



**DES**  
"ESPACE RURAL ET ENVIRONNEMENT"

## RAPPORT DE STAGE

**Diagnostic de l'érosion anthropique  
et propositions de gestion conservatoire des sols  
de la zone haute du bassin d'El Angel**

**(Andes équatoriennes, Carchi)**



présenté par **Céline SCHOTT**  
**Année 1997-98**

Sous la direction de : **Régine CHAUME**  
**Georges DE NONI**  
**Marc VIENNOT**



Institut français de recherche scientifique  
pour le développement en coopération

**Laboratoire d'Etudes du  
Comportement des Sols  
Cultivés, ORSTOM**  
Montpellier, septembre 1998

# Sommaire

<b>Sommaire</b>	2
<b>Table des figures</b>	4
<b>Remerciements</b>	5
<b>Résumé</b>	6
<b>Introduction</b>	7
<b>Chapitre I : Présentation de la zone d'étude : environnement physique et humain</b>	8
<b>1°) Situation de la zone d'étude</b>	8
1.1.) Situation générale	8
1.2.) Choix de la zone d'étude	9
<b>2°) Le milieu naturel du bassin d'El Angel</b>	9
2.1.) La géomorphologie	9
2.2.) Le climat	11
2.3.) Les sols	11
2.4.) La végétation naturelle	13
<b>3°) Le contexte humain</b>	14
3.1.) Historique de l'occupation du sol	14
3.1.1.) De la colonisation à l'apogée des grands domaines	14
3.1.2.) La Réforme Agraire	14
3.2.) L'occupation actuelle du sol et systèmes de culture	15
3.2.1.) La zone agricole de « piedmont »	15
3.2.2.) La zone de colonisation agricole de milieu de versant	17
3.2.3.) Le páramo naturel de sommet de versant	17
3.3.) Modifications de l'usage du sol entre 1965 et de nos jours	21
3.3.1.) Méthode utilisée	21
3.3.2.) Répartition spatiale de l'occupation du sol	21
a) En 1965	21
b) En 1993	22
<b>Chapitre II L'érosion des sols et ses facteurs</b>	27
<b>1°) Les formes d'érosion en milieu cultivé</b>	27
1.1.) Description des formes d'érosion	27
1.1.1.) L'apparition de « marbrures » sur les parcelles	27
1.1.2.) La formation de « griffes » et de rigoles	31
1.1.3.) Les cicatrices d'arrachement	35
1.2.) Facteurs explicatifs mis en évidence	35
1.2.1.) L'érosion par décapage	35
1.2.2.) L'érosion linéaire	36
1.2.3.) Les mouvements de masse	37
a) Le rôle des canaux d'irrigation	37
b) Le rôle du surpâturage	38
<b>2°) Les formes de dégradation en milieu naturel (páramo)</b>	38
2.1.) Destruction de la végétation	38
2.2.) Dégradation des sols	40
<b>3°) Conclusion</b>	42

<b>Chapitre III Propositions de gestion et de conservation des sols</b>	<b>43</b>
<b>1°) Les organismes chargés du développement de la zone</b>	<b>43</b>
<b>2°) La lutte anti-érosive en montagne</b>	<b>44</b>
2.1.) Etude de cas	45
2.1.1.) L'adoption de techniques traditionnelles : le cas de José Alonso Poso	45
2.1.2.) L'adoption d'aménagements anti-érosifs : le cas de Abraham Lobato	46
2.2.) les « solutions » agronomiques au niveau de la parcelle	47
2.2.1.) le travail du sol	47
a) Le labour manuel	48
b) Labour à l'araire	49
c) Labour mécanique	49
2.2.2.) La rotation des cultures	51
a) La jachère ou repos pâturé	51
b) Les cultures	51
2.2.3.) Les aménagements anti-érosifs	52
a) Les haies et murets	52
b) Les tranchées de déviation	53
c) Les terrasses	53
<b>3°) Les limites du développement agricole dans le páramo</b>	<b>54</b>
<b>Conclusion</b>	<b>56</b>
<b>Bibliographie</b>	<b>57</b>

## Table des figures

Figure 1 :	Situation de la zone d'étude sur l'espace équatorien _____	8
Figure 2 :	Croquis géomorphologique du bassin d'El Angel _____	10
Figure 3 :	Types de propriétés foncières dans la région de La Libertad _____	16
Figure 4 :	Occupation altitudinale du sol dans le secteur de Santo Domingo (Barrio San Francisco) _____	18
Figure 5 :	Occupation altitudinal du sol dans le secteur de La Libertad _____	19
Figure 6 :	Extrait de la photographie aérienne de 1965 : zone de « huasipungo » _____	22
Figure 7 :	Occupation du sol en 1965 _____	24
Figure 8 :	Occupation du sol en 1993 _____	25
Figure 9 :	Comparaison de l'occupation du sol entre 1965 et 1993 par diagrammes _____	26
Figure 10 :	Localisation des formes d'érosion et de dégradation du sol dans la région de La Libertad _____	28
Figure 11 :	Coupe en long d'une parcelle cultivée _____	29
Figure 12 :	Extrait de la photographie aérienne de 1965 : les marbrures caractéristiques dues au décapage de l'horizon organique sont déjà visibles. _____	30
Figure 13 :	Exemple d'érosion linéaire au niveau du secteur « El Carmen » _____	31
Figure 14 :	Exemple d'érosion linéaire au niveau de San Isidro Alto _____	32
Figure 15 :	Exemple de formation de ravine dans le secteur de Santo Domingo _____	33
Figure 16 :	Exemple de formation de « griffes » à San Francisco _____	34
Figure 17 :	Dégradation des billons par ruissellement concentré _____	34
Figure 18 :	Labour en billons après repos pâturé (retournement d'1/3 de la surface) _____	48

## Remerciements

Avec ce stage en Equateur, j'ai réalisé plus qu'un vieux rêve : une promesse à accomplir qui était de retourner dans ce pays pour mieux le connaître et avec quelque chose à lui apporter en échange, ne serait-ce que ce rapport de stage qui devrait prochainement être traduit en espagnol...

Si un aussi passionnant stage de fin d'études a été possible, je le dois en tout premier lieu à Georges De Noni qui m'a fait confiance et accueillie dans son laboratoire, puis a fait en sorte que je puisse faire ces quelques mois de « terrain » dans ce pays qu'il connaît si bien.

Je remercierai particulièrement également mes deux autres responsables de stage, Marc Viennot et Régine Chaume, pour avoir été présents dès qu'il le fallait et m'avoir guidée durant la période de rédaction, ainsi que Pascal Podwojewski qui m'a chaleureusement accueillie et encadrée en Equateur.

Je tiens à remercier vivement les chercheurs et stagiaires de l'ORSTOM Montpellier et Quito, tels que Jean-Louis Janeau, Didier Blavet et Nicolas Saby pour leur infinie patience lorsqu'il a fallu m'aider à surmonter les problèmes techniques qui se sont posés durant ce stage.

Je voudrais terminer ces remerciements par tous mes collègues et amis équatoriens du Consorcio Carchi qui m'ont donné à la fois les moyens matériels et l'entourage humain me permettant de mener à bien mon travail, à Wilson Enriquez de l'INEFAN qui m'a fait découvrir sa région à travers nos sorties sur le terrain et à tous les paysans de *La Libertad* qui m'apprirent énormément.

Un dernier mot, enfin, en hommage à Claude Zebrowski, que je n'aurai jamais connu : nous devons nous rencontrer à l'aéroport ce jour-là... Comme c'est lui qui avait proposé le thème de ce rapport, il est juste de le lui dédier.

## Résumé

La zone haute du bassin *d'El Angel* est une région agricole qui a connu de fortes mutations depuis la Réforme Agraire des années 60. Une surexploitation des terres dans la zone de piedmont aboutit à leur dégradation généralisée par différents processus d'érosion, tandis que le manque de terres disponibles poussent les paysans à coloniser les parties supérieures des versants. La progression de ce front pionnier agricole menace une autre forme de ressource naturelle, le *páramo*, écosystème typique d'altitude, géré par la Réserve Ecologique *d'El Angel*, dont la destruction pourrait déstabiliser les ressources en eau de la région. Ceci montre la nécessité d'une gestion globale à l'échelle du bassin-versant, comme celle qui est proposée par les organismes de développement de la zone. En connaissant mieux à la fois l'occupation du sol et les pratiques culturelles de cette région de montagne, on peut aboutir à des propositions de mesures conservatoires des sols et à évaluer le risque de dégradation du *páramo*.

Mots-clés :

Equateur – Andes – érosion – lutte anti-érosive - *páramo*

## Introduction

L'étude présente se propose de faire le diagnostic de l'érosion des terres dans une zone présentant différents stades de colonisation agricole, située dans les Andes équatoriennes.

Notre zone d'étude se situe dans le bassin d'*El Angel*. Celui-ci constitue une enclave agricole en altitude, au coeur d'un massif montagneux andin très accidenté. L'ensemble de ce bassin fait l'objet d'un grand programme de recherche et de développement sur la gestion durable des ressources naturelles menée par des organisations équatoriennes, avec lesquelles nous avons collaboré dans le cadre de cette étude.

La zone sur laquelle nous avons focalisé ce travail se situe dans la partie haute du bassin, entre 3000 et 4000 m d'altitude. Il s'agit d'une zone qui a connu de grandes mutations au niveau de l'occupation du sol au cours de la Réforme Agraire.

En effet, celle-ci a eu un grand impact au cours des années 60 dans toute la région, en redistribuant aux petits agriculteurs les terres des haciendas qui occupaient auparavant la majeure partie du bassin. L'ouverture de ces terres à l'agriculture dans un contexte physique montagneux pose de nombreux problèmes en terme de conservation des sols.

L'enjeu de cette étude est avant tout de mettre en évidence les formes de dégradation du sol, et en particulier de l'érosion, et d'en dégager les principaux facteurs responsables afin de pouvoir poser les bases d'une gestion conservatoire des sols adaptée à ce milieu andin.

En filigrane, se profile également la gestion de la Réserve Ecologique protégeant les *páramos*, milieux herbacés d'altitude caractéristiques des Andes, qui représentent la réserve en eau de tout le bassin-versant, mais également, pour les paysans, une réserve potentielle en terre. On peut donc faire le postulat que, pour faire face à une pression agricole très forte et à un grave manque de terres cultivables, il serait important de développer une meilleure gestion des sols cultivés. Les terres préservées en aval pourraient permettre de limiter le développement agricole pionnier dans les zones d'altitude et éviter une dégradation croissante de tout l'équilibre écologique du bassin.

Nous tenterons ici de présenter, dans un premier temps, le contexte physique et humain dans lequel se déroulent les processus érosifs : un milieu naturel de haute-montagne, caractérisé par une pression agricole croissante et d'importantes mutations dans l'occupation du sol.

Nous verrons ensuite quelles sont les principales formes d'érosion que nous avons rencontrées en milieu cultivé, leur localisation et les facteurs qui peuvent en être à l'origine, de même que les formes de dégradations qui affectent le *páramo*.

Enfin, nous terminerons cette étude par la présentation des institutions chargées de promouvoir le développement durable de la région et de proposer des mesures de lutte anti-érosive et de gestion des terres adaptées à la situation socio-économique de cette région.

# Chapitre I : Présentation de la zone d'étude : environnement physique et humain

## 1°) Situation de la zone d'étude

### 1.1.) Situation générale

Le bassin d'*El Angel* se trouve dans le *Carchi*, province équatorienne la plus septentrionale du pays et limitrophe avec la Colombie. Cette région se trouve au coeur de la Sierra, la Cordillère des Andes traversant le pays du nord au sud. Les coordonnées géographiques situent cette zone entre 0° 35' et 0° 45' lat. N et 78° 00' et 77° 52' long. S.

Le bassin d'*El Angel* est situé dans un massif volcanique atteignant les 4000 m, culminant entre le bassin inter-andin d'*Ibarra* et celui de *Tulcan* (Fig.1) Il s'agit donc d'une zone fortement montagneuse, à la topographie accidentée.

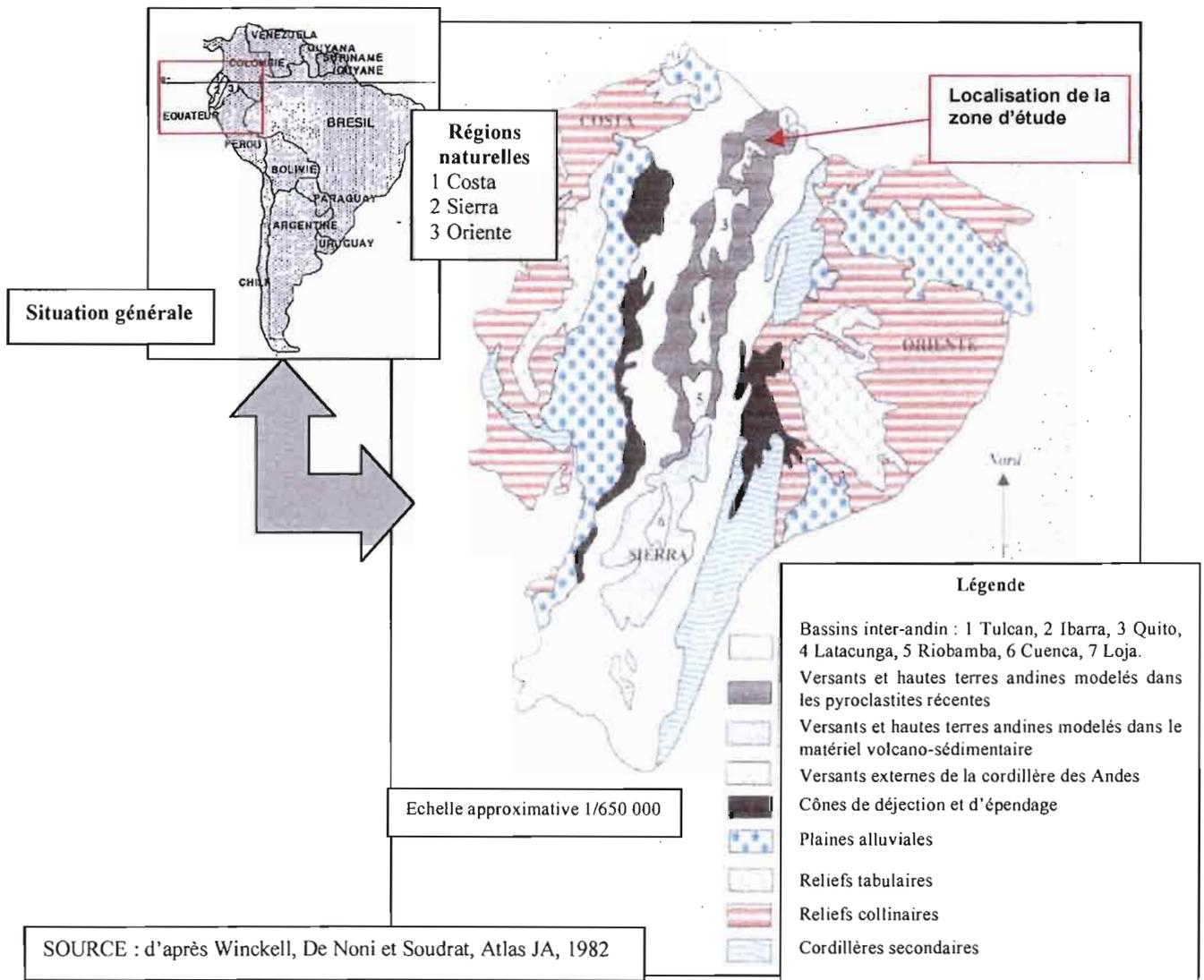


Figure 1 : Situation de la zone d'étude sur l'espace équatorien

## 1.2.) *Choix de la zone d'étude*

En raison du temps dont nous disposions sur le terrain et des difficultés de déplacement (pistes mal entretenues et souvent impraticables en cas de pluie), nous avons dû restreindre notre étude sur un secteur limité du bassin *d'El Angel*.

Pour être représentative, cette zone devait avoir connu une importante mutation agricole au cours des dernières années (progression du front pionnier agricole sur le *páramo*) et montrer différents types d'occupation du sol et de formes d'érosion.

La zone sur laquelle nous avons concentré nos recherches de terrain occupe donc le secteur nord et est du bassin, sur les terres comprises entre 3 100 m et la limite supérieure des cultures (3500 m). Elle s'étend donc sur une surface d'environ 9 km de large pour 8 km de long autour du bourg de *La Libertad*.

## 2°) Le milieu naturel du bassin d'El Angel

### 2.1.) *La géomorphologie*

Le relief du bassin *d'El Angel* a été modelé dans les dépôts pyroclastiques successifs provenant du volcan *Chiles*, situé à cheval sur la frontière séparant l'Equateur et la Colombie et culminant à 4764 m, et certainement d'autres volcans secondaires plus proches.

Ce bassin se présente sous la forme d'un cirque de 5 à 7 km de large et d'une dizaine de kilomètre de long (Fig. 2), situé à une altitude moyenne de 3000 m. Il se prolonge en aval par une vallée étroite qui s'encaisse dans le versant en pente forte du massif jusqu'à rejoindre la vallée du *Chota* à 2000 m d'altitude.

L'origine de la formation de ce cirque est très probablement glaciaire, comme l'atteste sa forme hémisphérique, son fond plat, bordé de rebords évasés. A l'est et à l'ouest, ces rebords délimitent de vastes plateaux faiblement ondulés.

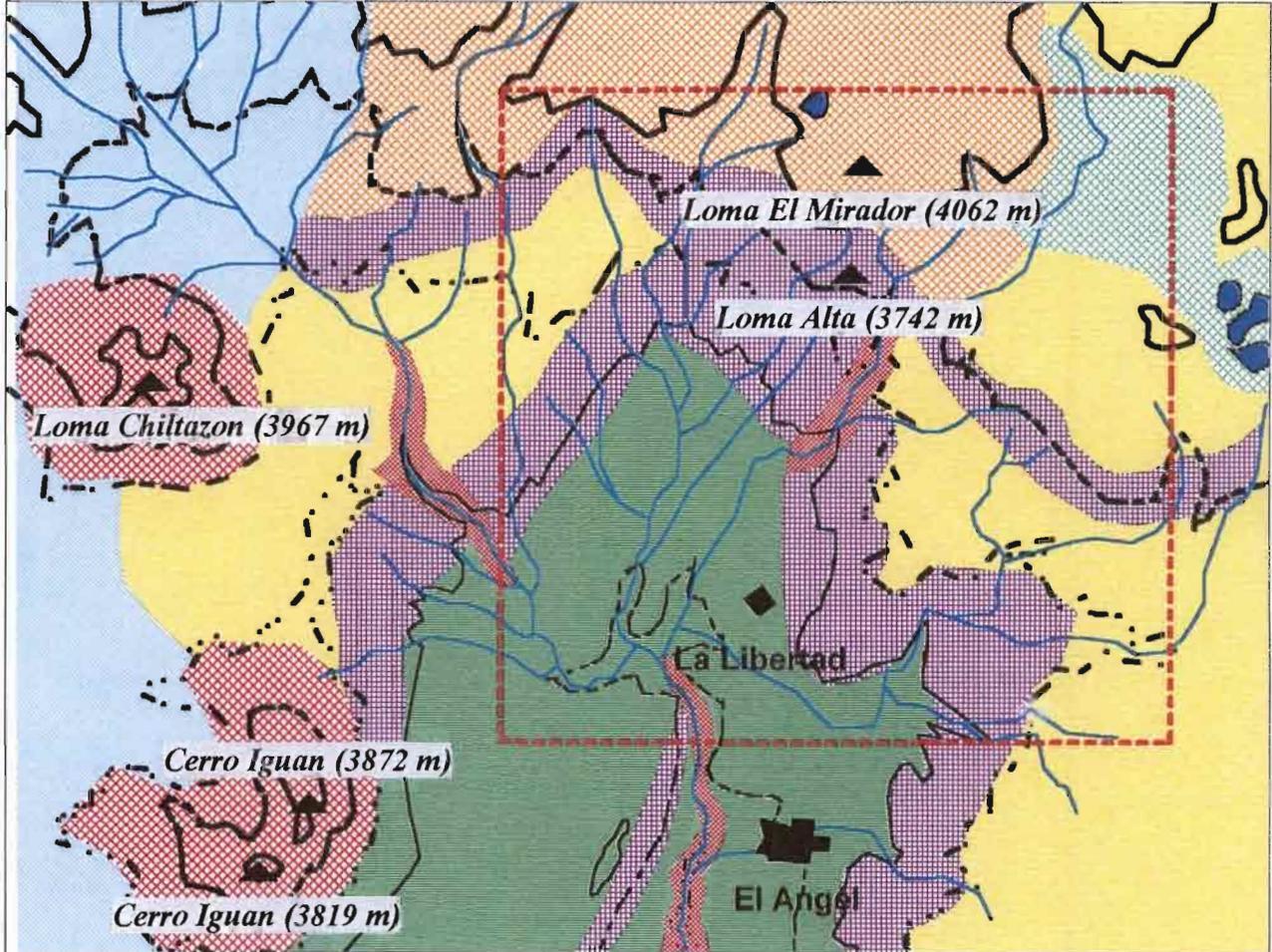
Ce cirque est limité à l'ouest par deux volcans récents aux formes sub-structurales : *Cerro Iguan* (3870 m) et *Loma Chiltazon* (3967 m) ; au nord, par un massif imposant composé de croûtes et de crêtes, culminant au dessus de 4000m.

Les pentes des escarpements délimitant ce bassin sont assez prononcées. Au nord, elles passent progressivement de 15 à 35%, formant une pente concave. A l'est, au niveau de *La Libertad*, on passe de 3000 à 3700 m par une série de gradins, reliés par des pentes de l'ordre de 30 à 40%. On peut noter, à 3400 m d'altitude, un grand replat de 2 km de large et de 3 km de long, interrompant le versant.

Tout le bassin est fortement disséqué par un réseau hydrographique rayonnant, convergeant vers le *Rio El Angel*. Les escarpements sont régulièrement entre-coupés par des ravines plus ou moins encaissées (*quebradas*). Certaines prennent l'aspect de gorges très profondes (plus de 100 m), comme la *Quebrada de Banos*.

Les zones de plateaux les plus élevés, situées au-dessus de 3500 m, présentent une topographie relativement molle, collinaire, héritée des périodes glaciaires. L'abrasion des glaciers a formé de vastes étendues déprimées où le réseau hydrographique est faiblement organisé. Ce modelé étant favorable à la stagnation de l'eau, on y rencontre de nombreux lacs de montagne et zones marécageuses.

# Croquis géomorphologique

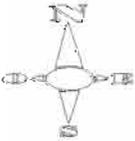


## Légende

- cône volcanique
- crêtes élevées
- escarpement
- fond de vallée
- gorge
- lac de montagne
- plateau
- vallées très disséquées
- zones marécageuses
- rivières

## Courbes de niveau

- 2800 m
- 3000 m
- 3200 m
- 3400 m
- 3600 m
- 3800 m
- contour de la zone d'étude



D'après fond topo IGM 1:25 000 (1981)

## 2.2.) Le climat

La zone haute du bassin d'El Angel appartient globalement à la catégorie climatique *équatorial mésothermique humide*<sup>1</sup>, avec des températures moyennes comprises entre 12 et 20°C, rarement négatives. Les totaux pluviométriques annuels varient entre 900 et 1700 mm (station d'El Angel, données INERHI<sup>2</sup>), ce qui montre une grande variabilité pluviométrique inter-annuelle. La saison sèche principale, de juin à septembre, est généralement mieux marquée que la seconde qui se situe fin décembre (Pourrut, 1994).

En revanche, au-delà de 3200-3400 m, les conditions climatiques changent et on passe au *climat équatorial froid de haute montagne*. La pluviométrie annuelle moyenne est de l'ordre de 1100 à 1300 mm, bien réparties tout au long de l'année. Les températures moyennes annuelles sont basses (4 à 8°), avec des extrêmes variant entre 20°C et des valeurs inférieures à 0°C. La végétation naturelle correspondant à cet étage est le *páramo* et le *matorral* (voir plus loin). Les gelées, fréquentes à cette altitude, jouent un rôle de facteur limitant pour l'agriculture.

Une connaissance plus précise des données climatiques de la région pouvant fournir des indications fiables sur l'érosivité des pluies est difficile à obtenir. D'après les travaux de l'ORSTOM sur l'érosion en Equateur, l'intensité des pluies est le facteur climatique le mieux corrélé aux pertes en terres mesurées, notamment l'IM15 (intensité maximale en 15 mn, mesurée en mm/h). On considère que seules des pluies supérieures à 20-30 mm/h durant 15 mn peuvent jouer un rôle déterminant sur l'érosion (De Noni, Viennot, Asseline, 1997).

Or, les seules données dont nous disposons sont les pluies maximales en 24 heures pour chaque année mesurées à la station d'El Angel.

Elles sont en moyenne de 39.8 mm/24 h et varient entre 66.8 et 25.5, ce qui représente des valeurs faibles comparativement aux intensités rencontrées dans d'autres parties de l'Equateur. En effet, il s'agit de précipitations orographiques liées au refroidissement et à la condensation des masses d'air s'élevant au-dessus des massifs. Les pluies y sont donc plus fréquentes mais de moins grande intensité (Pourrut, 1994). A cette altitude, dans le milieu andin, l'intensité des précipitations jouerait donc un rôle secondaire sur l'érosion des sols par rapport aux autres facteurs.

## 2.3.) Les sols

Selon les études MAG-ORSTOM menées sur la région, les sols sont récents et formés sur matériel pyroclastique (cendres, ponces...). L'âge des dépôts et les caractéristiques du climat sont les principaux facteurs déterminant la répartition spatiale des sols.

Sous climat humide, l'altération de ce matériel pyroclastique conduit rapidement à la formation d'allophane, un silicate d'alumine amorphe qui forme des complexes stables avec la matière organique. Avec le temps, l'allophane se transforme en halloysite, assurant une bonne structure au sol et donc une bonne porosité.

---

<sup>1</sup> Classification MAG/ORSTOM utilisée pour l'Equateur.

<sup>2</sup> INERHI : Institut National Equatorien de ressources hydrauliques

La pédogénèse entraîne la formation d'un horizon humifère épais (Photo 1, pl.I), très riche en matière organique, appelé localement " *negroandino*", qui, selon la pente et l'histoire culturale, peut être plus ou moins érodé. Dans certains cas, il peut laisser apparaître un horizon inférieur constitué de cendres volcaniques indurées sur une grande épaisseur, appelé " *cangahua*". Lorsque ce niveau induré affleure, cela signifie d'un point de vue agronomique la stérilisation quasi-irréversible des champs.

