

CARACTERISTIQUES DE QUELQUES SOLS D'EQUATEUR

DERIVES DE CENDRES VOLCANIQUES

Nov 1965

complété en 1966

1) CHAPITRE PREMIER LES SOLS SUR CENDRES VOLCANIQUES

I INTRODUCTION

11 CARACTERES PRINCIPAUX DES SOLS A ALLOPHANES ET HALLOYSITE

11-1 Sols à allophanes Andents

Conditions de formation

A-Horizon caractéristique des sols fortement allophaniques

1-Morphologie 2-Minéralogie 3-Granulométrie et sables 4-Rétention pour l'eau 5-Capacité d'échange 6-Microscopie électronique.

B-Horizon caractéristique des sols faiblement allophaniques

1-Cond.de formations 2-morphologie 3- etc.....

11-2 Sols à halloysite

Conditions de formation

A -Horizon caractéristique des sols de transition allophanes -halloysite

1-Morphologie etc.....

B -Horizon caractéristique des sols argileux à halloysites -Sols bruns tropicaux et ferrisoliques.

1-Morphologie etc.....

111-ETUDES REGIONALES

111-1 Nature et repartition des dépôts aériens de cendres volcaniques

1-Nature du dépôt 2- Aspect des minéraux 3- Composition des tufs et répartition géographique 4-Age des dépôts-

111-2 Les sols et leur répartition géographique

1- Versant amazonien -puyo- : Géomorphologie -climat -végétation- sols
Sols fortement allophaniques et sols ferrallitiques

2- Versant pacifique -Sto Domingo à Quininda- Géomorphologie etc.....
Sols faiblement allophaniques sur sols fortement allophaniques

3- Zone centrale de Quevedo à Sto Domingo: a)partie Nord et Est
b)partie centrale sud
Sols faiblement allophaniques

4-Zone sud -Quevedo:Géomorphologie etc....
Sols de transition allophanes -halloysite

5-Zone sud et ouest au delà des dépôts récents-
Sols bruns tropicaux et ferrisoliques argileux -(sols enterrés de Quevedo)

6-Sols issus de roches dures (Hors chapitre à titre de comparaison)
Ferrisols

7-Sols de la ceinture nuageuse d'altitude du versant pacifique -2600 m-
Sols faiblement allophaniques et fortement allophaniques

8- Ramon- Hauts plateaux vers 3500 à 4000 metres d'altitude
Brunizems

9- Vallée inter-andine vers 2500 m d'altitude

IV- Discussion et place des sols dans les classifications.

2)CHAPITRE SECOND- LES SOLS SUR ALLUVIONS

1 Les alluvions fluviales légères : Origine - climat - sols

2 Les alluvions argileuses des plaines basses rizicoles

3 Les sols alluviaux de Machala

3)CHAPITRE TROISIEME -ETUDES AGRONOMIQUES PARTICULIERES

1 Etude de la potasse dans les régions humides de Sto Domingo

2 Etude du phosphore ,, ,, ,, ,, ,,

Etude du Potassium dans les sols alluviaux de Machala

4 Etude du phosphore ,, ,, ,, ,, ,,

5 Discussion sur l'origine des fortes teneurs en P et K à Machala

6 Etude de l'azote- Région de Quevedo- Alluvions et Sols de Transitions AN

7 Profils hydriques

8 Cartographie

CARACTERISTIQUES DE QUELQUES SOLS D'EQUATEUR

F. COLMET-DAAGE	F. CUCALON	M. DELAINE	J. et M. GAUTHEYROU	B. MOREAU
Bureau des sols	IFEIA - DNB	Géologie	Bureau des sols	IFEIA - IFAC
ORSTOM - Antilles	Equateur	ORSTOM	ORSTOM - Antilles	Equateur

avec le concours du Laboratoire des Argiles de l'ORSTOM: Mlle FUSIL, Mr. KOKOUI
du Laboratoire de Physique des Sols de l'ORSTOM: Mr. COMBEAU
du Laboratoire de Physico-chimie Minérale de Louvain: Mr. de KIMPE

Au cours d'une courte mission effectuée en 1961 nous avons remarqué dans les plaines bananières d'Equateur, la présence de sols à allophanes semblables à ceux des Antilles Françaises (1).

Toutefois, les pluies très abondantes à l'époque des prélèvements de sols, la profondeur limitée à 120 cm des sondages et l'impossibilité d'effectuer alors, sur place, les humidités, nous avaient empêché de mener cette étude comme c'eut été nécessaire.

Le mois de Novembre 1963 fut choisi pour effectuer une nouvelle mission (2). A cette époque, dans beaucoup de régions d'Equateur, les sols sont ressuyés après plusieurs mois sans pluies, conditions particulièrement propices à l'étude de la rétention pour l'eau des sols à allophanes.

De nombreuses tranchées de 2 m de profondeur, prolongées par des sondages jusqu'à 4 m ont été ouvertes, grâce aux moyens et au personnel mis à notre disposition par l'IFEIA, la Direction Nationale de la banane, l'INIAP (3). Les humidités et un certain nombre de déterminations ont été effectuées aussitôt dans le laboratoire de la station tropicale de l'INIAP à Pichilingue, aimablement mis à notre disposition par l'Ingénieur LAENES. Les autres déterminations ont été effectuées dans les laboratoires du Bureau des Sols des Antilles (ORSTOM) en Guadeloupe, de l'ORSTOM en France, de l'Université de Quito, de l'Institut Agronomique de Louvain pour la Microscopie électronique.

Les prospections ont essentiellement été localisées aux sols dérivés de cendres volcaniques de la zone bananière de Quevedo Santo Domingo Quinindé.

Quelques sols d'alluvions ont été examinés au Sud de ces régions (Vinces, Babahoyo). La région de Machala déjà étudiée en 1961, n'a été qu'effleurée.

Quelques profils ont été relevés dans la Sierra et sur le versant amazonien (Puyo).

Un programme d'étude a été établi au cours de cette mission. Les premiers résultats obtenus par MM Cucalon et Moreau constituent notre troisième chapitre. Les ~~travaux~~ ^{travaux} de notes minéral ont été effectués sur place à Pichilingue.

(1) Etudes préliminaires des sols des bananeraies d'Equateur - Colmet - Daage - FRUITS
Janv. 1962 Vol. 17 N° 1 Page 3-21

(2) Mission Coopération Technique et Direction Nationale de la Banane organisée par l'Institut de Recherches Fruitières Outre Mer (IFAC)

(3) INIAP Institut de la Recherche Agronomique et d'Elevage d'Equateur
IFEIA Instituto Francó-ecuatoriano Investigaci/agronomicas - Association de la Direction National de la Banane et de l'IFAC.

