.

Sur la photographie aérienne, chaque unité de photointerprétation est limitée par une ligne fermée et définie par une formule composée de lettres et de chiffres qui indiquent systématiquement, de la gauche vers la droite : la forme du sommet, le degré de dissection, la forme du versant et la classe de pente du relief étudié. Par exemple : R 3 x (4)

Les différents critères, qui se combinent pour donner une formule et que nous avons utilisés, sont les suivants :

- Forme du sommet :

O : inexistante  
 P : plane  
 R : convexe vers le haut  
 A : en forme de pointe

- Degré de dissection ou dénivellation relative :

- : dépression de 0 à 5 mètres  
 0 : inexistant  
 1 : inférieur à 20 mètres  
 2 : de 20 à 50 mètres  
 3 : de 50 à 150 mètres  
 4 : de 150 à 300 mètres  
 5 : de 300 à 500 mètres  
 6 : supérieur à 500 mètres

- Forme du versant :

O : inexistante  
 S : abrupte et corniche  
 r : rectiligne  
 V : concave  
 X : convexe  
 C : convexo-concave  
 i : irrégulière  
 n : avec des niveaux secondaires

- Entre parenthèses, la classe de pente en % :

1 - 0 - 5%  
 2- 5 - 12%  
 3- 12 - 25%  
 4- 25 - 50%  
 5- 50 - 70%  
 6 + 70%

Pour affiner la photointerprétation, nous avons indiqué également, dans certains cas, par des signes conventionnels les directions prédominantes de pendage et d'inclinaison topographique, ainsi que le tracé de quelques failles d'importance géomorphologique.

#### 4.3. Les résultats acquis.

Les calques d'interprétation des photographies aériennes disponibles ont été remis à Monsieur F. COLMET-DAAGE à la fin du mois de Mars 1980, qui se charge des travaux de terrain avec l'équipe des pédologues équatoriens, et de la restitution en Martinique. Cependant, cette étude par photointerprétation est préliminaire et restera provisoire jusqu'à la terminaison des travaux de terrain.

L'observation stéréoscopique permet d'apprécier la transition entre la zone subandine et les fortes pentes de la cordillère orientale. Cette dernière, de topographie disséquée, est modelée en une série de grandes collines de forme aigüe, avec des versants au profil rectiligne prédominant et dont les pentes varient de 50% à plus de 70%. Des roches métamorphiques, dont certains secteurs portent une empreinte glaciaire, semblent former la partie amont, puis elles sont relayées par un énorme batholite de granite lorsqu'on se rapproche du pied de la montagne.

La zone subandine, de topographie également accidentée, apparaît sur les photographies comme un domaine sédimentaire où une couche de grès blanc (quartzites ?) repose sur un matériel qui semble très météorisé (conglomérat ?). La tectonique a certainement contribué d'une manière efficace à l'élaboration des formes actuelles du relief qui se présentent sous une morphologie caractéristique de cuestas et de chevrons. De plus, dans cette zone subandine, les torrents, qui incisent les flancs de la cordillère orientale, commencent à confluer pour donner des zones alluviales déjà appréciables où l'on différencie sur les photographies les zones inondées des terrasses mieux drainées et occupées par une colonisation relativement dense.

En conclusion, on peut penser que la géomorphologie, au même titre que le climat très humide dans cette zone, s'impose comme l'un des facteurs principaux de la pédogénèse, et ceci d'autant plus qu'il n'existe pas, comme pour la partie centrale et septentrionale de la Sierra, un recouvrement uniforme de cendres volcaniques.

|            |                   |                  |               |                   |
|------------|-------------------|------------------|---------------|-------------------|
| CUENCA     | GUALACEO          | CORDOVA          | GENERAL PLAZA | RIO RAMANGOZ      |
| GIRON      | SIGSIG            | PRINCIPAL        | INDANZA       | RIO SANTIAGO ALTO |
| YARITZAGUA | GIMA              | CHIGUINA ROBARIO | SAN CARLOS    |                   |
| NABON      | RIO SHINCATA      | GUALAGUZA        | LOVENGO       |                   |
| SARAGURO   | TUTUPALI          | CHICHUM ELEZA    | NUMBAM        |                   |
| LAS JUNTAS | QUINI             | LOS ENCUENTROS   | RIO QUINDATO  |                   |
| LOJA NORTE | ZUMBI             | PAOLISHA         |               |                   |
| SABANILLA  | ZAMORA            | GLANS MI         |               |                   |
| VILCABAMBA | CORDILLERA CONDOR | LA GUANITZA      |               |                   |
| YANGANA    | RIO LOYOLA        | SHAME            |               |                   |
| VALLADOLID | EL MESSE          | USA VENCEL       |               |                   |
| RIO MAYO   | RIO VERCEL        |                  |               |                   |
| ZUMBA      |                   |                  |               |                   |

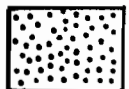
3°

4°

5°



Zones étudiées par photointerprétation (Janvier-Mars 1980)



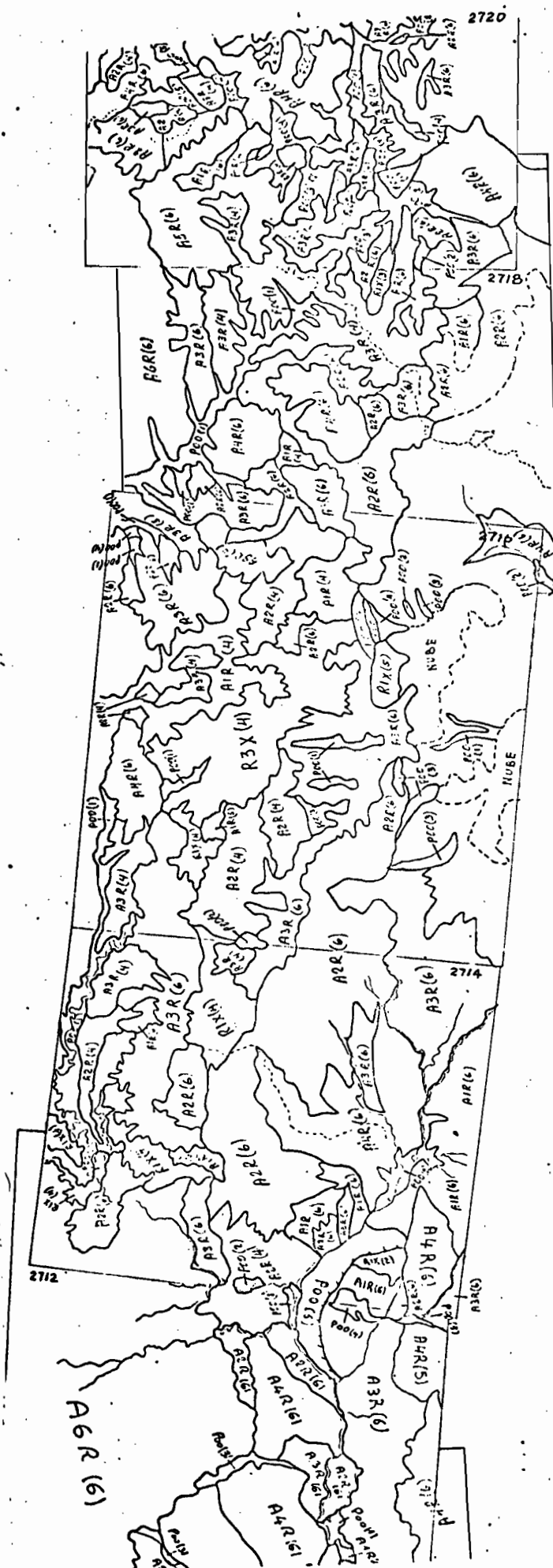
Zones pour lesquelles les photographies aériennes n'ont pas été achetées



Zones non couvertes par les photographies aériennes



Zone complétée avec la photointerprétation de M. M. SOURDAT.



Extrait d'une zone photointerprétée et réduite à l'échelle  
de 1/200 000 . ( Mission:Gualaquiza-Rio Chumbiaza,Echelle:1/60 000)



5. Etude de quelques phénomènes morpho-dynamiques actuels dans la Sierra équatorienne.

A la suite de propositions suggérées par Monsieur A. Winckell, cette étude de l'érosion a été incluse dans la convention MAG-ORSTOM, signée en 1977. Libéré de mes travaux antérieurs, je m'y consacre à plein temps depuis le mois d'Avril 1980, au sein du département de Géomorphologie et Télédétection de PRONAREG (1). Depuis le début de ce nouveau programme, je suis assisté par Monsieur F. MOLINA, photogrammètre, qui a participé jusqu'à ce jour à l'ensemble des travaux de bureau et de terrain.

5.1. Position du problème et les objectifs.

L'Equateur, plus particulièrement sa partie andine, montagneuse, a été et est actuellement profondément modifiée par de nombreux phénomènes érosifs, plus ou moins intenses selon les régions. Cette dégradation des sols, et donc du potentiel agricole, est l'un des aspects majeurs de l'agriculture équatorienne.

Les services internes du Ministère de l'Agriculture et de l'élevage ont récemment pris conscience de ce problème et désirent créer un département, certains parlent d'un institut, chargé de la conservation des sols.

Avant d'énoncer des principes relatifs à la conservation des sols, il est apparu plus opportun, en accord avec nos interlocuteurs équatoriens, de réaliser d'abord une étude géomorphologique de quelques phénomènes morpho-dynamiques actuels et représentatifs dans la Sierra équatorienne.

5.2. Les étapes de la réalisation.

La première partie du travail s'est déroulée au bureau où nous avons procédé à un inventaire de tous les documents disponibles à PRONAREG

(1) Programa Nacional de Regionalización Agraria

sur la Sierra et qui contenaient des informations pouvant être utiles pour étudier l'érosion. Puis, nous avons effectué des reconnaissances de terrain, en Avril et en Mai, qui ont été suivies par une phase de photointerprétation. Enfin, nous avons réalisé d'une manière quasi-continue, à partir du 17 Juin jusqu'au 8 Aout, les travaux de terrain, proprement dits, concernant les exemples retenus pour l'étude.

#### 5.2.1. Les documents de Pronareg.

Nous avons consulté les documents suivants, qui sont à base cartographique :

- l'album des sols- Cet album, réalisé par les ingénieurs agronomes de Pronareg avec l'assistance technique de Monsieur F. COLMET-DAAGE, pédologue de l'ORSTOM, contient un certain nombre de cartes pédologiques, à l'échelle de 1/50.000, depuis la frontière avec la Colombie jusqu'à la province de l'Azuay. Il a été élaboré selon les normes de la classification taxonomique américaine des sols, exposées dans la "Septième Approximation" de l'U.S.D.A. (1). Sa légende regroupe les sols de caractéristiques identiques et précise pour chacun les données climatiques internes et les principaux facteurs limitants d'ordre agronomique dont les classes de pentes, exprimées en pourcentages.

De plus, pour certaines feuilles, Monsieur F. COLMET-DAAGE a élaboré des cartes de risques d'érosion où sont indiqués quelques phénomènes morpho-dynamiques actuels et surtout des recommandations relatives à la protection des sols.

- Les cartes d'utilisation actuelle du sol et de paysages végétaux-

Ces cartes, également à l'échelle du 1/50.000, ont été réalisées par la section de Géographie du Département de Socio-Economie de Pronareg avec l'assistance technique de Monsieur P. GONDARD, Géographe de l'ORSTOM. Elles font ressortir d'une part les zones de

(1) U.S. Department of Agriculture

grande propriété agricole (haciendas), les très petites exploitations agricoles (minifundios), l'étagement climatique, les zones irriguées, les zones érodées ou en cours d'érosion, et d'autre part les différents types de végétation naturelle et artificielle, hiérarchisés selon leur répartition spatiale (en classes de pourcentages). Sur ces cartes, on note que l'érosion est l'un des quatre facteurs fondamentaux de l'explication de l'utilisation actuelle du sol avec la structure agraire, le climat et l'irrigation.

En utilisant comme hypothèse de travail les documents cartographiques de Pronareg, nous avons réalisé un itinéraire de terrain qui délimitait une trentaine d'exemples d'intérêt probable. Les premières reconnaissances de terrain nous ont permis d'éliminer certains sites et de ne retenir qu'une dizaine d'exemples. Enfin, Monsieur A. Winckell m'a accompagné sur le terrain et nous avons choisi définitivement cinq exemples devant faire l'objet d'une partie de la rédaction du présent rapport de stage.

#### 5.2.2. Les photographies aériennes.

La méthode employée pour ce programme EROSION n'est pas basée sur la cartographie, mais sur l'étude de cas analysés sur le terrain et à l'échelle des phénomènes observés. Cependant, nous avons eu recours aux photographies aériennes, et à leur interprétation, pour pouvoir situer les cinq cas choisis dans leur contexte géomorphologique. Chaque exemple étudié est illustré par un croquis géomorphologique, à l'échelle du 1/20.000, accompagné d'un commentaire.

Les croquis géomorphologiques ont été réalisés à partir d'une étude par photointerprétation de photographies aériennes verticales de la couverture régulière panchromatique, à l'échelle de 1/60.000. Il existe, pour les cinq exemples retenus, des photographies aériennes dont les échelles varient de 1/5.000 à 1/10.000, mais nous n'avons pas pu obtenir ces précieux documents jusqu'à ce jour, parce que l'Institut Géographique Militaire se trouve en rupture de stock pour le papier qui sert à tirer les photographies.

Nous avons donc interprété les photographies aériennes, à l'échelle du 1/60.000, avec un stéréoscope Wild ST 4 et en utilisant systématiquement les grossissements n° 3. Les tracés des limites ont été effectués sur un support transparent Kodatrace en employant des mines de crayon très fines. L'information dessinée sur le Kodatrace a été agrandie de 1/60.000 à 1/20.000 au moyen d'un appareil de restitution.

Certaines limites de la photointerprétation ont été modifiées au cours des travaux de terrain parce que l'échelle, trop petite, des photographies aériennes n'avait pas permis d'apprécier toutes les finesses du relief.

#### 5.2.3. Les travaux de terrain.

L'analyse des cinq cas choisis s'est effectuée sur le terrain en utilisant les critères géomorphologiques conventionnels et en les adaptant à l'échelle des phénomènes observés.

Nous avons réalisé d'abord des observations générales sur le versant ou l'interfluve étudié pour mettre en évidence le degré d'évolution des processus érosifs, et la surface affectée par ces derniers. Puis, nous avons procédé systématiquement à la description des formations lithologiques et superficielles, dans des coupes naturelles de terrain ou en creusant des fosses, et à l'étude minutieuse des caractéristiques morphographiques et morphométriques, dans les trois dimensions, des formes d'érosion. Ces types d'observations et de mesures analytiques nous ont conduits à classer les phénomènes étudiés selon une typologie génétique qui nous a permis de différencier la morphodynamique héritée de l'actuelle, et de distinguer le rôle respectif de l'homme et de la nature dans le déclenchement des processus.

#### 5.3. La réalisation des premiers objectifs.

La réalisation des premiers objectifs se concrétise par le choix de cinq cas et leur analyse sur le terrain.

### 5.3.1. Présentation du domaine étudié.

Ces exemples se situent de part et d'autre du bassin inter-andin sur les versants internes de la Cordillère des Andes et dans la partie septentrionale de la Sierra. Le milieu morphoclimatique est ici extrêmement varié en raison d'une part, de la zonation en altitude, d'autre part des grands contrastes de pluviosité à latitude égale. Selon les moyennes pluviométriques, pour des périodes allant de 6 à 10 ans, qui nous ont été fournies par le Département d'Hydrologie de Pronareg, le premier cas se situe aux environs de 1300 millimètres, alors que les autres exemples sont à tendance plus sèche et reçoivent moins de 900 millimètres, et on tombe même sous 500 millimètres dans la région de Saquisilí.