Les principaux types de sols rencontrés dans la zone étudiée selon les cartes au 1/50000 (MAG-ORSTOM) correspondent aux classes suivantes de la *USDA soil taxonomy* :

- on rencontre **des andosols typiques**, plus ou moins hydratés et désaturés (classe Dm, Dv : Dv correspond à la catégorie *Typic Hydrandept* et Dm à *Typic Dystrandept (Melanudand)*). Les deux types de sols sont des sols noirs dérivés de cendres volcaniques, riches en allophanes (voir profil GEL 5 en annexes) Leurs caractéristiques physico-chimiques sont les suivantes :
  - texture fine de pseudo-limons
  - forte teneur en MO (8-14%) dans l'horizon humifère
  - saturation en bases très faible (< 10%), liée aux fortes précipitations
  - densité apparente très faible ( $0.3 < d < 0.7$ )
  - forte capacité de rétention en eau (100 à 150 % à pF 3 et plus de 20 % à pF 4.2)
  - structure en micro-agrégats dans l'horizon supérieur (0-30 cm), assurant une grande porosité, structure beaucoup plus massive pour la partie inférieure de l'horizon andique (30-160 cm).

Ces sols ont donc pour principale caractéristique de stocker des quantités considérables de carbone (jusqu'à 20.4% dans les 30 premiers centimètres de l'horizon humique). Si l'on prend les valeurs de carbone et de densité apparente du profil GEL 5 (voir en annexes) mesurées pour chaque strate de l'horizon humifère et une densité apparente, on obtient un stock total de carbone de 812 t.ha<sup>-1</sup> sur 1.65 m de profondeur de sol.

Sachant qu'une forêt tropicale brésilienne<sup>3</sup> stocke dans sa biomasse environ 304 t/ha de carbone, on peut dire qu'en 20 000 ans de formation, un sol de *páramo* a stocké l'équivalent de 2.6 forêts tropicales.

De l'amont vers l'aval, le long de la toposéquence, on a évolution des andosols mélaniques vers les **andosols brunifiés**, puis les **sols bruns andiques**. Il y a diminution progressive des caractéristiques andiques (classe de sols Cm, Cn, Ck)

- l'horizon organique devient moins épais (50 à 70 cm) et prend une teinte plus brune,
- plus faible teneur en matière organique (6-8 %),
- plus faible teneur en eau à pF 2.5 : de 50 % à 100 % pour l'horizon organique,
- structure polyédrique subanguleuse fine à moyenne dans l'horizon humifère (0-100 cm) : forte porosité inter-agrégats, texture sablo-limoneuse ;
- structure massive et porosité faible pour l'horizon d'altération (plus forte concentration d'argile).

<sup>3</sup> Biomasse stockée dans une forêt tropicale brésilienne (partie aérienne + racines) : 526 t/ha (Cannell, 1982). Pour obtenir le stock de carbone, on divise par 1.73.

Leur répartition géographique correspond plus ou moins aux étages climatiques de la région (voir cartes ORSTOM-MAG). Les andosols mélaniques se forment sous climat humide tout au long de l'année. Ce sont les sols typiques de *páramo* et correspondent donc à des altitudes supérieures à 3 200- 3 400 m.

Les sols bruns andiques et andosols brunifiés se développent dans les zones à pluies fréquentes mais moins abondantes, situées dans la partie aval de la zone d'étude (entre 3000 et 3300m).

En conclusion, on peut donc dire que ces sols ont d'excellentes caractéristiques physiques que leur confère une forte teneur en matière organique, la présence d'allopmane. Ceci leur assure une grande stabilité structurale, une forte porosité et une grande capacité de rétention en eau. Tous ces facteurs en font des sols très filtrants donc très résistants à l'érosion dans les conditions naturelles. Mais nous verrons que les actions anthropiques peuvent altérer ces caractéristiques.

#### **2.4.) La végétation naturelle**

La végétation naturelle de la zone haute appartient à l'étage des "*subpáramos* très humides sub-tempérés" de la Cordillère des Andes, qui s'étendent entre 3000 et 4000 m d'altitude, pour une pluviométrie moyenne de 1000 à 1500 mm/an et une température moyenne variant entre 6 et 12°C.

Le *páramo* d'El Angel correspond à une formation écologique de "savanes d'altitude", composée majoritairement de Graminées (*Stipa Ichu*) et d'une espèce endémique très caractéristique de cette zone représentée par le "*Frailejon*" (*Espeletia* sp.), Asteracée arborescente dont le tronc peut atteindre jusqu'à 4 mètres de hauteur (Photo.2, pl.I). Cette végétation dense se rencontre sur quasiment tout l'espace non perturbé par l'occupation humaine, à l'exception des zones marécageuses, ou rocailleuses. Cette végétation, très couvrante, fournit une grande protection au sol et, avec les températures peu élevées, permet une lente accumulation de la matière organique dans le sol. Ces caractéristiques confèrent au *páramo* une grande capacité de stockage en eau et de régulation du débit des cours d'eau drainant l'aval.

Le *matorral*, végétation arbustive dense et sempervirente, forme la transition entre la végétation herbacée d'altitude et la végétation arborescente des versants occidentaux de la cordillère. Cet étage a majoritairement été dégradé par l'agriculture, mais on le rencontre encore sous forme de reliques, dans les zones délaissées par l'agriculture et particulièrement dans les zones de surcharge hydrique (dépressions, talwegs, glissements de terrains). On peut rencontrer cette formation jusqu'à 3500 m d'altitude.

Enfin, on rencontre encore des formations arborescentes le long des rivières (« ripisylve »). Cette formation très dense permet normalement la stabilisation des versants des « *quebradas* », mais celles-ci sont de plus en plus souvent détruites pour faire place aux cultures.

### 3°) Le contexte humain

Le contexte humain du bassin d'*El Angel* est typique du milieu rural équatorien, et s'exprime dans le paysage par la juxtaposition de grands domaines hérités de la colonisation espagnole (*haciendas*) et son maillage de petits lopins de terres cultivés par les paysans (*minifundio*). A cette différence près que la population de *la Libertad* est majoritairement métisse et relativement aisée par rapport à la majorité du paysan andin, peut-être par le développement d'une agriculture principalement spéculative (pomme de terre, élevage laitier).

Cette relative prospérité a permis un certain transfert technique (mécanisation, intrants) qui n'est pas sans poser un certain d'inquiétudes sur l'avenir des ressources naturelles de cette région.

#### 3.1.) *Historique de l'occupation du sol*

Pour comprendre l'occupation actuelle du sol, nous allons retracer brièvement les grandes étapes de la colonisation agricole de cette zone.

##### 3.1.1.) De la colonisation à l'apogée des grands domaines

Les premiers occupants du bassin furent les *Pastos* et *Caras*, puis survint la conquête Inca (entre 1476 et 1535), puis la conquête espagnole en 1535 (Zenon, 1995).

Cette dernière provoqua le morcellement des territoires indigènes : la propriété communale (ou « *tierras del comun* ») ne subsista qu'au-dessus de la limite biogéographique de la culture du maïs, là où les haciendas n'avaient pas beaucoup d'intérêts à s'étendre.

L'expansion des haciendas eut pour conséquence la mise en servage de la population indienne, appelée « *huasipungo* ». Chaque « *huasipunguero* » pouvait, en échange de son travail sur l'hacienda, cultiver un lopin de terre qui lui permettait de tirer sa subsistance.

L'essor de l'économie marchande au XIXe siècle favorisa le développement du commerce du cuir et de la viande et la prospérité des haciendas tournées vers l'élevage de gros bétail.

La concentration de la propriété terrienne se poursuivit jusqu'en 1940. Les principales haciendas de la zone (*La Rinconada*, *La Rinconadita*) occupèrent alors des centaines d'hectares sur le *páramo d'El Angel* qu'elles vouaient au pâturage extensif du bétail.

##### 3.1.2.) La Réforme Agraire

La Réforme Agraire de 1967, puis de 1973, vient encourager, dans le *Carchi*, un mouvement de revendication plus ancien émanant des paysans sans terre. Ceux-ci, appelés « *ex-huasipungueros* » depuis la loi d'abolition du « travail précaire », finirent par occuper les terres des haciendas, puis à constituer des associations et des coopératives de travailleurs permettant de faire pression pour accéder à la terre. L'intervention de l'IERAC (institut équatorien de Réforme Agraire et de Colonisation) créé lors de la Réforme Agraire permit d'appuyer les revendications paysannes et de faciliter les transactions.

On aboutit donc à la division et à la mise en culture des terres concédées par les haciendas : il s'agissait souvent des moins productives.

Les processus de redistribution ne furent pas homogènes dans la paroisse de *La Libertad* (Fig. 3). Certaines coopératives, comme la *Cooperativa San Francisco* reçurent en 1970 les terres plus productives dans la partie inférieure du versant.

Un autre groupe de paysans fit pression pour obtenir des terres dans la zone haute et forma, en 1972, l'*Asociacion 23 de Julio* (Lehman, 1984). Ces paysans reçurent environ 3 800 ha, dont 254 ha de terres cultivables de l'hacienda sur laquelle ils étaient *huasipungueros*, la *Rinconadita*. Ils se répartirent les terres cultivables en lots de 1.5 ha et le reste, d'immenses étendues de *páramo*, fut laissé propriété collective pour servir de pâturage au bétail des membres de l'association. Son utilisation est aujourd'hui remise en question par le création de la Réserve Ecologique.

La *Cooperativa Alejandro Almeida* possède 134 ha en-dessous de la « *23 de Julio* ». Une autre association, l'*Asociacion de trabajadores German Grijalva*, (ou « *Grupo San Luis* ») ont acquis ainsi 1700 ha de *páramo* sur les anciennes terres de la *Rinconada*, dans une zone située au nord-ouest du bassin. La majorité des terres sont aujourd'hui incluses dans la Réserve.

Dans chacune de ces coopératives paysannes, les terres ont été très morcelées, en parcelles généralement inférieures à 2 ha, même si chaque paysan possède souvent un lopin à différentes altitudes ou dans différentes coopératives. Cette multi-propriété lui permet de diversifier sa production et de limiter le risque climatique en semant à différentes époques.

A part ces zones de colonisation agricole récente, la **Commune de *La Libertad*** est la zone la plus ancienne de *minifundio*, comme l'attestent les photographies aériennes de 1965. Celle-ci correspond aux limites du territoire laissé aux communautés indiennes lors de l'expansion des haciendas. Deux cours d'eau en tracent les limites naturelles : le *Rio Bobo* au sud et le *Rio Cariyacu* à l'ouest, ce qui délimite une vaste surface de 3 400 ha.

Les haciendas couvrent encore d'assez importantes surfaces dans la zone ouest de notre zone d'étude (Fig.3). Certaines, comme la *Rinconadita*, ont été entièrement subdivisées et remises aux « *ex-huasipungueros* » par le biais des coopératives. D'autres, comme la *Rinconada*, se sont maintenues, en conservant leurs meilleures terres et en revendant une partie à d'autres grands propriétaires et à des coopératives.

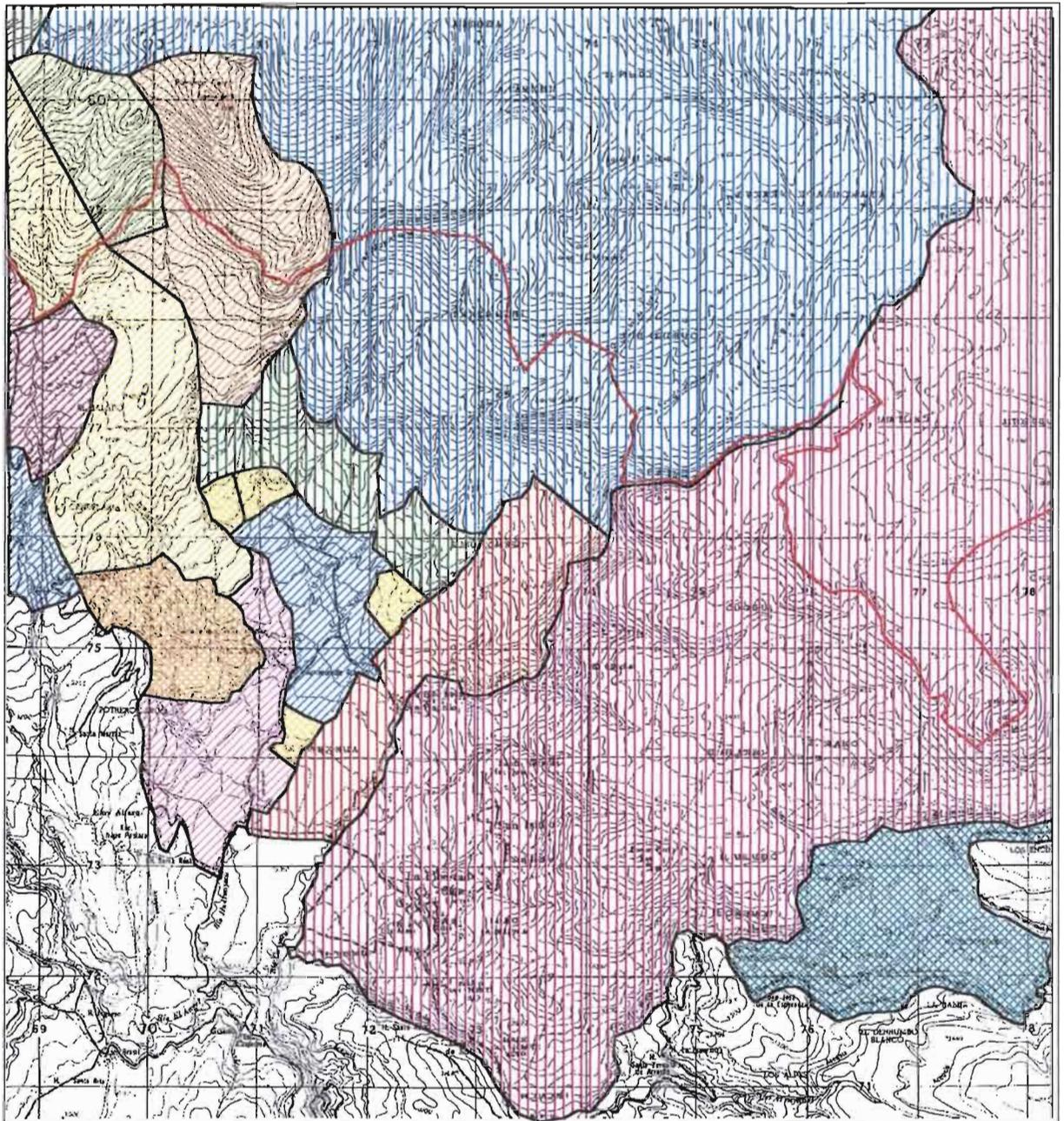
### **3.2.) L'occupation actuelle du sol et systèmes de culture**

Notre zone d'étude recouvre plusieurs sous-étages bioclimatiques, ce qui permet un étagement altitudinal de l'occupation du sol (Fig. 4 et 5, Photo.3, pl.II).

#### **3.2.1.) La zone agricole de « piedmont »**

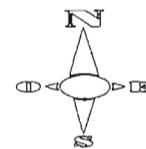
Située entre 3000 et 3300 m, cette zone concentre l'essentiel des habitations, sous forme de villages (*La Libertad*, *San Francisco*) et de hameaux dispersés.

# Types de propriétés foncières dans la région de la Libertad



## Légende :

-  Limite sud de la Réserve Ecologique
-  Asociacion 23 de Julio
-  Asociacion German Grijalva
-  Comuna La Libertad
-  Cooperativa Alejandro Almeida
-  Cooperativa San Francisco
-  divers
-  grandes parcelles
-  Hda "El Carmen"
-  Hda El Caucho
-  Hda El Salado
-  Hda La Rinconada
-  Hda La Victoria
-  Hda Puyurco
-  Hda San German
-  petites parcelles



1:60000



Sources : DINAC (1991)  
Fond topo.: IGM 1:25000 (1981)

Le fond du bassin, mal drainé et hydromorphe, ne permet qu'une utilisation pastorale intensive, que ce soit sous forme de grandes parcelles (*hacienda*) ou de plus petites (*minifundio*).

Dès que survient une rupture de pente, l'occupation du sol du *minifundio* change : on passe à une utilisation agricole très intensive. Le micro-climat de cet étage permet en effet, toutes les cultures tempérées : maïs, orge, blé, pois, fève. La mécanisation du travail est répandue et la durée de la jachère très réduite, voire inexistante, comme l'indiquent les enquêtes menées auprès des agriculteurs (voir analyse des enquêtes en annexes).

C'est dans cette zone que se rencontrent la plupart des phénomènes d'érosion observés (Photo.4, pl.II).

En revanche, à l'ouest, sur les terres occupées par les haciendas, l'utilisation du sol reste pastorale et les problèmes d'érosion absents.

### 3.2.2.) La zone de colonisation agricole de milieu de versant

Cette zone est appelée couramment « *páramo* » par les agriculteurs, car les conditions climatiques changent : le froid et l'humidité limitent les cultures à la rotation traditionnelle de cette zone : le système de culture « pomme-de-terre, pâturage ».

L'éloignement de ces terres aux lieux d'habitation, les difficultés de mécanisation ne permettent pas de pratiquer une agriculture très intensive.

Autrefois, il était fréquent de ne faire qu'une récolte par an, en prenant soin de semer en Janvier afin d'éviter les gelées. Les récoltes se faisaient en juin ou août (Vallejo, 1997). Ce schéma a disparu et les paysans réalisent actuellement deux récoltes par an, sans se baser sur un calendrier culturel particulier.

La rotation des cultures est répandue, mais varie selon les agriculteurs, la superficie dont ils disposent, la fertilité naturelle de la terre ou des engrais dont ils disposent. Il s'agit d'une jachère où on laisse le terrain reposer une ou plusieurs années sous prairie naturelle ou artificielle (semis de *Ray-grass*). Ces prairies sont alors utilisées comme pâturage pour les quelques têtes de bétail que possède chaque famille et qui fournit une autre source de revenu : l'élevage laitier.

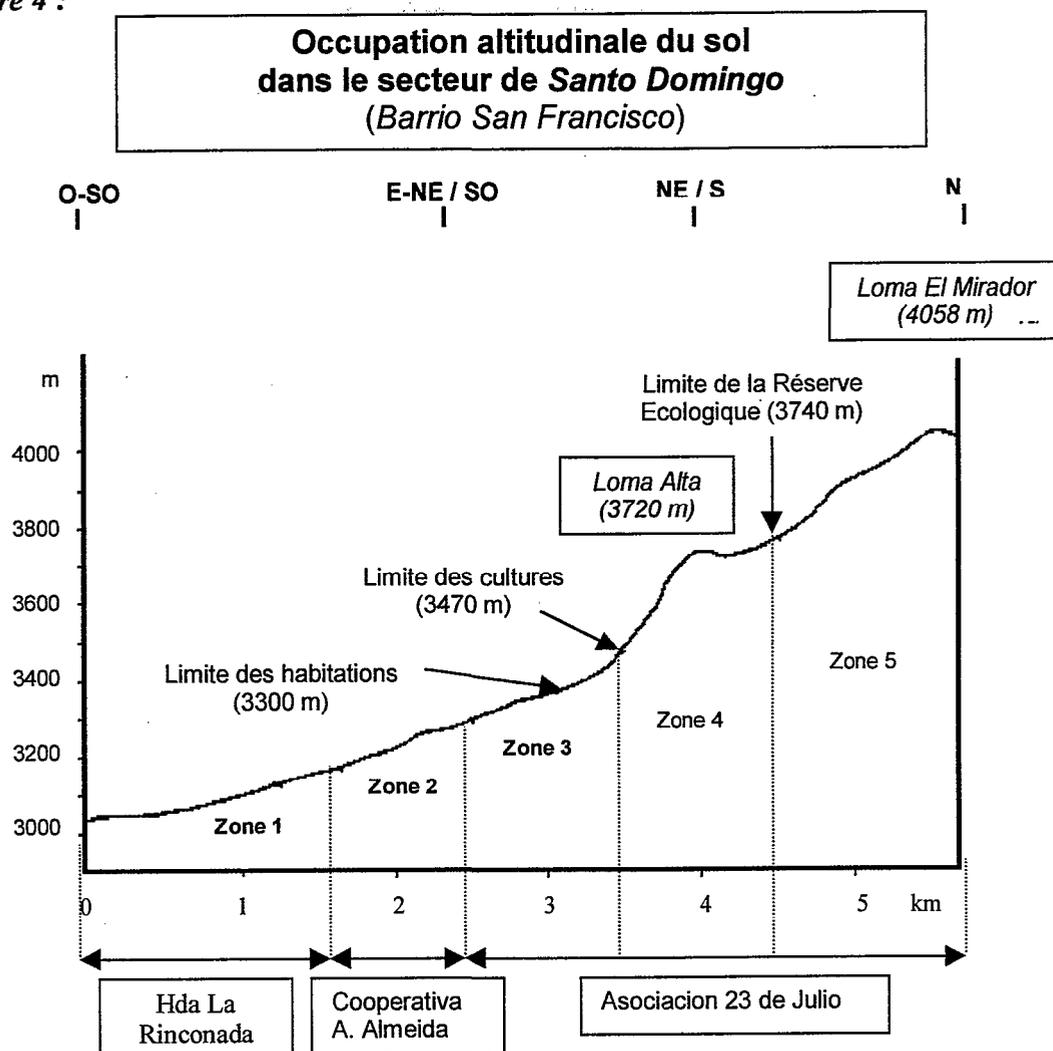
Cet étage correspond à la zone dans laquelle la Réforme Agraire a eu le plus d'impact et sur lequel se situe le front pionnier agricole.

### 3.2.3.) Le páramo naturel de sommet de versant

Situé au-delà du front pionnier agricole, le *páramo* naturel ne connaît qu'une utilisation très extensive. Depuis 1994, il a été classé Réserve Ecologique sur 15 715 ha, afin de protéger sa végétation unique en Equateur : le *páramo* à *Frailejon*. Bien que géré par l'INEFAN (*Instituto ecuatoriano forestal de areas naturales y vida silvestre*), ces terres n'ont pas été acquises par l'Etat et restent des propriétés privées (voir carte de la propriété de la terre ). Leur protection dépend donc toujours de la concertation avec leurs propriétaires (gestion participative) et passe par la sensibilisation et l'éducation environnementale.

Nous avons essayé de déterminer par notre enquête quelle opinion les paysans avaient de la Réserve et quel était leur intérêt pour ces terres inexploitées (Chap.III).

Figure 4 :



Zone 1 :- altitude : 3040 à 3200 m

- topographie plane à légèrement inclinée (pente moyenne : 3%)
- parcellaire : grandes parcelles (hacienda) délimitées par haies vives
- usage du sol : pâturage intensif (prairies artificielles)

Zone 2 :- altitude : 3200 à 3300 m

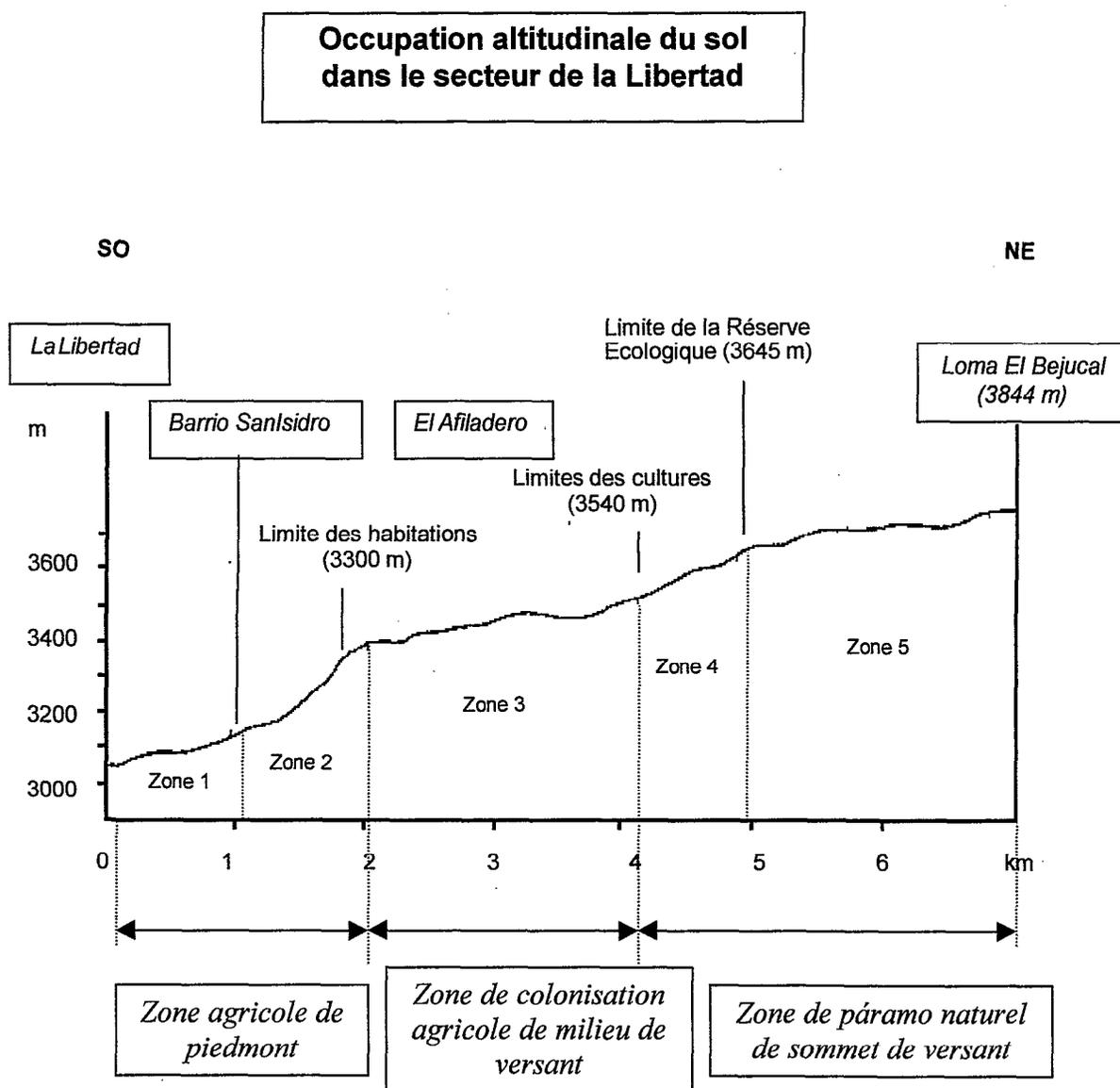
- topographie en pente régulière (15%), pentes localement très fortes au niveau des *quebradas*
- parcellaire : petites parcelles (0.5 à 2 ha), zone de Réforme Agraire : colonisation récente, marquée par la faible présence des haies.
- usage du sol : cultures diverses (pomme de terre/petit pois/fèves/orge) associées au pâturage.
- problèmes de conservation des sols : décapage de l'horizon organique, glissements de terrains.