INTRODUCTION

GENERALITES SUR L'EQUATEUR

I - I GEOMORPHOLOGIE -

II - La Sierra

Entre le deuxième degré de latitude Sud et le premier degré de latitude Nord, la Cordillère des Andes est jalonnée de nombreux volcans, certains dépassant 5000 mètres d'altitude.

On distingue deux chaînes parallèles : les Cordillères Occidentale et Orientale qui enserrant une vallée de 30 à 40 km de largeur, la haute vallée interandine. Celle-ci a été compartimentée par l'accumulation de matériaux volcaniques, en fosses ou "hoyas" indépendantes qui débouchent alternativement vers l'Atlantique ou le Pacifique.

La Cordillère Orientale ou Real semble la plus ancienne. Elle est essentiellement constituée de roches métamorphiques précambriennes : micaistes, gneiss, etc... sauf aux abords des volcans dont certains sont encore actifs.

La Cordillère Occidentale, plus récente, est formée de matériaux volcaniques avec quelques intercalations de sédiments marins crétacés surélevés.

Les deux Cordillères présentent d'énormes accumulations d'époques plus récentes, coulées, cendres ou lapilli, rejetées par les nombreux volcans situés le plus souvent en bordure de la haute vallée interandine.

Cette vallée, au Nord du deuxième parallèle^{sub}, est entièrement recouverte de ces matériaux généralement quaternaires : dépôts de cendres aériens, ou transportés par les fleuves, les glaciers, le vent, ou accumulés dans les lacs.

Au Sud du 2ème parallèle, les édifices volcaniques récents disparaissent et les dépôts aériens meubles deviennent rares.

I2 - Les versants pacifique et amazonien

Les deux cordillères s'élèvent brutalement au-dessus des plaines côtière et amazonienne en formant une véritable muraille de 3000 à 4000 mètres de hauteur.

Si les projections aériennes de cendres et de ponces andésitiques, ou dacitiques, sont très épaisses aux abords des volcans et dans la haute vallée interandine, elles ont aussi recouvert, transportées par les vents ou les rivières, de vastes superficies des contreforts^{et} des plaines tropicales pacifique et amazonienne.

I2I - Plaine Amazonienne

L'altitude au pied même du versant très accidenté de la Sierra, est voisine de 900 m, mais s'abaisse très rapidement à 500 m ou même 300 m. A part

quelques sédiments crétacés ou jurassiques situés au pied de la Cordillère, la plaine est formée d'épais sédiments tertiaires recouverts, par endroits, de cendres volcaniques quaternaires apportées par les vents ou les rivières.

I22 - La plaine Pacifique

On peut distinguer plusieurs régions naturelles.

Au Nord de la ligne équinoxiale, les rivières descendent des Andes vers le Pacifique, à peu près perpendiculairement à la chaîne andine et à la côte.

Au Sud de cette ligne, une chaîne côtière peu élevée, ne dépassant pas 800 m d'altitude, s'étend en bordure de la côte, parallèlement aux Andes, et force les rivières à descendre du Nord au Sud vers le Golfe de Guayaquil, isolant une large pénéplaine plus ou moins bosselée par endroits et entaillée par les rivières, dans laquelle les dépôts aériens de cendres volcaniques occupent de vastes étendues propices à la culture de la banane (Quevedo - Santo Domingo).

Ces dépôts diminuent progressivement d'épaisseur à l'Ouest et au Sud, puis disparaissent, laissant apparaître, à l'Ouest, des formations tertiaires marines exondées, et au Sud, des formations alluviales, limoneuses et légères près des rivières ou aux abords de la Cordillère, argileuses dans les parties basses marécageuses.

I - 2 OROGENESE -

Des travaux de SAUER (1957 et 1965)

On ne retiendra que les manifestations du volcanisme qui ont fourni ces immenses dépôts de matériaux friables : cendres, tufs et ponces

" La Cordillère des Andes, à la fin du tertiaire, après des plissements et des aplanissements successifs, atteignait rarement l'altitude de 1500 m à 2500 m, lorsque des soulèvements de grande amplitude commencèrent au pléistocène.

Ces mouvements verticaux affectèrent les différentes parties du pays avec des intensités variées. Ils furent particulièrement importants au Nord du 2ème degré de latitude Sud.

" L'inégalité du soulèvement entraîna la rupture des masses rocheuses dures, en failles de directions longitudinales et transversales qui ne modifièrent pas, cependant, la forme allongée des Andes. Les bordures centrales des deux cordillères se soulevèrent plus fortement que les versants externes, donnant naissance à la large et profonde dépression de la vallée interandine.

.../...

Les systèmes de failles transversales séparent des fosses ou "hoyas". Des ruptures longitudinales se produisirent aussi suivant l'axe médian des dépressions. C'est par ces points de plus faible résistance de l'écorce terrestre que le magma monta vers la surface pour réanimer l'activité volcanique, et c'est à ces endroits que surgirent aux différentes périodes du Quaternaire, mais surtout au Pléistocène, les volcans placés de part et d'autre de ce couloir central.

Quelques uns de ces volcans dépassent encore maintenant le niveau des neiges éternelles (4600 à 4800 m), le point culminant étant le volcan double du Chimborazo (6300 m).

Au cours du quaternaire, l'activité volcanique se déplaça progressivement de la Cordillère Occidentale vers la Cordillère Orientale où sont situés les volcans ayant donné lieu à des manifestations récentes : Cotopaxi, Tunguragua, Revendador, Sangay.

Le ralentissement de l'activité volcanique se traduirait, d'après SAUER, par une diminution de l'acidité du magma. On aurait d'abord des dacites, ou les andésites les plus acides, avec, généralement, une prédominance d'amphiboles, puis des andésites basiques plus riches en pyroxènes, dont les ultimes venues renfermeraient aussi de l'olivine. Les roches les plus basiques, comme les basaltes, n'apparaîtraient, dans la majorité des cas, que dans les toutes dernières périodes de l'activité volcanique.

Parfois, cependant, des volcans en voie d'extinction donnent au cours des dernières manifestations, des produits acides contrairement à la règle habituelle qui voudrait que ce fut une phase basique. Ces produits acides (dacitiques) seraient expulsés par quelques formidables explosions, si violentes que la plus grande partie du cône est ^{le} rejetée dans l'atmosphère, laissant une vaste caldeira béante. Il peut y avoir aussi expulsion de produits acides par de petits cratères latéraux.

I - 3 SEDIMENTATION VOLCANIQUE -

Ces volcans, le plus souvent donc andésitiques ou dacitiques, donnèrent lieu, outre des coulées de laves, à des explosions qui projetèrent dans l'atmosphère d'énormes quantités de matériaux : bombes, lapilli, ponces et cendres.