Le milieu géomorphologique se caractérise par l'épaisseur des pyroclastites. Dans les exemples étudiés, nous n'avons jamais retrouvé le socle, métamorphisé et granitisé de la cordillère. Les coupes de terrain montrent invariablement une formation qui a l'apparence d'un loess, de couleur brun-jaunâtre et induré connu sous le nom de Cangahua (1). L'épaisseur de la Cangahua varie de quelques mètres à plusieurs dizaines de mètres. Elle est constituée de fines particules volcaniques et elle ne présente pas de stratification. Son origine est mal connue. Selon Monsieur W. SAUER (2), ce serait un dépôt d'origine éolienne déposé pendant les périodes interglaciaires. Cette Cangahua est actuellement fossilisée par des retombées volcaniques plus récentes aux caractéristiques granulométriques et de cohésion hétérogènes.

Ce schéma lithologique est valable pour l'ensemble de la Sierra septentrionale et il a contribué à nous orienter dans le choix des cas retenus afin de caractériser les phénomènes morpho-dynamiques représentatifs à l'échelle d'une même région.

### 5.3.2. Cinq cas analysés sur le terrain.

Dans le travail de rédaction des observations de terrain, nous avons

(1) D'après les références bibliographiques, cette formation s'appelle géographiquement CANGAHUA ou CANGAGUA. Nous avons choisi d'utiliser le premier terme parce qu'il est plus fréquemment employé. ....

(2) SAUER (W.).- Geologia del Ecuador. Quito, Ministerio de Educación,

adopté le même plan pour les cinq cas, qui est le suivant :

- présentation géographique.
- le cadre géomorphologique avec des descriptions de coupes.
- les formes d'érosion observées et les processus.
- conclusion

Pour ne pas surcharger le texte, chaque exemple est illustré, après la conclusion, par un croquis géomorphologique, à l'échelle de 1/20.000, accompagné d'un commentaire.

#### 5.3.2.1. Trois cas concernant des petits mouvements de masse associés à du ruissellement.

Pour étudier le façonnement des versants par des petits mouvements de masse associés à du ruissellement, nous avons analysé trois cas sur le terrain. Nous avons regroupé ces trois exemples dans le texte parce qu'ils présentent des caractéristiques lithologiques semblables, avec une couche de cendre noire et argileuse fossilant l'ancienne Cangahua brun-jaunâtre, où se sont développées des formes d'érosion originales.

##### 5.3.2.1.1. Le premier cas, dans les environs de Quito.

Le premier cas d'érosion se trouve à une dizaine de kilomètres au Sud-Est de Quito, lorsqu'on descend l'escarpement qui mène du gradin où est installée la capitale équatorienne, au bassin inter-andin appelé en cet endroit "Valle de los Chillos". Sur la carte topographique, à 1/25.000, de Sangolqui, ce premier cas se trouve dans le quart supérieur Nord-Ouest de la feuille, entre les courbes de niveau 2600 et 2700 mètres, et correspond à un petit interfluve allongé et parallèle à l'escarpement du gradin. Il est limité au Nord par un petit chemin empierré qui conduit à une station expérimentale du Ministère de l'Agriculture et de l'Elevage, au Sud par le ravin "Yanahuaycu o

Isleta" d'une quinzaine de mètres de profondeur, au profil transversal en V et fixé par la végétation, à l'Ouest par un autre ravin moins profond, sans nom sur la carte topographique, également en V et fixé par la végétation, que longe l'autoroute qui relie Quito au bassin inter-andin, et enfin du côté oriental par la courbe de niveau des 2600 mètres.

Ce petit interfluve s'allonge dans le sens Nord-Sud sur 1,8 kilomètres pour une largeur variant de 200 à 400 mètres. Les versants sont dissymétriques : celui tourné du côté occidental est pratiquement inexistant parce qu'il est entrecoupé par des petits replats dont les surfaces s'inclinent en pentes douces comprises entre 15 et 20%; au contraire les trois autres versants sont beaucoup plus raides, avec des pentes variant de 40% à plus de 70%, et au profil rectiligne. Ces versants se terminent vers le haut par une surface plane nivelée en une série de neuf paliers qui dominent les talwegs des ravins bordiers d'une cinquantaine de mètres. Chaque palier présente une pente douce et constante, de 15 à 20%, en direction de l'extrémité Sud de l'interfluve et est ceinturé sur son pourtour par un abrupt dont le commandement varie de un mètre à trois mètres.

Selon les documents cartographiques de Pronareg, les sols sont sablo-limoneux, fins, de couleur noire à brun foncé. Ils sont développés sur un horizon argileux très noir, de 20 à 40 centimètres d'épaisseur qui repose directement sur la Cangahua (Duriudoll) (1). La surface du sol est revêtue de quelques broussailles et d'un tapis d'herbe rase qui sert de paturage très extensif à quelques bovins et ovins.

Pour la période allant de 1964 à 1973, en excluant les années 1967, 1968, pour lesquelles les données sont incomplètes, les précipitations en millimètres de la station voisine de Conocoto se répartissent de la manière suivante :

(1) Entre parenthèses, est indiqué le type de sol cartographié dans l'album pédologique de Pronareg d'après les normes de la classification taxonomique américaine.

ANNEE 1964 - 1966

1969 - 1973

|      | JAN  | FEV   | MARS   | AVR    | MAI    | JUIN  | JUIL  | AOUT  | SEPT  | OCT    | NOV    | DEC   | Valeur<br>annuelle |
|------|------|-------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|-------|--------------------|
| T(1) | 702  | 905,5 | 1010,4 | 1382,7 | 1376,6 | 633,7 | 127,2 | 208,8 | 813,3 | 1231,6 | 1248,0 | 894,5 | 10.533,8           |
| M(2) | 87,8 | 113,2 | 126,3  | 172,8  | 172,1  | 79,2  | 15,9  | 26,0  | 101,7 | 153,9  | 156,0  | 11,8  | 1.316,7            |

Dans l'ensemble, on remarque la variabilité inter-mensuelle des précipitations. Avril et Mai sont les mois les plus arrosés, Juillet et Août les plus déficitaires en eau. En fin d'année, en Octobre et Novembre, on note une reprise de la pluviosité.

Nous avons retenu ce petit interfluve pour sa surface, dénivelée en plusieurs paliers, qui fait penser lorsqu'on la parcourt à pied aux marches d'un grand escalier. Les surfaces des paliers sont séparées par des abrupts où apparaît invariablement la superposition d'une couche noire sur une couche brun-jaunâtre. Par exemple, l'étude de la coupe visible le long de l'abrupt qui sépare le palier 5 du palier 6 nous a donné la description suivante :

- 0 - 10 centimètres : argilo-limoneux à argilo-sableux fin, grisâtre, cohérent, nombreuses racines.
- 10 - 40 centimètres : argileux, plus noir, friable avec des polyèdres centimétriques, lixivié.
- 40 - 70 centimètres : cangahua supérieure marron-jaune, légèrement friable en surface puis dure, tachetée de petits revêtements noirs argileux et luisants inférieurs à 0,5 centimètres.
- + 70 centimètres : cangahua inférieure brun-jaunâtre, très dure, se débitant en prismes centimétriques avec de nombreuses concrétions calcaires et quelques revêtements noirs et luisants d'argile dans de petites fissures internes.

Nous avons interprété cette coupe comme une couche de cendre noire récente, à granulométrie prédominante argileuse, fossilisant en concordance la cangahua brun-jaunâtre. D'autres coupes montrent localement, entre la base de la cendre noire et le début de la cangahua, les restes des produits de débouchage qui ont précédé l'éruption de la cen-



dre noire, sous la forme d'une ligne, de cinq centimètres environ d'épaisseur, composée de ponces blanches et de petits cailloux volcaniques noirâtres et rouges. Sur l'ensemble des abrupts, la discontinuité entre la cendre noire et la cangahua apparaît à partir de quarante centimètres. Selon la variabilité du commandement de ces petits abrupts sur le pourtour des paliers, la cangahua est affleurante sur des épaisseurs variant de cinquante centimètres à environ 2,50 mètres. La seule exception, que nous ayons rencontrée, se trouve sur le palier 9 où l'on observe un petit abrupt isolé, de soixante centimètres d'épaisseur, entaillé exclusivement dans la cendre noire.

Les surfaces des paliers ne présentent pas de traces actuelles d'érosion. Les abrupts, qui témoignent qu'il s'est passé quelque chose à un moment donné, ne sont plus très actifs. Par endroits, leurs parois sont colonisées par la végétation, à d'autres elles sont buri-nées et légèrement mises en creux par un ruissellement qui s'y est concentré. Leurs bases sont jalonnées bien souvent par des boules centimétriques de cendre noire éboulée ou cachées totalement par de micro-affaissements de la même cendre descendus par paquets, plus ou moins chaotiques, entre des fissures obliques à la manière de petits gradins de faille. Au pied de ces abrupts, la végétation herbacée, les matériaux affaissés et éboulés sont ennoyés localement par des atterrissements sableux grisâtres, de quelques mètres carrés d'extension pour une vingtaine de centimètres d'épaisseur. Enfin, au pied de certains abrupts, la cangahua affleure, sans végétation, et se déchausse en boules selon un réseau de diaclases centrimétriques.

Au Nord et à l'Est, les versants qui limitent l'interfluve ont perdu la couverture cendreuse. Leur surface de cangahua a été modelée par les pieds des vaches en des sortes de banquettes décimétriques, parallèles aux courbes de niveau et séparées par des talus raides.

On conçoit qu'un changement de consistance de la cendre noire et argileuse sus-jacente, à cause de variations de sa teneur en eau, provoque sous l'influence de la pesanteur son déplacement le long de la pente. Les tensions, résultant de la mise en mouvement de cette couche,

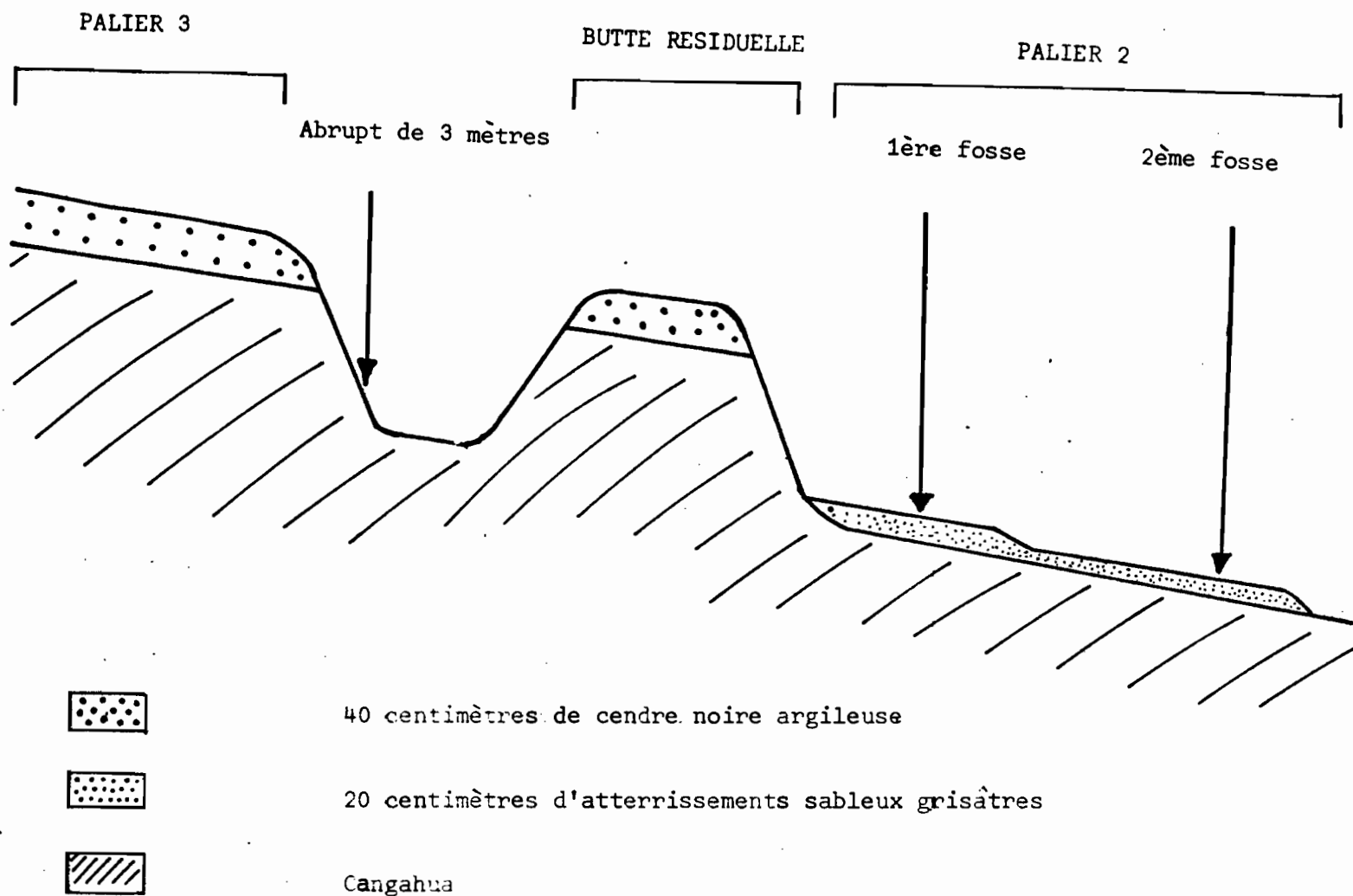
créent un effet de cisaillement dans la zone de départ qui est à l'origine de l'apparition de petits abrupts, dénivellant la surface de l'interfluve en plusieurs paliers. Cependant, si l'on veut respecter ce type de logique, les abrupts devraient montrer des micro-commandements d'une quarantaine de centimètres de hauteur, et non des parois avec de la cangahua, comme on les observe actuellement, dégagées sur des profondeurs variant de 1 mètre à 3 mètres.

Dans un premier temps, nous pouvons dire que ces formes d'érosion en abrupts sont héritées, considérant la faible agressivité des traces actuelles de l'érosion, réduites à de micro-éboulements et affaissements et à quelques atterrissements sableux; ce qui prouve également l'insuffisance de la pluviosité pour expliquer le déclenchement de ce type de processus (voir le tableau ci-dessus des précipitations de la station de Conocoto). La seule solution, qui nous reste, est de faire appel à un paléoclimat plus humide, d'autant plus que ce secteur est abandonné à quelques bovins et ovins et qu'il n'y a pas un apport d'eau supplémentaire par irrigation. Cependant, si l'on admet le contexte d'un paléoclimat plus humide, le problème reste posé pour savoir le pourquoi de ces abrupts à cangahua affleurante :

- la cangahua sous-jacente a-t-elle pu à un moment donné perdre sa consistance solide et se mettre également en mouvement sous la forme de grands glissements en rotation ?

- la cangahua est-elle restée cohérente et a-t-elle été dégagée progressivement par ruissellement à partir des plans de cisaillement engendrés par le départ de la cendre noire ?

Pour essayer de répondre à ces deux interrogations, nous avons creusé deux fosses, de 1,20 mètres de profondeur, pour étudier si la cangahua présentait, de haut en bas, des variations dans sa structure qui pourraient nous éclairer sur son comportement passé, actif ou passif. Les deux fosses sont situées sur le palier 2, dans le prolongement de l'abrupt qui limite le palier 3 et qui atteint ici 3 mètres de hauteur. Tout d'abord, l'abrupt actuel de 3 mètres de hauteur, séparant le palier 2 du palier 3, présente une coupe semblable à celle des autres abrupts avec une discontinuité très nette, à partir de 40 centimètres de profondeur, entre la cendre noire sus-jacente et la cangahua. Cette dernière est dégagée ici sur 2,60 mètres de hauteur.



La première fosse a été creusée à 3 mètres environ du pied de l'abrupt, sur un petit replat moutonné terminé par une légère convexité. La description de son profil est la suivante :

- 0 - 15 centimètres : sablo-argileux, gris-beige, assez friable, peu cohérent.
- 15 - 65 centimètres : Cangahua très dure, se débitant en gros blocs argilo-sableux de couleur gris-beige, constellée de petites cavités rondes et de nombreux grains blanchâtres de  $\text{CO}_2\text{Ca}$ , inférieurs à 1 millimètre. Quelques petites fissures sont remplies par de l'argile de lixiviation, marron-noire.