Zone 3 :- altitude : 3300 m à 3470 m

- topographie : idem (pente moyenne : 30%)
- parcellaire : idem (absence totale de haies)
- usage du sol : pomme de terre/pâturage, avec plus forte proportion de pâturage (jachères plus longues).
- problèmes de conservation des sols : décapage rarement visible en raison de l'épaisseur du sol, glissements de terrain.

- Zone 4 : - altitude : 3470 à 3740 m
- topographie : pentes très fortes (90%)
  - absence de parcellaire : limite actuelle de la colonisation agricole
  - usage du sol : ramassage du bois, pâturage extensif faible : végétation naturelle (*páramo* à *frailejones*) conservée
  - problèmes de conservation du sol : nombreux glissements de terrain sur le versant de la *Loma Alta*
- Zone 5 :
- altitude : supérieure à 3740 m
  - topographie : accidentée et contrastée (pentes fortes, dépressions marécageuses...)
  - usage du sol : zone protégée (statut de Réserve Ecologique) pour préserver les ressources hydriques de la région (présence de nombreuses sources)- páramo naturel
  - problèmes de conservation des sols : pas d'observations

Figure 5 :



Zone 1:

- altitude : de 3080 à 3160 m
- topographie : versant en pente douce (pente moyenne : 10%)
- type de parcellaire : petites parcelles (<0.5 ha) souvent associées aux habitations, délimitées par des murs de « *bahareque* » (torchi) ou des haies d'eucalyptus.
- usage du sol : cultures variées (blé, orge, maïs, pomme de terre, petit-pois), peu de pâturages (faible pratique de la jachère)
- problèmes de conservation du sol : sol blanchi en de nombreux endroits.

Zone 2:

- altitude : de 3160 à 3400 m
- topographie : pente concave augmentant rapidement (talus en pente de 35%)
- type de parcellaire : parcelles plus grandes (entre 0.5 et 2 ha), souvent découpées dans le sens de la pente, délimitées dans le paysage par des haies vives bien développées.
- usage du sol : la pomme de terre devient la culture dominante, mais on trouve encore les cultures précédentes hormis le maïs ; le pâturage est mieux représenté, mais reste minoritaire (peu de jachère) ; quelques bosquets-reliques dans les zones inaccessibles (fond de *quebrada*, sommet de versant)
- problèmes de conservation du sol : sol blanchi sous culture, formation de micro-terrasses liées au surpâturage.

Zone 3:

- altitude : de 3400 à 3540 m
- topographie : plane à ondulée (plateau), pente moyenne de 6%
- type de parcellaire : parcellaire régulier (voir photo aérienne), rectangulaire de lots d'1 à 2 ha, présence de haies vives bien marquée
- usage du sol : système de rotation « pomme de terre/pâturage » avec jachère longue (3 à 6 ans) ; la rotation est effectuée par secteurs sur la parcelle (assolement ?), la surface cultivée est donc souvent minimale (< 0.25 ha) ; le pâturage domine donc dans le paysage.
- problèmes de conservation du sol : pas d'observations

Zone 4:

- altitude : de 3540 à 3645 m
- topographie : légère rupture de pente séparant deux plateaux faiblement inclinés (pente moyenne variant entre 15 à 30%)
- type de parcellaire : zone de colonisation agricole ; parcellaire absent ou peu marqué (quelques zones de pâturage), végétation de páramo plus ou moins dégradée par les brûlis ;
- usage du sol : pâturage extensif, ramassage de paille ou de bois dans les bosquets relictuels
- problèmes de conservation du sol : quelques glissements de terrain.

Zone 5:

- altitude : supérieure à 3645 m
- topographie : plateau légèrement incliné vers le SO (pente moyenne : 8%), relief collinaire résiduel
- type de parcellaire : absent
- usage du sol : Réserve Ecologique
- problèmes de conservation du sol : pas d'observations

### 3.3.) Modifications de l'usage du sol entre 1965 et de nos jours

#### 3.3.1.) Méthode utilisée

Pour comparer l'occupation du sol avant la Réforme Agraire et telle qu'elle est actuellement, nous avons utilisé deux photographies aériennes, l'une de 1965 et l'autre de 1993. Un problème technique se posait d'emblée : les deux photographies étaient d'échelle et de qualité très différentes :

- celle de 1965, d'une grande netteté et à une échelle relativement fine (1/40000) ne couvrait pas entièrement la zone d'étude ;
- en revanche, celle de 1993, d'une netteté et d'une précision bien moindre (échelle 1/60000), couvrait largement toute la zone haute du bassin-versant.

Avant de procéder à une photo-interprétation, il a d'abord fallu rendre ces deux photos comparables entre-elles. Nous avons donc extrait<sup>4</sup> pour chaque photo une zone qui était commune avec le fond topographique et qui représentait la zone d'étude, leur faire subir certaines corrections géométriques et les géoréférencer avec ce fond. On a pu ainsi obtenir trois images numérisées à la même échelle, dont une représentait le fond topographique.

Cela permettait de délimiter<sup>5</sup> ensuite, sur ces photographies numérisées, les différents types d'occupation du sol retenus par photo-interprétation et de comparer visuellement les modifications d'usage du sol entre deux périodes. Comme les images ne couvrent pas exactement la même zone, on ne pouvait pas fournir de résultats quantitatifs sur l'évolution de l'occupation du sol.

Pour obtenir ces résultats quantitatifs, il a fallu extraire ensuite la partie commune aux deux photos (utilisation d'un « cache »). Le SIG (système d'information géographique) permet alors d'obtenir directement les surfaces de chaque polygone délimité et de les traiter statistiquement (ici, représentation par secteurs de la superficie couverte par chaque type d'occupation du sol en %).

#### 3.3.2.) Répartition spatiale de l'occupation du sol

##### a) En 1965

En 1965, l'occupation du sol était caractérisée par deux grands ensembles :

- la *Comuna de la Libertad* qui occupait déjà toute la zone située à l'est du *Rio Cariyacu* (34% de la zone), avec le parcellaire caractéristique du *minifundio*, nettement délimité par les haies vives (signe caractéristique d'appropriation du sol) ;
- les haciendas, occupant le reste de l'espace.

Cependant, en 1965, les haciendas ne sont pas des unités homogènes vouées à une seule forme d'usage de la terre. Nous avons pu y répertorier quatre types d'usage du sol :

---

<sup>4</sup> Logiciel Teravue

<sup>5</sup> logiciel Alliance

- le *páramo* naturel (soit 24% de l'espace, appartenant à la *Comuna de la libertad* et aux *haciendas*); nous avons déjà vu précédemment que ces deux formes de propriétés (collectives et latifundiaries) comportent, en dehors de la zone étudiée d'immenses étendues de *páramo* inexploité ;
- les zones de pâturage naturel, difficiles à distinguer du *páramo* naturel ou dégradé (représentant 30% de la surface, soit la majeure partie de l'extension des haciendas sur la zone considérée) ;
- des zones de cultures ou de pâturage amélioré (caractérisées par une couleur gris sombre), situées plutôt en aval et représentant 5% de la surface;
- et enfin, quelques enclaves de *minifundio*, comme l'atteste la présence de petites parcelles plus ou moins nettes, situées soit en zone de piedmont (*Jesus del Gran Poder, San Francisco*), soit à la limite du *páramo*. L'absence totale de haies suggère une utilisation précaire du sol : il s'agit des « *huasipungos* », petites parcelles allouées par le propriétaire terrien à ses employés. Nous voyons ici que les terres fournies n'étaient pas toujours les mieux situées : certaines se situent bien au-delà du front pionnier actuel, soit au delà de 3500 m...

Au total, la surface couverte par les systèmes de production intensifs (si l'on compte comme tels les « *huasipungos* ») couvre 45% de la superficie dans la zone retenue.



**Figure 6 :** Extrait de la photographie aérienne de 1965 : zone de « *huasipungo* »

#### **b) En 1993**

La photo de 1993 montre que l'occupation du sol a peu changé en ce qui concerne la *Comuna de la Libertad*. L'utilisation du sol s'est peut-être intensifiée en conservant une même surface.

Les grandes modifications se situent au niveau des *haciendas*, dans la partie nord de la zone d'étude, où la Réforme Agraire a eu le plus grand impact et a redistribué les terres aux coopératives. Le *minifundio* occupe en 1993 environ 20 % de la surface commune aux deux photos, alors que la mise en culture précaire des terres

(« *huasipungo* »), n'occupait que 5.6% en 1965. On remarque que cette évolution s'effectue surtout au détriment des zones de pâturages extensifs et/ou de *páramo* dégradé.

En 1993, 60 % de la superficie est vouée à une utilisation intensive, contre 45 % en 1965. Entre ces deux périodes, le front pionnier a peu évolué : il semble que la limite altitudinale des 3500 m soit difficile à dépasser pour l'agriculture, alors qu'elle est plus mouvante pour le pâturage extensif.

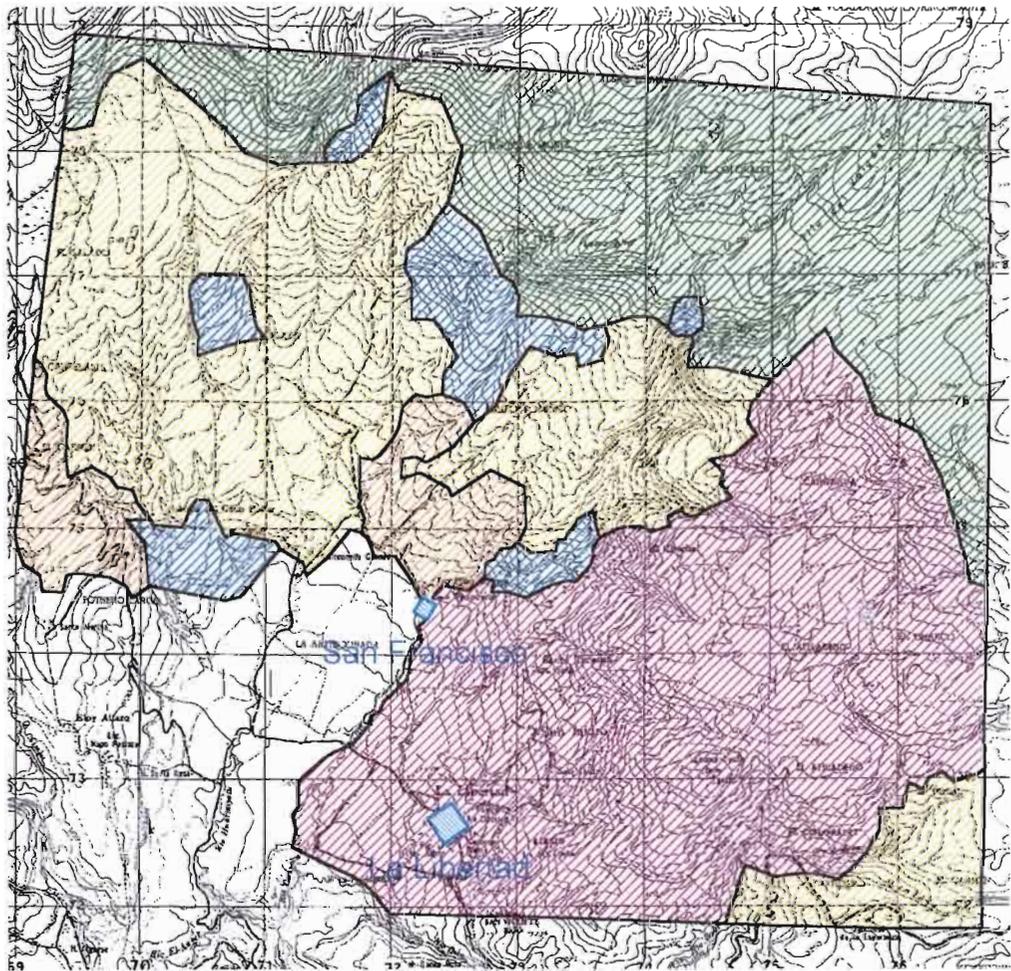
On remarque cependant la progression d'un front pionnier au niveau de *Cuchilla del mayordomo* (au nord de la figure 11), où des cultures de pomme de terre se rencontrent jusqu'à 3560 m d'altitude. Dans le secteur où a eu lieu la réforme Agraire (terrains de la *Cooperativa 23 de Julio*), le front pionnier est encore assez éloigné de la limite de la Réserve Ecologique (500 m à un kilomètre). Cependant, dans un milieu de haute-montagne, raisonner en distance kilométrique n'a guère de signification : les terres de la Réserve sont surtout protégées par les conditions extrêmes qui y règnent. Toutes sont situées au-delà de 3700 m et sur des pentes fortes (40 à 50%). En revanche, le front pionnier agricole se situe très près des limites de la réserve en d'autres parties de la zone :

- au nord-ouest de la carte, dans le secteur nommé *El Salado*, de vastes zones de pâturage sont presque contiguës à la réserve, et le propriétaire de l'hacienda a récemment choisi de mettre en valeur les versants par une plantation commerciale des pins, jusqu'à l'extrême limite de la réserve.
- à l'est de la carte, dans le secteur de La Libertad, la limite de la Réserve, concrétisée par le tracé d'une *acequia*, n'est plus qu'à une à plusieurs centaines de mètres de la réserve (voir coupes topographiques).

En conclusion, on peut remarquer qu'il y a plutôt eu intensification de l'agriculture à l'intérieur même de la zone agricole, soit un remplacement d'un système extensif (latifundiaire) peu déstabilisant pour le milieu naturel (bonne couverture au sol, faible utilisation des ressources naturelles) par une exploitation plus intensive. En effet, les Réformes Agraires, dans beaucoup de pays, ont souvent eu des répercussions négatives en redistribuant des terres impropres à l'agriculture ou situées dans des milieux très difficiles (ici, pentes fortes, climat froid et humide, manque d'accessibilité...).

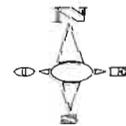
Figure 7

Occupation du sol en 1965  
(d'après photo-interprétation)



Légende

-  Comuna La Libertad
-  Paramo naturel
-  Pâturage artificiel/cultures
-  Pâturage naturel/paramo dégradé
-  Zone de "huasipungo"



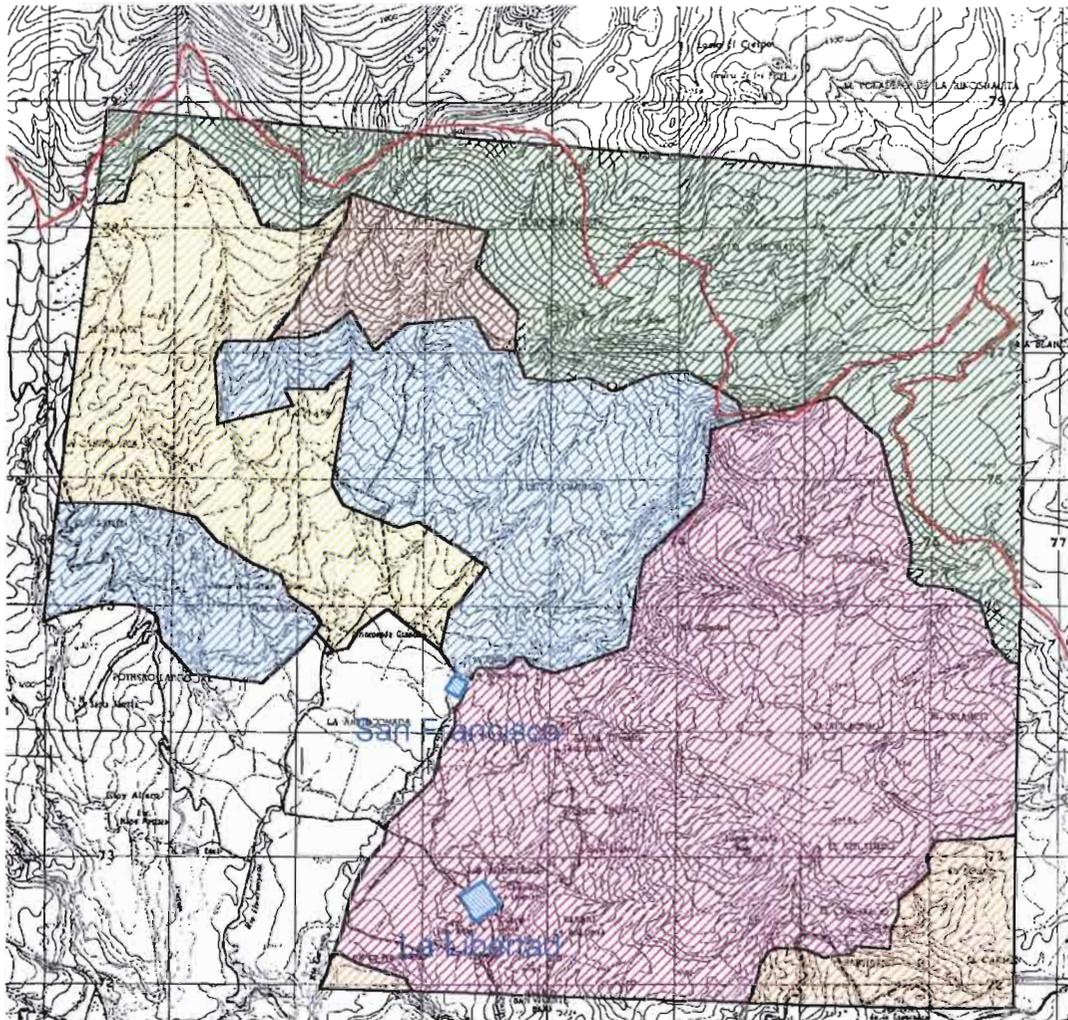
1:60000



Sources : Photo aérienne du 8/02/65

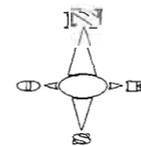
Figure 8

# Occupation du sol en 1993 (d'après photo-interprétation)



**Légende:**

-  Limite sud de la Réserve Ecologique
-  Comuna La Libertad
-  Minifundio
-  Paramo naturel
-  Pâturage artificiel/cultures
-  Pâturage naturel/paramo dégradé
-  Zone de colonisation agricole



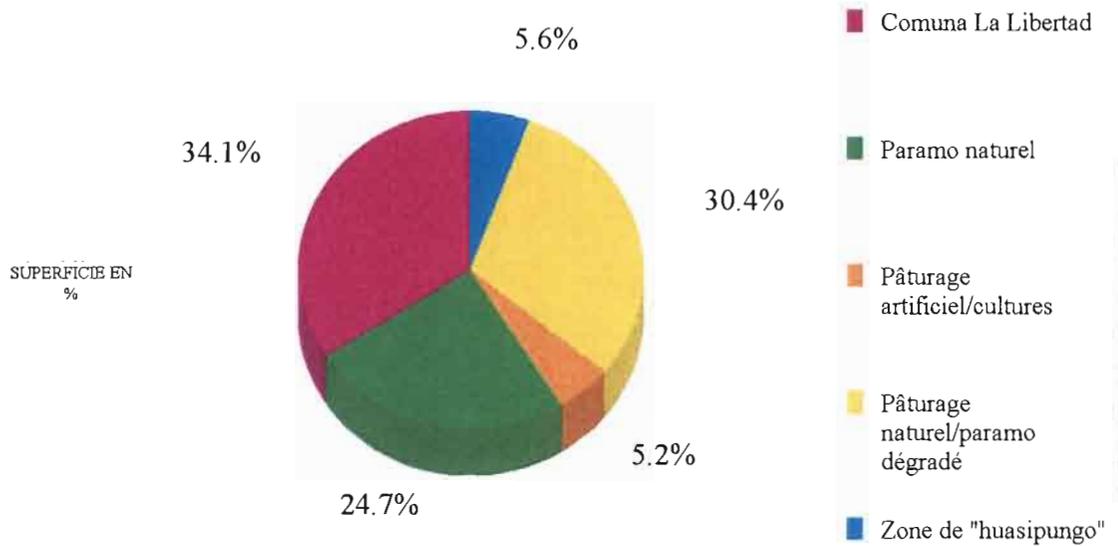
1:60000



Sources : photo aérienne du 11/05/93

Figure 9

### Occupation du sol en 1965



### Occupation du sol en 1993

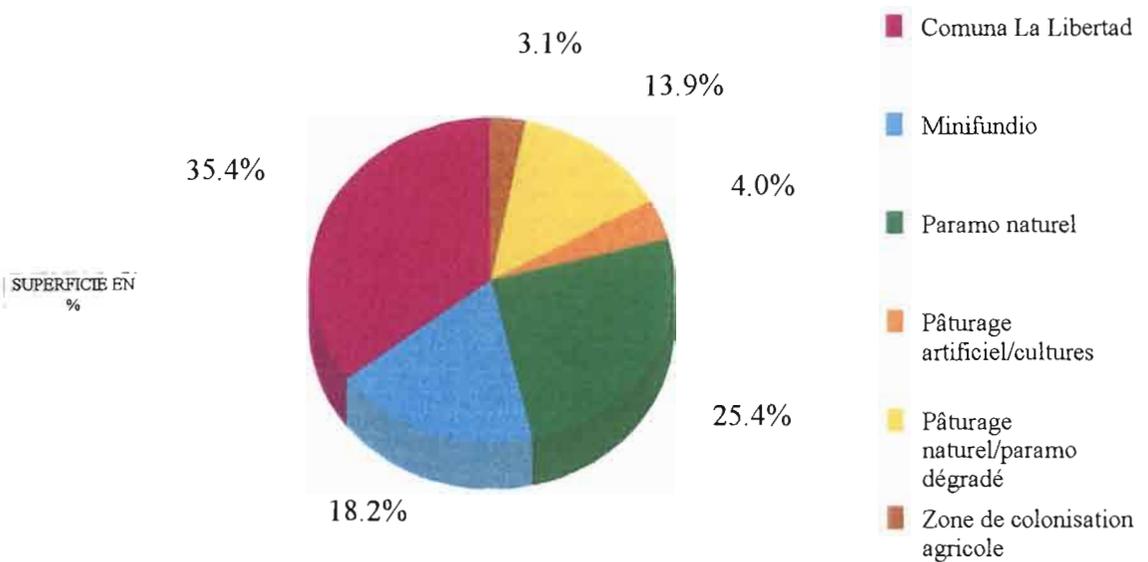




Photo. 1 : Profil d'un andosol mélanique (El Voladero, 3500 m)



Photo.2 : Paramo à Frailejones (El Voladero, 3450 m)



Photo. 3 : Vue sur la *Loma Alta* montrant l'étagement de l'occupation du sol



Photo.4 : *San Francisco* : vue montrant les parcelles érodées de la zone de piedmont

## Chapitre II L'érosion des sols et ses facteurs

Les phénomènes érosifs autour de *La Libertad* ont un aspect nettement moins impressionnant que ceux que l'on peut rencontrer dans d'autres régions d'Equateur, et même à quelques dizaines de kilomètres de notre zone d'étude. Autour de *Garcia Moreno*, par exemple, la terre arable a été érodée en quelques années suite à un mauvais usage du sol et il ne reste aujourd'hui que d'immenses étendues de *cangahua* stérile. La situation n'est pas encore irréversible à *La Libertad*, d'où l'intérêt de connaître dès maintenant les facteurs de l'érosion dans cette zone et de pouvoir peut-être intervenir avant qu'elle ne le devienne.

### 1°) Les formes d'érosion en milieu cultivé

#### 1.1.) Description des formes d'érosion

En raison de la durée de notre séjour en Equateur, il n'a pas été possible d'effectuer des mesures quantitatives de l'intensité et de la vitesse de l'érosion (en t/ha/an), comme en ont menées les chercheurs de l'ORSTOM (De Noni, Viennot.), notamment grâce à l'utilisation de parcelles de ruissellement.

Pour appréhender les processus érosifs présents dans la zone, nous avons utilisé la méthode suivante :

- observations de terrain et relevés cartographiques des systèmes de cultures et des formes d'érosion observés (localisation sur carte, mesures de pentes, description...)
- Enquêtes pré-établies auprès des paysans de la zone afin de connaître à la fois le système de culture employé, leur perception des problèmes d'érosion sur leurs parcelles (voir formulaire d'enquête en annexes). Ces enquêtes aboutissaient souvent à un dialogue très constructif avec les paysans et fournissaient de nombreuses informations intéressantes. Cependant, nous n'avons pu qu'en effectuer une quinzaine en raison des contraintes que nous nous étions imposées : n'interroger que les personnes dont nous avons pu observer directement les parcelles, afin d'en connaître certains paramètres tels que l'altitude, la pente, les traces d'érosion...

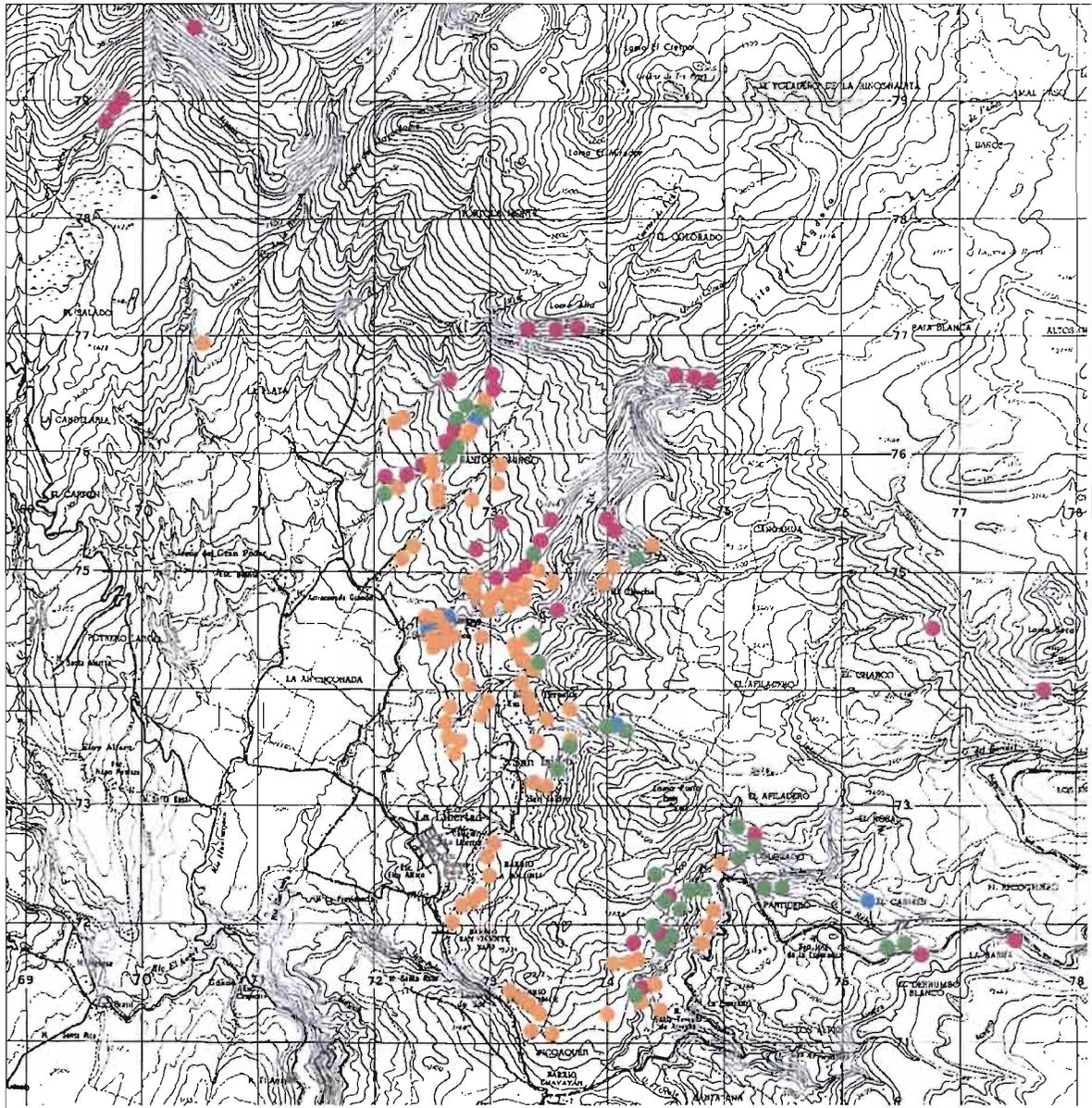
#### 1.1.1.) L'apparition de « marbrures » sur les parcelles

Cette forme d'érosion est la plus notable dans la paysage et celle qui est la plus fréquemment mentionnée par les agriculteurs au cours des enquêtes. Elle se produit par un décapage progressif de l'horizon organique sombre et l'affleurement de l'horizon d'altération clair, appelé couramment « *cangahua* » (même s'il s'agit d'un horizon meuble) ou « *barro* » (argile). Ce phénomène se traduit dans le paysage par l'apparition de « marbrures » claires sur la surface des parcelles.