Certains de ces matériaux, finement divisés et transportés par les vents, seraient, d'après SAUER, à l'origine de ce tuf consolidé nommé "Cangagua" qui rappelle le loess par ses caractères physiques, mais sans renfermer, cependant, au départ, de carbonate de calcium.

.../...

31 - Haute vallée interandine -

" Il n'est pas possible, dans la haute vallée interandine, d'expliquer les processus très complexes de sédimentation dans cette période du quaternaire de soulèvements et d'effondrements très importants, car le volcanisme très intense et les glaciations y contribuèrent ensemble en mêlant simultanément les produits de leur action en recouvrements successifs très irréguliers.

" Certains niveaux ont pu, cependant, être caractérisés, soit par leur origine géologique, soit par leur composition pétrographique, soit par des restes paléontologiques et servent de guides. On doit citer ainsi, tout particulièrement, les tufs de la cangagua éolienne des dernières périodes interglaciaires avec les "boules" durcies sphériques attribuées à un scarabée identifié."

" Il semble que quatre grandes glaciations pléistocènes se soient produites, ayant abaissé le niveau des neiges éternelles de près de 1500 m, par rapport au niveau actuel. Les premières glaciations affectant des chaînes peu élevées, eurent peu d'effets, mais à la fin des dernières glaciations, les eaux courantes avaient déjà entaillé de profonds canyons aux parois verticales, dans les sédiments pléisto-pliocènes. Ces profondes vallées ne se retrouvent pas dans le Sud du pays où l'accumulation de matériaux volcaniques quaternaires a été beaucoup plus faible ".

Dans les périodes post-glaciaires, une couverture peu épaisse de tuf éolien "cangagua" vint recouvrir les formations des dernières glaciations avec présence d'un niveau intermédiaire de couleur sombre qui serait, d'après SAUER, un sol fossile".

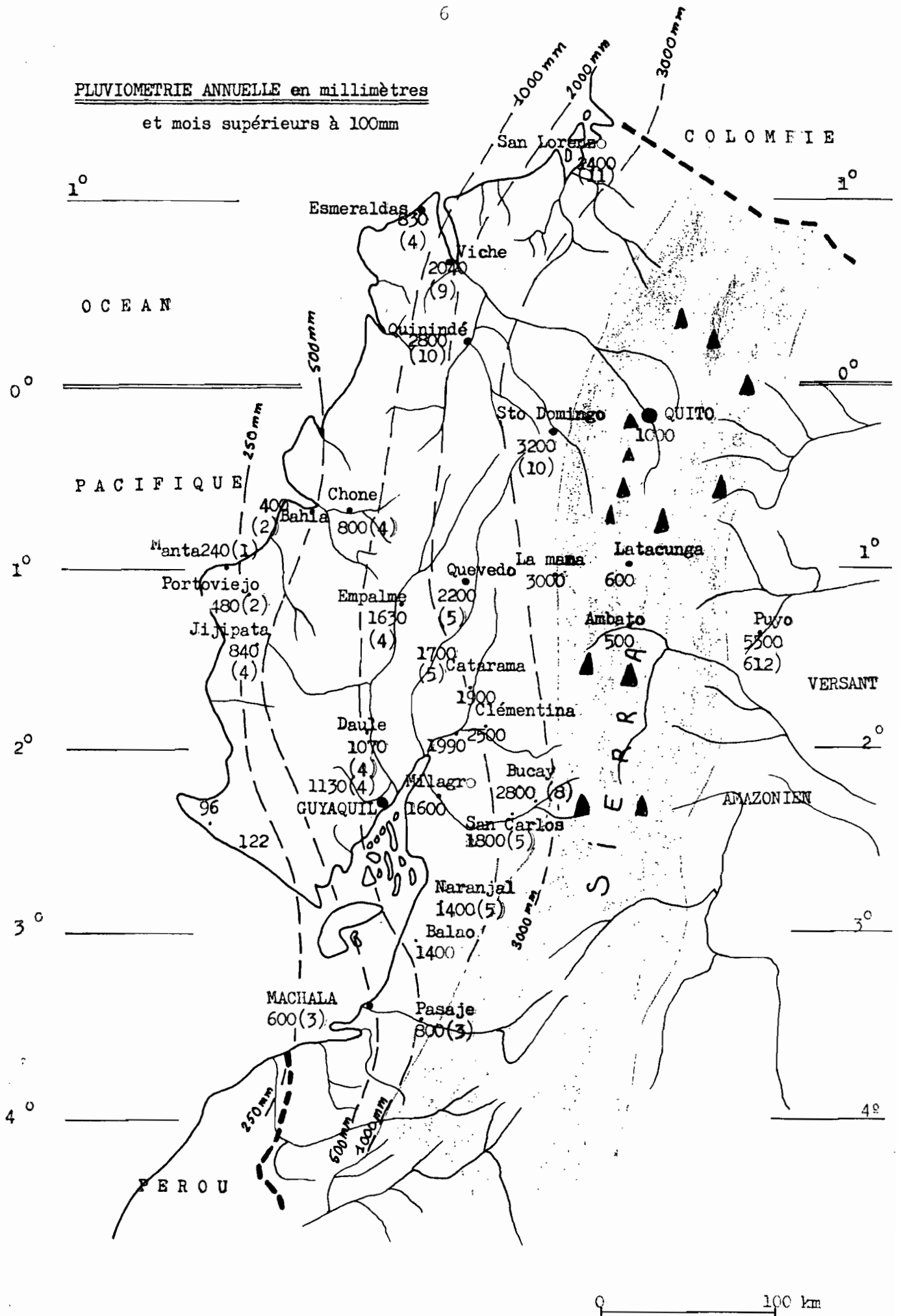
32 - Plaines tropicales -

Les dépôts de cendres des zones tropicales humides pacifique et amazonienne dateraient, d'après SAUER, de l'époque quaternaire. L'étude de leur mise en place et leur datation sont plus délicates par suite de l'altération intense que ces matériaux perméables ont déjà souvent subie. Comme nous le verrons plus loin, la composition et le degré d'altération des minéraux donnent quelques indications. Les gisements anthropologiques peuvent aussi être des guides précieux pour les formations les plus récentes.

Certains de ces sédiments volcaniques ont une origine au moins partiellement fluviale, et ont été arrachés aux immenses dépôts des hautes vallées. D'autres, en couches successives, d'aspect et d'épaisseur très semblables, à plusieurs dizaines de kilomètres de distance, recouvrent, en épousant toutes les ondulations du terrain, des formations plus anciennes. Ils proviennent d'une sédimentation aérienne de particules transportées au loin par les vents. Certains volcans (Renvendador, Sangay) envoient encore de nos jours, certaines années, de nouvelles petites couches de cendres.