65 - 120 centimètres : Cangahua argilo-sableuse, plus grisâtre, tigrée par un mélange de granules noirs de 2 à 3 millimètres, et de nombreux grains de feldspath et de quartz inférieurs à 1 millimètre. Plus humide et donc plus friable que la précédente. Aucune fissure avec remplissage argileux.

La seconde fosse a été creusée à une quinzaine de mètres de l'abrupt, juste à l'amont également d'une seconde petite convexité. La description de son profil est la suivante :

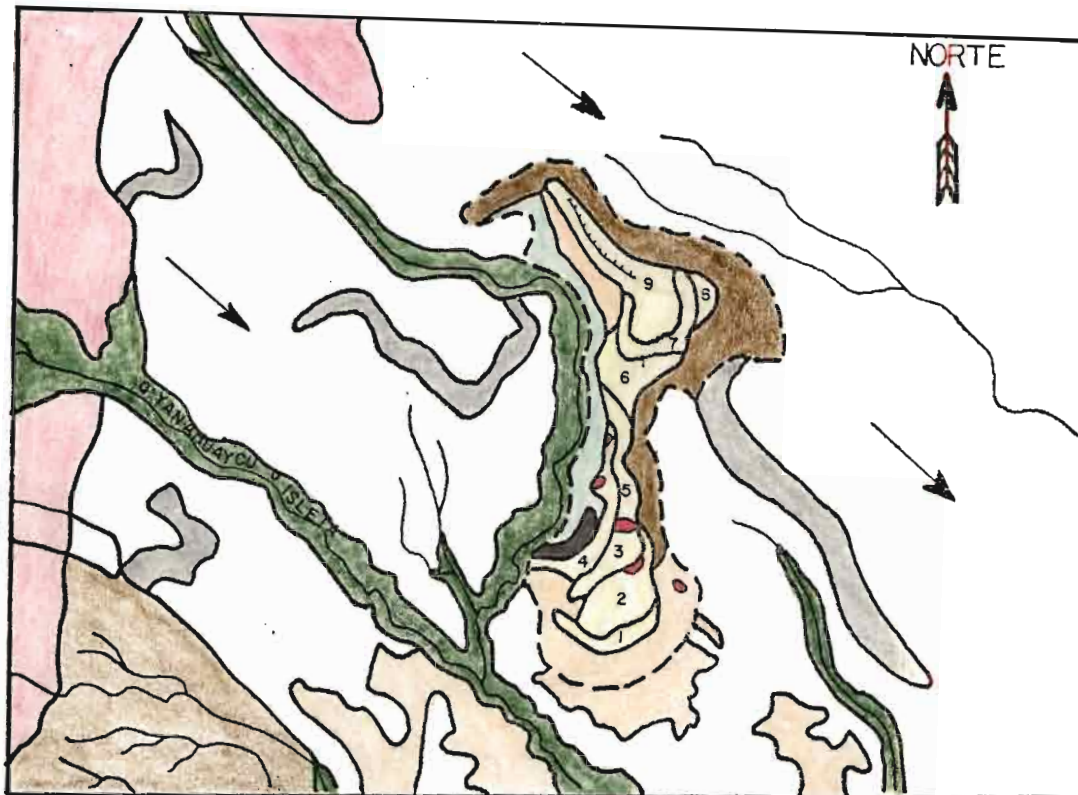
- 0 - 12 centimètres : sablo-argileux, fin, gris-beige, friable.
- 12 - 100 centimètres : la même cangahua argilo-sableuse, très dure et constellée de petites cavités rondes.
- 100-120 centimètres : cangahua plus foncée, également plus humide et friable.

Nous avons interprété les profils de ces deux fosses comme des atterrissements sableux actuels, de 15 centimètres d'épaisseur pour la première fosse et de 12 centimètres pour la seconde, recouvrant la cangahua. Cette dernière présente aux différents niveaux des deux fosses la même structure homogène et cohérente que sur les parois de l'abrupt, ce qui nous permet de dire qu'elle est en place. Elle est légèrement plus friable au fond des deux fosses parce qu'elle devient plus humide en profondeur.

Nous pouvons donc conclure par l'affirmative en ce qui concerne la seconde interrogation : à une période climatique plus humide, seul un ruissellement, suffisamment bien alimenté en filets d'eau, a pu affouiller la base des petits abrupts originels de cendre noire et excaver progressivement la cangahua.

## CROQUIS GEOMORPHOLOGIQUE N° 1

ECHELLE : 1/20.000



Ce croquis géomorphologique n°1 correspond au cas situé dans les environs de Quito et il a été établi à l'aide de la photographie n°4735 de la couverture régulière panchromatique (Mission-ANTISANA, échelle=1/60.000) et des travaux de terrain.

La base du petit interfluve, étudié dans le texte, est délimité par une ligne en tirets noirs. Sa surface a été coloriée en jaune, et nous y avons superposé des lignes noires et des numéros pour entourer et distinguer chaque palier. On remarque sur le palier 9 un trait noir avec des barbules qui symbolise un petit abrupt où n'apparaît pas la congahua. Lorsqu'il a été possible de cartographier les endroits où la congahua affleure, en se déchaussant en boules, nous avons utilisé le rouge. Les versants, affectés par des affaissements par petits paquets de 50 à 100 m<sup>2</sup>, ont été représentés en orange, et ceux, dépourvus de cendre noire et modelés en banquettes décimétriques, en marron foncé. Nous avons indiqué, en outre, deux zones sans érosion: une petite frange colluviale, de 15% de pente, en vert clair et une rupture de pente, de l'ordre de 50% de déclivité et colonisée par la végétation, en noir.

Nous avons dessiné, également, les formes de relief prédominantes qui environnent cet interfluve et nous leurs avons attribué les couleurs suivantes:

- le rose pour l'escarpement qui limite la surface du gradin.
- le gris pour des abrupts d'érosion.
- le vert foncé pour les ravins.

Nous avons laissé en blanc la zone qui s'étend entre le pied de l'escarpement et le fond du bassin: c'est un grand plan incliné, d'environ 20% de pente, dont le sens est marqué par des flèches noires, et sur lequel prédominent les affleurements de congahua. Lorsque sa surface montre des traces de ruissellement concentré, nous avons utilisé le marron clair, et localement le même orange, que précédemment, pour indiquer de petits affaissements sur des témoins de cendre noire.

#### 5.3.2.1.2. Le second cas, à Alangasi.

Ces petits abrupts d'érosion sont bien représentatifs du bassin interandin en cet endroit. Nous les avons retrouvés sur le versant d'un autre interfluve, situé à une dizaine de kilomètres au Nord-Est du premier, plus exactement à quelques centaines de mètres en face de la sortie Est du village d'Alangasi, sur la rive gauche du ravin La Campañia. Cet interfluve présente une surface plane sur laquelle la carte topographique, à 1/25.000, de Sangolquí indique un point coté à 2608 mètres. Nous avons seulement retenu pour l'étude le versant qui descend depuis cette surface jusqu'au talweg du ravin La Campañia. Le versant, d'une soixantaine de mètres de dénivellation relative, présente les caractéristiques morphologiques suivantes :

- le contact entre la surface de l'interfluve et le versant se fait par un abrupt, de 2 mètres de hauteur, dont le tracé est perturbé par une série d'affaissements par petits paquets.
- au pied de cet abrupt sommital, s'étend un replat d'une cinquantaine de mètres de largeur et en pente douce vers l'aval, variant de 10 à 15%. Ce replat est surmonté par quelques buttes résiduelles, d'environ deux mètres de hauteur.
- puis, nous arrivons au versant proprement dit, au profil convexe bien marqué et aux pentes fortes comprises entre 40% et 50%.
- enfin, la transition entre le versant et le talweg du ravin La Campañia s'effectue par une zone colluvio-alluviale en pente douce de l'ordre de 20%.

En direction de l'aval et à l'extrémité Nord-Ouest de l'interfluve, à partir du bord gauche d'un petit ravin qui n'est pas indiqué sur la carte topographique, le replat disparaît totalement et la zone colluvio-alluviale se rétrécit et devient plus déclive. (25 à 30%).

Comme pour le premier interfluve, on retrouve la même discontinuité stratigraphique, à partir de 40 centimètres de profondeur, entre une couche noire et argileuse reposant sur la cangahua brun-jaunâtre. Selon les cartes de Pronareg, les sols sont également semblables. (Duriudoll).

Ce versant, sans limite de propriété ni culture, est abandonné également à un élevage bovin et de quelques moutons, très extensif. A la différence du premier exemple, il y a plus de broussailles et le tapis herbacé est moins continu et plus sec. Nous n'avons pas d'informations sur les précipitations de ce secteur, mais l'aspect plus sec de la végétation naturelle laisse penser qu'il est moins arrosé et inférieur aux 1300 millimètres de précipitations annuelles.

On retrouve sur ce versant des abrupts semblables qui laissent apparaître largement et invariablement la cangahua sous la cendre noire. Ils ne sont pas très actifs non plus : leur tracé, généralement colonisé par la végétation, est émoussé localement par des micro-affaissements et leur pied fossilisé par 5 centimètres environ d'atterrissements sableux grisâtres. Sur le versant, ces abrupts d'érosion, de 50 centimètres à 1,50 mètre de hauteur, se situent au contact du replat avec la surface de l'interfluve, le long des buttes résiduelles qui surmontent le replat, et d'une manière plus discontinue, avec pour certains un tracé légèrement en demi-cercle, à la rupture de pente entre le replat et le versant proprement dit. Pour vérifier l'hypothèse du premier exemple, nous avons creusé une nouvelle fosse, également de 1,20 mètre de profondeur, sur le replat à la base d'une butte résiduelle de telle façon que le trou dégage le pied de la butte et traverse la cangahua qui forme le replat. Aux différentes profondeurs de la fosse, la cangahua présente la même structure que celle où est entaillé l'abrupt de la butte résiduelle. Elle est simplement plus friable en profondeur parce qu'elle est plus humide. La conclusion est donc identique à la précédente sur le comportement passif de la cangahua au cours de l'évolution des abrupts, et ceci d'autant plus que la pluviosité de ce secteur semble moins élevée.

Pour conclure l'analyse de ces deux premiers cas, il nous paraît utile d'insister sur les deux remarques suivantes :

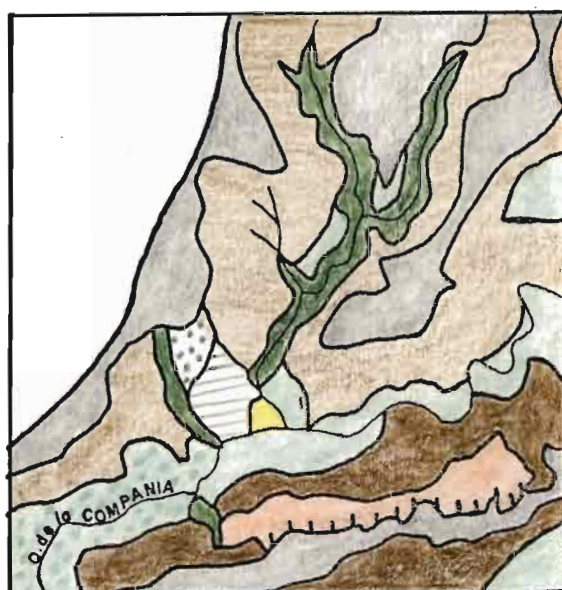
- La dynamique actuelle est peu agressive et se note en des endroits bien localisés.
- L'observation des formes héritées permet d'apprécier le comportement de la couche de cendre sus-jacente lorsqu'elle est imbibée d'eau, et le rôle passif de la cangahua. On note également que ces types de processus peuvent se déclencher sur des pentes dont les valeurs varient de 15 à 50%.



# CROQUIS GEOMORPHOLOGIQUE

N°2

ECHELLE: 1/20.000



*Ce croquis géomorphologique n°2 correspond au cas situé à Alangasi et il a été établi à l'aide de la photographie n° 4626 de la couverture régulière panchromatique (Mission:Antisana, échelle :1/60.000) et des travaux de terrain.*

*Le versant étudié occupe la partie inférieure du croquis. Il est limité vers le haut par la surface de l'interfluve, en gris, bordée par une ligne noire avec des barbules qui représente l'abrupt d'érosion. Puis, nous avons colorié en orange le replat surmonté de quelques buttes résiduelles, en marron foncé le versant, proprement dit, ou profil convexe, et en vert-clair la zone colluvio-alluviale jusqu'à 20% de pente. Pour cette dernière zone, il est à signaler que lorsque la pente dépasse ce pourcentage et se rapproche des 30%, nous avons rajouté des petits points verts.*

*Nous avons cartographié également les formes de relief qui font face à notre versant, sur la rive droite du ravin la Compañia. Nous avons utilisé les mêmes nuances dans le vert pour les zones colluvio-alluviales, et le gris pour les surfaces planes d'interfluves. De plus, nous avons indiqué les ravins en vert foncé, une petite terrasse caillouteuse en jaune et des versants, également au profil convexe mais sans forme d'érosion majeure, soit cultivés soit reboisés en eucalyptus, en marron clair. Une portion de versant, occupée par du pâturage, échappe à cette description et montre des traces de ruissellement diffus et des banquettes décimétriques: les premières ont été symbolisées par des points gris, les autres par des lignes horizontales grises.*

### 5.3.2.1.3. Le troisième cas, à Ascazubi.

La zone d'étude correspond à deux petits interfluves, situés côte à côte, dont l'un a été retenu dans son ensemble, et l'autre seulement pour l'un de ses versants. Ces deux interfluves précèdent les premiers contreforts de la cordillère orientale des Andes, et se trouvent sur la carte topographique, à 1/25.000, de Guayllabamba dans l'angle Sud-Est, plus exactement à un kilomètre en amont du village d'Ascazubi.

Le premier interfluve, compris entre les courbes de niveau 2640 mètres et 2900 mètres, s'appelle Loma El Mirador et s'allonge dans le sens Ouest-Est. Il est limité au Nord par le petit ravin d'Arcapamba, à écoulement intermittent, à l'Ouest par la ligne de chemin de fer, Quito-Ibarra, doublée une vingtaine de mètres plus bas par un canal d'irrigation, au Sud par un autre petit ravin également à écoulement intermittent, sans nom sur la carte topographique mais qui dessine une forme en S remarquable entre la courbe de niveau 2720 mètres et la voie de chemin de fer, enfin à l'Est il se termine en forme de pointe à l'altitude de 2930 mètres.

Le second interfluve s'appelle Loma San Ignacio et s'allonge également dans le sens Ouest-Est. Le versant étudié fait face au premier interfluve, en direction du Sud. Il est compris entre les courbes de niveau 2700 et 2800 mètres et se termine par une surface plane.

Les versants de ces deux petits interfluves présentent un profil convexe prédominant et des pentes comprises entre 40% et 60%. Ils se terminent par des surfaces planes, en pente douce variant de 0 à 5%.

Lorsque ces dernières s'inclinent légèrement le long du versant, la déclivité s'accroît et la pente est de l'ordre de 20%

Sur la carte pédologique de Pronareg, les sols sont sableux fins, pauvres en matière organique et dérivés de la cangahua qui se trouve à 10 centimètres de profondeur (Durandépts). En fait, les interfluves étudiés présentent sur le terrain des secteurs où les sols sont sem-

blables à ceux des deux premiers cas, avec une couche de cendre noire d'une quarantaine de centimètres sur la cangahua (Duriudoll), et d'autres secteurs où la cangahua dénudée donne les sols qui ont été cartographiés. Selon les cartes d'utilisation actuelle du sol et de formations végétales, la zone étudiée correspond à un domaine de grandes parcelles occupées par des pâturages naturels. En effet, elle appartient à l'hacienda Huaguilqui qui pratique ici un élevage bovin extensif, avec par endroits un reboisement en Eucalyptus qui paraissent avoir des difficultés à se développer. De plus sur le terrain, on note clairement sur l'ensemble des versants les traces d'anciens labours, en forme de petites marches centimétriques parallèles aux courbes de niveau. Selon les propos recueillis auprès d'employés de l'hacienda, ces versants étaient cultivés, il y a encore une dizaine d'années, avec une alternance annuelle entre le maïs et le blé et labourés au moyen d'un tracteur à chenilles. Ces cultures ont été abandonnées parce que le canal d'irrigation, qui passait au-dessus des deux interfluves a été supprimé.