Comme le montre la carte de localisation des formes d'érosion (Fig. 10), cette forme d'érosion se concentre essentiellement dans la zone de piedmont, entre 3100 et 3300

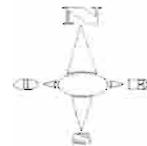
Figure 10

## Localisation des formes d'érosion et de dégradation du sol dans la région de La Libertad



Légende :

	Erosion en masse
	Erosion linéaire
	Erosion par découpage
	Sur-pâturage



1:60000



D'après relevés de terrain effectués  
entre le 20/04 et le 02/06/98  
Sources : fond topo IGM 1:25000

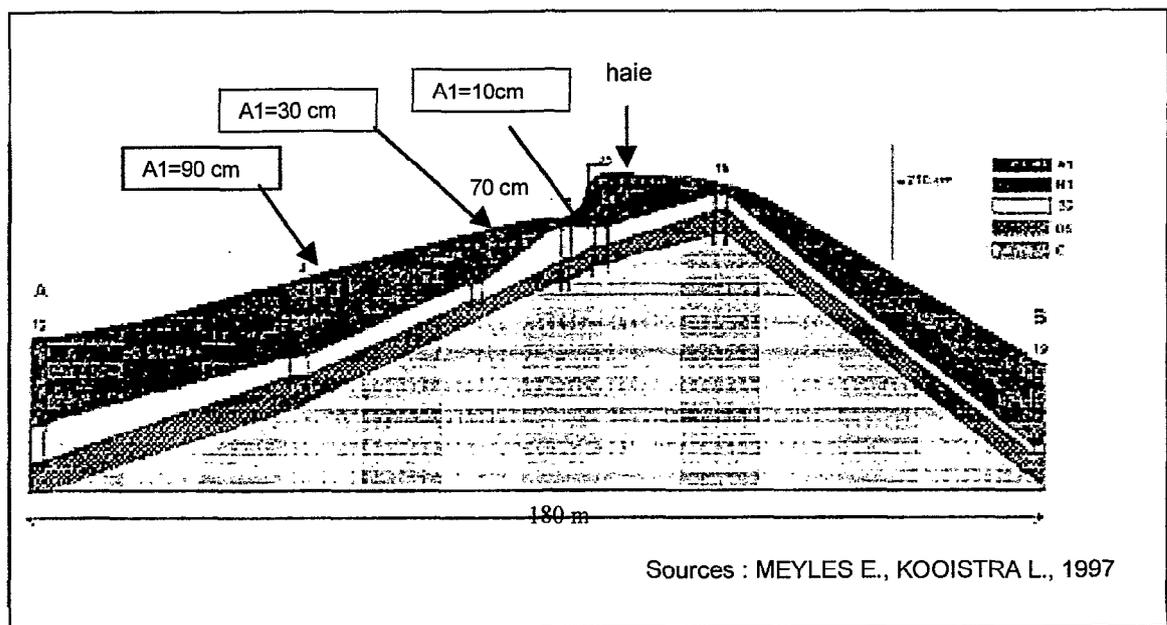
m d'altitude, notamment dans les quartiers *San Francisco*, *Santa Teresita*, *El Chochal* et le long du *Rio Bobo*.

Une observation plus fine montre que ce décapage se produit surtout en amont de parcelles et sur les surfaces convexes de la topographie. Chaque parcelle étant délimitée par une haie, on aboutit à une modification du profil en long de la parcelle, avec accumulation en aval du sol perdu en amont.

Une étude menée sur la variabilité spatiale des sols dans le bassin d'*El Angel* (Meyles et Kooistra, 1997) montre bien ce phénomène, le long d'un transect situé aux mêmes altitudes que la région de *La Libertad*, mais au niveau de *San Gabriel*.

Ils ont effectué des sondages à la tarière permettant de mesurer l'épaisseur des horizons du sol le long de la toposéquence d'une parcelle : pour illustrer leur travaux, nous prendrons l'exemple d'une parcelle représentative cultivée depuis 19 ans vers 2970 m d'altitude. Les pentes varient entre 5 et 11°.

Celle-ci présente le profil en long suivant :

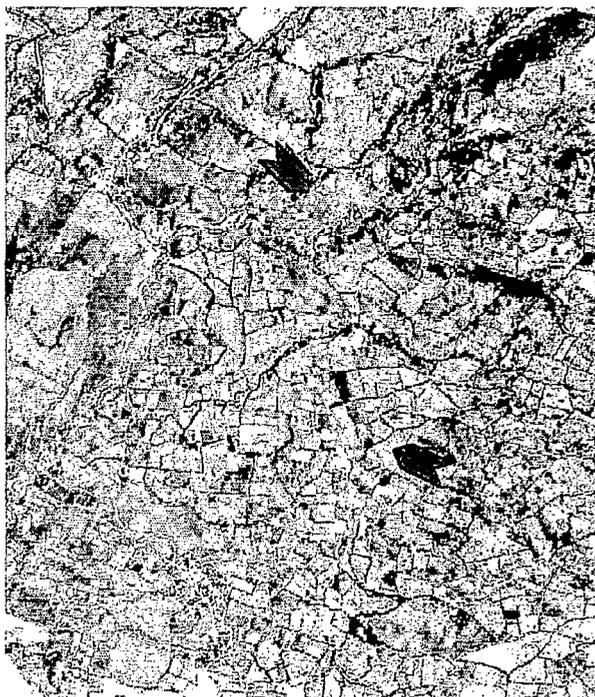


**Figure 11 :** Coupe en long d'une parcelle cultivée

Cette coupe en long met en évidence l'amincissement de l'horizon organique de l'amont vers l'aval et la différence (70 cm) avec le profil-témoin protégé par la haie.

Dans le cas présenté ici, l'horizon clair sablo-argileux n'est pas encore affleurant. Lorsque cet horizon est mis en culture, les cultures présentent à cet endroit de fortes différences de développement : les semis restent plus petits (pomme de terre) ou jaunissent (pois), sans doute à cause d'une carence en nutriments et en matière organique ou de la faible capacité de rétention en eau de cet horizon (Photo.5, pl.III). La présence d' $Al^{+++}$  échangeable (toxicité alumique) peut jouer également (Podwojewski, 1998).

Les agriculteurs ne prennent conscience de la situation que lorsque la terre devient stérile, dans les zones où la *cangahua*<sup>6</sup> affleure. Certains pensent qu'il suffit de rajouter de l'engrais pour obtenir les mêmes rendements et ne voient donc pas l'intérêt de lutter contre cette forme d'érosion. Le caractère lent et progressif de ce phénomène se note à travers les enquêtes par le fait que plusieurs agriculteurs soutiennent que la situation a toujours été ainsi et qu'il n'y a pas d'aggravation. En effet, les photographies aériennes de 1965 montrent déjà ces marbrures caractéristiques.



---

**Figure 12 :** *Extrait de la photographie aérienne de 1965 : les marbrures caractéristiques dues au décapage de l'horizon organique sont déjà visibles.*

Pourtant, il est facile de prouver l'existence de ce décapage en comparant le profil cultural d'un champ érodé à un profil-témoin, situé dans un lieu où le sol a été protégé, par exemple sous une haie ancienne bordant le champ. On a pu estimer ainsi que l'épaisseur de terre perdue est de 50 à 70 cm depuis la mise en culture de la parcelle (ex : site d'enquête n°5, situé à 3210 m sur une pente de 40%).

Ce phénomène ne se produit pas nécessairement sur des pentes fortes : des pentes de 25 à 30 % suffisent à déclencher le processus.

Le décapage progressif de la couche arable, est donc très net dans la zone de piedmont, qui correspond à une zone de culture ancienne et très intensive. La plupart des parcelles sont érodées jusqu'à l'horizon d'altération.

Ce phénomène n'est pas encore aussi net en amont, dans la zone de colonisation agricole. En effet, rappelons que l'horizon humifère a, dans la zone de *páramo*, près d'un mètre d'épaisseur et que cette zone est colonisée depuis moins de 30 ans. Il faut

---

<sup>6</sup> Nous appellerons « *cangahua* » le niveau de cendres claires peu altérées qui affleure lors de phénomènes d'érosion, bien qu'il ne s'agisse pas, dans cette zone, d'un horizon induré.

donc interpréter avec prudence la carte de localisation des formes d'érosion que nous avons établie en fonction de critères visuels : l'apparition de « marbrures » sur les champs. L'érosion peut être déjà très importante dans la zone de colonisation, mais n'être pas encore visible autrement que par des sondages à la tarière. Il faut en effet un certain temps pour qu'une telle épaisseur de sol soit totalement érodée.

### 1.1.2.) La formation de « griffes » et de rigoles

Les manifestations de l'érosion linéaires (griffes, rigoles, ravines) ont fait l'objet de peu d'observations dans la zone d'étude, sans qu'on ne puisse dire pour autant qu'elles sont absentes de cette région.

En effet, l'érosion linéaire, contrairement à l'érosion en nappe, est un phénomène plus spectaculaire, plus rapide, survenant généralement lors d'un fort événement pluvieux. Or, durant notre séjour, il n'y a eu aucune pluie suffisante pour déclencher le ruissellement et des traces plus anciennes laissées par le ruissellement ont fort bien pu être « gommées » par le labour.

De plus, au cours des enquêtes, plusieurs agriculteurs ont mentionné des événements pluvieux violents qui ont provoqué des dégâts importants sur leurs champs, suggérant les effets d'un fort ruissellement, ou un autre qui témoigne avoir retrouvé la terre de son champ et les semences qu'il avait plantées répandues sur la route à la suite d'un orage...

En dehors de ces événements sans doute exceptionnels, les formes d'érosion linéaire que nous avons observées provenaient plutôt d'exemples localisés, d'imprudences ou de mauvaise gestion de la parcelle. Ces exemples étant limités, nous pouvons les décrire séparément afin de mettre en évidence les situations qui peuvent entraîner une concentration du ruissellement.

- **Secteur El Carmen (3300 m)**

-Parcelle de 2 ha allongée dans le sens de la pente, pente moyenne de 45%, sol nu, récemment préparé au tracteur et ensemencé en Ray-grass (Fig.13).

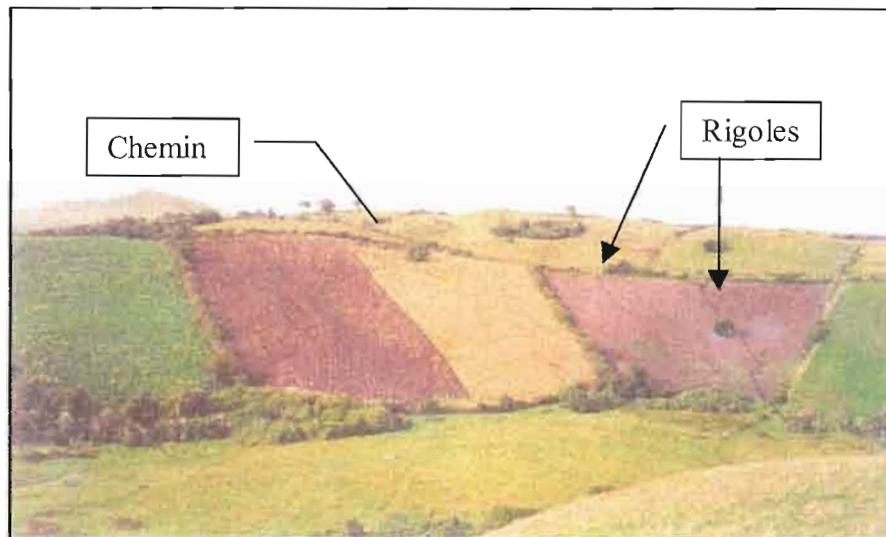


Figure 13 : *Exemple d'érosion linéaire au niveau du secteur « El Carmen »*

-Formation de deux rigoles partant de l'amont de la parcelle (Photo.6, pl.III), larges de 10-15 cm, profondes de 15-20 cm, forme en U (incision limitée par la « semelle de labour »), traversant toute la parcelle en suivant les concavités du modelé du terrain.

⇒ Les deux rigoles se sont formées au niveau du chemin longeant l'amont de la parcelle, dans des zones de dépressions permettant une concentration du ruissellement et compactées par le passage du tracteur.

#### • Secteur San Isidro Alto

-Début d'érosion hydrique sur une parcelle située en amont de versant (Fig. 14), sur une pente de 65 % ; sol peu couvert (jachère suivant une récolte de pomme de terre), absence de billons.

-Formation d'une rigole très nette en U, présentant les mêmes caractéristiques que celles du premier exemple : 10-15 cm de large pour 5 à 10 cm de profondeur, rebords verticaux formés dans l'épaisseur meuble du sol, fond plat lié à la présence d'un horizon plus compacté en profondeur (« semelle de labour »). Le départ de cette rigole semble venir d'une zone excavée par les cultivateurs en sommet de pente, mettant à nu l'horizon compacté, plus imperméable. Une hypothèse possible pour expliquer la présence de cette zone décapée est que, lors de la récolte de pomme de terre, les paysans ont eu besoin d'aménager une zone de terrain plus ferme pour rassembler les sacs. En effet, le sol superficiel étant très meuble, il devient facilement instable sur de fortes pentes.

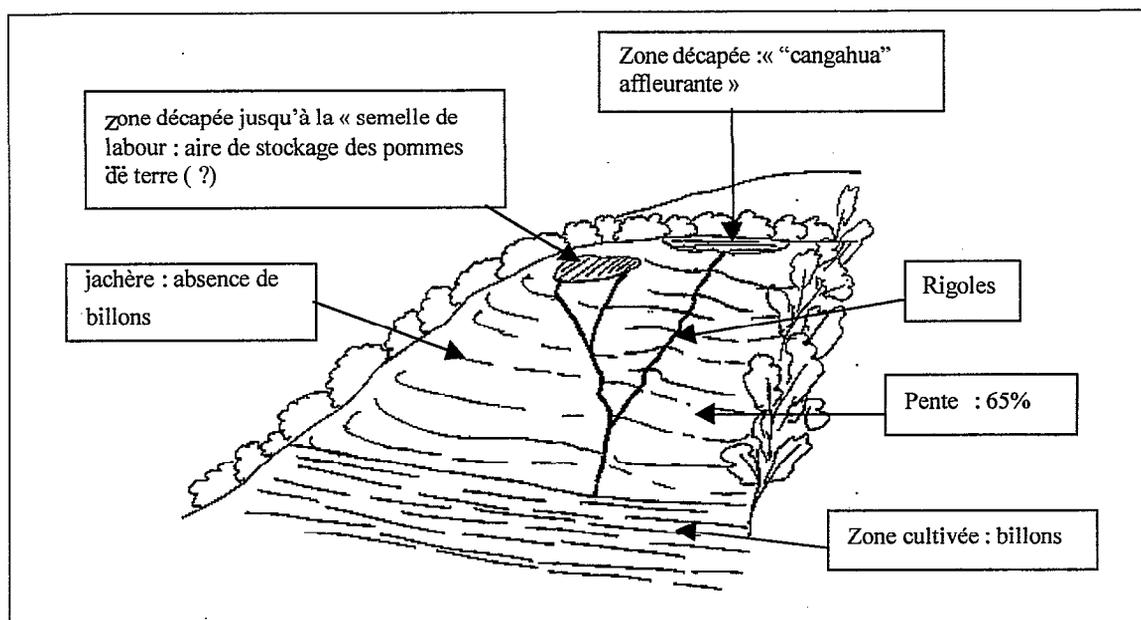
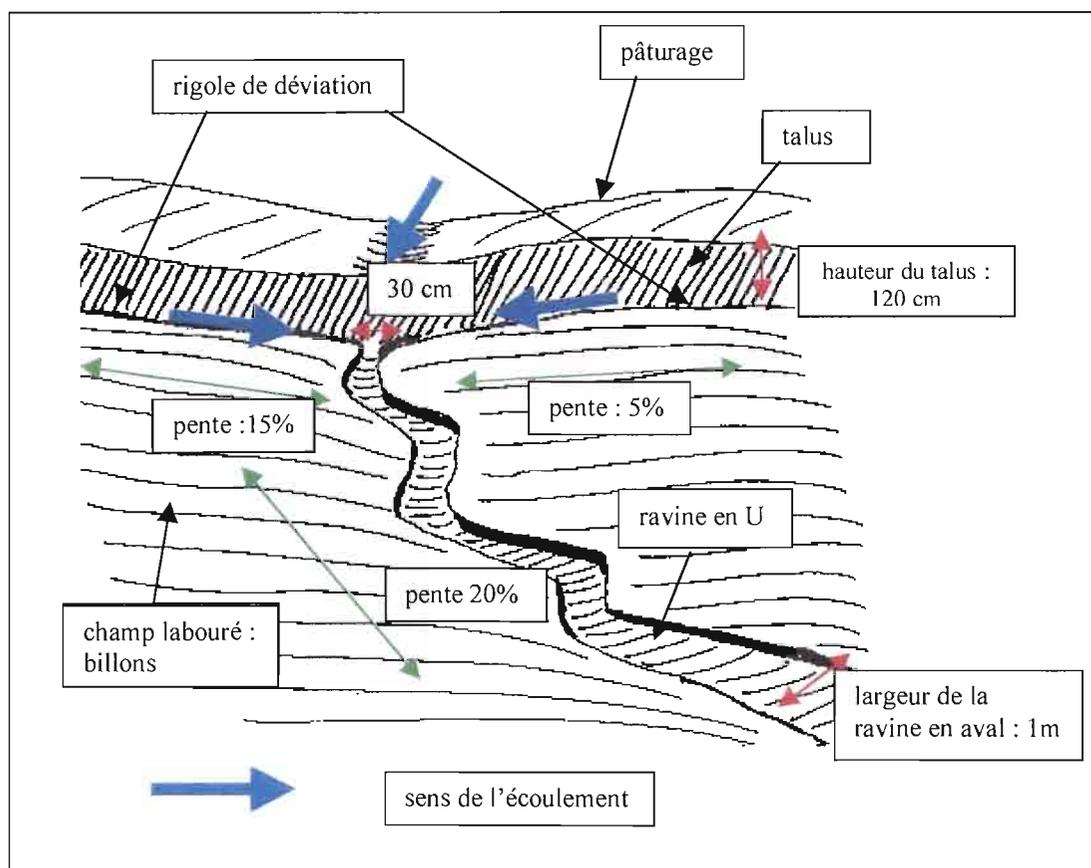


Figure 14 : Exemple d'érosion linéaire au niveau de San Isidro Alto

- **Secteur Santo Domingo (3260 m)**

- Formation d'une ravine (Fig. 15) dans un champ récemment labouré (sol nu billonné), profonde de 25 cm (jusqu'à la « semelle de labour »), large de 30 cm en amont de parcelle et s'élargissant en contre-bas (1 m de large). Elle traverse environ 25 m du champ en suivant le modelé du terrain et finit par rejoindre la bordure de la parcelle.

Cette ravine s'est formée sur une pente peu prononcée (15-20 %) en amont de parcelle, et il n'y a plus de ravinement, en revanche, en aval où la pente est plus accusée (55 %). Sa présence est en fait liée à une rigole de déviation creusée en amont de parcelle pour concentrer le ruissellement venant de l'amont et le dévier à l'extérieur du champ. Or, dans ce cas, la rigole s'interrompt au milieu du champ à cause de la présence d'une petite contre-pente en bout de parcelle, et concentre ainsi en ce point tout le ruissellement provenant de l'amont, entraînant la formation d'une ravine dont la présence ne peut plus être « gommée » par le labour.



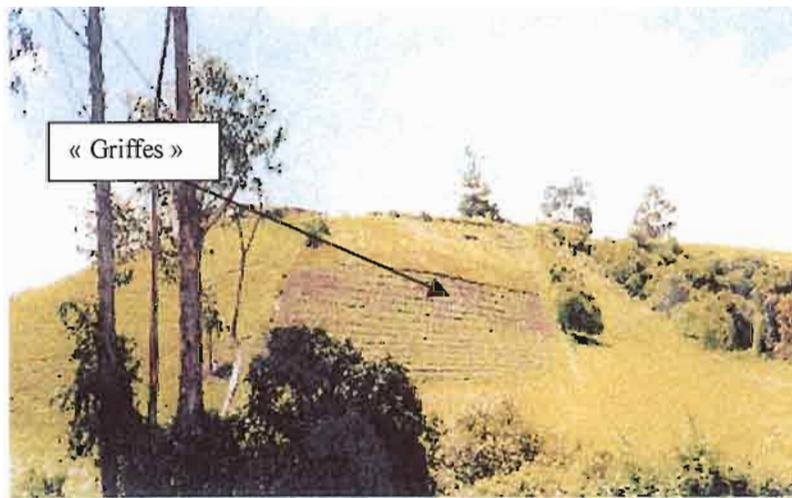
**Figure 15 :** Exemple de formation de ravine dans le secteur de Santo Domingo

Les signes d'érosion linéaires que nous avons décrits sont donc plus liés à des maladresses humaines, qu'à des facteurs naturels.

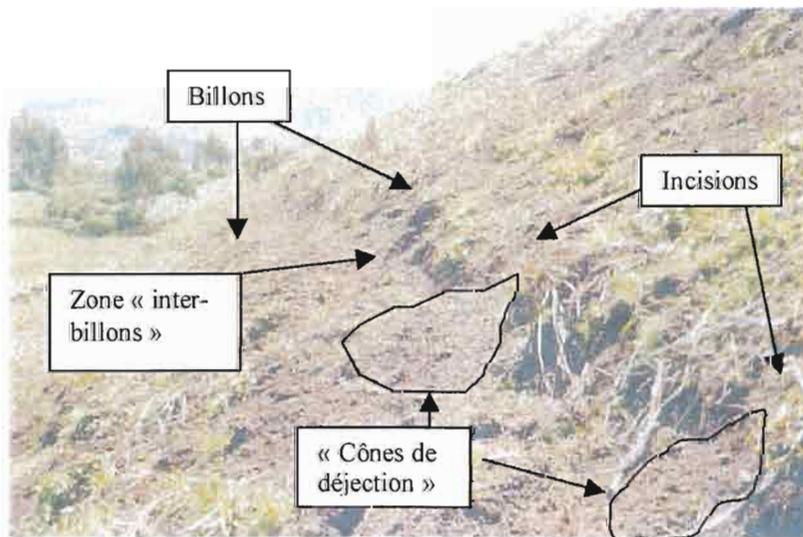
Cependant, ces exemples nous ont montré que la présence de billons isohypes bloquait souvent la formation de l'érosion linéaire. Pourtant, ces billons présentent eux-même parfois l'apparition de formes plus discrètes d'érosion, sous forme de « griffes » traversant les billons et se poursuivant parfois plus en aval.

Ce phénomène a été observé près de San Francisco, sur une petite parcelle en jachère, sur une pente de 60%. On note l'apparition de trois « griffes » traversant le tiers supérieur de la parcelle, puis s'estompant. On note, de plus près, que la surface du sol est déjà partiellement enherbée et les billons très aplatis.

Cependant, l'érosion linéaire progresse de l'amont vers l'aval, en incisant les restes de billons dans des zones de moindre résistance au ruissellement (plus faible couverture végétale, petite dépression existant au préalable) et en comblant la zone « inter-billon » par un petit cône de déjection. Le ruissellement peut ainsi progresser par incision et comblement successif de billon en billon.



**Figure 16 :** Exemple de formation de « griffes » à San Francisco



**Figure 17 :** Dégradation des billons par ruissellement concentré

### 1.1.3.) Les cicatrices d'arrachement

Les mouvements de masse sont une autre forme d'érosion très présentes dans la région de *la Libertad*. Elle prend la forme de petits glissements de terrain de l'ordre du mètre au décamètre. Ils sont généralement peu profonds (« glissements de terrain en planche ») avec décollement d'une couche plus ou moins épaisse de sol. Le plan de glissement correspond au contact entre l'horizon organique et l'horizon d'altération sous-jacent. Le volume de terre déplacé n'est donc pas très important. En revanche, ces manifestations sont très fréquentes, aussi bien dans les zones fortement anthropisées, que – contrairement aux autres formes d'érosion- dans les zones de végétation naturelle.

Lorsque le décollement se produit au niveau d'une rupture de pente (replat dominant une pente forte), le glissement est alors plus profond et forme une concavité dans le versant (glissement « en coup de cuillère »). Le matériel déplacé présente alors un mélange des deux horizons (Photo. 8, pl.IV).

Dans les deux types de glissements, la « langue » formée par le matériel déplacé est souvent réutilisée pour l'agriculture et la zone d'arrachement, favorisant l'accumulation hydrique, est souvent envahie d'une végétation de type *matorral*. Ceci peut expliquer la présence de bosquets disséminés de forme arrondie. De nombreux glissements anciens sont ainsi dissimulés par la végétation, et peuvent présenter, le long d'un même versant, différents stades de maturité.