PLUVIOMETRIE ANNUELLE en millimètres

et mois supérieurs à 100mm



0 100 km

Deux facteurs très importants agissent ensemble sur la pluviométrie et rendent celle-ci excessivement variée en Equateur suivant les régions : intensité et répartition annuelle.

Le courant froid de Humboldt, après avoir longé les côtes du Chili et du Pérou, s'écarte de la côte et cesse progressivement de faire sentir son influence désertique, permettant une augmentation des précipitations du Sud au Nord. Si la frontière Péruvienne est, sur la côte, quasi-désertique, la frontière Colombienne est extrêmement arrosée toute l'année (5 m par an).

La barrière des Andes qui s'élève brutalement jusqu'à 3000 ou 4000 mètres au-dessus de la plaine côtière, provoque des courants ascendants, causes de chutes de pluies de plus en plus intenses ^(à mesure) qu'on s'en rapproche. Au-dessus de la ceinture nuageuse de 1500 à 2500 m, les nuages se dissipent et le climat est plus sec.

- Côte Pacifique - Ces deux facteurs provoquent simultanément une augmentation des précipitations du Sud au Nord et de l'Ouest, sur la côte, vers les montagnes à l'Est. La durée de la saison sèche est plus réduite dans le Nord et à proximité de la Cordillère.

La carte ci-jointe indique quelques pluviométries annuelles exprimées en mm par an et le nombre de mois où celle-ci est supérieure à 100 mm.

A la latitude de Guayaquil, on passe de 100 mm sur la côte (Salinas) à 1200 mm à Guayaquil en 4 mois, et 2800 mm près de la Cordillère en 9 mois (Bucay).

Dans le Nord, la pluviométrie est déjà plus élevée sur la côte (800 mm à Esmeraldas) passant à 2000 mm en 9 mois à Viche, plus à l'intérieur, et 3300 mm à Santo Domingo en 10 mois.

Dans l'extrême Nord, il pleut beaucoup et toute l'année, même sur la côte (San Lorenzo sur la côte : 2400 mm en 11 mois, et 5 m^{et} plus à l'intérieur des terres).

Au Nord de Guayaquil, on peut distinguer une saison chaude et relativement ensoleillée, correspondant à la saison des pluies, et une saison un peu plus fraîche, tempérée par l'influence du courant ^{de} Humboldt et l'ennuage pratiquement constant durant toute la saison sèche de Mai à Décembre. Durant cette saison sèche, une fine bruine matinale provoque, dans bien des régions, un apport d'eau très appréciable, quoique non mesurable. Les températures moyennes mensuelles varient entre 21 et 25°. L'insolation est souvent faible et constituerait un facteur limitant pour bien des cultures : sucre pour la canne, densité de plantation et qualité pour la banane (700 à 1000 H/an au solarigraphe Campbell)

L'absence de vent, surtout en saison sèche, est un facteur très favorable à la banane et limite l'évapo-transpiration.

- Versant amazonien - Il est très arrosé par les formations nuageuses venues de l'immense plaine moite du bassin de l'Amazone. La pluviométrie annuelle atteint 3 à 5 mètres, bien répartie toute l'année, et la température est élevée.

- Sierra - Dans la haute vallée interandine, certaines régions sont quasi-désertiques, d'autres suffisamment arrosées (I m) pour permettre des cultures tempérées toute l'année. La température est constante toute l'année (moyenne mensuelle: 15° vers 2500 m, 10° vers 4000 mètres avec des minima de 0°). Les neiges éternelles n'apparaissent qu'à 5000 mètres.

1-5 AGRICULTURE -

Le versant amazonien est à peine exploité, et c'est sur le versant Pacifique que l'on trouve les principales cultures tropicales. A côté de la banane qui a connu depuis 10 ans une extension considérable et dont l'Equateur est de très loin le plus gros exportateur du monde, il faut citer le cacao en régression, la canne à sucre avec deux usines de 100 000 tonnes chacune, etc...

Dans la Sierra, c'est la gamme des cultures tempérées : blé, orge, maïs, pommes de terre, fruits, avec des pâturages de luzerne pour la production laitière (élevages de Holstein).

II - CARACTERES PRINCIPAUX DES SOLS A ALLOPHANES ET HALLOYSITES

PREMIERE PARTIE

(II-I) - SOLS A ALLOPHANES' - (ANDEPTS)

CONDITIONS DE FORMATION -

Il résulte de nos observations en Equateur et aux Antilles Françaises, qu'en milieu très humide - pluviométrie annuelle de 2,5 à 3 m ou davantage - et avec un excès d'eau important presque tout au long de l'année, l'altération des cendres volcaniques perméables aboutit, au moins dans un premier stade, à la formation de substances amorphes fortement hydratées et d'hydroxydes d'alumine.

Il semble que dans ces conditions de lessivage intense du sol, accompagné de l'entraînement très en profondeur des substances dissoutes, les néosynthèses des argiles classiques ne puissent se produire.

Les sols à allophanes se rencontrent en Equateur sur le versant amazonien où la pluviométrie est élevée (3 m) et constante au cours de l'année. Dans les régions très humides du versant Pacifique, les sols déjà fortement allophaniques très hydratés ont été le plus souvent recouverts par des dépôts plus récents, dans lesquels l'allophanisation est moins marquée.

Par suite des discontinuités lithologiques fréquentes dues à des dépôts successifs d'âge analogue ou différent, le profil est du type A (B) C.II(B) C.III (B) C... avec souvent des horizons humifères enterrés.

Au lieu "d'horizon B", il faudrait plutôt parler d'horizon BC où l'accent suivant la profondeur, devrait être mis tantôt sur B, tantôt sur C.

Il semble qu'au cours d'un même cycle d'éruption, ce soient d'abord des cendres grossières qui se déposent. Viennent ensuite les éléments plus fins et d'autant plus fins que la distance aux volcans, donc les transports par le vent, sont importants. On conçoit donc que les phénomènes d'altération puissent avoir été plus ou moins intenses dans un même profil, suivant qu'il s'agit de niveaux de cendres très fines aisément altérables ou plus grossières, dont les éléments sont plus difficilement attaqués.

Les profils peuvent présenter de grandes variations dans la succession des horizons à de faibles distances. Il paraît opportun de définir des horizons de diagnostic, caractéristiques de chacune des principales variantes des sols à allophanes d'Equateur (applicable en partie aux sols des Antilles).

A) HORIZON CARACTERISTIQUE DES SOLS FORTEMENT ALLOPHANQUES -I) - MORPHOLOGIE -

L'épaisseur est variable de quelques décimètres à plusieurs mètres. L'horizon est enserré dans des niveaux plus perméables.