En ce qui concerne les précipitations, le département d'Hydrologie du Pronareg nous a fourni les renseignements suivants en millimètres, disponibles pour le secteur d'Ascazubi :

#### ANNEES 1964 - 1971

|   | JAN   | FEV   | MARS  | AVR   | MAI   | JUIN  | JUIL | AOÛT | SEPT  | OCT   | NOV   | DEC   | Valeur<br>Annuelle |
|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|-------|-------|-------|-------|--------------------|
| T | 474,1 | 637,3 | 623,4 | 939,2 | 597,1 | 302,5 | 58,5 | 76,8 | 472,9 | 859,6 | 756,4 | 445,6 | 6.243,4            |
| M | 59,3  | 79,7  | 77,9  | 117,4 | 74,6  | 37,8  | 7,3  | 9,6  | 59,1  | 107,4 | 94,6  | 55,9  | 780,4              |

Sur ce tableau, on note que la région est plus déficitaire en pluviosité que les deux précédentes. Elle est à tendance sèche avec un minimum très marqué en Juillet et en Août. Avril, Octobre et Novembre sont les mois les plus arrosés, avec un maximum pour le premier cité.

.../...

Comme dans les environs de Quito et à Alangasi, on retrouve des petits abrupts d'érosion où la cangahua, surmontée par la même cendre noire et argileuse, a été exhumée sur des profondeurs variant de 1 mètre à 1,50 mètre. Cependant, nous avons retenu ce secteur d'Ascazubi parce qu'on observe, là où la surface du sol montre les traces d'anciens labours, deux types de formes d'érosion plus originales :

- des zones dénudées à cangahua affleurante.
- des ravines en forme de coups de griffes.

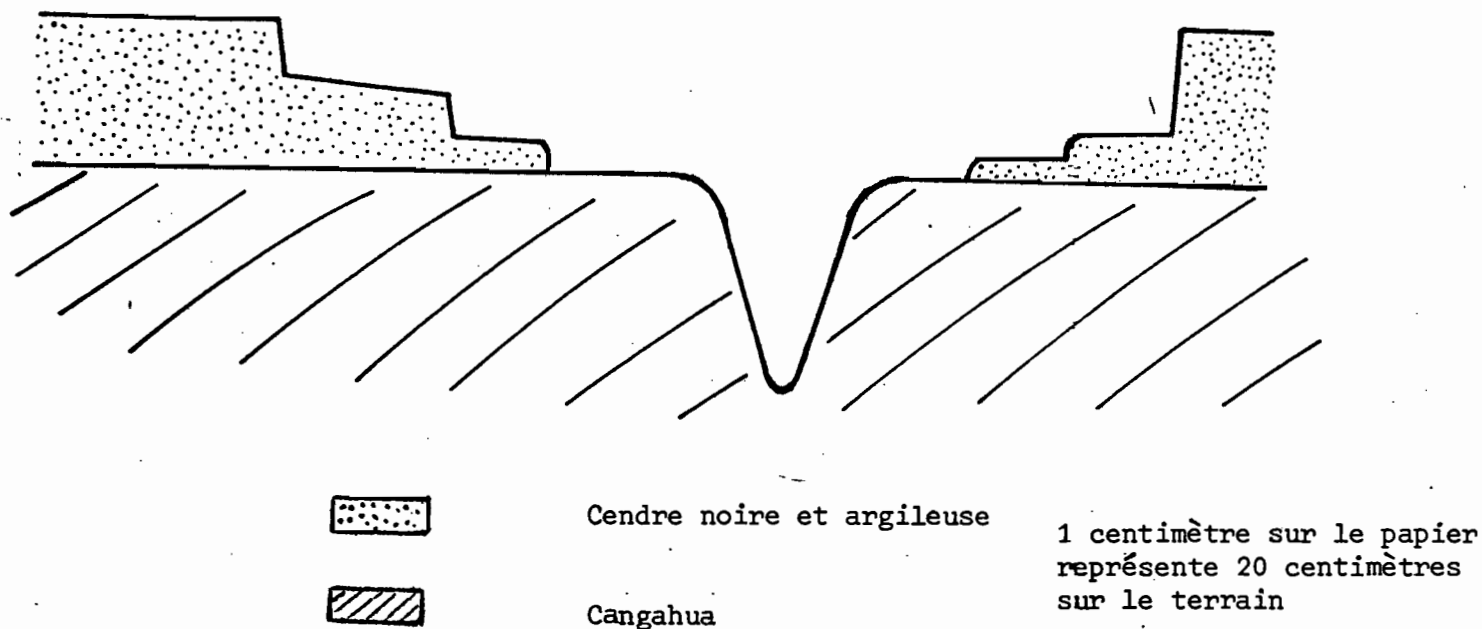
Dans les zones dénudées à cangahua affleurante, cette dernière a été mise à jour, avec un profil légèrement convexe, sur des surfaces variant de quelques mètres carrés jusqu'à 500 mètres carrés. A l'intérieur de ces zones, on note également la présence isolée de quelques buttes résiduelles de cangahua, de l'ordre du mètre, chapeautées par la cendre noire. Les petits abrupts, qui limitent le pourtour de ces formes d'érosion, montrent que sous la cendre noire la cangahua a été creusée de 20 à 50 centimètres. Leur tracé est sinueux, parfois échancré en petites indentations en forme de dents de scie. On y observe même, là où débute la dénudation de la surface du versant, de véritables petits vallons à fond plat de 10 à 20 mètres de longueur, pour 5 à 6 mètres de large et colonisés par la végétation. Par endroits, la surface de la cangahua est modelée par le piétinement des bovins en chemins de passage, parallèles aux courbes de niveau et encaissés de 30 à 50 centimètres, dont le fond plat est tapissé très irrégulièrement par 2 à 3 centimètres d'atterrissements sableux.

Dans les ravines en forme de coups de griffes, la cangahua est également mise à jour mais sur des surfaces beaucoup moins étendues. Nous avons comparé ces formes en ravines à des coups de griffes parce qu'elles présentent à la fois l'incision linéaire et les contours déchirés d'une griffure.

.../...

L'incision linéaire est un petit lit, à écoulement intermittent, creusé directement dans la cangahua sur une profondeur variant de 0,50 mètre à 1 mètre. Elle présente généralement un profil transversal à l'allure de U très étroit, et un profil longitudinal en petites cascades centimétriques.

Les contours font penser à une déchirure parce qu'il n'y a pas de prolongement progressif entre les bords subverticaux de l'incision et les berges de la ravine : de chaque côté, l'incision est bordée par une frange de cangahua, puis par des petits paquets affaîssés, de l'ordre du centimètre carré, de cendre noire, enfin par les berges proprement dites de la ravine, entaillées dans la même cendre.



Selon l'extension du versant, la longueur de ces ravines en forme de coup de griffes varie de 10 à 15 mètres à plusieurs dizaines de mètres. Leur largeur est de 5 à 6 mètres au niveau du micro bassin de réception, et diminue environ de moitié dans la partie du canal d'écoulement.

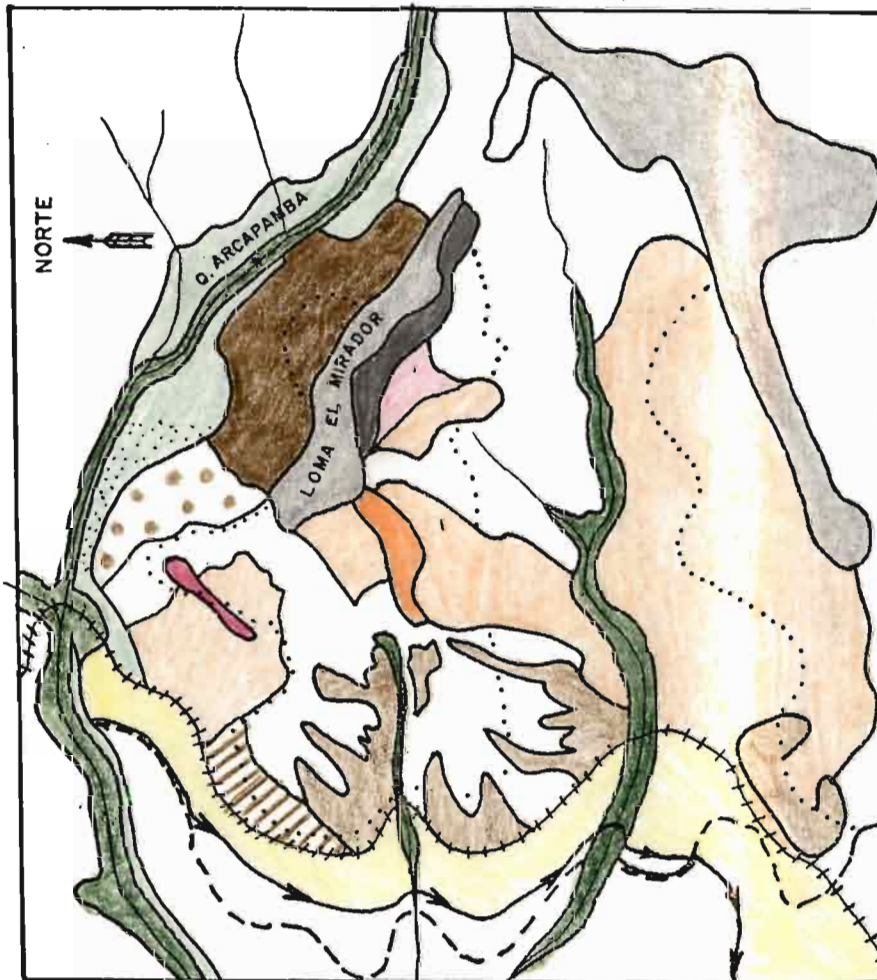
Pour essayer d'expliquer le type de processus qui a engendré ces deux formes d'érosion, il faut faire appel à un excès d'eau à la surface du versant provoquant un changement de consistance de la cendre noire sus-jacente, et à des incisions linéaires jusque dans la cangahua. Sur le terrain, on remarque que les zones dénudées à cangahua affleurante et les ravines en forme de coups de griffes prennent naissance dans des secteurs qui ont été cultivés, à des ruptures de pente. A partir de ces dernières, de petits abrupts se forment, soit par tassement de cendre noire soit par soutirage de la fraction sous-jacente, la plus argileuse, de la même cendre. La concentration des filets d'eau, issus du ruissellement amont, au pied de ces petits abrupts donne naissance à des ravines. Le recul des berges des ravines, par petits paquets de cendre noire qui s'affaissent, leur donne l'allure de coups de griffes. Le recoupement progressif des berges des ravines, accompagné de petits glissements en planche, favorise la dénudation de la surface du versant et l'exhumation irréversible de la cangahua.

Cependant, nous n'avons pas retrouvé sur les versants étudiés les traces actuelles de ce type d'évolution. Les petits abrupts sont colonisés par la végétation et s'effondrent localement en micro-affaissements par paquets. Nous avons observé également quelques atterrissements sableux actuels peu épais et occupant une faible surface des zones érodées.

Les deux formes d'érosion observées à Ascazubi, bien qu'elles soient actuellement héritées et que la zone soit à tendance sèche, ne sont pas pour le moins très anciennes et il semble difficile d'évoquer leur genèse dans le contexte d'un paléoclimat plus humide. Nous pensons donc qu'à l'époque où les versants étaient cultivés, l'excès d'eau est venu d'une irrigation excessive des terres, en trop grandes quantités, à partir du canal qui passait au-dessus des deux interfluves.

En conclusion, il nous paraît intéressant de noter que les formes d'érosion évoluent très lentement depuis que la zone étudiée n'est plus cultivée et irriguée. D'une manière générale, cette remarque met en garde contre un usage abusif de l'eau, et elle est valable tout particulièrement pour la partie andine de l'Equateur où l'irrigation est l'un des facteurs explicatifs fondamentaux de l'utilisation actuelle du sol.

CROQUIS GEOMORPHOLOGIQUE N°3  
EÇHELLE 1/20.000





Le croquis géomorphologique n° 3 correspond au cas situé à Ascazubi et il a été établi à l'aide de la photographie n° 2756 de la couverture régulière panchromatique (Mission: Antisana, échelle: 1/60.000) et des travaux de terrain.

On remarque que les couleurs prédominantes sont l'orange et le marron. L'orange clair a été le plus utilisé et indique la présence de ravines en forme de griffes. Une petite unité, en orange foncé, désigne de petits abrupts d'érosion où la cangahua a été exhumée, comme dans les deux premiers cas. Nous nous sommes servis du marron pour mettre en évidence les zones où la couche noire sus-jacente a disparu. Nous avons nuancé les teintes en fonction des phénomènes observés: le marron clair représente des zones à cangahua affleurante supérieure à 50 m<sup>2</sup> de surface, les rayures marrons des zones semblables mais inférieures à 50 m<sup>2</sup> de surface, les points marrons des portions de versant à l'allure bosselée et modelées dans la cangahua, et le marron foncé pour un ruissellement concentré, en ravines, dans la même cangahua.

Nous avons réservé le blanc pour les zones, sans érosion, dont la surface présente fréquemment les traces d'anciens labours et localement un reboisement en eucalyptus.

Pour compléter l'interprétation géomorphologique de ce croquis, nous avons dessiné les éléments suivants:

- les surfaces d'interfluves en gris.
- une corniche sommitale en noir
- une rupture de pente, de l'ordre de 25%, comprise entre des pentes supérieures à 40%, en rose clair.
- un petit replat, de forme allongé, en rose foncé;
- les ravins en vert foncé
- les terrasses et les zones colluvio-alluviales en vert clair. Lorsque cette unité est érodée, nous avons rajouté de petits points noirs.
- la base des interfluves par une ligne en tirets noirs.
- les parties convexes des versants par une ligne en points noirs.

Enfin, nous avons colorié en jaune la zone située entre la voie de chemin de fer (ligne entrecoupée de tirets noirs) et le canal d'irrigation (ligne avec des pointes de flèches noires) pour représenter un phénomène d'érosion anthropique dû à l'absence d'un canal de dérivation des eaux de pluies du côté externe de la voie, ce qui a provoqué un décapage complet de la cendre noire, et un ravinement de la cangahua

5.3.2.2. Le quatrième cas, dans la région de Saquisili : ruissellement diffus et concentré.

Pour étudier les formes et les processus du ruissellement diffus et concentré, nous avons choisi les versants de deux portions d'interfluves situés environ à 3 kilomètres au Sud-Ouest de la localité de Saquisili (Province du Cotopaxi), lorsqu'on prend le chemin de terre qui mène d'abord au hameau de la Libertad, puis plus loin à celui de Macas Grande.

Ces deux versants sont séparés par la petite vallée de Macas, à l'écoulement intermittent. Le premier versant, le plus au Nord, s'étend sur la rive gauche de la vallée de Macas, environ sur deux kilomètres, de part et d'autre du hameau de la Libertad qui se trouve à son pied. Entre la Libertad et l'extrémité Nord-Est, le versant est limité par les courbes de niveau 3120 mètres et 3240 mètres. Vers l'amont, en direction du Sud-Ouest, la dénivellation relative s'accroît et est comprise entre les courbes de niveau 3120 mètres et 3400 mètres. Le second versant, de trois kilomètres de longueur, se trouve sur la rive droite de la vallée de Macas, entre les courbes de niveau 3020 mètres et 3220 mètres. Nous l'avons fait commencer lorsque la vallée change radicalement de direction d'écoulement pour passer de Sud-Ouest/Nord-Est à Nord-Sud. Au Sud, nous l'avons limité par un petit ravin, qui n'est pas indiqué sur la carte topographique à 1/25.000 de Saquisili, mais que nous avons tracé lors de la photointerprétation, et qui se trouve en face de l'église de Mariscal Sucre.