La carte de localisation des formes d'érosion montre que ce phénomène se concentre en différentes zones :

- le long du *Rio Bobo*, à l'est de *La Libertad*, entre 3200 et 3300 m d'altitude, sur des pentes fortes (50 à 70 %) et principalement destinées au pâturage.
- Autour du quartier *San Francisco alto*, le long de la *Quebrada Cariyacu*, entre 3200 et 3400 m
- Le long de la *Quebrada El Lirio* (secteur *Santo Domingo*), aux mêmes altitudes.
- Au delà de la limite des cultures, au-dessus de 3500 m d'altitude, sur les flancs abrupts des crêtes bordant le bassin : *Loma Alta*, *Filo del voladero*, *Payurcu Cerro*, *Loma seca*.

Dans ces zones de *páramo*, les glissements sont généralement plus étendus et regroupés par deux ou trois sur un même versant.

## 1.2.) Facteurs explicatifs mis en évidence

### 1.2.1.) L'érosion par décapage

Nous avons vu que l'érosion « en nappe » est très répandue sur les versants autour de *La Libertad*. Elle est présente sur l'ensemble des zones cultivées, mais elle ne devient visible (*cangahua* affleurante) que dans certains cas :

- dans la zone de piedmont, dans les zones de culture ancienne et intensive ;
- dans la zone de colonisation agricole sur les plus fortes pentes (Photo.7, pl.IV).

Cependant, l'érosion en nappe telle qu'elle est définie par les spécialistes résulte de l'action des gouttes de pluies sur l'ensemble de la surface de la parcelle, provoquant la destruction des agrégats du sol. Les particules fines libérées colmatent les porosités du sol, formant une « croûte de battance » et entraînant le déclenchement du ruissellement en nappe. C'est ce dernier qui provoque un décapage progressif de l'horizon superficiel du sol.

Or, des expériences de simulation de pluies effectuées par l'Orstom (voir 3<sup>o</sup> partie : la dégradation des *páramos*) ont montré que l'érosion en nappe se produise plus par entraînement par la lame d'eau ruisselée d'agrégats entiers que de particules fines. Si l'absence de battance est caractéristique des andosols perhydratés d'altitude, elle l'est peut-être dans une moindre mesure des andosols brunifiés rencontrés à de plus basses altitudes.

En tout état de cause, cette migration des agrégats à la surface du sol liée au ruissellement est un phénomène lent dans les conditions naturelles, en raison de la grande capacité de rétention en eau de ces sols. L'occurrence du ruissellement superficiel est très rare en effet sur des sols filtrants : il faut donc rechercher des causes ne sont pas dues qu'aux effets de la pluie. L'érosion hydrique se conjugue ici avec l'érosion « sèche », produite par le travail du sol par les outils.

Cette érosion, que l'on peut qualifier d' « érosion mécanique », explique le mieux l'emplacement des plages de couleur claire sur les champs, notamment en amont de parcelle et sur les zones convexes.

Le labour mécanique, par son travail plus profond de la terre, a un effet nocif sur le sol surtout lorsqu'il est utilisé sur des pentes fortes et de plus, dans le sens de la pente. L'effet abrasif du soc de la charrue peut expliquer le décapage accentué des surfaces convexes. En effet, l'érosion hydrique se concentrerait plutôt dans les dépressions du modelé.

Le labour traditionnel a également, à la longue, un effet négatif sur le sol. Lors des enquêtes, des paysans ont expliqué l'apparition de la *cangahua* au sommet de leur parcelle, en montrant leur façon de travailler la terre. Pour faciliter le travail manuel, ils se placent face à la pente et retournent la terre en l'amenant de l'amont vers l'aval. A chaque cycle de culture, l'horizon superficiel descend ainsi d'une trentaine de cm. Il y a donc creusement en amont de parcelle où la terre n'est pas renouvelée.

Dans les zones de colonisation agricole récente, ce sont sur les fortes pentes que les formes d'érosion mécanique sont les plus visibles. En effet, sur des pentes supérieures à 60 %, la gravité est telle que les moindres précipitations, travaux (voire même déplacements) sur le champ provoquent le départ de la terre. Le défrichage de la ripisylve à l'intérieur des *quebradas*, sur des pentes supérieures à 80% entraîne les signes les plus rapides et remarquables de décapage.

### 1.2.2.) L'érosion linéaire

La rareté des observations de formes d'érosion linéaire peut s'expliquer par différents facteurs. En effet, les caractéristiques des andosols et des systèmes de culture dans la zone d'étude ne permettent pas, en situation normale, la formation de ruissellement concentré :

- la structure de l'horizon superficiel, micro-agrégé et très perméable, favorise l'infiltration au détriment du ruissellement : le stade de saturation hydrique du sol, à partir duquel le ruissellement se produit est rarement atteint dans les **conditions pluviométriques moyennes** (qui, nous l'avons vu en première partie, sont souvent de longue durée, mais de faible intensité) ;
- les pratiques agricoles traditionnelles ont adopté les cultures sur billons isohypses. Ce modelé du sol stoppe le début du ruissellement au niveau des inter-billons : tant qu'il n'y a pas saturation et rupture du billon, l'infiltration est encouragée. Il y a parfois apparition de « griffes » sur le bord extérieur du billon, mais le ruissellement parvient rarement à s'organiser d'un billon à l'autre.

En revanche, tous les cas d'érosion linéaire qui ont été observés présentaient ces caractéristiques

- sol nu ou peu couvert ;
- absence de billons ou billons peu entretenus ;
- les pentes sont souvent fortes, mais pas nécessairement ;
- le facteur déclenchant vient surtout d'un autre facteur : la modification de l'état de surface du sol par l'homme en amont de la parcelle.

La présence d'un chemin en bordure d'un champ, la compaction du sol par les roues du tracteur ou le piétinement, ou tout autre facteur favorisant la concentration du ruissellement en un point peuvent avoir des conséquences graves sur le départ de l'érosion linéaire. De même que tout aménagement hydraulique situé à proximité de la parcelle (canaux d'irrigation, fossés, tranchées de déviation...), qui, s'il est mal réalisé, peut détruire le sol au lieu de le protéger. Cependant, le rôle que peuvent jouer des événements climatiques plus exceptionnels est à prendre en compte : pour être rares, ils n'en sont pas moins les plus décisifs en matière d'érosion...

### 1.2.3.) Les mouvements de masse

Les mouvements de masse sont tous localisés sur de fortes pentes (> 60%) et/ou à des ruptures de pente. Le facteur topographique semble donc jouer un rôle prépondérant. Cependant, la cause des mouvements de masse réside dans un déséquilibre entre d'une part, la masse de la couverture pédologique, de l'eau qui s'y trouve stockée et des végétaux qui la couvrent et d'autre part, les forces de frottement de ces matériaux sur le socle de la roche altérée en pente sur lequel ils reposent (Roose, 1994, p. 239).

Une observation plus fine de la localisation des glissements dans notre zone montrent que ceux-ci sont presque toujours associés à la présence de deux autres facteurs. Il s'agit soit de la présence de canaux d'irrigation plus ou moins isohypses amenant l'eau du *páramo*, soit de traces de surpâturage, se notant par l'apparition de terrassettes sur les versants en pentes fortes.

#### a) Le rôle des canaux d'irrigation

La présence de canaux d'irrigation explique notamment l'alignement des glissements situés en altitude (*Payurcu Cerro, Loma seca*), et en zone de culture (*Quebrada Lirio, San Francisco alto*). Dans ces cas, le départ du glissement se situe juste en-dessous du canal. Il semblerait qu'une intense circulation d'eau dans les macro-porosités du sol serait capable de décoller la masse superficielle du sol à partir d'une discontinuité

pédologique (Roose, 1994, p.241) : dans ce cas, l'horizon d'altération de cendres volcaniques compact et plus imperméable.

La présence de canalisations d'eau creusées directement dans le sol peut donc entraîner des infiltrations suffisantes pour saturer le sol en eau en des endroits localisés et/ou fragilisés.

D'autres fois, c'est encore une mauvaise gestion des ressources par l'homme qui peut provoquer ce résultat. Au cours d'une enquête, un agriculteur a expliqué la présence d'un glissement sur sa parcelle par ce facteur : les agriculteurs ayant un canal d'irrigation traversant leur parcelle avaient l'habitude de l'ouvrir pour irriguer leur pâturage en saison sèche. Ils laissaient l'eau ruisseler ainsi plusieurs jours durant sans contrôle. C'est ainsi que, selon lui, se sont formés plusieurs des glissements localisés autour de San Francisco.

### ***b) Le rôle du surpâturage***

On peut remarquer également sur la carte de localisation des formes d'érosion, une étroite corrélation entre les zones présentant des formes de dégradation par surpâturage (formation de terrassettes sur les pentes raides) et les mouvements de masse (notamment le long du *Rio Bobo*, à l'est de *La Libertad*). Le piétinement du bétail a pour conséquence de déstabiliser des sols déjà morphologiquement instables. En effet, le sol sera compacté le long des voies de passage préférentiel, ce qui entraînera des différenciations de la circulation de l'eau dans le sol : l'eau aura tendance à s'infiltrer dans les zones les moins compactées. A cette fragilisation, s'ajoute le poids du bétail qui peut provoquer des contraintes de cisaillement, pression qui peut entraîner le décollement du substrat.

## **2°) Les formes de dégradation en milieu naturel (*páramo*)**

Nous verrons ici quelles sont les formes de dégradation possibles du *páramo* naturel, c'est-à-dire le *páramo* typique à *Frailejon*, liées à son utilisation par les communautés. En effet, le *páramo* n'est pas un espace vide et inutilisé : il est au contraire un espace exploité depuis longtemps de façon extensive (certains auteurs, comme Schnell R. pensent même qu'il s'agit d'une forme de dégradation anthropique de la forêt andine, en tout cas sur ses marges). Cependant, il s'agit d'un milieu écologique garant d'importantes ressources naturelles, dont il est important de connaître les limites d'utilisation.

### **2.1.) Destruction de la végétation**

La végétation naturelle du *pajonal*<sup>7</sup> est bien couvrante, même si l'expérience de simulation de pluie décrite ultérieurement montre que ruissellement et érosion se manifestent pourtant sous couvert végétal naturel. En effet, la végétation herbacée du *páramo* est elle-même stratifiée :

---

<sup>7</sup> *Pajonal* : milieu caractéristique du *páramo* composée en majorité de Graminées (*paja* = paille)

- une première strate (de 0 à 2-3 m) est constituée par la flore dominante : *Frailejon* (*Espeletia* sp.).
- une strate intermédiaire constituée de la Graminée majoritaire, la *paja* (*Stipa ichu*), qui se présente sous forme de touffes juxtaposées, de 50 à 70 cm de haut et d'un mètre de diamètre, ainsi que d'autres Graminées (*Calamagostis*, *Festuca*).
- une strate herbacée basse (0-10 cm), couvrant plus ou moins le sol entre les touffes de *Stipa ichu*, composée de Lycopodes, mousses et divers Graminées.

Les formes de dégradation de la végétation naturelle que l'on rencontre le plus souvent sont les suivantes :

- **le brûlis** : la Graminée principale (*Stipa ichu*), lorsqu'elle est à maturité, est peu consommée par le bétail car elle contient une forte teneur en silice. Le but du brûlis est d'éliminer la paille ancienne et de provoquer la repousse d'un regain plus tendre et plus appétant pour le bétail. Cette technique du brûlis est très ancienne et peut être bénéfique pour l'élevage, si elle est bien contrôlée – ce qui n'est pas toujours le cas. En revanche, répétée trop souvent, elle entraîne une disparition de la végétation arbustive (le *matorral*), déjà très minoritaire, et expose le sol à des risques élevés d'érosion en laissant le sol à nu. De plus, ils détruisent la faune du sol (vers de terre) qui joue un grand rôle dans sa porosité, et entraîne la compaction de l'horizon superficiel.
- **la transformation en pâturages** : cette modification de l'écosystème survient généralement après le brûlis, lorsque son propriétaire a décidé de maintenir sa propriété en état de pâturage. La juxtaposition de pâturages et de *páramo* naturel est très fréquente dans la zone de colonisation agricole (vers 3400-3500 m), aussi bien dans les zones d'haciendas, que de minifundio. Certains pâturages sont composés de Graminées naturelles (*pasto natural*), d'autres sont améliorés à l'aide de plantes fourragères (*pasto sembrado*), notamment, le *Ray-grass* (*Lolium* sp.), le *Pasto azul* (*Dactylis glomerata*), ou le trèfle (*Trifolium repens*).
- **la destruction de la végétation ligneuse** : la carence en bois de chauffe est caractéristique du milieu andin, et l'est également de la région de *La Libertad*. En effet, en-dehors de l'important réseau de haies encadrant les parcelles, la végétation ligneuse a quasiment disparu du paysage. A l'intérieur de la zone cultivée, même l'intérieur des *quebradas* est défrichée pour les cultures (*desmonte*). Certains bosquets d'une espèce endémique du *páramo*, le *Colorado* (*Polylepis*) ont presque entièrement disparus. Ce bois était utilisé pour la construction des clôtures et cette espèce est aujourd'hui vigoureusement protégée par le règlement de la Réserve Ecologique.
- **les plantations commerciales** : Ce type d'usage du sol est typique des haciendas et se développe depuis quelques années. Il correspond à la recherche de nouveaux débouchés du *páramo* par les grands propriétaires. Nous avons observé deux types de plantations :
  - sur l'hacienda « *El Salado* » : plantation de pins sur le versant du *Payurcu Cerro*, jusqu'à la limite de la Réserve
  - sur l'hacienda « *Inti Huasi* », située au nord-ouest du bassin (hors zone d'étude) : plantation d'un type vénézuélien de *Frailejon*, cultivé pour sa fleur (appelée commercialement « *la flor d El Angel* ») et exportée à l'étranger (production très confidentielle, car représente un intérêt commercial énorme).

## 2.2.) Dégradation des sols

La dégradation des sols de *páramo* a été mesurée par une équipe de l'Orstom (Poulenard & al., 1998) dans une station située à 3350 m (secteur du *Voladero*). Pour connaître les effets de la pluie sur différents types d'usage du sol, on procède à l'expérimentation par simulation de pluie.

La simulation de pluie permet d'observer le comportement de la surface du sol en faisant varier la durée et l'intensité de précipitations simulées au-dessus d'une parcelle de 1 m<sup>2</sup>. Cette expérience permet de déduire le coefficient de ruissellement et les pertes en sol en recueillant à l'exutoire de la parcelle l'eau de ruissellement et les charges solides qu'elle contient.

### a) Protocole expérimental

- on a choisi un site présentant, à peu de distance, une zone de *páramo* naturel, une parcelle cultivée (en période de jachère) et une parcelle récemment labourée. On peut ainsi mesurer le comportement du sol en fonction de différents états de surface (couvert naturel, labour, sol en période de jachère); pour que les expérimentations soient représentatives, on fait une simulation sur trois parcelles différentes pour chaque type d'occupation du sol.
- Pour chaque parcelle, on effectue une série de simulations de pluie espacées dans le temps comme suit : T, T+3 h, T+12, T+24 h. pour laisser le sol ressuyer entre deux simulations. Chaque pluie est constituée d'une succession de 6 intensités de pluies, dont les valeurs sont les suivantes :

Intensité	Durée	Pluie utile
20 mm/h	15 mn	5 mm
27 "	"	6,75
50	"	12,5
70	"	17,5
90	"	22,5
120	"	30

### b) Résultats obtenus et interprétation

Les graphiques (voir en annexes) décrivant les résultats montrent que:

- les **coefficients de ruissellement** (KRu en %) sont assez faibles (entre 2 et 17%) à la première simulation de pluie et augmentent ensuite (entre 10 et 40 %) sur les sols de *páramo* naturel . (En effet, le sol est à l'origine quasiment saturé et le déficit de saturation est faible. Ainsi les variations de l'intensité du ruissellement sont en fait fonction des précipitations antérieures (Poulenard & al., 1998))
- Par contre, ce coefficient est compris entre 20 et 40 % à la première simulation pour sols labourés et cultivés, augmente pour T+3h à 60-75 %, mais diminue (50-

65%) pour les sols cultivés et continue à augmenter pour les sols labourés (70-85%).

Le taux d'infiltration du sol diminue donc de moitié lors de la destruction de la couverture végétale et de la mise en culture du sol. Cependant, il reste encore à expliquer pourquoi K<sub>Ru</sub> continue à augmenter sur sol labouré alors qu'il diminue sur sol en jachère...

- Les pertes en sol <sup>8</sup>(P<sub>s</sub> en g) augmentent, quant à elles, de manière exponentielle avec la suppression de la couverture naturelle, mais sont réduites et relativement constantes pour les sols laissés à l'état naturel (de 3 à 10 g de terre perdue par simulation de pluies). Par contre, pour le sol fraîchement labouré, elles passent de 10-25 g pour P<sub>1</sub> à 25-180 g pour P<sub>4</sub>. Elles sont nettement supérieures pour les sols anciennement cultivés : de 85-95 g pour P<sub>1</sub> à un maximum de 650-800 g pour P<sub>3</sub>.

Ces derniers résultats montrent que la mise en culture rend les sols considérablement plus sensibles à la « détachabilité » des particules du sol (facteur 10 pour P<sub>1</sub> à facteur 100 pour P<sub>4</sub>), non seulement par la perte de la couverture végétale naturelle, mais aussi par la modification de leur caractéristiques physiques.

En effet, sur sol labouré, on obtient des pertes en terre beaucoup plus limitées que sur sol cultivé. cela signifie que le sol récemment labouré, ayant conservé encore toutes les caractéristiques physico-chimiques du sol « naturel », ne montre, par ces pertes que l'action de la perte en couverture végétale. Alors que les différences de détachabilité entre sol labouré et sol cultivé impliquent la perte de certaines caractéristiques permettant à ces sols de résister à l'érosion.

En effet, à l'état naturel, l'horizon humifère de ces sols a une grande capacité de rétention en eau (jusqu'à deux fois son poids sec) et une structure en micro-agrégats très favorable à l'infiltration. Lors de sa mise en culture, la surface du sol est exposée au rayonnement direct du soleil et subit une dessiccation irréversible et devient progressivement hydrophobe. En effet, une expérience a été menée sur des échantillons de sol du *páramo* et montre les effets du séchage sur la recharge en eau (voir tableau): la capacité de rétention en eau de ce sol diminue au fur à mesure de son séchage (de 170 % d'humidité au début de l'expérience à 56 % seulement après 120 heures de séchage et réhumectation).

Le résultat de la mise en culture est que les agrégats de surface deviennent de plus en plus hydrophobes. Or, les agrégats secs de l'horizon andique ont une densité apparente très faible (< 0.7), et peuvent être très facilement entraînés par flottaison sur la lame d'eau.

---

<sup>8</sup> Il faudrait mieux parler dans ce cas de « processus de détachabilité » que de perte en sol, car l'un signifie seulement « exportation du matériel » et l'autre, perte définitive de sol pour la parcelle, donc érosion au sens propre (Poulenard, 1998).

### 3°) Conclusion

En conclusion de ce chapitre, il est important de faire ressortir les faits suivants :

- les signes les plus évidents d'érosion (décapage de l'horizon organique jusqu'à l'horizon d'altération) se situent dans la zone basse, de colonisation agricole ancienne, et dans la zone touchée par la Réforme agraire, sur les plus fortes pentes.
- elle se poursuit ailleurs, bien qu'elle soit peu perceptible en raison de l'épaisseur de l'horizon organique et de la grande stabilité des sols.
- le décapage de l'horizon organique est dû aux effets simultanés de l'érosion en nappe (migration des agrégats du sol par « flottage » sur la lame d'eau et par l'effet de la gravité) et par érosion mécanique sèche (déplacement de la terre par les outils aratoires).
- l'érosion linéaire existe, bien qu'elle soit souvent limitée par le billonnage du sol : elle est souvent due à l'existence de surfaces imperméables concentrant le ruissellement.
- l'érosion en masse est un phénomène fréquent, lié à la présence de fortes pentes, de canaux d'irrigation ou de sur-pâturage.
- Les principaux facteurs jouant ici sur l'apparition sont donc la pente et l'utilisation du sol.

Quant au *páramo* non cultivé, il subit de nombreuses formes de dégradation qui induisent des effets directs et indirects sur le sol et la végétation qui le composent. Ces dégradations peuvent avoir des conséquences sur l'équilibre de l'ensemble du bassin (notamment, pertes des ressources en sol et en eau).



Photo. 5 : Parcelle de petits-pois montrant un fort décapage de l'horizon organique et de fortes différences de croissance des cultures (*Santo Domingo*, 3200 m)



Photo.6 : Vue sur une rigole formée par le ruissellement provenant d'un chemin (*El Carmen*, 3300 m)



Photo. 7 : Aspect typique de l'érosion par décapage sur les sols de la zone de colonisation agricole (*El Lirio*, 3400 m)



Photo.8 : Glissement en « coup de cuillère » au bord de la *quebrada El Lirio*, partiellement colonisé par des cultures (3200 m)

## Chapitre III Propositions de gestion et de conservation des sols

Nous venons de voir quelle était la situation de la région de *La Libertad*, en terme d'occupation du sol et de dégradation des sols et du páramo. Connaissant mieux les logiques de ce système agro-pastoral andin, nous pouvons rechercher à présent les solutions qui se présentent en vue de proposer une gestion conservatoire des sols et des écosystèmes. Il existe en effet dans cette région une organisation qui pourrait mettre en pratique ces mesures.

### 1°) Les organismes chargés du développement de la zone

Durant cette étude dans le Carchi, nous avons pu bénéficier de l'aide et du soutien d'une organisation équatorienne présente depuis plusieurs années et ayant déjà réalisé de nombreuses études caractérisant la région. Il s'agit du « *Consortio Carchi-EcoRegion Rio El Angel* », qui s'est formé autour d'un projet commun de développement associant différents organismes. Leur projet global est de promouvoir à long terme une **gestion durable des ressources naturelles du bassin-versant d'El Angel**.

A partir de cette thématique globale, chaque institution participant à ce projet contribue à apporter l'éclairage propre à sa spécialité. Une réunion de concertation organisée chaque mois permet aux différents partenaires de se rencontrer et d'échanger leur point de vue.

La première phase de travail de ce Consortio était de constituer une base de données complète grâce aux résultats des recherches que les différents partenaires ont mené sur la zone dans leur domaine propre. A cette phase d'« approche » qui s'achève actuellement, doit succéder une phase de concrétisation, avec la mise en place des projets de développement.

Parmi les différents partenaires impliqués, on compte des institutions locales (municipalités), nationales et internationales. Pour en citer quelques-unes (liste non-exhaustive !), on trouve :

- FUNDAGRO (Fondation pour le développement agro-pastoral) qui, tout en jouant un rôle d'assistance technique aux petites exploitations laitières, mène également un travail de recherche important sur tout le système de production « lait-pomme de terre » de la zone haute.
  - CONDESAN (Consortium pour le développement durable de l'éco-région andine)
  - CIP (Centre International de la Pomme de terre)
  - INIAP (Institut national de recherche agro-pastorale)
  - FLACSO (Faculté latino-américaine de Sciences Sociales)
- (et encore bien d'autres...)

L'ORSTOM (Institut français de recherche scientifique pour le développement en coopération) participe aux réunions de concertation depuis quelques mois et envisage les bases d'une collaboration, centrée notamment sur une recherche concernant les *páramos* (caractérisation, formes de dégradation).

Les travaux réalisés jusque là par le *Consortio Carchi* sont donc avant tout des travaux de recherche et de caractérisation du milieu, à la fois d'un point de vue agronomique écologique que socio-économique. Citons par exemple, des études de cas ethnographiques de différentes communautés de la région, un rapport sur la qualité de l'eau, une vaste enquête réalisée par la FLACSO sur les caractéristiques socio-économiques de la population, des bases de données numériques sur la végétation et l'usage du sol (Ecociencia). Ce rapport s'insère donc dans la continuité de ce travail de diagnostic du milieu et pourra contribuer à donner un aperçu de la situation de la ressource « sol » dans la zone haute du bassin.

Il s'agit donc d'un projet de développement global et participatif (tenant compte de toutes les données du milieu) qui devrait déboucher de cette phase préparatoire.

## 2°) La lutte anti-érosive en montagne

L'objet de ce rapport n'est pas uniquement de décrire une situation critique en terme de conservation des sols et de mettre en évidence les facteurs responsables ou de dénoncer certaines pratiques néfastes pour les sols : il faudrait être également en mesure de proposer des solutions alternatives ou conservatoires. Cependant, il faut être en même temps extrêmement modeste et prudent dans ce domaine. En effet, l'expérience de nombreux organismes luttant pour la conservation des sols est très révélatrice. A travers le monde, de nombreux programmes de lutte anti-érosive ont été voués à l'échec, souvent pour une même raison : la méconnaissance du contexte socio-culturel. Celui-ci est d'autant plus important que de nombreuses missions se situent dans des pays en voie de développement. Je me retrancherai donc derrière l'opinion de personnes ayant une grande expérience en la matière tel que les chercheurs de l'ORSTOM ayant travaillé de nombreuses années à l'étranger (Roose E., De Noni G. Viennot M.).

Parmi quelques règles de base, il faudrait, dans un programme de conservation des sols:

- éviter de transplanter directement des techniques de lutttes anti-érosives adaptées aux pays développés à des pays en voie de développement ;
- stabiliser les sols, tout en gérant l'eau et la fertilité des sols (objectif de la GCES : Gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols (Roose, 1994,p.5))
- emporter l'adhésion des communautés locales.

Pour ce dernier point, il faut préciser que cet objectif ne peut être réalisé qu'à certaines conditions :

- éviter des aménagements trop lourds et demandant trop de travail supplémentaire : ils seraient vite abandonnés par les paysans ;
- si possible, combiner les techniques de lutte anti-érosive avec des techniques améliorant immédiatement la fertilité. En effet, un agriculteur ne consentira à des efforts supplémentaires que s'il bénéficie en retour d'une meilleure productivité.

Les enquêtes menées avec les paysans de *La Libertad* montrent les points suivants :

- peu sont sensibilisés au problème d'érosion et répondent par la négative lorsqu'on leur demande s'ils ont des problèmes d'érosion sur leur terrain. Nous avons pensé ensuite que cela était dû au caractère un peu trop « scientifique » du terme. En effet, en reposant la question en utilisant des péri-phrases, on obtenait d'autres réponses, mais minimisant toujours le phénomène : soit c'est chez les voisins, soit c'est ainsi depuis toujours... Peu admirent d'emblée avoir observé des problèmes d'érosion sur leurs parcelles, à part certains jeunes agriculteurs progressistes.
- A la question : « quelles sont selon vous les causes de l'érosion ? », beaucoup sont sans opinion (6/16), les réponses venant ensuite sont : le labour de la terre (6 réponses), la pluie et la pente (5 réponses). Pour les jeunes agriculteurs cités précédemment, il s'agit surtout d'un mauvais usage général de la terre.
- A la question : « Souhaiteriez-vous connaître quelques techniques de lutte contre l'érosion ? », tous répondirent par l'affirmative. Encore faut-il être prudent dans l'interprétation de cet enthousiasme : il peut s'agir de simple politesse devant l'enquêtrice... Cependant beaucoup d'entre-eux admirent ne pas « savoir » cultiver, et ne suivent que la « voie de la facilité » ou de l'habitude. Les paysans de *La Libertad* semblent donc très avides de connaissance et de formation en ce domaine, mais également dans celui fertilisation (domaine dans lequel leur pratique est très empirique), mais la question est de savoir s'ils sont réellement prêts à les mettre en pratique...