La couleur du sol frais est beige jaune - 10 YR 5/8 à 6/8 - parfois 2,5 Y. Elle devient beaucoup plus claire lorsqu'on passe du sol humide au sol séché à l'air. Certains horizons deviennent ainsi parfois presque blanc-beige. Par séchage prolongé à l'air ou à l'étuve, la couleur peut virer au brun rouille foncé. Il y a peu de variations de couleur entre le sol en place ou écrasé entre les doigts.

La texture apparente est celle d'un limon au toucher onctueux. La consistance du sol pressé entre les doigts est savonneuse. Il s'agirait de pseudo-limon.

La structure d'ensemble est diffuse, fondue. Le sol est peu dur; facilement pénétré par les outils avec, cependant, une certaine cohésion puisque les parois des tranchées et des talus ont peu tendance à s'effondrer (comme pour les sols ferrallitiques typiques).

Les mottes se brisent et s'effritent très aisément dans la main en donnant une sous-structure fine de petits agrégats de 1 à 2 mm, peu anguleux et très stables. Il n'y a pas de revêtements nets sur les éléments de la structure et sur les agrégats, parfois seulement quelques films luisants incolores.

La perméabilité est très bonne : 5 à 10 cm heures Muntz ou davantage.

On observe des débris d'altération beiges plus ou moins abondants. Ils s'écrasent entre les doigts laissant voir des petits minéraux noirs peu altérés : hypersthènes ou hornblende.

Quelques débris plus grossiers ponceux sont parfois rencontrés. Ils s'écrasent entre les doigts en cédant beaucoup d'eau.

Dans certains horizons, des petites poupées beiges-blanches pouvant atteindre plusieurs millimètres, aux formes variées, globuleuses ou en filaments dans les anciens trous de racines sont, en fait, des amas durcis de gibbsite pure.

MINÉRALOGIE -

La dispersion de la fraction inférieure à 2 microns par les méthodes usuelles est impossible. Ce n'est qu'après des traitements successifs acides et alcalins qu'une dispersion très incomplète peut être obtenue, soit en milieu acide, soit en milieu basique ($\text{CO}_3 \text{Na}^2$ - NaOH).

Par suite de la difficulté d'obtenir une fraction inférieure à 2 microns, sans faire subir au sol des traitements qui risquent de l'altérer, la plupart des examens minéralogiques (Rayons X ATD) ont été effectués sur les flo-

cons obtenus après un temps plus court de sédimentation. La comparaison sur quelques échantillons des résultats obtenus sur la fraction inférieure à 2 microns avec ceux de la fraction plus grossière, semble justifier cette façon de procéder.

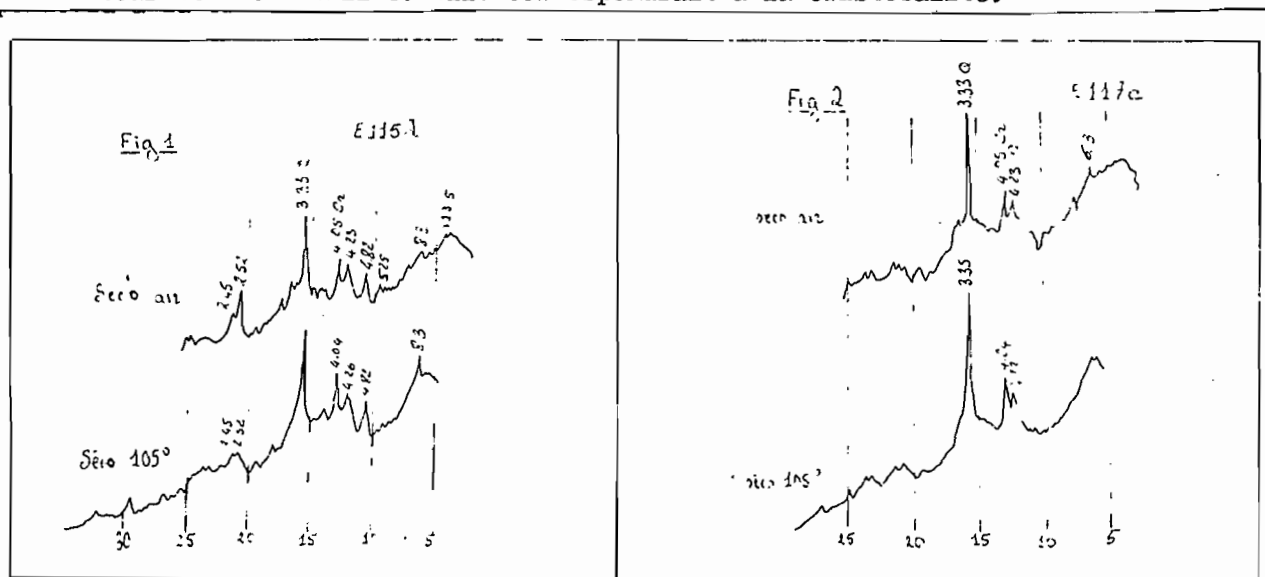
a) Rayons X -

L'examen aux rayons X n'indique aucun des minéraux argileux usuels.

- Versant Amazonien - Le graphique I correspond à l'échantillon E II5 d .

Que l'échantillon ait été séché à l'air ou à l'étuve à 100°, on observe guère que les raies du quartz et celles de la gibbsite (4,82 et 4,34 Å - 2,45 Å).

Une raie à 4,05 Å est presque toujours visible dans les sols à allophanes d'Equateur et des Antilles. Elle correspondrait à la cristobalite.



Un fond important existe entre 8 Å et 15 Å comme dans beaucoup de substances amorphes. L'échantillon II7 c - Fig.2 - prélevé dans la même région que II5 c - mais à plus de 30 Km, présente un spectre très voisin, mais sans les raies de la gibbsite.