Les deux versants font partie d'une morphologie de plateau, de surface plane et entaillée de 200 à 300 mètres par la vallée de Macas, et leurs pentes sont comprises entre 40 et 70%. Ils se prolongent par une concavité basale de 300 à 600 mètres de large et de 20 à 30% de pente, puis par une zone moins déclive, de 10 à 15%, au contact avec la vallée de Macas.

D'après les cartes de Pronareg, les sols sont sableux fins et dépourvus en matière organique. (Durandep). La cangahua apparaît à partir de 40 centimètres de profondeur. L'utilisation actuelle du sol se caractérise par de petites parcelles où sont cultivées des céréales, à l'exception du maïs. En effet, sur le terrain, on note

que l'ensemble de la topographie est quadrillé, en une mosaïque irrégulière, par des haies d'agaves bornant les limites de propriété. A la période où nous avons réalisé nos observations, en Mai et en Juillet, de nombreuses parcelles étaient sans cultures. Les autres montraient surtout des cultures d'orge avec localement un peu de lupin et quelques lentilles.

Il n'existe pas d'informations pluviométriques pour la région de Saquisili. Nous avons eu recours aux données de la station voisine de Latacunga.

#### ANNEES 1964 - 1973

|   | JAN   | FEV   | MARS  | AVR   | MAI   | JUIN  | JUIL  | AOÛT  | SEP   | OCT   | NOV   | DEC   | Valeur Annuelle |
|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----------------|
| T | 300,1 | 500,2 | 455,6 | 737,0 | 332,8 | 330,3 | 103,8 | 151,7 | 240,1 | 605,5 | 565,3 | 352,6 | 4.676           |
| M | 30,0  | 50,0  | 45,6  | 73,7  | 33,3  | 33,0  | 10,4  | 15,2  | 24,0  | 60,6  | 56,5  | 35,3  | 467,6           |

Avec moins de 500 millimètres de pluie, c'est la région la plus sèche parmi les exemples étudiés. Comme à Ascazubi, on note un minimum très marqué en Juillet et en Août, un maximum isolé en Avril, et une nouvelle élévation des moyennes pluviométriques en Octobre et Novembre.

Les deux versants, retenus pour l'étude, se caractérisent également par leur couleur marbrée, avec une alternance de zones brun-jaunâtres et de zones blanches à blanc-grisâtres. Les zones brun-jaunâtres correspondent à la cangahua très dure et revêtue de nombreuses concrétions calcaires. Sur la cangahua s'étendent les témoins épars d'une ancienne couverture blanche à blanc-grisâtre. Par exemple, à l'extrémité Sud du second versant, sur le bord gauche d'un ravin également sans nom sur la carte topographique, juste avant d'arriver au dernier petit ravin qui limite le versant, l'étude d'une coupe dans un témoin de l'ancienne couverture, d'une centaine de mètres carrés de surface à 3120 mètres d'altitude, nous a donné la description suivante :

- 0 - 5 centimètres : cendreux fin, pulvérulent, blanc-grisâtre
- 5 - 40 centimètres : cendreux fin avec sable fin et petites ponce blanchâtres
- 40 - 45 centimètres : ponce millimétriques, occupant moins de 50% de la coupe dans une matrice grisâtre de sable fin
- 45 - 60 centimètres : ponce blanchâtres, de 1 à 5 centimètres, arrondies, avec des grains de biotite automorphe, occupant environ 80% de la coupe. Le reste est composé de petits minéraux noirs, rouges et de quelques quartz.
- + 60 centimètres : cangahua brun-jaunâtre, légèrement humide.

Nous sommes donc en présence d'une couverture pyroclastique récente, bien stratifiée, et ayant fossilisée l'ancienne cangahua. Bien entendu, d'une coupe à l'autre, les épaisseurs de ces différents niveaux peuvent varier mais ce type de stratification est toujours respecté. La couche supérieure, cendreuse et pulvérulente, varie de 20 à 40 centimètres et la couche ponceuse, avec des intercalations sableuses, de 10 à 20 centimètres. On pourrait penser que le volcan Cotopaxi, tout proche, est responsable de ce recouvrement pyroclastique. Cependant, au retour de nos travaux de terrain, nous nous sommes arrêtés sur les flancs du volcan pour étudier quelques coupes mais nous n'avons pas retrouvé dans les couches ponceuses les petits grains de biotite automorphe. Nous ne considérons pas cet argument comme déterminant et des recherches plus approfondies seraient certainement nécessaires.

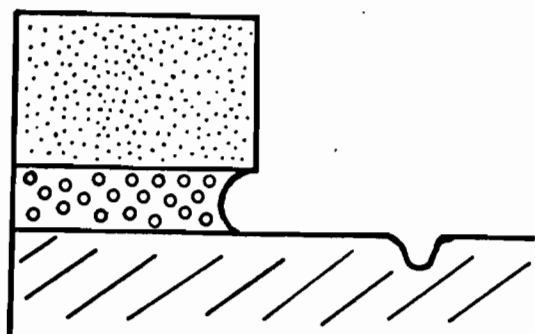
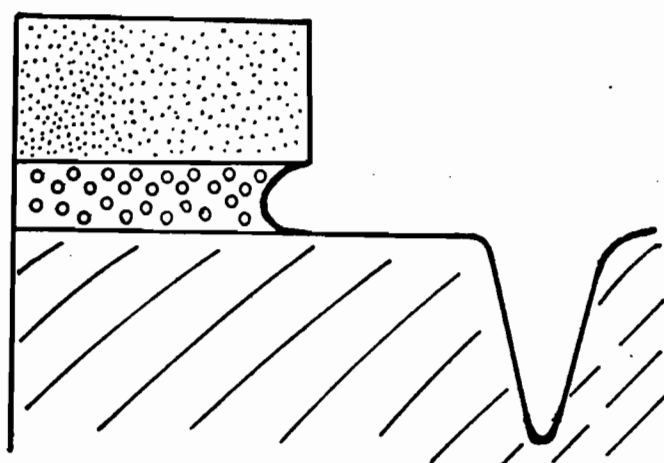
La cangahua sous-jacente est ici importante et constitue dans son ensemble l'architecture des deux versants, sur une épaisseur de 200 à 300 mètres. La seule variante observée est une montée filonienne d'une roche verte, indifférenciée pour l'instant, que nous avons rencontrée à la tête du ravin où a été étudiée la coupe de la couverture pyroclastique.

En ce qui concerne les formes d'érosion, c'est la fréquence d'incisions linéaires à écoulement intermittent ayant sculpté la surface du sol en talwegs miniatures, rigoles, ravineaux, ravines, qui nous a amené à choisir cette zone de Saquisili.

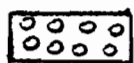
.../...

Sur les témoins conservés de la couverture pyroclastique sus-jacente, nous avons observé de nombreuses rigles d'une vingtaine de centimètres de largeur pour une profondeur variant de 10 à 20 centimètres. Selon l'accroissement de la pente, en certains secteurs plus déclives du versant, les rigoles présentent des tracés, vers l'aval, relativement rectilignes et parallèles entre eux comme si l'on avait légèrement "égratigné" la surface du sol. En d'autres endroits moins accidentés, les tracés sont moins nets et ont tendance à s'anastomoser à cause de rigoles plus actives qui ont détourné les autres vers elles. Enfin, on arrive même parfois à perdre la continuité de leurs tracés lorsque des faons culturales sont venues les oblitérer localement. Lorsque l'incision est plus importante, on observe des formes en ravineaux, aux berges raides et au fond plat reposant directement sur la cangahua. La profondeur varie de 20 à 60 centimètres et la largeur de quelques centimètres à un mètre. La tendance de ces ravineaux est, à la fois, de s'enfoncer et de s'élargir jusqu'à la cangahua sous-jacente plus dure. De nombreux micro-éboulements ponctuent le rebord des berges : cette évolution est accélérée par la présence de la couche ponceuse avec du sable, au contact avec la cangahua, qui s'érode très rapidement en creux en laissant en surplomb l'horizon cendreuse. En règle générale, l'incision s'arrête au niveau de la cangahua, en y sculptant de petites rigoles, de 10 à 20 centimètres de profondeur, qui présentent un profil transversal en U et un profil longitudinal en micro-cascades centimétriques. Cependant, lorsque la pente devient plus raide et dépasse les 50%, la cangahua peut être également incisée jusqu'à un mètre de profondeur sous la forme de ravines à l'allure de U très étroit.

.../...

RAVINEAURAVINE

couche cendreuse



ponces et sable



cangahua

1 centimètre sur le papier re-  
présente 20 centimètres sur le  
terrain

Dans ce dernier exemple de ravine, bien que l'écoulement soit canalisé, les berges continuent de s'ébouler par appel au vide parce que le vent emporte, à leur base, les ponces les plus petites et surtout la matrice sableuse.

Le recul progressif des berges des ravineaux et également de celles des ravines, que la végétation n'a pas le temps de coloniser, contribue au décapage de la couverture pyroclastique et à la mise à jour de la cangahua. On en arrive donc à des formes de plusieurs mètres de large, qui n'ont plus rien à voir avec des formes d'érosion conventionnelles, mais qui concrétisent simplement l'exhumation rapide de la surface de cangahua au détriment des matériaux fossilisants.

Sur la cangahua affleurante, on retrouve également les formes du ruissellement concentré. En de nombreux secteurs des deux versants, cette cangahua a été travaillée et se présente sous l'aspect de petits monticules centimétriques, légèrement indurés, continus et parallèles aux courbes de niveau. Parfois, lorsque ces petites marches anthropiques

ont disparu, on aperçoit quelques rigoles d'une vingtaine de centimètres de profondeur. En d'autres endroits, non labourés et plus raides ou alors en des points de concentration du ruissellement amont, ce sont des ravines, certaines inférieures à 50 centimètres de large pour une profondeur de 20 à 50 centimètres, d'autres de 50 centimètres à un mètre de large pour 1 à 2 mètres de profondeur, qui incisent directement la cangahua. Ces différentes ravines se caractérisent par la présence d'un profil longitudinal en cascades métriques, avec des secteurs plans de l'ordre du mètre également, et avec un profil transversal en méandres par recoupement de petites marmites développées sur leur fond. Elles sont actuellement colonisées par la végétation à part un mince couloir, de 10 à 20 centimètres de large, tapissé de dépôts sableux.

Cependant, sur cette cangahua, c'est le ruissellement diffus qui paraît le plus actif, spécialement sur la concavité basale, au contact du versant. Sur des pentes de 20 à 30%, la cangahua affleurante donne l'aspect d'une surface moutonnée, découpée en figures polygonales centrimétriques et parsemée de petites dépressions, également de l'ordre du centimètre, où le ruissellement diffus a décanté du sable fin gris-noirâtre. Par endroits, ces petites dépressions épousent la forme de pattes d'animaux (moutons, ânes ?). Ce secteur colluvio-alluvial est parsemé de nombreux petits blocs centrimétriques aux arêtes anguleuses, issus du filon de roche verte, que le ruissellement diffus a "balayés" à la surface du sol et déposés au hasard de petites ruptures de pente. Au-dessus de la concavité basale, juste à la terminaison du versant, nous avons observé par endroits la surface-seuil de transition entre le ruissellement diffus et concentré sous la forme d'un fin écoulement superficiel, de un mètre à 1,5 mètre de large, en chenaux anastomosés encaissés sur moins de 10 centimètres, et développé sur de la cangahua supérieure légèrement remaniée par l'homme.

Enfin, nous ferons remarquer pour conclure cette description des formes

.../...

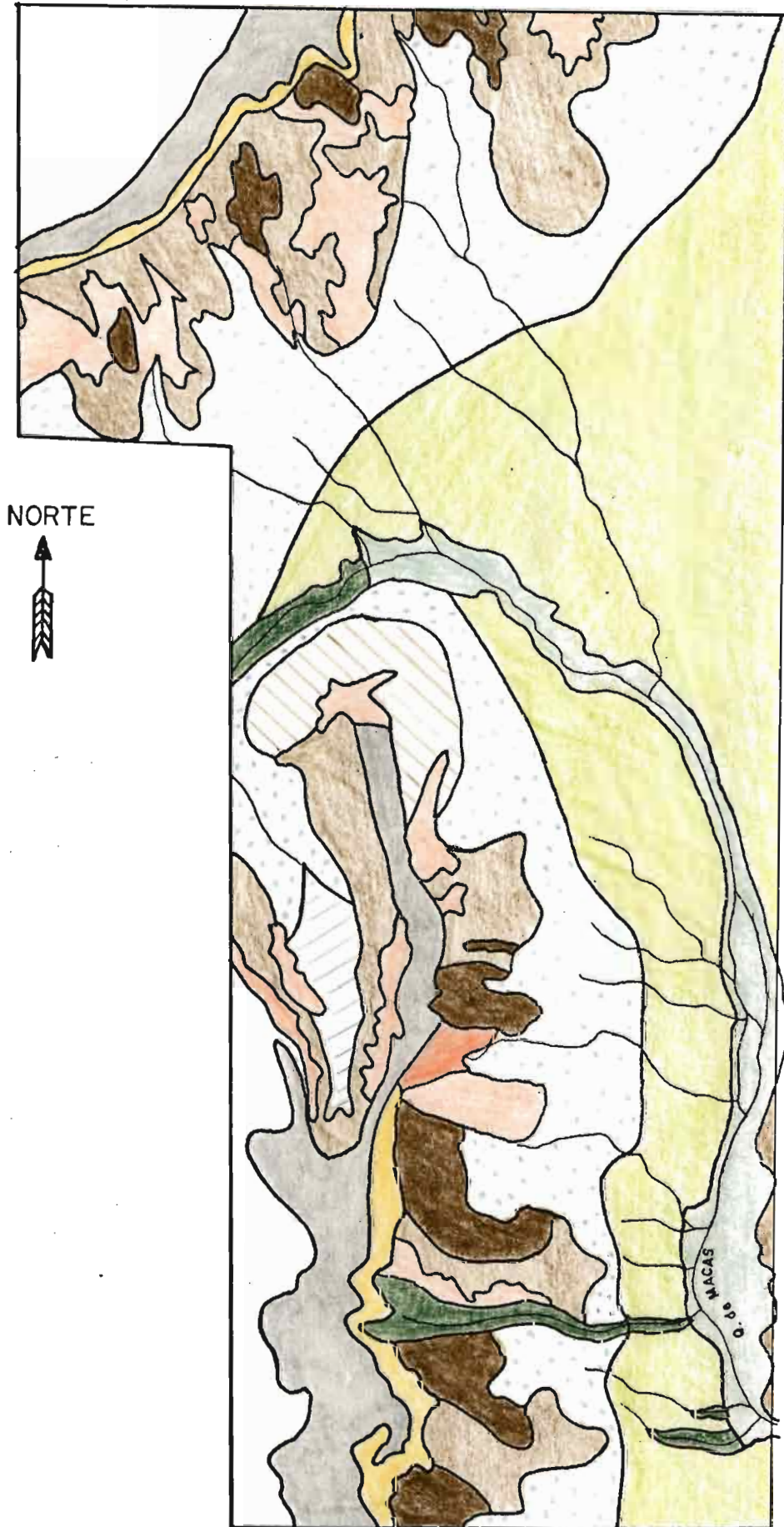
d'érosion, en aparté du ruissellement diffus et concentré, qu'il existe une accumulation éolienne sur la surface plane des deux portions d'interfluve et sur leurs franges bordières, d'une largeur de 30 à 50 mètres. Il s'agit d'un sable très fin, gris foncé, provenant sans doute de la matrice sableuse composant la couverture pyroclastique, dont l'épaisseur varie de 10 à 20 centimètres, à plus de 50 centimètres contre les haies d'agaves.