Sur l'ensemble des paysans enquêtés, seuls deux cherchaient à améliorer la conservation du sol sur leurs terrains. L'un avait réalisé, à proprement parler, des ouvrages anti-érosifs, tandis que l'autre se contente d'opter sciemment pour des techniques culturales traditionnelles. Tous deux affirment ne plus avoir de problèmes d'érosion.

Il nous semble donc intéressant de décrire plus précisément leur cas.

## **2.1.) Etude de cas**

### **2.1.1.) L'adoption de techniques traditionnelles : le cas de José Alonso Poso**

Alonso Poso est un agriculteur que l'on peut qualifier de progressiste, habitué à travailler avec les agronomes de FUNDAGRO, cité dans les rapports de CONDESAN : il est donc un personnage « incontournable » pour qui cherche à connaître les pratiques culturales traditionnelles...

Située à 3480 m d'altitude<sup>9</sup>, la ferme de cet agriculteur est la seule rencontrée à cette altitude. Pour lui, il n'y a donc dissociation entre le lieu de travail et de résidence. Il est propriétaire de 9 ha de terrains (en un seul tenant) dans le *páramo* depuis 15 ans, dans un secteur de *La Libertad* que nous avons décrit comme étant une large terrasse. Le relief est peu accusé sur les terrains qu'il possède : les pentes (15-20%) ne sont donc pas un facteur contraignant dans son cas.

Le système d'exploitation qu'il utilise associe le pâturage, la culture de pommes de terre et la pisciculture. A l'instar des autres paysans de cette zone, il pratique un

---

<sup>9</sup> Se reporter à la synthèse des enquêtes en annexes : cet agriculteur correspond à l'enquête n°1.

assolement sur son terrain : chaque « sole » subit une rotation classique à cet étage : 2 récoltes de pommes de terre (1 an) succédant à 3 ans de repos pâturé. Au moment de notre visite, il avait 2 ha cultivés, 4 ha de *Ray-grass*, 3 ha en jachère.

La spécificité de cet agriculteur réside surtout de son choix de conserver certaines techniques traditionnelles. Le labour est réalisé à l' *asadon*, ou à l'araire. Il affirme qu'il « ne laissera jamais entrer un tracteur sur son terrain », qui, selon lui, « abîme trop la terre ». De plus, il pratique une forme de labour en billon typique des Andes, appelé ici « *huachos remangados* », qui consiste, après repos pâturé, à retourner la terre en enfouissant le gazon (Photo.9, pl.V). Nous décrivons cette technique plus loin, à propos des solutions agronomiques au niveau de la parcelle.

Cette technique semble un bon moyen de contrôler à la fois l'érosion et la fertilité, car cet agriculteur n'a remarqué ni perte en terre, ni baisse de la productivité...à condition, dit-il, de laisser le terrain « se reposer » suffisamment. Ce que beaucoup de paysans de la région ont arrêté depuis l'arrivée des engrais chimiques.

### 2.1.2.) L'adoption d'aménagements anti-érosifs : le cas de Abraham Lobato

Ce jeune agriculteur<sup>10</sup> est également une référence pour les agronomes et O.N.G. travaillant dans la région. En effet, celui-ci est le seul de notre zone d'étude à pratiquer la lutte anti-érosive. Après des pluies particulièrement intenses, il aurait retrouvé « toute la terre de son champ, avec les semences, en bas de son terrain ». Il a décidé de réagir en adoptant depuis 2 ans la technique des terrasses progressives enseignées par les agronomes travaillant avec le *Consortio Carchi* et semble très satisfait des résultats obtenus.

Il possède, quant à lui, quelques hectares répartis à différents étages dans La Commune de *La Libertad*, dans la zone basse, moyenne et haute. Toutes ces parcelles sont équipées d'un système de terrasses qu'il a tracées soit à l' « œil », soit avec le « niveau A ». Nous avons pu visiter les parcelles situées dans le páramo, à 3400 m d'altitude, et celle de la *Loma Pusto* à 3300 m (Photo. 10 et 11): la première est cultivée en pommes de terre et la seconde en fèves. Toutes sont situées sur des pentes assez accusées (35 à 50%).

Pour créer ces terrasses, il a creusé des rigoles isohypses permettant l'infiltration ou le drainage de l'eau en excès. Chacune est bordée d'une bande enherbée, qui permet, à la longue, l'accumulation de la terre entraînée par la pluie ou le travail du sol et la formation de talus. Chaque talus est séparé d'une dizaine de mètres. De ce fait, la pente des terrasses est toujours forte entre les talus, mais tendra peut-être à se modifier avec le temps. Il admet que la terre « descend » toujours, mais au moins reste-t-elle bloquée au niveau des bandes enherbées. Le problème vient surtout de la protection de ces talus. En l'absence de matériaux de construction dans cette zone (ni roches, ni *cangahua* indurée), son talus ne peut pas être consolidé par un muret de soutènement. Sur la parcelle située dans le páramo, le rebord du talus est (assez mal) protégé par quelques touffes d'herbe et autres débris végétaux. Il a également laissé quelques buissons disséminés sur les terrains, mais, n'étant pas alignés au niveau du

<sup>10</sup> se reporter à la synthèse des enquêtes en annexes : enquête n°4.

talus, ils ne peuvent pas être très efficaces pour protéger le talus. Ils peuvent au moins servir de coupes-vent et protéger localement le sol.

Plus en aval (*Loma Pusto*), les bandes enherbées sont bien plus efficaces, car mieux développées. De plus, il a planté de jeunes alisiers (*Alnus jorullensis*) au pied du talus. Une fois développés, il y aura alors formation d'une haie-vive.

Bien qu'à ses débuts, Abraham Lobato est déjà très satisfait des résultats obtenus. La terre est retenue, du moins au niveau des talus, l'infiltration des précipitations est améliorée et le sol garde son humidité plus longtemps. En résultat de cela : sa production augmente... Les seuls inconvénients viennent du travail supplémentaire que lui a donné la construction des terrasses et de l'impossibilité d'utiliser le « tracteur » ; tout le travail doit ensuite y être manuel... Deux bonnes raisons pour décourager beaucoup d'agriculteurs de la région !

Débutant dans le domaine de la conservation des sols, ce jeune agriculteur admet avoir encore des améliorations à faire et est très demandeur en conseils. Dans le cadre d'un programme de gestion durable des sols, il serait très important d'appuyer son initiative qui – rappelons-le- est la seule dans la zone que nous avons étudiée.

## **2.2.) les « solutions » agronomiques au niveau de la parcelle**

Dans cette partie, nous approfondirons certains aspects plus « agronomiques » en mettant en évidence l'influence sur le sol des pratiques culturales utilisées à *La Libertad*. En effet, nous pensons que certaines d'entre-elles peuvent, à elles seules, être responsables d'une grande dégradation des sols ou au contraire d'une plus grande résistance à l'érosion.

Autre intérêt : ce sont les procédés les plus accessibles aux paysans souhaitant lutter contre l'érosion par leurs propres moyens (sans passer par un programme étatique ou international), les plus évidents et souvent les moins coûteux en temps et en argent.

### **2.2.1.) le travail du sol**

Le travail du sol, comme nous l'avons vu dans le deuxième chapitre, partie « facteurs de l'érosion », joue un grand rôle sur le contrôle du ruissellement et donc de l'érosion en modifiant la rugosité du sol. Il est sans doute également responsable d'une grande perte en terre par simple « érosion mécanique sèche ».

Pour cette raison, nous avons cherché à savoir par les enquêtes, quelles étaient les techniques utilisées par les paysans et les raisons de leur choix. En résumé, sur 15 réponses obtenues, 8 utilisent uniquement les techniques traditionnelles (araire et/ou *asadon*), 1 seul utilise uniquement le « tracteur », 5 utilisent l'une ou l'autre des techniques. Le niveau technologique semble donc relativement élevé. Les raisons invoquées pour le choix de l'une ou l'autre des techniques sont les suivantes :

- selon la topographie : on ne peut pas labourer au tracteur sur les pentes fortes (6 réponses sur 15). La topographie constitue donc l'obstacle majeur à la mécanisation.

- selon le niveau économique (2 réponses) : « faire venir le tracteur » de la coopérative ou de l'hacienda coûte cher et les paysans ne sont pas toujours à même de payer.
- Deux autres réponses « atypiques » viennent des paysans progressistes cités plus haut : ils sont les seuls à avoir **renoncé** au « tracteur », indépendamment des facteurs topographiques ou économiques.

Nous verrons ici les différents types de labour utilisés à *La Libertad*, leurs effets sur le sols et les conditions sous lesquelles les utiliser.

#### a) *Le labour manuel*

Ce type de labour est encore très utilisé à *La Libertad*, comme l'ont montré les enquêtes, soit pour des raisons économiques, soit en raison de la topographie. Nous avons observé deux types de labour manuel, sans doute complémentaires.

Le premier est appelé localement « *huachos remangados* » (ou billons retournés) et repose sur une technique courante dans les Andes<sup>11</sup>, que P. Morlon appelle « labour en billons avant plantation » (Morlon P., 1992, p.61). Cette technique consiste à labourer le gazon après plusieurs années de repos pâturé, en formant de longues bandes que l'on retourne ensuite sur le gazon intact. L'herbe pourrit donc à l'intérieur de ce billon et permet de concentrer la matière organique au niveau de ce double gazon enterré. Les semences de pommes de terre sont ensuite enfouies au niveau de ce billon surélevé.

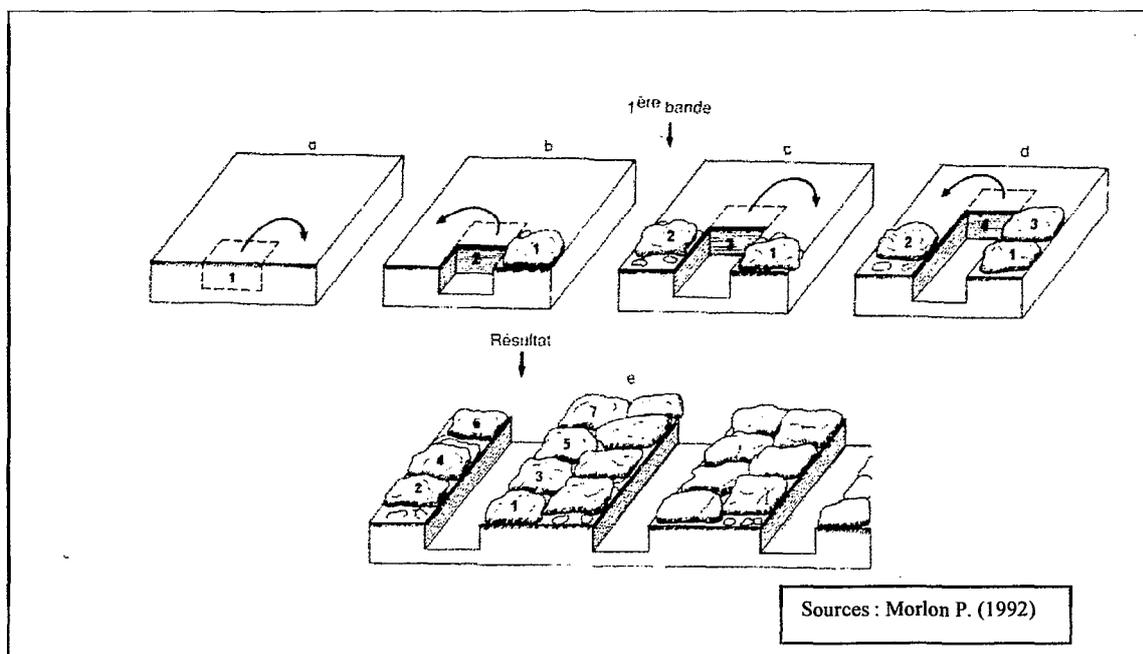


Figure 18 : *Labour en billons après repos pâturé (retournement d'1/3 de la surface)*

<sup>11</sup> Cette technique existerait également dans le nord-ouest des Iles Britanniques, où elle s'appellerait « lazy-beds » (Morlon P., 1992, p.56). En tout cas, elle semble adaptée aux climats froids et humides.

Les avantages de cette technique sont les suivants :

- la matière organique est concentrée à l'endroit où les cultures en ont le plus besoin ;
- le travail du sol est limité : seul 1/3 à 2/3 de la surface est travaillée (Morlon, p.61), ce qui réduit d'autant le temps de travail ;
- les billons sont généralement orientés dans le sens de la pente, ce qui permet de contrôler à la fois l'écoulement de l'excédent d'eau ainsi que de l'air froid (évite la création de « poches » d'air froid au niveau des billons et donc des risques de gelées). Signalons que cette technique est caractéristique de l'étage de *páramo* où les pluies et les gelées sont fréquentes.
- Même si les billons sont dans le sens de la pente, il n'y a pas pour autant accroissement des risques d'érosion, car la surface de l' « inter-billon » n'a pas été ameublie par le labour et présente une forte rugosité.
- Enfin, contrairement aux autres formes de labour, il n'y a pas entraînement progressif de la terre vers l'aval à chaque travail du sol : la terre utilisée pour former le billon retournera dans la zone creusée lorsque les billons seront détruits pour récolter les pommes de terre.  
L'érosion mécanique ne se produit donc pas par ce type de procédé agricole.

Si ce procédé est utilisé pour « former le terrain » après la jachère pâturée, au second cycle cultural, on pratique ce qui s'appelle dans le *Carchi*, le « *huacho sencillo* » ou **labour simple**. Le paysan ameublit juste le sol et forme des billons perpendiculaires à la pente en tirant le sol du haut vers le bas avec l'*asadon*. Il y a dans ce cas perte progressive de terre à l'amont par érosion mécanique.

En revanche, nous avons vu que les billons sont très efficaces pour contrôler l'érosion linéaire. Ce qui est surprenant, c'est le changement d'orientation des billons sur un même terrain : on peut ainsi voir deux parcelles contigües avec ces deux types de labour. Les paysans ont-ils constaté que le sol, une fois travaillé, résistait beaucoup moins à l'érosion et nécessitait des billons isohypses ?

### ***b) Labour à l'araire***

La traction animale est encore très utilisée pour les travaux agricoles (Photo.12, pl. VI). Cependant, contrairement à la houe, l'araire ne peut ni ouvrir le tapis végétal après une longue jachère (surtout si le sol a été compacté par le bétail), ni enfouir le gazon. Il est donc principalement utilisé sur les terres du piedmont où les jachères sont moins fréquentes et moins longues. Il sert alors uniquement à ameublir le sol avant l'ensemencement et à préparer le lit de semence.

Le travail à l'araire s'effectue en courbes de niveau et tend à déverser la terre toujours dans le sens de la pente.

### ***c) Labour mécanique***

L'utilisation du tracteur dans la région de *La Libertad* est arrivée dans les années 60 et a débuté dans les haciendas, avant de se répandre chez les petits agriculteurs. Il est aujourd'hui normal pour eux d'utiliser le tracteur partout où c'est possible (à part pour

les plus pauvres). Le manque de chemin d'accès limite encore son utilisation, notamment dans les terres les plus éloignées et celles touchées par la réforme Agraire. La mécanisation lourde, si elle représente un gain énorme de productivité pour les paysans, n'a pas que des conséquences positives.

Les parcelles étant généralement allongées dans le sens de la pente, le labour se réalise alors de l'amont vers l'aval, et vu la puissance et la profondeur du travail, le décapage par érosion mécanique est sans doute le plus rapide et le plus visible sur les parcelles cultivées au « tracteur ».

De plus, les roues du tracteur ont un impact bien connu de compaction du sol qui entraîne la formation d'une « semelle de labour » en profondeur. Celle-ci rend l'infiltration des eaux de pluies beaucoup plus difficile, ce qui peut être une cause de départ d'érosion en nappe, lorsque cette « semelle de labour » est proche de la surface.

Des effets directs sont également visibles, comme le cas que nous avons décrit dans le secteur d'El Carmen : le passage systématique du tracteur du chemin à la parcelle, ou le long de la parcelle, forme une zone de concentration du ruissellement. Il faudrait donc toujours créer au niveau des zones de passage, des rigoles ou fossés de déviation, détournant le ruissellement à l'extérieur de la parcelle.

En conclusion à ce chapitre sur les techniques de labour, on peut donc dire que les techniques de travail minimal sont les moins nocives pour le sol, tant qu'elles sont associées à un modelé du sol en billons. Cependant, elles sont également responsables du départ du sol par érosion mécanique.

Les solutions contre cette forme d'érosion peuvent être préventives lorsque la *cangahua* n'est pas encore affleurante :

- Eviter le travail du tracteur dans le même sens. Par exemple, alterner le sens de passage du tracteur (de l'amont vers l'aval et de l'aval vers l'amont), ainsi que dans le sens des courbes de niveau, lorsqu'il n'y a pas trop de risques de retournement du tracteur. Pour le travail manuel, sur de fortes pentes, il serait bon de conseiller la même chose, bien que le travail coûterait beaucoup plus d'énergie à l'agriculteur.
- Eviter le travail profond de la terre : la charrue à soc déplace plus de terre que l'araire ou l'*asadon* (Roose, 1994, p.85) ;
- Traiter différemment les zones convexes de la parcelle ou les ruptures de pentes qui sont les plus sensibles au décapage.
- Développer la mécanisation légère adaptée à l'agriculture de montagne, qui est certainement moins perturbante pour les sols.

Lorsque l'érosion mécanique est déjà apparente, il faut combiner ces mesures préventives à des mesures de réhabilitation : par exemple, la mise en « défens » des zones les plus dégradées afin de les laisser se reconstituer sous couvert herbacé (nous avons un exemple de parcelle où l'agriculteur laisse ainsi une bande de gazon au milieu de son terrain). On peut également accélérer le processus en amenant de la terre du bas de la parcelle ou d'ailleurs.

## 2.2.2.) La rotation des cultures

Nous chercherons à présent à voir comment le système de rotation des cultures peut être un facteur de risque ou au contraire de contrôle pour l'érosion des sols. Nous avons vu qu'il existe en fait deux systèmes de rotation à l'intérieur de la zone du bassin d'*El Angel*, qui sont dictées par les conditions du milieu.

- le premier est un cycle faisant succéder la pomme de terre, différentes céréales (maïs, blé, orge) et légumineuses (petits pois, fèves), soit 3 à 5 ans de cultures continues, suivies d'un repos pâturé de durée variable (de 0 à 5 ans).
- Le second, caractéristique de l'étage climatique du *páramo*, ne fait alterner que la pomme de terre (1 à 2 ans de cultures), parfois quelques tubercules secondaires (oca, melloco) à un repos pâturé souvent plus long (de 2 à 5 ans).

### a) La jachère ou repos pâturé

A notre avis, la durée de la jachère a beaucoup changé depuis l'introduction des engrais chimiques. Le pâturage est encore très présent dans l'utilisation du sol car il fournit une autre source de revenus importants : l'élevage laitier. Beaucoup de paysans semblent considérer que l'engrais pourrait remplacer à lui-seul la jachère. Comme on dit souvent là-bas : « *si le pone mas abono, ya crece la papita* ».

Pourtant en dehors de restaurer la fertilité des sols en augmentant la teneur en matière organique et en nutriments, la jachère permet également de restaurer la structure du sol. Or, nous l'avons vu, les andosols perdent rapidement leur capacité de rétention en eau et deviennent hydrophobes. Ce phénomène pourtant irréversible d'après les travaux de chercheurs de l'ORSTOM (Poulenard & al ; 1998), pourrait peut-être être amélioré par une jachère longue. Il serait sans doute intéressant de mesurer les effets de la jachère sur la structure des andosols et leur comportement hydrique. Pour les paysans, le problème est perçu d'une autre manière : après une année de cultures, le sol devient « poudreux » et l'eau ne s'infiltré plus. Ils sont alors obligés de revenir à la jachère.

Un autre effet positif de la jachère qu'il est important de signaler, même s'il déborde un peu du cadre de notre sujet, est le contrôle des problèmes phyto-sanitaires. Selon P. Morlon, la jachère était déjà utilisée par les peuples précolombiens pour lutter contre les Nématodes (parasites de la pomme de terre) qui seraient éliminés en principe après une jachère de 5 à 6 ans (Morlon, 1992, p.114).

Enfin, un dernier avantage de la jachère est qu'elle assure une bonne couverture au sol (lorsqu'il n'y a pas sur-pâturage) et protège le sol contre l'érosion durant quelques années...

### b) Les cultures

Pour ce qui est des cultures, leur couverture au sol dépend bien sûr de leur stade de développement. Toutes sont relativement couvrantes lorsqu'elles sont à maturité. En revanche, quelque soit leur niveau de développement, la plupart des cultures sont faites sur billons, à part les céréales, relativement peu répandues dans ce secteur.

Couvert végétal et billons suffisent donc généralement à contrôler l'érosion. La période critique en terme d'érosion survient surtout aux périodes intermédiaires, entre la récolte et le cycle cultural suivant ou entre la dernière récolte du cycle et le début du repos pâturé.

- Dans le cas de la récolte des pommes de terre, les billons sont détruits pour ramasser les tubercules. Le sol se retrouve donc sans protection jusqu'au labour suivant. Pour les légumineuses, les billons subsistent après la récolte.
- De même lorsqu'un repos pâturé succède à une récolte de pomme de terre, le sol reste à nu jusqu'à la repousse de l'herbe, ce qui peut prendre plusieurs mois dans le cas d'une repousse spontanée.

Ce sont dans ces derniers cas que nous avons observé la formation d'érosion linéaire.

En résumé, des solutions permettant de contrôler à la fois l'érosion et d'améliorer les rendements seraient les suivantes :

- respecter la durée de la jachère qui permet de renforcer la résistance du sol à l'érosion et de limiter l'usage de pesticides et d'engrais chimiques.
- après récolte de pommes de terre, protéger la surface du sol avec des résidus de cultures, paille (abondante dans le *páramo*) ou autre, quitte à les brûler au moment du labour (les paysans sont très méfiants en ce qui concerne l'utilisation d'engrais verts qui, selon eux, amène des parasites) ou reformer grossièrement les billons afin d'augmenter la rugosité du sol.
- si on souhaite laisser le terrain au repos après la récolte, accélérer la repousse de l'herbe, en semant du Ray-grass ou autre plante fourragère immédiatement après la récolte.

### 2.2.3.) Les aménagements anti-érosifs

Ces simples solutions agronomiques ne sont pas toujours suffisantes pour protéger le sol. Elles peuvent être très efficaces pour des pluies moyennes, mais inutiles face à des événements climatiques plus graves. Il faut alors avoir recours à des aménagements anti-érosifs qui peuvent être simples et efficaces.

#### a) *Les haies et murets*

Le seul aménagement utilisé par les paysans de *La Libertad* qui peut avoir un effet anti-érosif est l'utilisation de haies-vives et de murets isohypses, très répandue dans ce type de paysage bocager. Pour les paysans, ce type d'ouvrage n'est pas lié à un souci de conservation des sols, mais uniquement à la volonté de délimiter le parcellaire. En altitude, dans la zone touchée par la Réforme Agraire, l'usage des haies tend cependant à disparaître au profit des barbelés...

Nous ne nous étendrons pas les avantages des haies-vives qui jouent à la fois comme coupes-vent, réserve en bois, fourrage, régulateur du micro-climat et également comme obstacle au ruissellement et « trappe » à sédiments...

Les murets de *bahareque* ne se rencontrent qu'autour des habitations ; l'absence de matériaux de construction est une limite à l'extension des murets dans cette zone.

### ***b) Les tranchées de déviation***

L'objectif des tranchées de déviation est de protéger une parcelle du ruissellement pouvant provenir de l'amont, que l'on appelle également « phénomènes de reports hydriques » (De Noni, 1997, p.318) liée à la présence d'une surface ruissellante, imperméable (chemin, zone compactée...). Creusée à l'amont de la parcelle, cette tranchée peut ainsi collecter les eaux de ruissellement et les dévier à l'extérieur de la parcelle. Ces ouvrages hydrauliques doivent être réalisés avec prudence, car nous avons vu dans le deuxième chapitre les conséquences graves que pouvait avoir ce type d'ouvrage lorsqu'il était mal conçu. Il suffit d'une légère contre-pente dans son tracé pour que la tranchée se rompe et que le ruissellement se produise au milieu de la parcelle, ou sur la parcelle du voisin.

Cependant, bien réalisé, ces rigoles ou tranchées de déviation sont très efficaces contre l'érosion linéaire et devraient être utilisées en complément d'autres solutions agronomiques et ouvrages anti-érosifs.

### ***c) Les terrasses***

Les terrasses proprement dites, si on en retrouve des traces en Equateur héritées de l'époque pré-hispaniques, sont le plus souvent abandonnées ou détruites par les paysans actuels. Envisager leur constructions à *La Libertad*, dans le cadre d'un projet d'aménagement, est à écarter. En effet, le travail que nécessiterait leur construction ne serait accepté par aucun paysan et il n'y a de plus aucun matériau de construction disponible sur place.

Il faut donc se contenter d'envisager la construction de terrasses progressives, comme celles que nous avons décrites à propos de l'exemple d'Abraham Lobato.

Différents types d'ouvrages anti-érosifs ont été testés par les chercheurs de l'Orstom (De Noni, Viennot, Asseline, 1997, p.296) sur des parcelles de ruissellement. Les mesures de pertes en sol et de coefficients de ruissellement mesurées sur parcelles améliorées et sur parcelles-témoin cultivées et non cultivées ont montré l'efficacité de ce type d'ouvrage. Dans le cas de la station la plus proche de notre zone d'étude (Mojanda), les ouvrages conservatoires testés consistaient en terrasses progressives formées soit à partir de bandes enherbées, soit de murets de mottes de terre avec herbe et racines. Comme dans notre zone, il n'y avait pas de matériaux résistants disponibles. De plus, il s'agissait de matériaux facilement utilisables et s'intégrant bien dans les traditions culturelles locales.

Les résultats obtenus montrent une diminution très importante des pertes en terres et en eau entre les parcelles améliorées et la parcelle-témoin non cultivée (respectivement 720 et 88 fois moins). L'érosion est ainsi ramenée à un seuil acceptable inférieur à 0.4 t/ha/an.