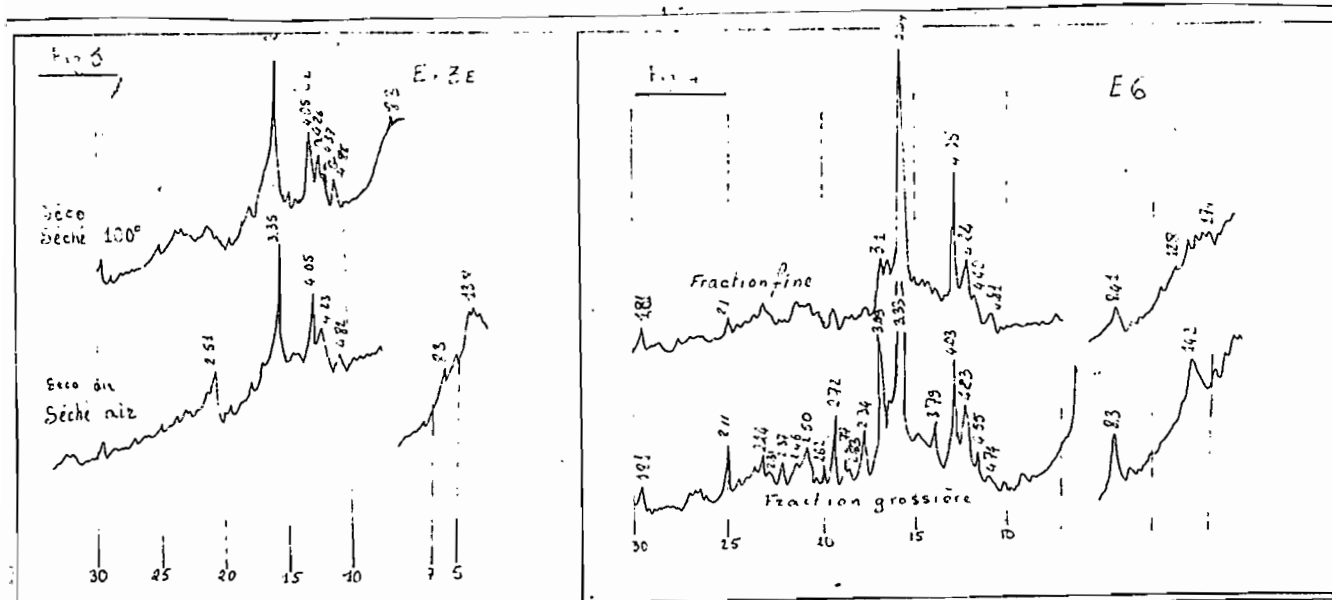
Aucune modification des raies n'est observée après chauffage à 100° ou par traitement au glycérol.

- Versant Pacifique - L'échantillon E 63e (Fig.3) est situé à 2,5 m de profondeur. Le spectre est très semblable à celui du graphique I.

Il n'y a pratiquement pas de changement entre les échantillons séchés à l'air et à l'étuve. Des raies à 8,3 Å et vers 13,8 Å émergent d'un fond important.

La fraction fine de l'échantillon 6 (Fig.4) présente aussi un spectre très voisin de ceux du graphique I.

Des raies à 8,3 et 14,2 bien visibles pour les fractions grossières, n'apparaissent guère dans la fraction très fine. Yoshinago et Aomine, sur les sols du Japon, constatent également la disparition de ces raies dans les fractions très fines.



b) Analyses thermiques différentielles -

. L'examen à l'ATD montre sur tous les échantillons un très grand crochet endothermique qui débute à 140 - 150°, suivi d'un petit crochet exothermique vers 950°.

Certains échantillons présentent également les crochets caractéristiques de la gibbsite.

Dans la plupart des échantillons, cependant, un fort crochet exothermique vers 300 à 400°, allant parfois jusqu'à 650° ou davantage, vient perturber les courbes. Dans la plupart des cas, il semble qu'il s'agisse de matières organiques, puisque des attaques à l'eau oxygénée répétées finissent par le faire régresser, voir disparaître. On pourrait penser à une forme particulièrement résistante de matière organique, plus ou moins étroitement associée à x substances allophaniques. La température d'apparition paraît d'ailleurs d'autant plus élevée, que l'allophanisation est importante.

Sur certains échantillons où ce crochet semble difficile à faire disparaître complètement par les traitements à l'eau oxygénée, certains auteurs pensent que des hydroxydes en sont en partie, responsables.

Lorsque ce crochet est peu intense, l'allure de chauffe du four peut jouer sur son apparition.

De tels crochets, à des températures ne dépassant pas 400° pour les montmorillonites et 500° pour les allophanes, après des traitements à la pipéridine, ont été signalés. Pour Sudo, des crochets exothermiques à 310 et 470°, seraient caractéristiques des allophanes.

- Versant Amazonien - Les échantillons II5 d et II7 c (Fig. 8) présentent tous deux de forts crochets exothermiques vers 600 - 800°, qui disparaissent après des traitements à l'H₂O₂. L'échantillon II5 d est riche en gibbsite, l'échantillon II7c n'en renferme que des traces. Un très petit crochet endothermique vers 540° indiquerait la présence de traces d'halloysite.

- Versant Pacifique - (Echantillons de profondeur 2 à 3 m) - L'échantillon 62f (Fig. 3) donne, après traitement H₂O₂, le fort départ d'eau endothermique à 160°, le crochet de la gibbsite à 340°, un crochet à 450° peut être dû à la boehmite, un crochet à 520° correspondant à des traces d'halloysite et enfin le crochet exothermique à 950°.

E 63 et E 6 sont analogues, mais E 6 n'a pas de gibbsite (Fig. 9).

- à 2600 m d'altitude en zone fraîche et humide - L'échantillon 73 x donne un graphique très semblable, mais le départ d'eau initial a lieu à plus haute température (160 - 250°). Il n'y a pas de gibbsite.