La morphologie des deux versants étudiés est bien marquée par les formes d'érosion issues du ruissellement diffus et concentré. Cependant, à l'époque où nous avons réalisé les travaux de terrain, les empreintes actuelles de la dynamique érosive étaient réduites à des témoins mineurs qui n'expliquent pas la dissection d'ensemble du modelé de surface.

Néanmoins, comme l'étude s'est déroulée en saison sèche, il nous paraît nécessaire d'envisager d'autres descriptions de terrain pendant une période plus humide, par exemple en Avril, pour examiner le rôle morphologique de certaines pluies de forte intensité horaire. Ces nouvelles observations semblent se justifier, en outre, si l'on prend en considération les deux remarques suivantes :

- les versants étudiés présentent de fortes pentes comprises entre 40% et 70%. La couverture pyroclastique meuble s'y comporte comme une couche active vis à vis du ruissellement.
- Il n'y a plus de végétation naturelle sur les deux versants qui sont occupés uniformément par des parcelles dont les labours sont dirigés, dans l'ensemble, dans le sens de la pente. Les agriculteurs de cette zone nous ont conté que lorsque la couverture pyroclastique a disparu, ils labourent même la cangahua affleurante, jusqu'à 50 centimètres de profondeur, en période des pluies parce qu'en s'humidifiant elle devient plus friable.





CROQUIS GEOMORPHOLOGIQUE N°4  
ECHELLE: 1/20.000

Ce croquis géomorphologique n° 4 correspond au cas situé dans la région de Saquisilí et il a été établi à l'aide de la photographie n°4459 de la couverture régulière panchromatique (Mission: Ambato, échelle:1/60.000) et des travaux de terrain.

Le croquis met en évidence le grand nombre de formes d'érosion, issues du ruissellement, sur l'ensemble des deux versants étudiés. Le versant, le plus méridional, montre davantage de zones en marron foncé qui indiquent un ruissellement concentré dans la cangahua, avec des ravines dont la profondeur est supérieure à 50 centimètres. On y note également l'orange foncé pour des ravines entaillant la couverture pyroclastique et la cangahua. Sur l'autre versant, l'orange clair, qui symbolise la couverture pyroclastique érodée en ravineaux et rigoles, semble mieux représenté. Sur les deux versants, on remarque également le marron clair pour les zones de cangahua modelées en petits monticules parallèles aux courbes de niveau avec quelques rigoles et ravines inférieures à 50 centimètres de profondeur, et le jaune pour les accumulations éoliennes. Une portion de versant, plantée en eucalyptus, est hachurée en marron parce que sa surface de cangahua est striée par un réseau de rigoles. Le pied des deux versants est ceinturé par une concavité basale, avec du ruissellement diffus, que nous avons figuré par des points verts. Lorsque le ruissellement s'y concentre, nous avons employé des hachures de la même couleur.

Enfin, les autres couleurs employées se réfèrent aux formes suivantes:

- Le gris pour les surfaces planes d'interfluve.
- le vert-jaunâtre pour la zone colluvio-alluviale.
- le vert foncé pour les ravins.
- le vert clair pour la vallée caillouteuse et avec des gros blocs, en chenaux anastomosés, de Macas, qui se termine à l'une des extrémités du croquis par une forme en ravin.

5.3.2.3. Le cinquième cas, entre les bassins de Guayllabamba et Cayambe:  
Erosion et accumulations éoliennes.

Pour étudier le modelé éolien, nous avons choisi une zone, d'une quinzaine de kilomètres carrés de surface, qui s'étend au pied du versant oriental de l'ancien édifice volcanique de Mojanda. Elle est située, à mi-chemin environ, entre le petit bassin de Guayllabamba et celui plus étendu de Cayambe, et est bordée par la gorge encaissée, de 300 mètres de dénivellation relative dans ce secteur, et aux parois sub-verticales du Rio Pisque.

Notre zone d'étude a plus ou moins la forme d'un quadrilatère limité au Nord par un chemin de terre qui mène du village de Malchingui à celui de la Esperanza en passant par le village de Tocachi, au Sud par une route goudronnée, à deux voies, qui relie le bassin de Guayllabamba à celui de Cayambe, à l'Ouest par la rive droite du ravin Cochasqui, d'une centaine de mètres de profondeur, au profil transversal en V et fixé par la végétation et à l'Est par un autre ravin, celui de Piman, moins encaissé avec environ 60 mètres de profondeur, mais également au profil transversal en V et fixé par la végétation. Pour ces deux ravins, l'écoulement des eaux est intermittent.

Du ravin de Cochasqui à celui de Piman, la morphologie est celle d'un plan incliné de surface plane, sorte de grand "glacis-terrasse", de 15 à 20% de pente, et compris entre les courbes de niveau 2.500-2.600 mètres et 2.940 mètres. A partir de la rive droite du ravin Cochasqui, le relief change radicalement et la morphologie est modelée en croupes aux versants raides, de 40% à 60%, dont les surfaces, convexes vers le haut, dominent les talwegs bordiers de plus de 100 mètres.

D'après les cartes de PRONAREG, les sols sont dérivés de cendres volcaniques. Ils sont sableux, très fins, mélangés avec quelques ponces millimétriques et pauvres en matière organique. (PSAMMENT). Comme à Saquisili, l'utilisation actuelle du sol se caractérise par de très petites exploitations agricoles entourées de haies d'agaves. En revanche, on note sur le terrain que les parcelles sont plus occupées par les cultures où prédominent le maïs et secondairement les pommes de terre, le lupin, les lentilles, et les petits pois. Cependant, des portions de la surface du plan incliné ne sont pas

travaillées et servent de terrains de parcours à un élevage extensif de chèvres et de moutons. On y retrouve un peu de la végétation naturelle sous la forme de quelques touffes d'herbes et surtout d'arbustes, ramifiés dès leur base et de 1 à 2 mètres de hauteur. Certains sont des épineux, d'autres sans épines sont appelés ici les "Chilcas".

Lorsqu'on parcourt cette zone, pour la première fois, on est surpris de constater qu'elle donne par endroits l'aspect d'une surface ensablée, alors qu'en d'autres endroits réapparaît la cangahua dure brun-jaunâtre; l'ensemble étant balayé par un vent, relativement fort et constant, soufflant de l'Est. En certains secteurs, le véhicule a du mal à poursuivre son chemin, parfois même les roues s'enlisent. Lorsqu'on se déplace à pieds, les pas s'enfoncent dans un sable très fin et le visage est picoté par les petites particules soulevées par le vent.

Dans cette région, également à tendance sèche avec moins de 900 millimètres de pluie, nous nous intéresserons d'avantage à la force du vent. Nous avons obtenu les quelques données suivantes, concernant la vitesse du vent, en mètre/seconde, pour la station de l'hacienda Cochaski qui fait partie de la zone étudiée:

| ANNEES 1966-1971 |         |      |       |     |      |         |      |           |         |        |         |
|------------------|---------|------|-------|-----|------|---------|------|-----------|---------|--------|---------|
| Janvier          | Février | Mars | Avril | Mai | Juin | Juillet | Août | Septembre | Octobre | Novre. | Décemb. |
|                  | 2,8     | 2,0  | 1,4   | 1,4 | 1,6  | 3,7     | 3,5  | 3,1       | 1,6     | 1,9    | 2,0     |
| 1,4              | 1,6     | 2,0  | 2,0   | 2,1 | 2,5  | 3,1     | 3,9  | 3,9       | 2,0     | 2,3    | 2,4     |
| 2,1              | 1,3     | 1,8  | 1,3   | 2,9 | 2,4  | 3,2     | 3,2  | 2,4       | 1,8     | 1,9    | 2,2     |
| 1,4              | 1,9     | 2,3  | 1,1   | 1,1 | 3,2  | 4,1     | 3,9  | 2,9       | 2,4     | 1,0    | 1,6     |
| 1,3              | 1,6     | 0,9  | 1,6   | 1,7 |      | 4,4     | 2,8  | 2,8       | 1,6     | 1,4    |         |

Après avoir observé sur le terrain le rôle morphologique du vent, les valeurs de ce tableau paraissent anormalement basses. En effet, selon l'avis du météorologue du département d'hydrologie de PRONAREG, ce tableau n'est pas représentatif du phénomène éolien. La station de Cochaski est équipée d'un anémomètre où la vitesse du vent est relevée seulement trois fois par jour (7 H - 13 H - 19 H ) et en plus à des heures où

la force du vent est minima. L'emploi d'un anémographe serait certainement plus efficace.

Pour essayer de comprendre ce type de paysage, nous avons étudié des coupes le long de la route reliant Guayllabamba à Cayambe et qui s'encaisse de 10 à 20 mètres dans les formations lithologiques. Du sommet des coupes à la base de la route, la répartition stratigraphique est la suivante:

- 3 mètres de Cangahua brun-jaunâtre, dure, avec de nombreux revêtements calcaires sur l'ensemble de la couche.
- 1 mètre de ponces blanchâtres, de 1 à 5 cm.
- 80 centimètres de cangahua plus brune et avec moins de revêtements calcaires.
- 40 centimètres de sable fin, gris.
- 1 mètre de cangahua de la même couleur, avec quelques revêtements calcaires à sa base, sur les derniers 40 centimètres.

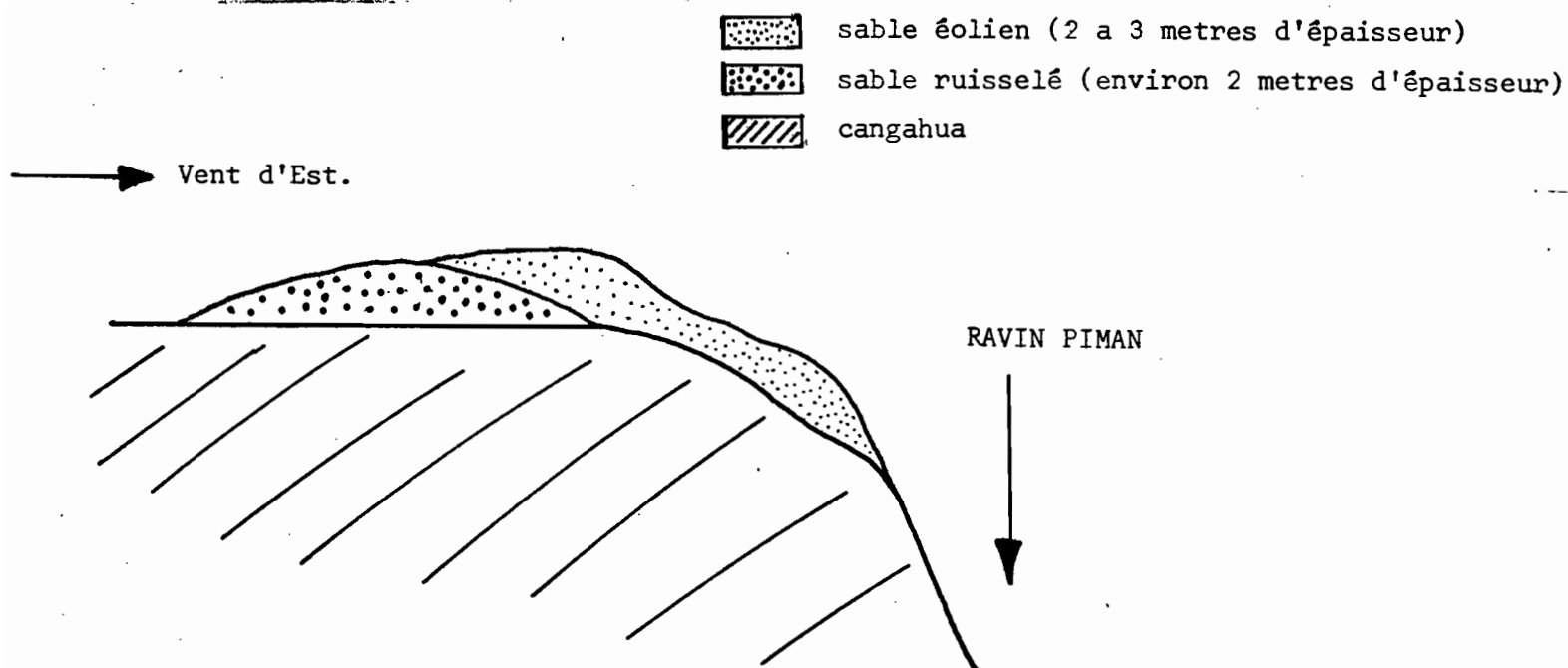
Puis sur les quinze derniers mètres, on trouve une succession concordante de couches bien stratifiées, variant de 50 centimètres à 2 mètres d'épaisseur, où alternent des cendres pulvérulentes, des sables et des scories avec les couleurs dominantes du beige, du gris et du noir.

Nous sommes donc en présence de produits pyroclastiques, finement stratifiés, dont certains sont issus d'éruptions différentes à cause des intercalations de cangahua. Il est très important de noter également que sur la cangahua sus-jacente, la plus épaisse, on trouve localement une couche de sable fin gris, avec des fragments de ponces millimétriques. Son épaisseur varie de 50 centimètres à 2 mètres et laisse apparaître un fin litage et une légère cimentation par endroit. On peut donner à cet épandage sableux une origine volcanique: ultime phase sableuse d'une éruption, remaniée ensuite sur le plan incliné par ruissellement. Enfin, sur ce sable ou alors directement sur la cangahua, on observe des accumulations, de 20 centimètres jusqu'à 3 mètres, d'un sable gris à blanc-grisâtre beaucoup plus fin.

Ces accumulations de sable très fin, et doux au toucher, sont d'origine éolienne. Le vent de l'est a balayé le sable volcanique ruisselé et l'a redéposé à de faibles distances au hasard d'obstacles naturels. En enlevant les fines particules de ce sable ruisselé, le vent a modelé par endroit des Yardangs (1), d'une cinquantaine de centimètres de hauteur, dont les stratifications sont mises en lumière par les effets de la corrasion.

Nous avons observé trois types principaux de formes d'accumulation éolienne:

- localement, on trouve des accumulations de sable éolien, de 1 à 3 mètres d'épaisseur, derrière de petites collines modelées dans le sable éruptif ruisselé. Côté sous le vent de ces petits obstacles, le sable rencontre une zone favorable à son accumulation. Parfois, ces micro-collines portent quelques arbustes qui contribuent à favoriser l'accumulation.



(1) Terme d'origine turque, désignant de petits reliefs, de l'ordre du mètre ou de quelques mètres, sculptés en buttes et sillons par le vent. (Précis de géomorphologie de Monsieur DERRUAU, 6ème édition, page 194).

- Sur la surface lisse du plan incliné, le sable migre bien. Cependant, lorsque la végétation naturelle a été conservée, le sable soufflé est piégé par cette dernière sous la forme de Nebkas (1), de plus d'un mètre de haut pour 5 à 8 mètres de long. Une coupe dans un petit ravin, du haut vers le bas, nous a donné la répartition stratigraphique suivante:

- Arbustes, du type "Chilca", de 1,50 m à 2 mètres de hauteur. On aperçoit seulement une partie du feuillage sur une hauteur de 0,50 m à 0,80 m.
- Environ 1 mètre d'accumulation de sable éolien très fin, gris à blanc-grisâtre, sur une longueur de 4 à 5 mètres.
- 1,50 mètre de sable fin grisâtre, avec un léger litage.
- 80 centimètres d'un sable fin gris, avec des fragments de pones, inférieur à 0,5 cm.
- 20 centimètres de petites pones blanchâtres, de 1 à 2 cm.
- 80 centimètres d'un sable fin, beige-jaunâtre.
- 40 centimètres d'un sable grisâtre, plus grossier et stratifié.
- la cangahua brun-jaunâtre qui constitue le fond du ravin et qui se déchausse en boules centimétriques.