La technique utilisée par A. Lobato est donc la plus efficace et la plus simple à développer dans ce milieu. La limite de la bande enherbée est facile à délimiter avec un niveau A et doit être ensemencée avec une graminée très couvrante. Selon G. De Noni, certaines Graminées telles que le « pasto azul » (*Dactylus glomerata*) ou le « pasto kikuyu » (*Panisetum clandestinum*) ont un fort développement latéral et sont très couvrantes, mais on en revanche un assez faible développement racinaire. Dans notre cas, le problème vient de l'absence de matériaux permettant de consolider le

talus se formant progressivement. Il faudrait donc trouver des plantes ayant une bonne couverture au sol ainsi qu'un réseau racinaire dense pour donner une bonne cohésion au talus. Une graminée encore peu connue pourrait remplir ce rôle, si elle s'adapte au climat du *páramo* : il s'agit du « *pasto lloron* » (*Eragostis curvulo*) (De Noni, Viennot, Asseline, 1997, p.308). Il existe certainement des arbustes locaux permettant de remplir également ce rôle.

Comme une bande enherbée ne stoppe pas entièrement le ruissellement ; il est important de prévoir au pied du talus des fossés d'infiltration évitant que le ruissellement ne se propage plus bas. De plus, il faut prévoir de surélever le rebord du talus pour compenser l'accumulation de terre liée à l'érosion mécanique sèche. Ainsi, à Mojanda, les chercheurs de l'Orstom ont dû rajouter environ 35 cm de mottes de terres par an au dessus du muret initial et obtinrent ainsi un muret d'1.60-1.80 m de haut au bout de 4 ans d'expérience. Cependant, le phénomène se stabilise une fois que le profil de la parcelle forme des terrasses bien individualisées de 10-15% de pente (De Noni, Viennot, Asseline, 1997, p.319).

Un net accroissement de la productivité a été constaté, ce qui confirme l'avis de A. Lobato. Il s'agit donc bien du type d'ouvrage idéal dans une opération de gestion durable des sols cultivés permettant à la fois une bonne conservation des sols, une augmentation de la fertilité, peu d'entretien et s'intégrant facilement dans le milieu agricole andin. Cependant, il suppose l'abandon de la mécanisation, ce qui n'est pas forcément un obstacle incontournable, car, comme nous l'avons vu, les paysans n'utilisent pas le tracteur sur les pentes fortes.

En résumé, les techniques disponibles sont nombreuses et toutes celles que nous venons de décrire sont adaptées au contexte socio-économique de la région de *La Libertad*. Cependant, aucune n'est capable de remédier à la situation de certaines parcelles qui sont cultivées sur des pentes supérieures à 60%, voire même 80%. La seule solution serait dans ce cas de renoncer à toute activité agricole, car même le pâturage risque d'entraîner des glissements de terrain.

Les versants des *quebradas* les plus encaissées devraient au moins être laissés en forêt, car dans un tel contexte (Photo 13 et 14, pl. VII), les cultures ne seront possibles que quelques années avant que la totalité du sol ne soit érodé. Cependant, il faut avoir conscience que si les paysans défrichent de tel endroits, c'est qu'ils n'ont guère le choix.

### 3°) Les limites du développement agricole dans le *páramo*

Il semble en revanche que les terres non-cultivées du *páramo* ne fasse pas l'objet d'un intérêt très grand de la part des agriculteurs. Le front pionnier agricole à presque partout atteint son niveau maximal, c'est-à-dire 3500 m. On a remarqué cependant dans le premier chapitre une zone de minifundio très dispersé se développant au delà de cette limite, dans le secteur *Cuchilla del Mayordomo, Tortola monte*.

D'après les enquêtes, les terres de l'étage inférieur du *páramo* (situées entre 3300 et 3500m) semblent appréciées par les agriculteurs (plus d'humidité, terrains plus « neufs », d'où moins de problèmes phyto-sanitaires, moindre utilisation d'engrais), ce qui en fait de « bonnes terres » pour le pâturage et la pomme de terre.

Il n'en va pas de même pour les terres de l'étage supérieur, désignées dans les enquêtes, par « terres de la Réserve ». Sans prétendre être représentative, cette enquête permet pourtant d'avoir un aperçu des opinions couramment répandues dans la zone.

A la question « Etes-vous intéressé par les terres de la Réserve ? », sur 12 réponses obtenues, 2 seulement sont positives (« il n'y a plus nulle part où s'étendre »), 8 sont catégoriquement négatives (terres éloignées, marécageuses, climat froid...) et 2 sont mitigés : les enquêtés ne souhaitent pas les terres pour eux, mais éventuellement pour leurs descendants. Les terres de la Réserve jouent donc plus un rôle répulsif qu'attractif pour les agriculteurs.

Il nous a semblé important également de connaître l'opinion des paysans sur la Réserve Ecologique. Après enquête, il semble qu'il n'y ait pas de « levée de bouclier » vis à vis de cette Réserve qui s'est créée sur leurs terres. En effet, sur 11 réponses, 9 ne se sentaient pas du tout affectés par la création de la Réserve, 6 y voyaient même un effet positif. Les réponses sont aussi variées que pittoresques et montrent qu'il n'y a peut-être pas eu de médiatisation suffisante de la part des gestionnaires de la Réserve. Les effets positifs de la Réserve sont, selon les agriculteurs : protection de la faune (3 réponses), protection contre le vol du bétail (sic), effets positifs sur le climat (le *páramo* « attire » la pluie). Une seule réponse correspond à l'objectif de la réserve : préserver les ressources en eau du bassin...

2 personnes seulement regrettent de ne plus pouvoir utiliser les terres qu'ils ont acquises sur la réserve, ou de ne plus pouvoir y ramasser la paille, le bois ou d'y laisser pâturer le bétail.

En conclusion, il ne semble pas, à première vue, qu'il y ait conflit entre la Réserve Ecologique et les communautés qui l'entourent. Les paysans de la zone ne semblent pas particulièrement vouloir coloniser cette zone<sup>12</sup>. Peut-être souhaitent-ils seulement continuer à y prélever librement certains matériaux dont ils commencent à manquer dans la zone cultivée (bois, paille...). Pour cela, une meilleure gestion de la zone basse, notamment des ressources en combustible, serait à développer.

---

<sup>12</sup> il est possible également qu'ils n'osent pas s'exprimer librement à ce sujet...



Photo. 9 : *Finca* de José Poso. Au premier plan, « *huchos remangados* » (*Cangahua*, 3480 m)



Photo.10 : Parcelle de Abraham Lobato aménagée en terrasses progressives (*El Afiladero*, 3410 m)

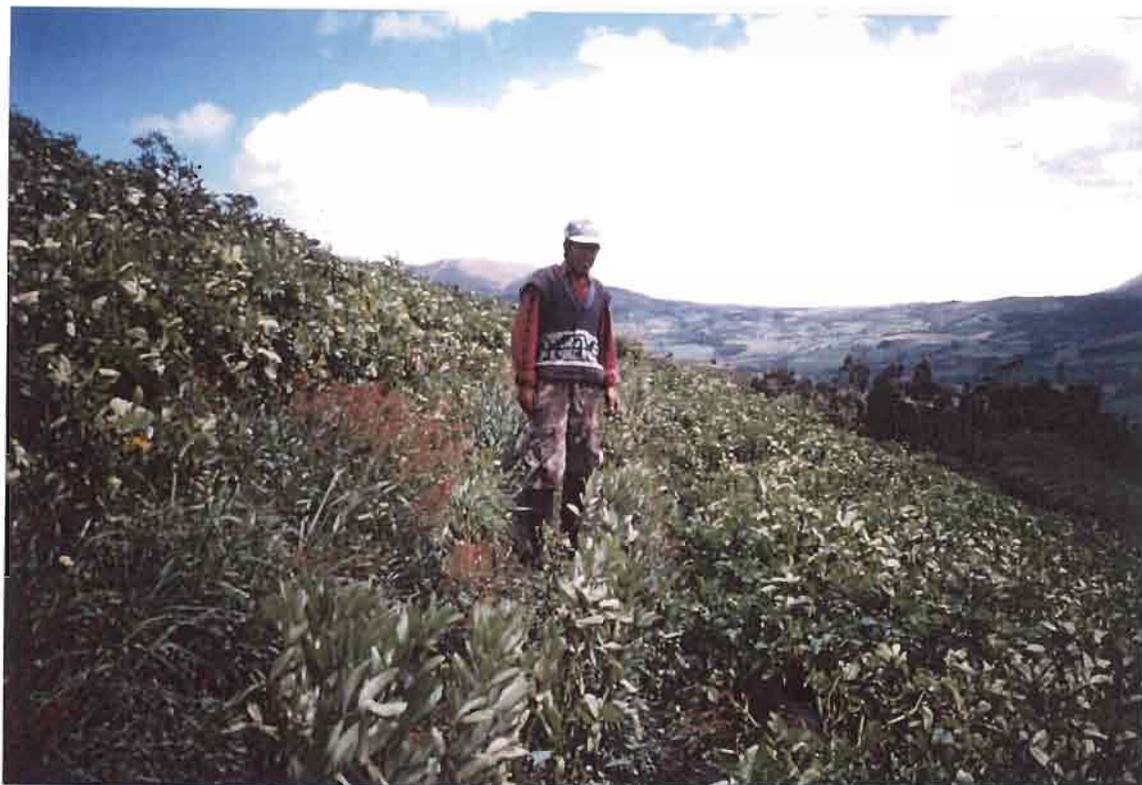


Photo. 11 : Parcelle aménagée en terrasses progressives, montrant le talus enherbé (*Loma Pusto*, 3300 m)



Photo.12 : Vue montrant des parcelles à deux stades différents du cycle de culture. A gauche, billons isohypses (1<sup>o</sup> cycle), à droite, billons dans le sens de la pente (1<sup>o</sup> cycle).



Photo. 13 : Labour à l'araire (*La Libertad*, 3200 m)



Photo.14 : Parcelle montrant des signes importants d'érosion : l'agriculteur a été obligé de laisser un rectangle enherbé sur la zone dégradée (*El Chochal*, 3210 m)



Photo. 15 : Mise en culture des versants d'une *quebrada* montrant déjà une érosion très forte (*El Lirio*, 3180 m)



Photo.16 : Mise en culture d'une *quebrada* (*Rio San Francisco*, 3160 m)

## Conclusion

Le bassin d'*El Angel*, et plus particulièrement la zone haute de *La Libertad*, se trouve aujourd'hui dans une situation complexe. En effet, il s'agit d'une région relativement prospère, compte-tenu des abondantes ressources en terre et en eau dont elle dispose. Pourtant, en analysant plus en détail la situation, on se rend compte d'un certain nombre de problèmes sous-jacents.

Les sols bruns andiques de la partie aval des versants sont les sols typiques de la polyculture andine et des fortes densités de population que l'on rencontre en Equateur. Cependant, malgré d'excellentes propriétés physiques, ils montrent ici d'importants signes de dégradation par les différents processus d'érosion. Il semble qu'une utilisation trop intensive en soit la cause, que ce soit par la diminution des périodes de jachère, la mécanisation agricole, le surpâturage...L'horizon organique est souvent en grande partie aminci ou décapé, ce qui entraîne une baisse notable de la production agricole pour les paysans. Ceux-ci compensent cette perte de fertilité due à l'érosion par des apports d'engrais croissants, ce qui diminue d'autant leur marge bénéficiaire. Pour lutter contre la baisse de leur niveau de vie, leur réaction est souvent de chercher à faire produire au maximum leurs terres. On se retrouve alors face à un « cercle vicieux » qui amplifie plus encore l'érosion.

Plus en amont, dans la zone de colonisation agricole, le problème est encore différent. Les sols qu'on y trouve sont des andosols profonds, apparemment très stables. Pourtant, ceux-ci perdent très rapidement leurs bonnes qualités physiques lorsqu'ils sont mis en culture (hydrophobie, pulvérulence) et deviennent plus sensibles à l'érosion. Ils font donc d'excellentes « terres à pâturage et à pommes de terre », tant que l'utilisation que l'on en fait n'est pas trop intensive ; mais l'« épuisement » constaté par les paysans sur les terres de la zone de piedmont entraîne un intérêt croissant pour cet étage intermédiaire, auquel s'ajoute l'intérêt commercial de la pomme de terre. Il y a de fortes chances pour que l'agriculture dans cette zone aille en s'intensifiant, entraînant avec elle, une augmentation des processus d'érosion.

Toutes les terres de l'étage inférieur à la limite des cultures (environ 3500 m) étant déjà appropriées, il y a de grandes chances pour qu'à moyen ou long terme, le front pionnier ne se développe en altitude, et ce, malgré la réticence des paysans à cultiver des terres peu productives, éloignées, où les risques de gelées sont importants. Pourtant, comme nous a dit une paysanne au cours d'une enquête : « No hay donde ampear » (Il n'y a plus nulle part où s'installer) et nous avons décrit ces cas dramatiques de cultures à l'intérieur-même de gorges, sur des pentes supérieures à 80 %. Cela signifie que si il y a réellement nécessité, l'avancée du front pionnier se fera même au-delà des limites « décemment » cultivables. Et ce, au détriment du *páramo* et de la Réserve Ecologique. On se rend donc bien compte qu'à la base du problème d'érosion des sols ou de dégradation du *páramo*, il y a avant tout un problème social : une population rurale croissante en décalage avec les ressources naturelles desquelles elle vit...Une gestion conservatoire des sols, intégrée à un programme complet de valorisation du milieu et des ressources humaines, semble donc le meilleur moyen d'envisager un avenir à long terme du bassin.

## Bibliographie

Plan de manejo de la Reserva Ecologica « El Angel »-Provincia Carchi .- Programa Nacional de Desarrollo Rural PRONADER .- Quito : Ministerio de Bienestar Social.- 1994.

Estudio de la Cuenca del Rio Angel - Primera fase de la investigacion : Informacion Descriptiva.- Equateur, Proyecto CARHIPPOP : FLACSO / Universidad de Pittsburg / Ecociencia.- 1998.

**DE NONI G., VIENNOT M., ASSELINE J.**- L'homme, la montagne et l'érosion des sols cultivés : le cas des Andes Equatoriennes (Amérique du Sud).- ORSTOM (sous presse), 1997, 357 p.

**GONDARD P ..**- La utilizacion actual del suelo en los Andes ecuatorianos : ensayo goografico de comprension del medio rural – Carta de Tulcan.- Quito : ORSTOM-MAG.- 1986, 46 p.

**GONDARD P.**- Inventario y cartografia del uso actual del suelo en los andes ecuatorianos (PRONAREG- ORSTOM).- Quito : CEPEIGE.- 1984, 92 p.

**GOVERS G., VANDAELE K., DESMET P., POESEN J. & BUNTE K.** – « The role of tillage in soil redistribution on hillslopes » - European Journal of Soil Science, n°45, dec. 1994, pp. 469-478.

**METAIS K.**- Mise en place du plan de gestion du paramo de Huacho-Huacho dans le Nord de l'Equateur.-Mémoire de fin d'étude ISTOM, 1998, 86 p.

**MEYLES E., KOOISTRA L.**- A novel method to describe spatial soil variability : a case study for a potato-pasture area in the Northern Andes of Ecuador .- International Potato Center (CIP), Departement of Soil Science and Geology (Wageningen, The Netherlands), sept. 1997, 65 p.

**MIÑO GRIJALVA W.**- Haciendas, transformaciones agrarias y empresas lecheras en la provincia del Carchi : el caso del Canton Espejo.-Tesis : Pontificia Universidad Catolica del Ecuador, Facultad de Economia.- Quito.- 1983, 221 p.

**MIÑO GRIJALVA W.**- Haciendas y pueblos en la Sierra ecuatoriana : el caso de la Provincia del Carchi 1881-1980.- Quito : Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales.- 1985, 201 p.- Coleccion Investigaciones.

**MORLON P.**- Comprendre l'agriculture paysanne dans les Andes centrales (Pérou-Bolivie).- INRA :Paris.- 1992, 484 p.- Coll. « Ecologie et aménagement rural ».

**POULENARD J., PODWOJEWSKI P., JANEAU J.L., VIVEROS P.**, Utilisation des terres et dégradation d'un écosystème d'altitude : le páramo. Conséquences sur les propriétés hydrodynamiques des sols sur cendres volcaniques récents.- 16° Congrès Mondial de sciences du sol, Montpellier, France. : 1998 - Enregistrement scientifique n°2549, Symposium 38, Résumé Volume II, p.701.

**POURRUT P.**- L'eau en Equateur : principaux acquis en hydroclimatologie.- Paris : ORSTOM Editions.- 1994, 143 p.- Coll. Etudes et Thèses.

**ROOSE E.**- Introduction à la gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols (GCES).- Bulletin pédologique de la FAO, n°70 .- FAO, Rome : 1994, 420 p.

**VALLEJO I.**- Etnografía de la zona alta de la Cuenca del Rio el Angel : Estudio de caso de « San Isidro, parroquia La Libertad.- Documento de trabajo 97-02, Proyecto CARCHIPOP.- Quito, Ecuador : Programa de sociedades andinas y desarrollo sustentable ; Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales.-1997

## **Annexes**



## L'Orstom en 1996-97

L'Orstom est un établissement public à caractère scientifique et technique, placé sous la tutelle des ministères chargés de la Recherche et de la Coopération. Il participe à la réalisation de programmes de recherche en zone intertropicale, en collaboration avec les instituts scientifiques français, européens et des pays en développement.

L'interdisciplinarité thématique et méthodologique est la voie privilégiée de la recherche à l'Orstom. Au sein de neuf unités de recherche/grands programmes, ses 800 scientifiques conduisent des recherches dans le cadre de cinq grandes thématiques :

- le milieu physique, ses ressources et l'impact des activités humaines sur l'environnement ;
- exploitation des ressources naturelles et développement viable ;
- santé et développement ;
- villes et développement ;
- conditions et modes du développement.

L'Orstom participe au renforcement des capacités scientifiques du Sud, à la formation à la recherche et à des appuis scientifiques.

L'Institut français de recherche scientifique pour le développement en coopération a disposé, en 1996, d'un budget de 1,1 milliard de francs. Il s'est appuyé sur un effectif de 2 600 agents, dont plus de huit cents chercheurs, huit cents ingénieurs, techniciens et administratifs et un millier de personnels de statuts divers.

L'Orstom est établi dans trente deux centres et missions dans le monde, dont cinq en métropole (Bondy, Brest, Montpellier, Orléans, Paris) et cinq dans les départements et territoires d'outre-mer (Guyane, La Réunion, Martinique, Nouvelle-Calédonie, Polynésie française), le reste se situant en Afrique, en Amérique latine, en Asie et en Indonésie.

## GEL 4

El Angel,  
Route de El Angel vers le Paramo El Angel  
Altitude 3150 m  
Végétation herbacée anthropique

### Horizon 1 : 0-12 cm

#### Horizon humifère : A 1

10YR 2/1, noir  
frais, assez cohérent, friable  
Structure très nette polyédrique subanguleuse fine et moyenne  
Texture Las  
Porosité forte interagrégats.  
Très nombreuses racines fines et moyennes  
limite distincte, régulière

### Horizon 2 : 12-35 cm

#### Horizon humifère : And 2

7,5 YR 2/0, noir  
*Humite 1, Rhizagé 4,*  
frais, assez cohérent, friable  
Structure très nette polyédrique subanguleuse moyenne  
Texture Las avec quelques sables grossiers  
Porosité forte interagrégats, pédotubules fins et moyens tubulaires  
Très nombreux racines fines verticales  
Limite distincte, régulière

### Horizon 3 : 35-80 cm

#### Horizon humifère : A 3

*Humite 1 structichron 5, Rhizagé 5, Bioféron 5*  
10YR2/2, brun très foncé  
frais, assez cohérent, friable  
Structure très nette polyédrique subanguleuse moyenne et grossière à tendance prismatique  
Texture Lsa  
porosité interagrégats assez importante, intra-agrégats plus faible, fine, liée aux racines  
Nombreuses racines fines, verticales  
taches liées aux pédotubules peu nettes 10 YR 2/0, noires,  
Limite distincte, régulière

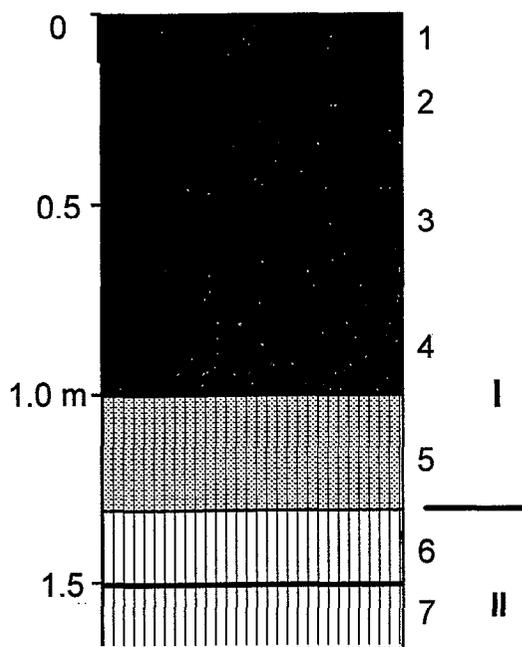
### Horizon 4 : 80-100 cm

#### Horizon humifère : A4

*Humite 1 structichron 4, Rhizagé 5, Bioféron 5*  
7,5YR 3/3 brun foncé  
frais, assez cohérent, friable  
structure prismatique grossière  
texture La  
porosité forte, interagrégats et pores tubulaires fins intra-agrégats  
quelques racines fines, limite nette, ondulée

horizon aléatoire de 0 à 10 cm d'épaisseur  
7,5 YR 4/6, brun vif  
limite très nette, ondulée

## GEL 4



### Horizon 5 : 100-130 cm

#### Horizon d'altération avec pédoplasation : SC

*Altérite 1 structichron 2, séméton Mn 5, Rhizagé 5*  
10 YR 5/4 brun-jaune  
frais, assez cohérent, peu friable  
structure massive  
texture Ls, à nombreux sables micacés  
porosité faible, pores fins, tubulaires, liés aux racines  
mangananes et dendrites de Mn, millimétriques liés aux pores tubulaires  
limite très nette, régulière.

### Horizon 6 : 130-150 cm

#### Horizon structural à accumulation d'argiles :

##### II Bt

*Structichron 1, Rhizagé 5*  
7,5 YR 5/6 brun vif  
frais, assez cohérent, friable  
structure polyédrique anguleuse fine très nette  
texture LA  
porosité faible, pores fins, tubulaires, liés aux racines  
Limite distincte, régulière

### Horizon 7 : 150-170 + cm

#### Horizon structural : II S

*Structichron 1., cutanon 5, humite 5 séméton Mn 5*  
7,5 YR 6/6 brun vif  
frais, assez cohérent, friable  
structure polyédrique anguleuse fine très nette  
texture LA  
porosité faible, pores fins, tubulaires, liés aux racines  
revêtements 10 YR 2/0 noirs, organo-mangananes, sur les faces structurales verticales

Sources : Podwojewski, 1998

## GEL 5

El Angel,  
Route de El Angel vers le Paramo El Angel  
Altitude 3500 m  
Végétation de paramo à cypéracées

### Horizon 1 : 0-30 cm

#### Horizon humifère andique : And1

7,5 YR 2/0, noir. Humide, non plastique, adhérent, peu tixotropique

Structure microagrégée. Agrégats < 3 mm

Texture limoneuse

Porosité forte interagrégats.

Très nombreuses racines fines et moyennes

Limite progressive, régulière

### Horizon 2 : 30-85 cm

#### Horizon humifère andique : And2

7,5 YR 2/0, noir. Humide, non plastique, adhérent, peu tixotropique

Structure peu nette, massive, tendance prismatique grossière, éclat mamelonné,

Texture limoneuse

Friable à légèrement cohérent

Porosité peu visible : quelque gros pores tubulaires

Activité biologique, pédotubules, copropèdes

Nombreuses racines fines, moyennes et grossières

Limite progressive, régulière

### Horizon 3 : 85-140 cm

#### Horizon humifère andique : And3

*Humite 1, Rhizagé 4, Humite 1 structichron 4*

7,5 YR 2/0, noir. Humide, non plastique, adhérent, peu tixotropique

Structure peu nette, massive,

Texture L

légèrement cohérent

Porosité peu visible : quelque gros pores tubulaires

Activité biologique, pédotubules, copropèdes

Nombreuses racines fines, moyennes et grossières

Revêtement millimétriques autour des racines à limites

très nettes, couleur 2,5 YR 3/4,

Limite progressive, régulière

### Horizon 4 : 140-165 cm

#### Horizon humifère andique : And4

*Humite 1, Rhizagé 4, Humite 1 altérite 4*

10 YR 2/1 brun gris très foncé

Structure massive

Texture Ls à sables grossiers

légèrement cohérent

Porosité faible, quelque gros pores tubulaires

Activité biologique, pédotubules, copropèdes

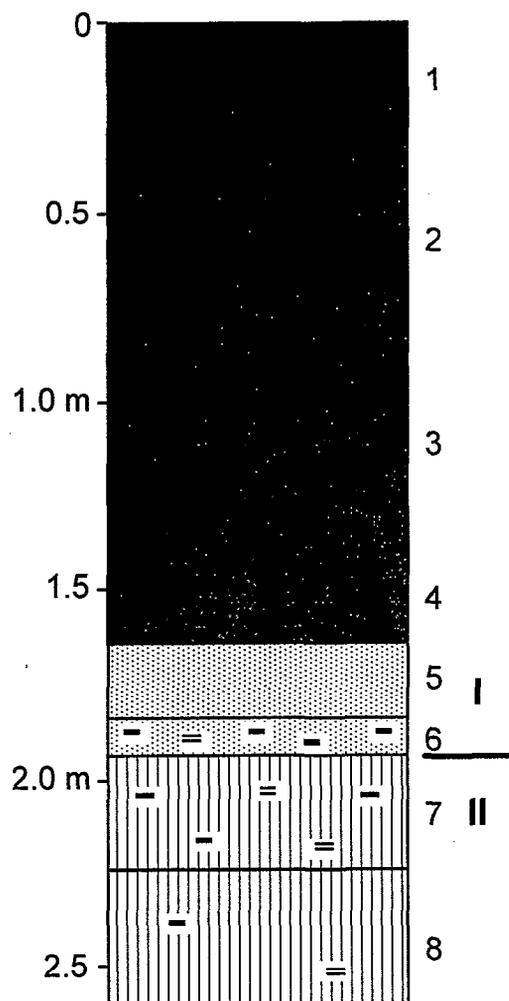
Nombreuses racines fines, moyennes et grossières

Altérolithiques de dépôts sableux en traînées

subhorizontales ondulées de couleur 7,5 YR 4/6

Limite très nette, légèrement ondulée

## GEL 5



### Horizon 5 : 165-185 cm

#### Horizon d'altération avec pédoplasation : SC

*Altérite 1, structichron 4., oxydon 5, Rhizagé 5*

10 YR 5/4 brun-jaune ;

Structure massive ;

Texture sableuse à sables micacés ;

Porosité faible, pores fins, tubulaires, liés aux racines ;

Ensemble assez cohérent, friable ;

oxydon couleur 5YR 4/6, rouge jaunâtre, bords nets

millimétriques lié aux racines ;

Limite distincte, régulière.