Figure 8

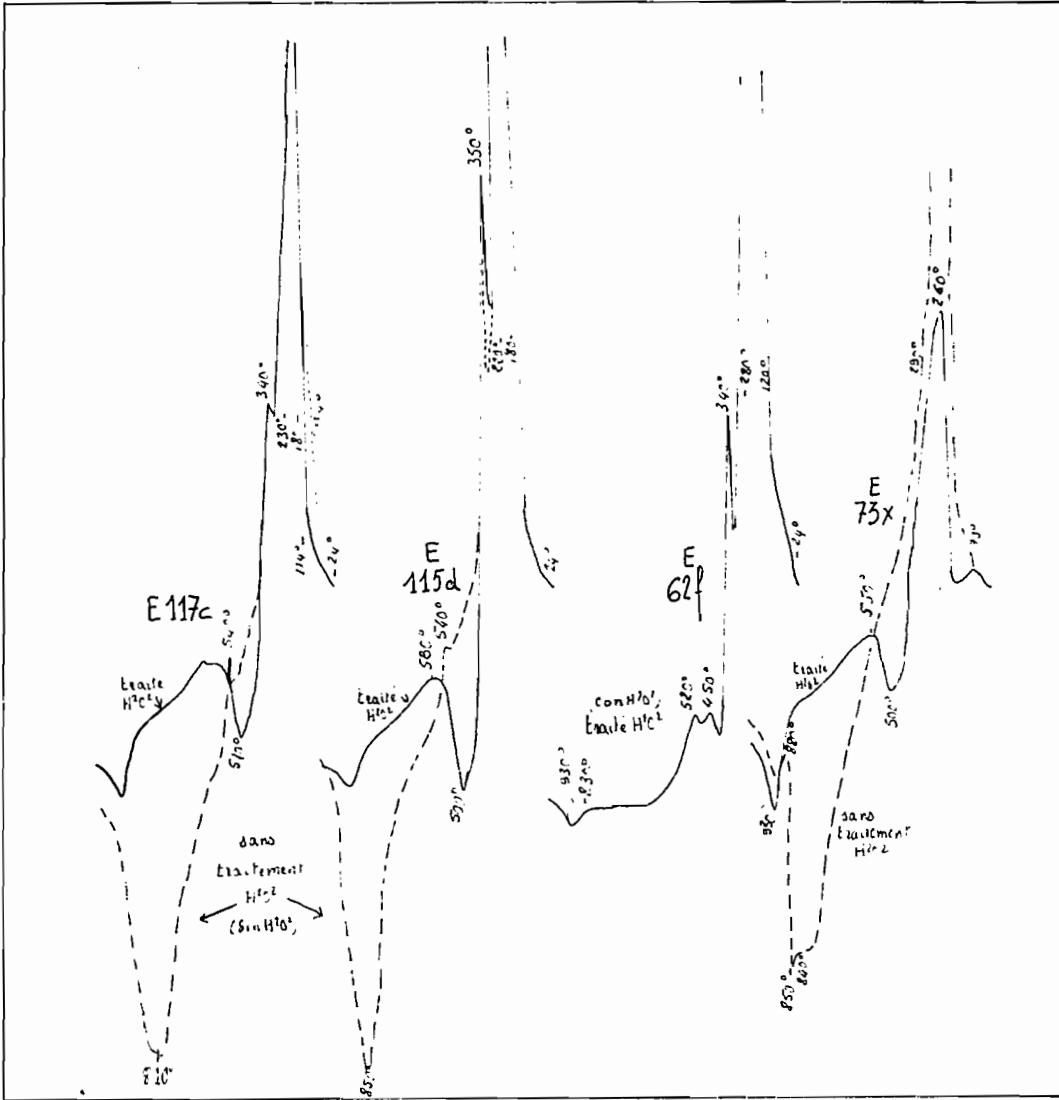
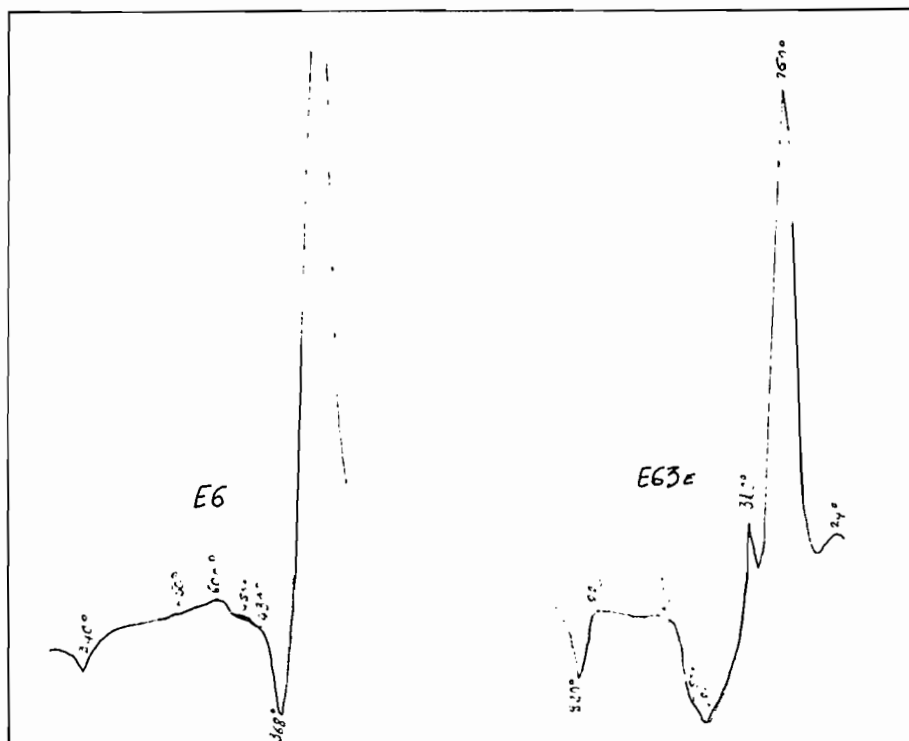
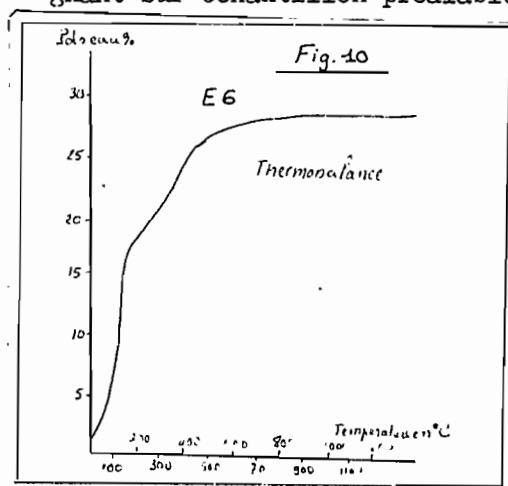


Figure 9



c) Thermobalance -

La perte d'eau à la thermobalance est continue et régulière, atteignant sur échantillon préalablement séché à 100° : 30 %.



La Fig. 10 montre la courbe de perte de poids de l'échantillon 6 du versant Pacifique.

Des courbes identiques ont été obtenues pour les échantillons de sol à allophanes des Antilles.

3) - GRANULOMETRIE ET SABLES -

La dispersion est difficile et toujours incomplète. Les petits agrégats sont très stables et résistent aux agents dispersants usuels. Les prétraitements au benzène sont sans effets. Seuls des traitements acides et alcalins peuvent permettre une dispersion partielle, mais les sables restent encore souvent enrobés.

Si les données de l'analyse mécanique sont illusoires en ce qui concerne l'argile, les limons fins (2-20) et grossiers (20-50 microns), par contre la détermination des sables primaires, supérieurs à 50 microns, après des traitements aux acides et à la soude ou au carbonate de soude, peu dilués sur tamis, prête moins à contestation en dépit de certaines dissolutions possibles, car il est aisé de contrôler la disparition effective des agrégats. Le traitement acide donne parfois une gelée.

La proportion des sables supérieurs à 50 microns ne dépasse pas 10 à 20 %. Une forte fraction du sol est donc formée de particules très fines dont les dimensions ne sont pas déterminables.

La séparation des fractions lourdes et légères (entre 50 et 500 microns), révèle une proportion variable de ces fractions.