- Dans les parcelles, régulièrement travaillées, les formes éoliennes sont effacées par les labours. Le sable accumulé atteint ici une épaisseur de 20 à 50 centimètres. Au hasard d'un groupement de touffes d'herbes, on observe des Rebdous (2) de quelques décimètres de haut. Le sable est piégé également par les haies d'agaves jusqu'à 1 mètre d'épaisseur. Cependant, ce qui est plus grave et qui s'observe clairement, c'est le résultat dévastateur des tempêtes de sable sur les cultures: elles cassent et déracinent les petits pois, les pommes de terre et les lentilles, elles envoient le pied des plants de maïs ou de lupin, elles font courber leurs tiges dans le sens du vent et vont même jusqu'à détacher leurs grains.

.../...

(1) Terme d'origine arabe, désignant une accumulation de sable, de 1 mètre de haut ou plus et jusqu'à 4-5 mètres de long, due à des arbustes. (Précis de géomorphologie de Monsieur J. TRICART, tome 2, page 93).

(2) Terme d'origine arabe, désignant une accumulation de quelques centimètres de haut due à de petites touffes d'herbe. (Précis de géomorphologie de Monsieur J. TRICART, tome 2, page 93).



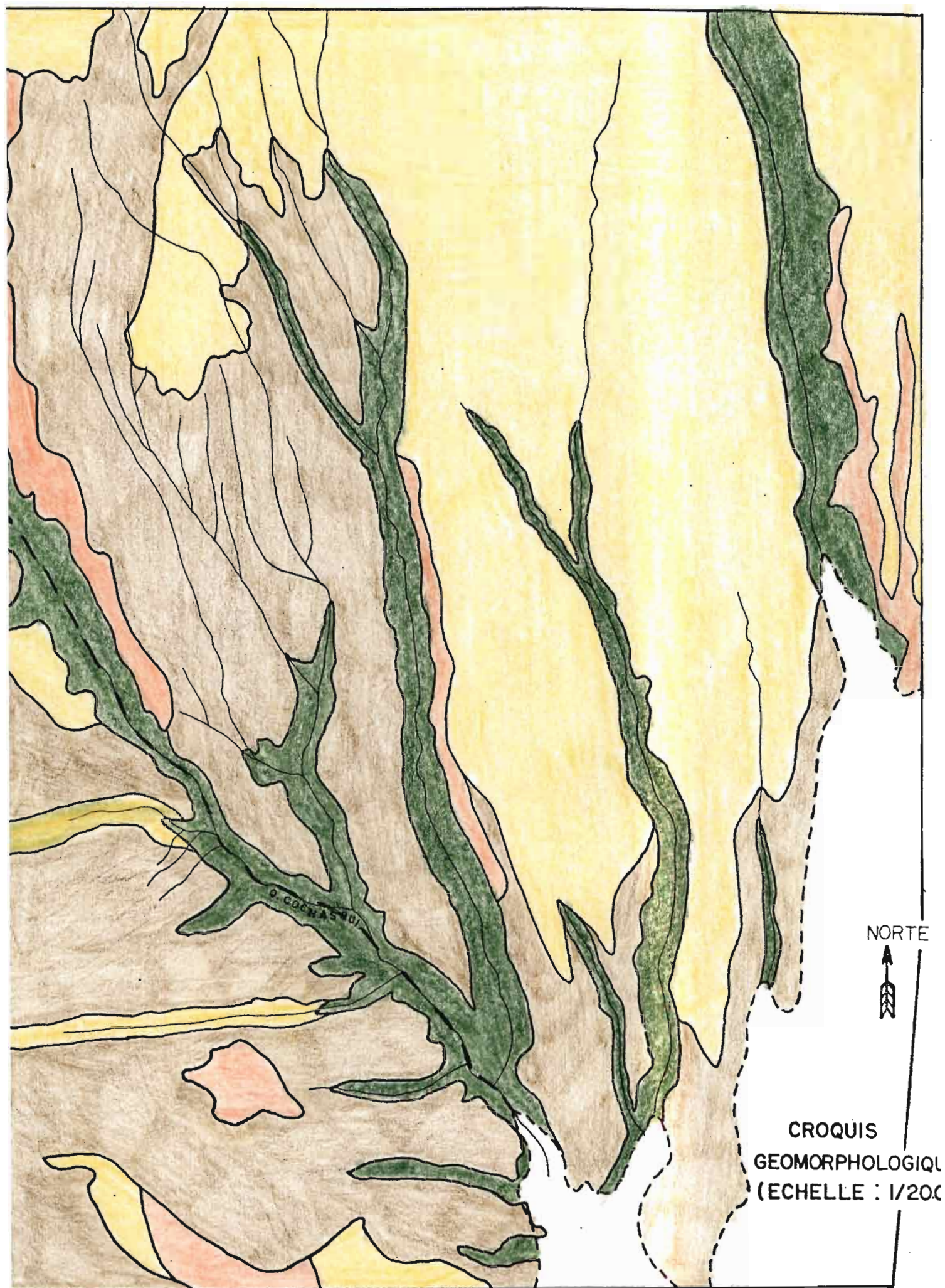
En ce qui concerne les formes éoliennes secondaires, nous avons observé les 2 types suivants:

- L'ensemble de la surface des accumulations sableuses est modelé par de petites rides, de 0,5 centimètres à 3 centimètres de hauteur. Leurs tracés sont légèrement ondulés, généralement parallèles entre eux avec quelques secteurs anastomosés. Le relief de ces petites rides est mis en valeur par le triage qu'exerce le vent sur les éléments constituant le sable soufflé. Du côté au vent, les rides présentent un petit versant en pente douce de 15 à 20%, pour une longueur de 4 à 5 centimètres, composé de minéraux plus lourds, gris-noirâtres, qui ont des difficultés à migrer et qui se concentrent. Côté sous le vent, la retombée, de 2 à 3 centimètres de long, est plus brutale, environ 40%, et est constituée d'un sable extrêmement fin blanc-grisâtre.

- Dans les tranchées de chemin ou de route, là où la cangahua affleure, on observe une multitude de petits trous, d'une vingtaine de centimètres de profondeur, disposés à la manière de "nids d'abeilles". Il semble que les tourbillons de vent exploitent des zones de faiblesse dans l'épaisseur altérée de la cangahua affleurante.

En conclusion, nous dirons simplement que l'avenir de cette zone, située entre Guayllabamba et Cayambe, nous paraît inquiétant à cause de la présence d'un vent d'Est constant toute l'année, et l'existence d'un épandage de sable fin facilement mobilisable. De plus, on est surpris par l'absence totale dans le paysage, autour des parcelles cultivées, de haies artificielles ou naturelles qui pourraient briser la compétence du vent. Les agriculteurs de cette zone sont actuellement désarmés face aux contraintes éoliennes: Lorsque la tempête de sable a été de courte durée, ils doivent déterrer à la main la base des plants ennoyés, lorsque l'ensablement a été plus important et dévastateur, ils doivent abandonner leur champs jusqu'à l'année suivante.





*Ce croquis géomorphologique n°5 correspond au dernier cas analysé et il a été établi à l'aide de la photographie n° 7714 de la couverture régulière panchromatique (Mission: Ibarra, échelle: 1/60.000) et des travaux de terrain.*

*Nous avons cartographié qu'une partie de la zone étudiée et nous avons limité le croquis au Sud par une ligne, en tiretets noirs, qui représente la route reliant Guallabamba à Cayambe par Tabacundo.*

*Une autre ligne en tiretets noirs plus grands, passant par le ravin Cochaski, sépare les deux ensembles géomorphologiques représentatifs de cette zone: au-dessus de cette ligne, sur la majeure partie du croquis, s'étend un grand plan incliné, au-dessous de cette dernière on trouve un relief de croupes convexes vers le haut. Nous avons représenté les ravins avec le même vert foncé.*

*En ce qui concerne la dynamique éolienne, l'orange symbolise les accumulations de sable supérieures à 1 mètre d'épaisseur, et le jaune les accumulations de sable variant de 20 à 50 centimètres sur les parcelles cultivées, et atteignant parfois 1 mètre contre les haies d'agaves. Enfin, le marron a été utilisé pour la cangahua affleurante.*



### 5.3.3. Conclusion

L'étude des phénomènes morphodynamiques dans la Sierra équatorienne en est à ses débuts. Les cinq cas analysés correspondent à un premier contact sur le terrain avec ce nouveau programme. Il nous paraît donc prématuré d'envisager déjà des conclusions sur une étude qui a été proposée à l'échelle des phénomènes observés sur un vaste domaine montagneux. Le travail, présenté dans ce mémoire de stage, s'est déroulé sur quatre mois en englobant l'inventaire bibliographique et la photointerprétation au bureau, les différents trajets de reconnaissance et les travaux de terrain relatifs aux cinq exemples choisis.

Aucune étude n'ayant été élaborée sur ce sujet et les moyens actuels en notre possession ne permettant pas d'envisager d'autres hypothèses méthodologiques, nous avons tenté à partir d'une observation minutieuse des formes d'érosion sur le terrain de déduire les processus qui les avaient engendrées. De cette première analyse des phénomènes observés se dégagent les deux remarques suivantes, l'une d'ordre générale, l'autre concernant l'aspect humain du problème :

- Les cinq cas retenus ont été choisis parce que leurs versants montraient incontestablement des superficies affectées et remodelées par les empreintes de l'érosion. Sur des pentes en général déclinées où la cangahua est fossilisée par des produits pyroclastiques dont la résistance à l'érosion est faible, à cause de leurs caractéristiques granulométriques et de cohésion, le contexte géomorphologique semble favorable à l'évolution des processus érosifs. Cependant, lorsqu'on parcourt ces versants il est paradoxal de constater que de nombreuses formes sont héritées, certaines trouvant leurs origines probablement dans un passé lointain plus pluvieux, d'autres engendrées il y a seulement quelques années par un système anthropique. Hormis l'exemple d'accumulation éolienne, la morphodynamique actuelle se limite bien souvent à quelques affaissements par petits paquets et atterrissements sableux sans envergure. Si l'on considère les moyennes pluviométriques, ce manque d'agressivité érosive n'est pas surprenant. Exception faite du premier cas, les autres exemples font partie de régions à tendance sèche avec moins de 900 millimètres, et on passe même sous les 500 millimètres dans les environs de Saquisilí. Néanmoins, il nous paraît indispensable, pour compléter cette première remarque, de réaliser de nouvelles observations pendant les pluies

hivernales parce que l'étude a commencé en saison sèche et que nous ne disposons pas d'informations sur le comportement des couches affleurantes après une période de sécheresse, et sur les conséquences de l'intensité d'une averse en quelques minutes.

- Dans une seconde remarque, il nous paraît intéressant de souligner l'aspect humain du problème, que nous situons à deux niveaux et qui concerne respectivement le rôle actif et passif de l'homme en tant "qu'agent morphologique".

Le rôle de l'homme influe activement sur le façonnement des versants lorsque ses pratiques culturelles et d'élevage contribuent à participer à l'ablation des terres. Cette constatation est d'autant plus significative lorsque les formations lithologiques et superficielles sont naturellement fragiles comme dans les cas analysés ici. Par exemple, à Ascazubi l'utilisation de l'eau d'irrigation, en trop grandes quantités, sature la couche argileuse sus-jacente et modifie ses propriétés mécaniques, dans la région de Saquisili les sillons des cultures, tracés dans le sens de la pente, favorisent certainement le travail du ruissellement. La continuation des études de morphodynamique devrait permettre de définir plus précisément le rôle actif de l'homme. En effet, deux facteurs fondamentaux, qui peuvent se transformer en agents morphologiques agressifs, caractérisent l'utilisation actuelle du sol dans la Sierra équatorienne: il s'agit d'une part des systèmes de cultures qui se pratiquent en général perpendiculairement aux courbes de niveau sur des pentes déclives, et d'autre part de l'utilisation abusive de l'eau d'irrigation. Le rôle passif de l'homme se réfère davantage à l'exemple d'accumulations éoliennes. On est surpris de constater qu'il subit les contraintes du vent et les ensablements dévastateurs et quasi-permanents et qu'aucune haie protectrice n'existe dans le paysage. L'espérance de l'agriculteur est suspendue à la récolte prochaine qui permettra dans le meilleur des cas de subvenir aux besoins de la famille. Survienne une tourmente et ce sont quelques ares de culture emportés par le vent ou enfouis sous le sable. Il y a là une inadaptation partielle de l'homme avec son milieu dont les causes valent la peine d'être étudiées d'une manière plus détaillée.

Pour synthétiser l'ensemble de ces deux remarques, il nous paraît utile de mentionner, à la suite de ce premier contact avec le terrain, l'intérêt que l'on peut tirer de l'observation des formes héritées parce qu'elle permet d'établir des comparaisons morphogénétiques avec les formes plus récentes. Par exemple, les trois premiers cas analysés montrent le comportement dynamique d'une même couche cendreuse et argileuse provoqué par des variations excédentaires de sa teneur en eau dont l'origine peut être soit paléoclimatique soit artificielle. En outre, l'examen d'une morphologie héritée peut permettre également de déduire l'évolution future de certaines formes d'érosion actuelle.

#### 5.3.4 BIBLIOGRAPHIE

ACTES DU SYMPOSIUM SUR LES VERSANTS EN PAYS MEDITERRANEENS.- Aix-en-Provence, C.E.G.E.R.M., vol. V, 1975, p. 155-198.

AVENARD (J.M.), TRICART (J.).- Techniques de travail et idées de recherches. Application de la mécanique des sols à l'étude des versants. Paris, Revue de géomorphologie dynamique, XI<sup>e</sup> année, n<sup>o</sup> 10-11-12, Oct-Déc, 1960.

AVENARD (J.M.).- La solifluxion ou: quelques méthodes de mécanique des sols appliquées au problème géomorphologique des versants. Paris C.D.U., 164 p.

COLLOQUE SUR L'EROSION AGRICOLE DES SOLS EN MILIEU TEMPERE NON MEDITERRANEEN...- Strasbourg, 20-23 Septembre 1978, 251 p.

DERRUAU (M.).- Précis de géomorphologie-Paris, MASSON, 6<sup>e</sup> édition, 1974, 453 p.

DOLLFUS (O.).- La cordillère des Andes, Présentation des problèmes géomorphologiques. Paris, revue de géographie physique et de géologie dynamique (2), vol XV, Fas 1-2, 1973, p 157-176.

DUCHAUFOR (PH.).- L'évolution des sols. Essai sur la dynamique des profils. Paris, MASSON, 1968, 94 p.

FAUCHER (B.), SAVOYAT (E.).- Esquisse géologique des Andes de l'Equateur. Paris, revue de géographie physique et de géologie dynamique (2), vol XV, Fasc 1-2, 1973, p 115-142.

FOURNIER (F.).- Climat et érosion. Les relations entre l'érosion du sol par l'eau et les précipitations atmosphériques. Paris, P.U.F., 1960, 201 p.

HENIN (S.).- Le mécanisme de l'érosion en France, érosion par le vent et l'eau. Techniques agricoles 1-1380, 1960, 7 p.

- LECARPENTIER (C.) et al..- L'erosion de tierras en Colombia, con mapa de procesos dinámicos. Bogota, Ministerio de Agricultura, 1977, 56 p.
- NAHAL (I.).- Principes de conservation du sol. Paris, MASSON, 1975, 143 p.
- POUQUET (J.).- L'érosion. Paris, P.U.F., 1951, 128 p. (Que sais-je? , n°491).
- ROOSE (E.).- Erosion et ruissellement en Afrique de l'Ouest. Vingt années de mesures en petites parcelles expérimentales. Paris, ORSTOM, 1977, 108 p.
- SCHWING (J.F.).- Cartographie de l'érosion en milieu agricole: méthodes et principaux résultats en fonction des différents substrats et pentes. Exemple du vignoble alsacien. Berlin-Stuttgart, Z.Géomorph. N.F., 1979, p 199-214.
- SAUER (W.).- Geología del Ecuador. Quito, Ministerio de Educación, 1965 383 p.
- TRICART (J.).- Précis de géomorphologie. 2, géomorphologie dynamique générale. Paris, Sedes, 1977, 345 p.
- TRICART (J.).- L'épiderme de la terre. PARIS; MASSON, 1962, 166 p.
- VOGT (H.) et al..- Une méthode cartographique pour déterminer la sensibilité des terrains à l'érosion. Exemple du vignoble alsacien. Paris, C.R. Acad. Sc., t.287, 1978, série D 801-804.
- WISCHMEIER (W.H.).- A rainfall erosion index for a universal soil-loss equation. Soil Sci. Soc. America Proc.; 23, 1959, p 246-249.
- WISCHMEIER (W.H.).- Use and mesure of the universal soil-loss equation. J.Soil and Water conserv. 31,1,1976,p 5-9.