### Horizon 6 : 185-195 cm

#### Horizon structural andique à taches d'oxydes de fer :

SC s

*Altérite 1 structichron 4., oxydon 2, Rhizagé 5*

10 YR 5/4 brun-jaune ;

Structure massive ;

Texture sableuse à sables micacés ;

Porosité faible, pores fins, tubulaires, liés aux racines ;

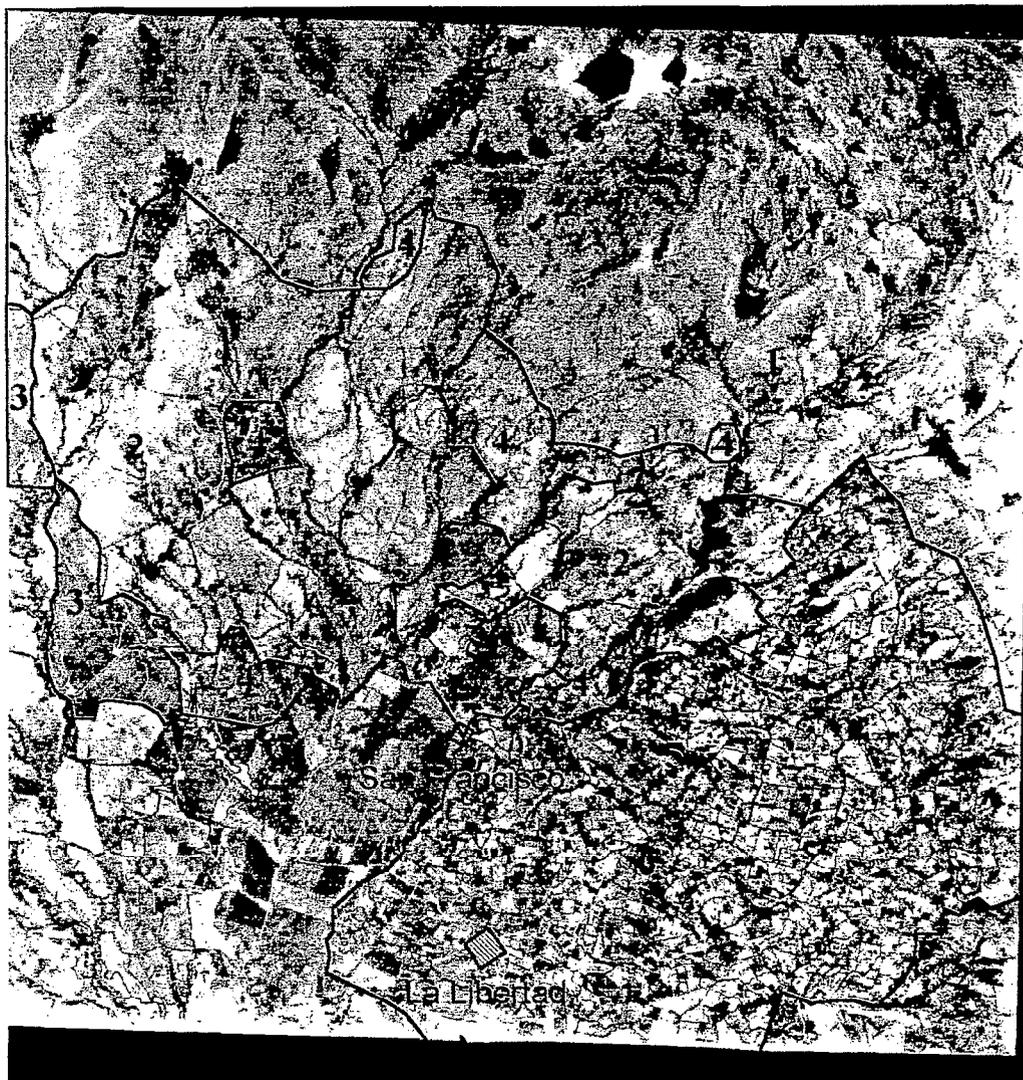
## Mesures des propriétés physico-chimiques des sols rencontrés à La Libertad

N	pH-H <sub>2</sub> O	pH-KCl	delta	pH-H <sub>2</sub> O	pH-KCl	Fieldes	Ca	Mg	K	Na	échant	C%	N‰	C/N	C%	Humed %	pF 2,5	DA	
	equateur	equateur		france	france		mesures en equateur					equateur				France			
<b>4.1</b>	5,4	4,7	0,7			+	0,87	0,18	0,25	0,04	4.1	3,608	2,55	14,1		54,65	43,51	0,84	
<b>4.2</b>	5,6	4,7	0,9			+	1,00	0,17	0,16	0,07	4.2	2,779	1,90	14,6			44,16	0,93	
<b>4.3</b>	5,1	4,8	0,3			+	1,17	0,16	0,10	0,23	4.3	2,633	1,60	16,5			92,16	0,66	
<b>4.4</b>	5,5	5,0	0,5			++	0,98	0,14	0,19	0,16	4.4	1,950	1,55	12,6		107,65	90,29	0,51	
<b>4.5</b>	5,9	4,7	1,2				0,30	0,06	0,08	0,06	4.5	0,106	0,05	21,3		20,93	43,51	1,52	
<b>4.6</b>	6,0	4,9	1,1				0,49	0,10	0,31	0,16	4.6	0,288	0,10	28,8			69,82		
<b>4.7</b>	5,7	4,9	0,8								4.7	0,113	0,25	4,5		61,86	62,39	0,95	
<b>5.1</b>	4,1	4,1	0,0	<b>4,30</b>	<b>3,8</b>	+++	0,06	0,03	0,04	0,05	5.1	11,310	7,20	15,7	<b>20,40</b>	233,98	186,72	0,28	
<b>5.2</b>	5,1	4,5	0,6	<b>4,70</b>	<b>4,4</b>	+++	0,03	0,02	0,04	0,05	5.2	8,580	4,75	18,1	<b>8,30</b>	166,45	143,62	0,44	
<b>5.3</b>	4,2	4,4	-0,2	<b>4,60</b>	<b>4,2</b>	+++	0,72	0,02	0,02	0,08	5.3	8,580	4,70	18,3	<b>15,00</b>	199,73	185,92	0,38	
<b>5.4</b>	5,1	4,8	0,3	<b>4,85</b>	<b>4,55</b>	+++	0,03	0,01	0,02	0,06	5.4	3,559	2,10	16,9	<b>7,30</b>	96,20	103,49	0,70	
<b>5.5</b>	6,0	5,6	0,4			+++	0,03	0,04	0,02	0,08	5.5	0,426	0,50	8,5		51,15	41,88	1,01	
<b>5.6</b>	5,5	5,6	-0,1	<b>5,10</b>	<b>5,2</b>	++	0,02	0,01	0,02	0,05	5.6	0,344	0,35	9,8	<b>0,76</b>		42,16		
<b>5.7</b>	5,8	5,5	0,3			++	0,03	0,01	0,02	0,07	5.7	1,531	1,30	11,8		108,96	96,29	0,65	
<b>5.8</b>	6,1	5,6	0,5	<b>5,30</b>	<b>5</b>	++	0,03	0,02	0,02	0,04	5.8	1,141	1,75	6,5	<b>2,30</b>	76,71	91,88	0,82	

GEL 4

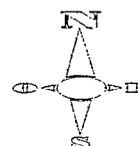
GEL 5

## Occupation du sol en 1965



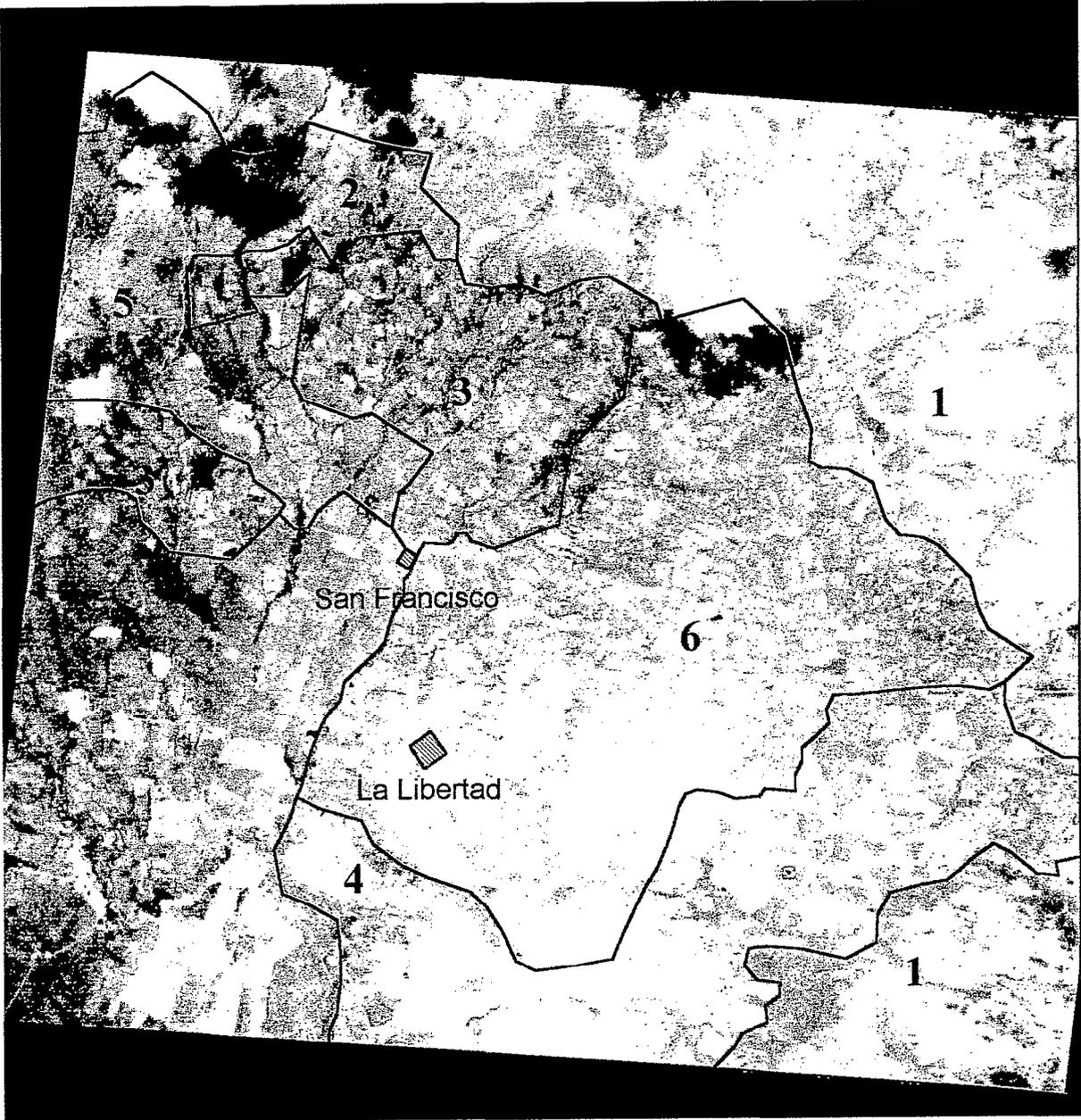
Légende :

1. Paramo naturel
2. Pâturage naturel/paramo dégradé
3. Pâturage artificiel/cultures
4. Zone de "huasipungo"
5. Comuna La Libertad



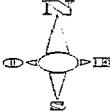
Sources : photo. aérienne du 8/02/65

# Occupation du sol en 1993



**Légende:**

- 1. Paramo naturel
- 2. Zone de colonisation agricole
- 3. Minifundio
- 4. Pâturage artificiel/cultures
- 5. Pâturage naturel/paramo dégradé
- 6. Comuna La libertad



1:60000



Sources : photo. aérienne du 11/05/1993 (IGM)



## S'YSTÈMES DE CULTURE

Site d'étude #	Organisation	Loc-dif	Altitude	Perte	Féve ou comestible	Rotation des cultures	Durée de rotation	Type de labour
1	ComLib	Cangahua	3480 m	15-20%	non	Pdt (2x)/pat	3 ans	traditionnel
2	ComLib	El Charco	3420 m	45%	oui	pdt(2x)/oca(2x)/pat	2-3 ans	traditionnel
3	ComLib	El Charco	3450 m	10%	non	pat		
4	ComLib	El Afiladero	3410 m	35-40%	non	pdt (2x) /pat	5 ans	méca+trad
5	ComLib	El Chochal	3210 m	40%	oui	pdt(2x)/fève (2x)/pat	1 an	méca+trad
6	ComLib	El Afiladero	3400 m	15-20%	non	pdt (2x)/pat	2-3 ans	méca+trad
7	ComLib	San Isidro alto	3200 m	35%	oui	pdt/ptt-pois/orge/pat	3-4 ans	mécanisé
8	Coop. Alm.	El Lirio	3180 m	70-80%	oui	pdt (3x) /fève/orge/pat	2 ans	traditionnel
9	Coop. Alm.	El Lirio	3200 m	20-40%	oui	pdt(2x)/fève/pat	4-5 ans	méca+trad
10	Coop. San Fra.	Sta Marta	3180 m	70%	oui	pdt (4x)/ptt-pois/fève/pdt/pat	5 ans	traditionnel
11	Coop. Alm.	El Lirio	3240 m	60%	oui	pdt/ptt-pois/mellocos/fève/pat	3-5 ans	méca+trad
12	Coop. San Fra.	Sta Marta	3258 m	65%	oui	pdt (2x)/pat	1 an	traditionnel
13	Coop. San Fra.	Sta Marta	3250 m	55%	oui	papas (2x)/arbeja/trigo/cebada/pasto	3 ans	traditionnel
14	ComLib	Sta teresita	3200 m	30%	oui	maïs/trigo/cebada/arbeja/papas	aucune	traditionnel
15	Coop. San Fra.	Sta Marta	3200 m	60-70%	oui	papas/cebada/havas/papas/pasto	2 ans	méca+trad
16	Coop. San Fra.	San Francisco	3080 m	65%	oui	papas(2X)/pasto	2 ans	traditionnel

PROBLEMES D'EROSION											
Raisons du choix	Formes d'érosion observées par l'agriculteur			Causes supposées				DANGER de la production ?	Superficie occupée sur le parcelle (en ha)		
	"cangahua"	ravinement	glissements de terrain	travail du sol	pluie	pente	autres		cultures	pâturage	jachère/ vég. nat.
connait les effets néfastes de la mécanisation	aucune								2	4	0
manque de moyens financiers	0	1	1	0	1	1		oui	1,5	2	
	aucune									2	1
ne peut pas utiliser le tracteur là où il a créé des terrasses	1			0	1	0	mauvaise exploitation de la terre	oui	1	4	2
?	1	1	1	1	0	0		oui			
dépend des moyens financiers	1	1		0	1	1	érosion seulement ds la zone basse cangahua existe depuis tjrs	non, grâce à l'engrais	1	2	0
?	1	0	0	0	0	0		?			
pentés trop fortes	1	0	0	?	?	?		si			
?	0	1	1	0	0	0	mauvaise exploitation de la terre	si	1	1	0,5
pentés trop fortes	aucune			0	0	0		non	0,25	0	8
selon la pente	1	1	0	1	0	0		?			
pentés trop fortes	1	0	1	1	0	1		oui, là où le sol est mince	0	2	0
?	1	0	0	0	1	1		oui	10		15
?	1	1	0	1	0	0	ainsi depuis jrs et que la situation se maintient	non			
selon la pente	1	1	1	1	1	1		non, grâce à l'engrais	3	3	0
pentés trop fortes	1	0	0	1	0	1		selon l'engrais	0	5	0

**COLONISATION DU PARAMO**

Nb d'années de mise en culture	Motivations		Opinion sur la création de la Réserve Ecologique	Intérêt pour les terres de la Réserve
	Avantages de l'agriculture en zone basse	Avantages de l'agriculture en zone de paramo		
15 ans		manque de terres en zone basse; meilleure qualité de la terre	Protection de la faune et de la tranquillité	non
45 ans	meilleure qualité de la terre; meilleure production	manque de terres en zone basse; plus de pluies	Protection du paramo; évite le vol de bétail	non
35 ans		meilleure pour la pâture; pb des gelées pour les cultures	?	si
12 ans		plus d'humidité; terrains moins chers	ne peut plus utiliser les 7 ha qu'il possède ds la réserve; mais effets positifs de la réserve sur le climat ("para llamar a la lluvia")	peut-être pour les descendants, mais uniquement pour le pâturage ("porque es altissimo")
45 ans		meilleure qualité du sol; pas besoin d'engrais	Aucun intérêt pour la réserve	Non
12 ans	productions plus variées	manque de terres dans la zone basse; meilleure pour la pdt et le pâturage	interdiction de couper la paille, le bois, de laisser pâturer le bétail en liberté	oui, pour les cultures et le bétail ("no hay donde ampear")
10 ans		manque de terres ds la zone basse; meilleure terre pour le pâturage; plus d'humidité	ne se sent pas affecté par la Réserve; permet de protéger la faune sauvage	non
3 ans	plus facilement mécanisable, mais climat plus sec	moins de pb phyto-sanitaires ("la papa sale mas limpia")	pas affecté par la Réserve	peut-être pour les descendants
20 ans	meilleure production	moins de fumigations nécessaires	pas affecté par la Réserve	non
8 ans		manque de terres dans la zone basse; climat plus humide; terres "neuves" nécessitant moins d'engrais	pas affecté par la Réserve	non
15 ans	meilleure température	manque de terres en zone basse; meilleure pour la pdt et le pâturage	la Réserve protège l'unique réserve d'eau du bassin	non : terres éloignées, froides, marécageuses...
20 ans		manque de terres en zone basse; meilleure qualité de la terre ("terrenos nuevos")	protection de la faune	non : mauvais climat pour l'agriculture

**ENCUESTA SOBRE EL USO DEL SUELO EN LA ZONA ALTA**

No de identificación de la parcela (con ubicación sobre el mapa): 1

Parroquia : La Libertad

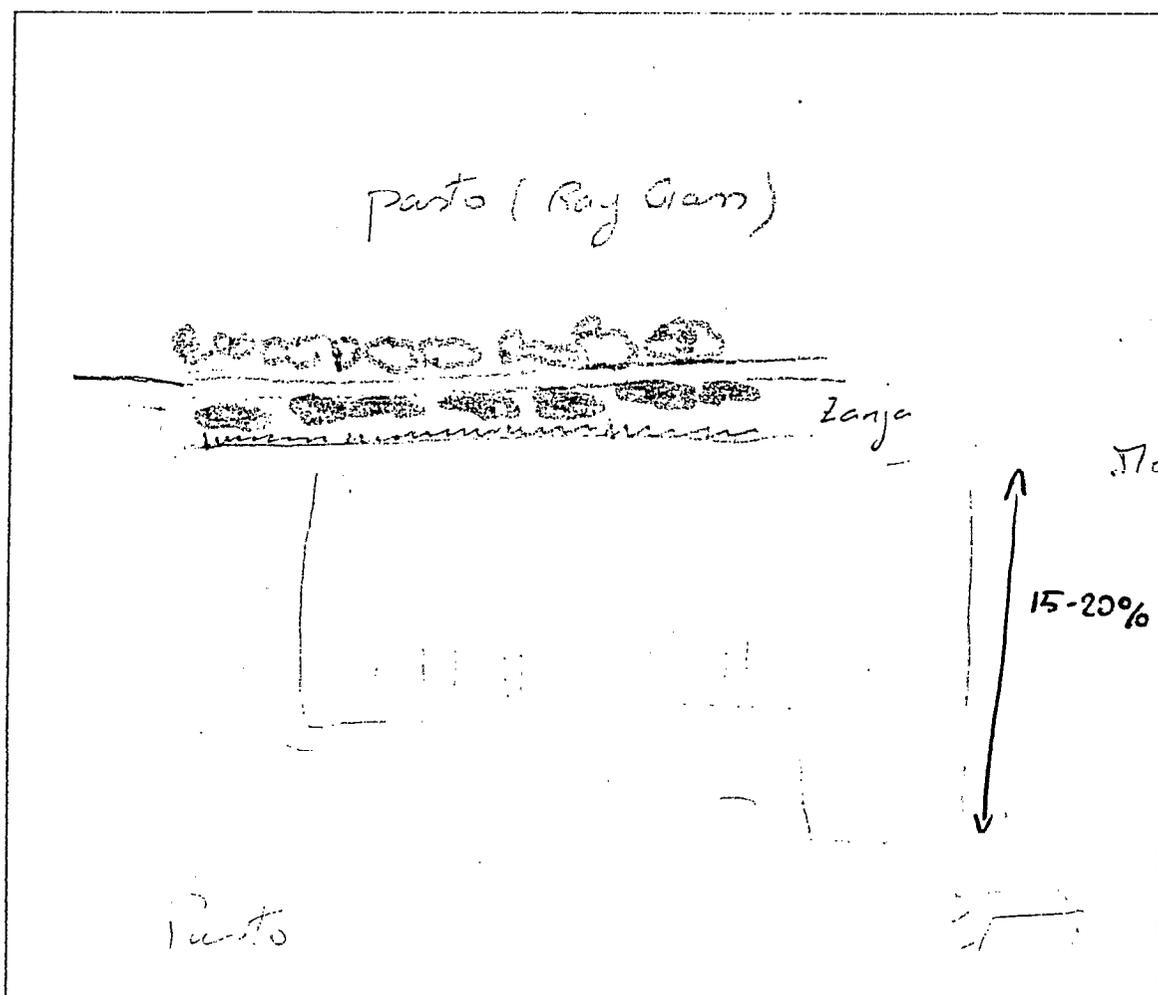
Barrio-zona : Cangahua ( Panamá )

Altitud : 3480 m

Linderos : Q. el Chochal

Uso del suelo : Papas - Pasto - Piscicultura

Croquis (dimensiones, pendiente, cercas...):



# ENCUESTA DEL PROPIETARIO DE LA PARCELA

## 1.) Características generales

Nombre del propietario : José Alonso Poso

Tenencia de la tierra :

propiedad colectiva : comunal  cooperativa  cual ? : ...

propiedad individual : herencia  comprado  con escrituras

Fecha de adquisición : 10-15 años

Tamaño del lote : 9 has

## 2.) Sistemas de cultivos

Cultivo del año : Papas

Cultivo del año pasado : pasto (Ray Grass)

Tipo de rotación : 3 años de potrero - 1 año papas (2 sembradas)

Duración del descanso : 3 años

Tipo de labranza : mecanizado  tipo de tractor :

mínima  precisar (a mano, con animales...) : con bueyes

Fecha de la última cosecha : 3 años *muscho rosado (rut. tradicional)*

## 3.) Conservación de suelo

Notó Ud. problema de erosión de suelo en sus parcelas ?

Si

No

Si es positivo, qué tipo de problema ?

- manchas amarillas

- canales superficiales, arroyuelos, quebradillas

- deslaves, derrumbes

Cual le parece ser la causa ? (mecanización, lluvia, pendiente, sobrepastoreo...) : .....

Ha notado Ud. que bajó la producción de su cultivo durante los años pasados ?

Sí  No

Les gustaría conocer algunas técnicas de conservación de suelos ?

Sí  No

#### 4.) Colonización del páramo

Hectareas de terrenos que tiene Ud en el páramo : 9 has

- en cultivo : 2 has
- con pastos : 4 has
- sin cultivo (bosque natural, páramo) : 1/4 has
- descanso : 3 has

Desde hace que tiempo ud está cultivando aquí ? : 15 años

Más ó menos desde cuando ha sido cultivado este terreno ? : en descanso

Motivaciones : Porque cultiva Ud. en el páramo ?

- falta de tierra en la zona baja
- mejor calidad de la tierra
- por otras : ..... más tranquilo!

La producción en las parcelas le parece mejor : ?

arriba  abajo  sin opinión

Porque prefiere cultivar en estas parcelas ? (heladas, humedad...) : .....

Le afecta la Reserva ecológica en su tenencia ó manejo de la tierra ? si  no

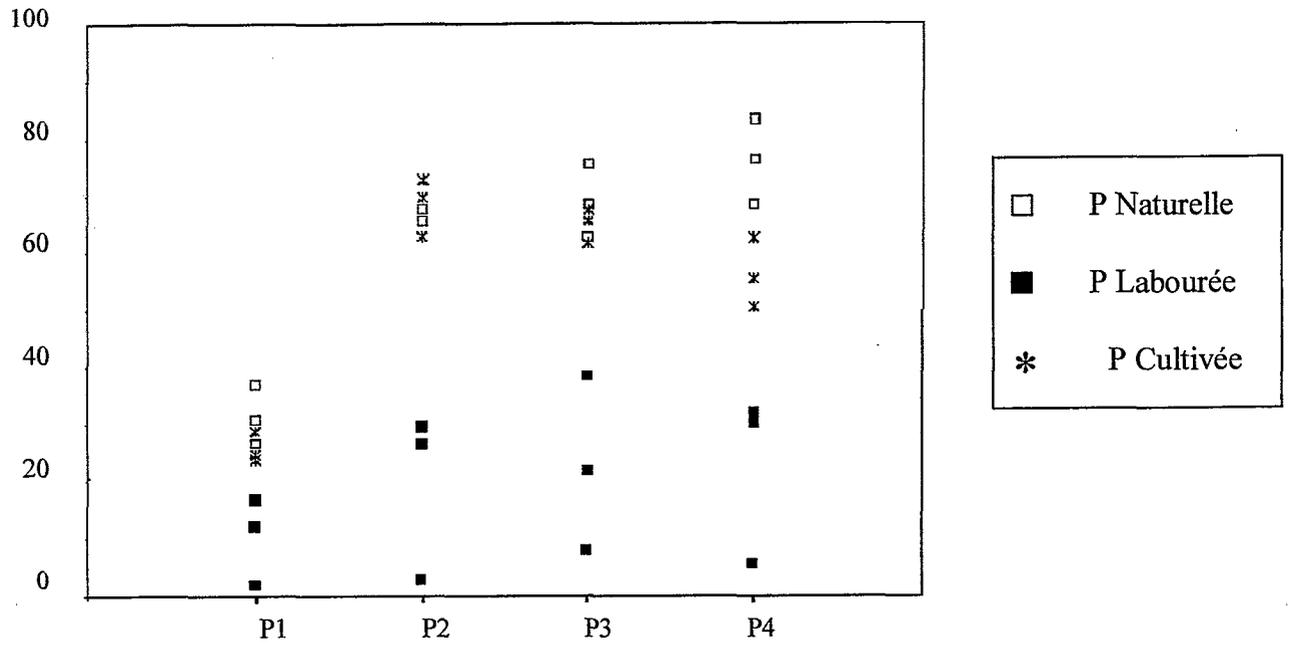
En que ? : ..... Mejor caso que llegó a esta país - protección de la fauna de la tranquilidad

Piensa Ud. algún día necesitar las tierras de la Reserva ? Si  No

para cultivo  pastoreo  otro : ....

**RESULTATS DE LA SIMULATION DE PLUIE  
Station El Voladero**

Kru en %



Ps (g)