## 6) Les perspectives.

Le programme "Erosion" n'en étant qu'à ses débuts, l'ensemble des perspectives, que nous envisageons, concerne la poursuite des études des phénomènes morphodynamiques dans la Sierra équatorienne. Ces perspectives se regroupent autour des trois thèmes principaux suivants:

- Diagnostiquer le rôle respectif des facteurs prédominants de l'érosion dans la partie septentrionale de la Sierra, qui se caractérise par l'épaisseur des produits pyroclastiques et où nous travaillons actuellement. Nous nous proposons pour cela de réaliser de nouvelles observations, en période des pluies, pour les cinq cas déjà analysés et de choisir sur le terrain d'autres sites d'études représentatifs.
- Etendre notre action au reste de la Sierra, où les pyroclastiques jouent un rôle moins important, ou alors sont totalement absentes. Par exemple, nous pouvons suggérer des études détaillées de terrain, dans les zones suivantes:
  - Dans la Sierra centrale, sur des sols rouges montmorillonitiques et sur des vertisols.
  - Dans la sierra méridionale, sur des sols rouges ou jaunes granitiques ferralitiques et sur des sols rouges d'altitude à kaolinite.
  - Sur les versants extérieurs forestiers de la Sierra.
- A moyen et long terme, il serait intéressant d'orienter ce programme vers des études multidisciplinaires, en ayant recours notamment à des travaux complémentaires dans le domaine de la pédologie, de l'hydrologie et de l'écologie. Dans cette optique, on peut envisager des études plus quantitatives avec le choix, par exemple, de quelques petits bassins représentatifs.



7) Remarques annexes.

A la fin de mon dernier congé réglementaire, en octobre 1979, j'ai bénéficié d'un stage de télédétection, d'une durée de trois semaines, à l'Orstom-BONDY. J'ai pris ainsi connaissance des nouveaux développements de la télédétection, et j'ai pu m'initier aux méthodes de traitements photo-chimiques et numériques des images Landsat et à leurs applications.

Après une première semaine d'initiation générale théorique, le reste du stage a été consacré aux travaux pratiques. Sous la direction de Monsieur Siefferman, j'ai travaillé au laboratoire photographique et au péricolor, à l'élaboration d'une carte morpho-pédologique de l'amazone vénézuélienne, à partir de deux scènes Landsat prises à des saisons différentes.

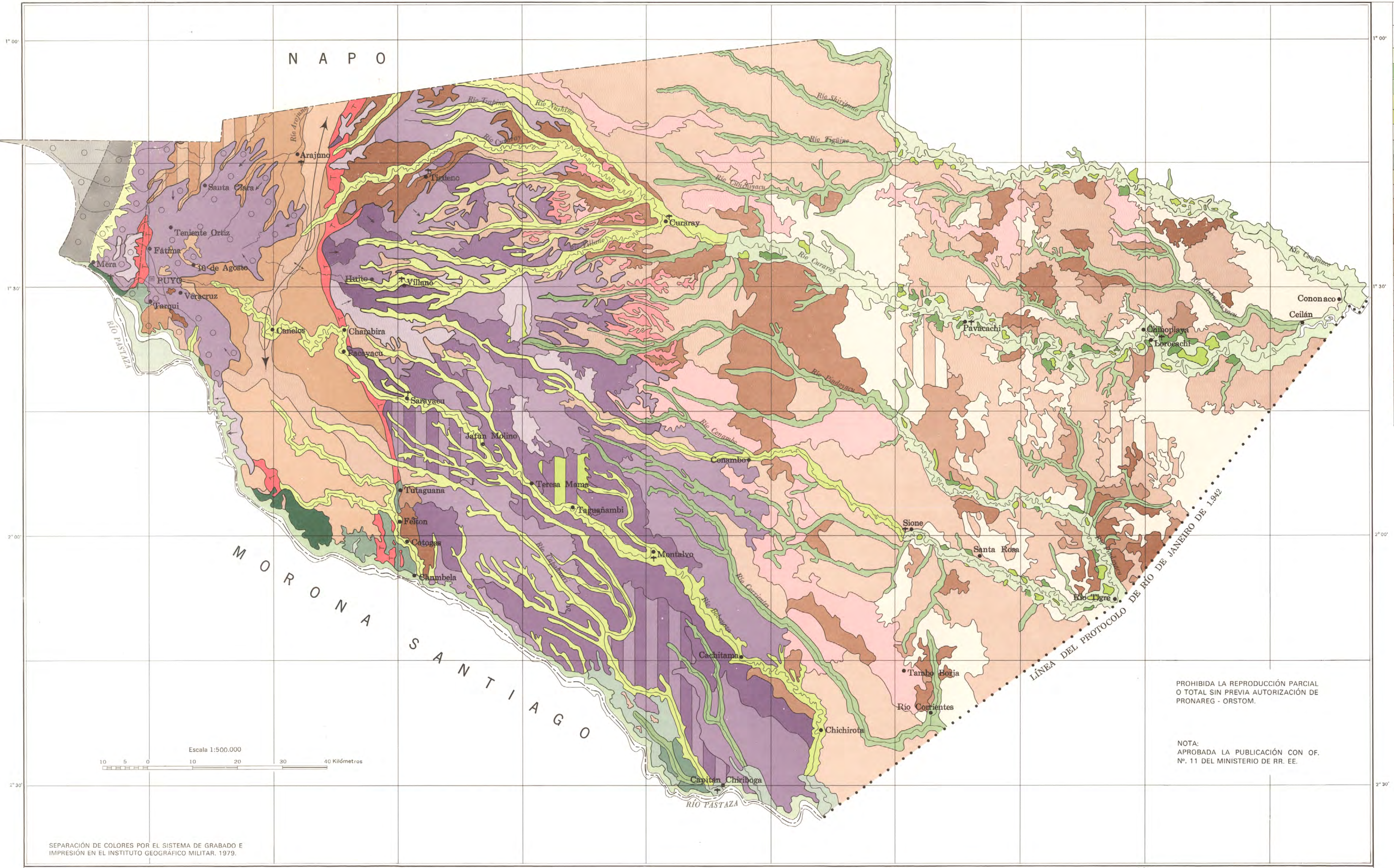
Il est intéressant de noter que l'Equateur a récemment pris conscience de l'utilité des services rendus par la télédétection, et un centre a même été créé, qui s'appelle: Centro de levantamiento integrado de recursos naturales por sensores remotos (CLIRSEN).

## 8) Publications

- DE NONI (G.L.).- "Volcanismo reciente en Ecuador. 2 cartes dans le texte: cronología de las principales erupciones conocidas de los estratovolcanes del Ecuador (1:5000.000) et Mapa geomorfológico del río Bobonaza (1:50.000).- Revue géographique de l'Institut Géographique Militaire. Quito I.G.M. Acuerdo MAG/ORSTOM, 1977, 11 p.
- DE NONI (G.L.).- "Río Villano, carte des paysages morphographiques (1:100.000).- Atlas géographique de la République d'Equateur. Quito, I.G.M., Acuerdo MAG/ORSTOM, 1977.
- DE NONI (G.L.).- "Río Villano, carte des pentes et des sols dominants (1:100.000).- Atlas géographique de la république d'Equateur. Quito, I.G.M., Acuerdo MAG/ORSTOM, 1977.
- DE NONI (G.L.).- "La cartographie au service d'un inventaire géomorphologique de la province du PASTAZA (Amazonie équatorienne): Types de reliefs et apports volcaniques".- thèse de 3ème cycle, géographie physique des régions cristallines et volcaniques, Clermont-Ferrand, 1978, 142 p. multigr.
- DERRUAU (M.)-DE NONI (G.L.).- "Sur la géomorphologie des pyroclastites dans les Andes de l'Equateur". A paraître dans les cahiers ORSTOM.
- DE NONI (G.L.)-(GUEVARA (O.)).- "Carte pédo-géomorphologique de la province du Pastaza (1.500.000)", en couleurs, Quito, PRONAREG, Acuerdo MAG/ORSTOM, 1979,
- DE NONI (G.L.)-(GUEVARA (O.)).- "Reconocimiento cartografico de la region amazonica ecuatoriana. Provincia del Pastaza-Quito, PRONAREG, Acuerdo MAG/ORSTOM, 1980. 36 p.



CARTA PEDO-GEOMORFOLÓGICA  
DE LA PROVINCIA DEL PASTAZA



| LEYENDA                                                                                                                                 |                                                                 |                                              |                                 |                                          |                                                                                                                                                                                           |                                                    |                         |       |  |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|---------------------------------|------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|-------------------------|-------|--|
| SIMBOLOGÍA                                                                                                                              | FORMAS DE RELIEVE                                               | DISECCIÓN DEL RELIEVE                        | ALTITUD                         | DRENAJE                                  | GEOLÓGIA                                                                                                                                                                                  | SUELOS PREDOMINANTES                               | SUPERFICIES APROXIMADAS |       |  |
|                                                                                                                                         |                                                                 |                                              |                                 |                                          |                                                                                                                                                                                           |                                                    | Nº.                     | %     |  |
| <div>EXÓGENAS</div>                                                                                                                     | TERRAZA MUY BAJA Y BAJA CON LERZO ACTUAL                        | SUAVE                                        | VARIABLE                        | VARIABLE CON RIESGO DE CRECIDA           | ALUVIONES LIMO - ARCILLOSOS A MUY ARCILLOSOS CON GRANOS DE CUARZO DE 2 A 20 m. DE ANCHO (< 300 m. s. n. m.) Y ALUVIONES LIMO - ARENOSOS RICOS EN MINERALES VOLCÁNICOS (> 300 m. s. n. m.) | TROPOLIVENTES, TROPOLIQUETES, TROPOLIQUETES (OXIC) | 175.800                 | 5,4   |  |
|                                                                                                                                         | TERRAZA ALTA Y MUY ALTA                                         |                                              |                                 | BIEN DRENADO                             |                                                                                                                                                                                           | OXIC DYSTROPLEPTS (OXIC)                           | 7.980                   | 0,2   |  |
|                                                                                                                                         | TERRAZA INDIFERENCIADA                                          |                                              |                                 | IMPERFECTAMENTE DRENADO                  |                                                                                                                                                                                           | OXIC DYSTROPLEPTS (OXIC)                           | 157.440                 | 4,9   |  |
|                                                                                                                                         | TERRAZA INTERFERENCIADA CON PREDOMINANCIA DE MATERIAL VOLCÁNICO |                                              |                                 | DE ESCASAMENTE A MUY ESCASAMENTE DRENADO |                                                                                                                                                                                           | OXIC DYSTROPLEPTS (OXIC)                           | 195.500                 | 6,1   |  |
|                                                                                                                                         | OLLA DE DECANCIÓN Y ÁREAS PANTANOSAS                            |                                              |                                 | BIEN DRENADO                             |                                                                                                                                                                                           | TROPOLIQUETES TROPOLIQUETES                        | 11.850                  | 0,4   |  |
|                                                                                                                                         | LLANURA ALUVIAL MUY BAJA                                        |                                              |                                 | DE ESCASAMENTE A MUY ESCASAMENTE DRENADO |                                                                                                                                                                                           | LIMO - ARENOSOS TROPOLIQUETES                      | 8.000                   | 0,3   |  |
|                                                                                                                                         | LLANURA ALUVIAL ALTA Y MUY ALTA                                 |                                              |                                 | BIEN DRENADO                             |                                                                                                                                                                                           | OXIC DYSTROPLEPTS (OXIC)                           | 6.200                   | 0,2   |  |
|                                                                                                                                         | CONO DE DEYECCIÓN                                               |                                              |                                 | BIEN DRENADO                             |                                                                                                                                                                                           | DYSTROPLEPTS DYSTROPLEPTS                          | 3.800                   | 0,1   |  |
|                                                                                                                                         |                                                                 |                                              |                                 |                                          |                                                                                                                                                                                           | HYDRANDREPTS                                       | 2.800                   | 0,1   |  |
|                                                                                                                                         |                                                                 |                                              |                                 |                                          |                                                                                                                                                                                           |                                                    | 282.100                 | 9,8   |  |
| COLINAS                                                                                                                                 | CON CUMBRES REDONDEADAS Y VERTIENTES CONCAVO - CONCAVAS         | EN GENERAL INFERIOR A LOS 300 m. s. n. m.    | MODERADAMENTE DRENADO           |                                          | ARILLAS ESTRATIFICADAS Y GRIS Y OTRAS ABIGARRADAS CON INTERCALACIONES DE ARENISCAS FINAS A MEDIAS Y CON GLUMERADOS ALTERNADOS                                                             | OXIC DYSTROPLEPTS                                  | 15.950                  | 0,6   |  |
|                                                                                                                                         |                                                                 |                                              |                                 |                                          |                                                                                                                                                                                           | OXIC DYSTROPLEPTS                                  | 184.750                 | 6,9   |  |
|                                                                                                                                         |                                                                 |                                              |                                 |                                          |                                                                                                                                                                                           | OXIC DYSTROPLEPTS                                  | 65.000                  | 2     |  |
|                                                                                                                                         |                                                                 |                                              |                                 |                                          |                                                                                                                                                                                           | OXIC DYSTROPLEPTS                                  | 138.000                 | 4     |  |
| MESAS (HORIZONTALES Y CUESTAS CON INCLINACIÓN TOPOGRÁFICA)                                                                              | CON CUMBRES AGUDAS Y VERTIENTES RECTILÍNEAS                     | DE LOS 600 m. s. n. m. A LOS 900 m. s. n. m. | BIEN DRENADO                    |                                          | DE LOS 300 m. s. n. m. A LOS 1200 m. s. n. m. CON UNA INTERRUPTIÓN ENTRE LOS 600 m. s. n. m. Y LOS 900 m. s. n. m.                                                                        | HYDRANDREPTS A PARTIR DE LOS 900 m. s. n. m.       | 480.270                 | 12,7  |  |
|                                                                                                                                         |                                                                 |                                              |                                 |                                          |                                                                                                                                                                                           | HYDRANDREPTS                                       | 198.880                 | 6,2   |  |
|                                                                                                                                         |                                                                 |                                              |                                 |                                          |                                                                                                                                                                                           | HYDRANDREPTS                                       | 8.740                   | 0,3   |  |
|                                                                                                                                         |                                                                 |                                              |                                 |                                          |                                                                                                                                                                                           | HYDRANDREPTS                                       | 91.740                  | 2,9   |  |
| ESTRUCTURALES Y SUB-ESTRUCTURALES                                                                                                       | CHEVRONS                                                        | MUY DISECTADA                                | SUPERIOR A LOS 1200 m. s. n. m. | EXCESIVAMENTE DRENADO                    | BAJO DE GRANITO Y GNEIS Y ANDESITOS INDICADOS POR LAS FORMACIONES ROLICAS                                                                                                                 | OXIC DYSTROPLEPTS                                  | 8.700                   | 0,3   |  |
|                                                                                                                                         | CORDILLERA ORIENTAL                                             |                                              |                                 |                                          |                                                                                                                                                                                           | ORTHERNS Y TYPIC HYDRANDREPTS                      | 39.450                  | 1,2   |  |
| La Superposición de esta carta sobre los colores pre-existentes simboliza la cobertura de cenizas andesíticas volcánicas (Hydrandrepis) |                                                                 |                                              |                                 |                                          |                                                                                                                                                                                           |                                                    | 2'200.800               | 100,5 |  |