Les minéraux lourds sont en général peu altérés, avec rarement plus de 10 % de minéraux opaques : hornblende verte, hypersthène, augite, hornblende brune, épidote....

Parmi les minéraux légers, ce sont les feldspaths calco-sodiques, du type andésine qui dominent, dont une bonne proportion est déjà altérée. Le quartz est visible, mais représente rarement plus de 20 % des minéraux légers. Les zéolithes (surtout l'analcime) sont presque toujours présents en petite quantité.

Nous reviendrons ultérieurement plus en détail sur les examens de ces sables et leur répartition géographique.

4) - RETENTION DE L'EAU -

La caractéristique la plus importante des sols à allophane est leur capacité souvent considérable pour l'eau. L'humidité de l'échantillon bien ressuyé, après plusieurs jours ou semaines sans pluies, bien friable entre les doigts, peut atteindre lorsqu'elle est prise aussitôt après le prélèvement (ou sur des échantillons conservés en sacs plastiques) 100 à 200 d'eau, parfois même davantage, pour 100 gr de sol séché à l'étuve à 105°.

Ces valeurs sont considérablement plus élevées que celles obtenues sur des sols très argileux (70 à 80 % d'argile inférieure à 2 microns), renfermant une forte proportion d'argiles montmorillonitiques magnésiennes et sodiques. On ne dépasse guère 80 % dans les cas les plus favorables.

Cette forte humidité peut s'apprécier dans une certaine mesure sur le terrain, par l'onctuosité du sol et la consistance savonneuse entre les doigts, d'autant plus nettes que la teneur en eau est élevée. La cartographie des types et des sous-types de sols est rendue ainsi possible avec un nombre limité de déterminations au laboratoire.

La densité apparente du sol est généralement comprise entre 0,5 et 0,7, mais des valeurs aussi faibles que 0,3 ont déjà été rencontrées.

Les échantillons séchés plusieurs jours à l'air à la température ordinaire, puis réhumectés, ne peuvent réabsorber qu'une faible fraction de l'eau qu'ils contenaient initialement. Il y a donc dessiccation irréversible, bien que les échantillons séchés à l'air plusieurs mois et conservés aux Antilles, renferment souvent 20 à 30 d'eau pour 100 g de sol séché étuve, valeurs voisines de celles de l'eau hygroscopique (l'atmosphère est presque saturée, au moins la nuit).

Le comportement vis à vis de l'eau des sols à allophanes étant fort différent, suivant qu'il s'agit d'échantillons conservés dans l'état d'humidité originale ou séchés à l'air, les mesures des humidités pour différentes valeurs de pF ont donc été faites, à la fois sur échantillons conservés frais et sur échantillons séchés à l'air, à la température ordinaire, ces deux séries étant réhumectées de la même façon. La friabilité des échantillons conservés frais, rend possible une telle façon de procéder qui ne pourrait être employée pour des sols argileux ordinaires humides non broyés.

La Fig. II concerne des profils du versant amazonien^{du} horizons profonds fortement allophaniques de profils du versant Pacifique. On voit les valeurs très élevées obtenues pour les pF 2,8 et 4,2 et les différences considérables observées, suivant que les mesures sont effectuées sur échantillons frais ou sur échantillons préalablement séchés à l'air.

FIG.11 Versant amazonien 17

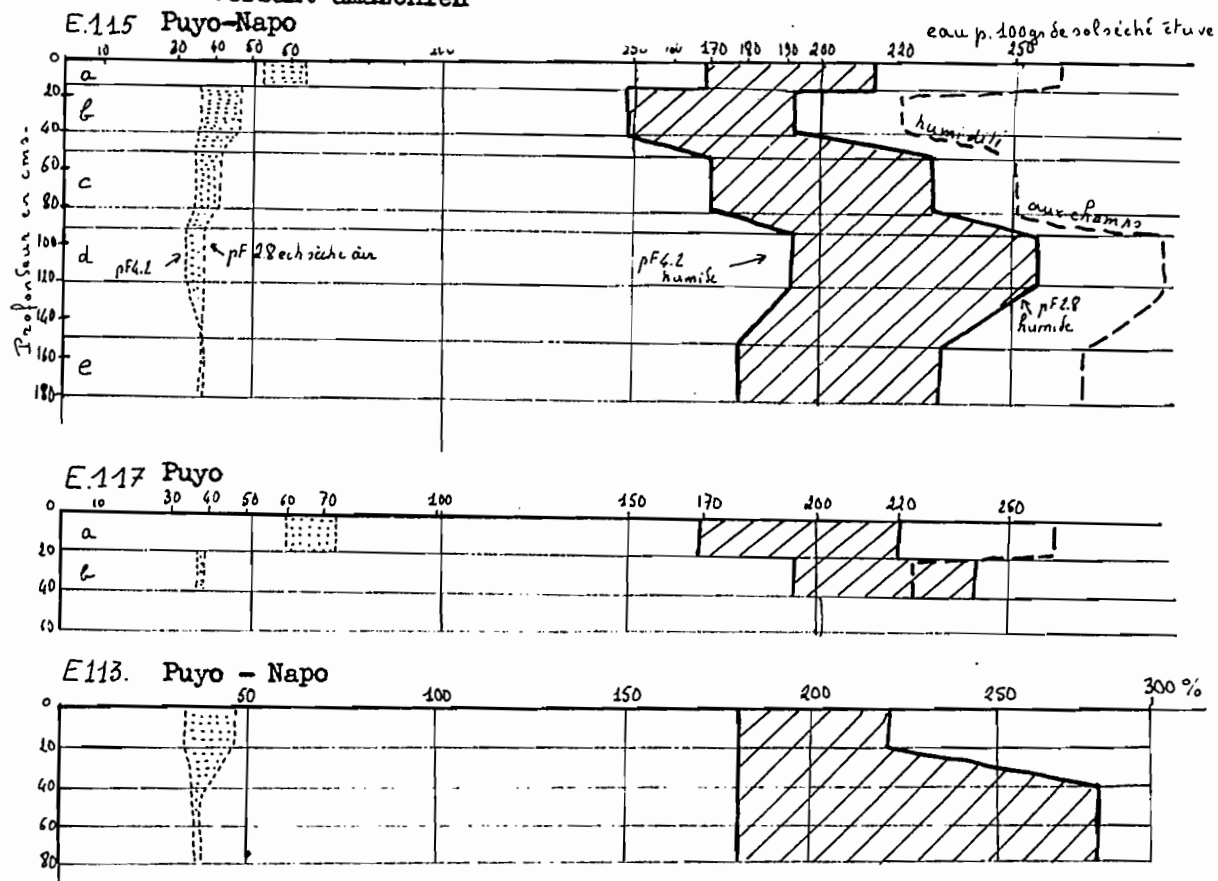
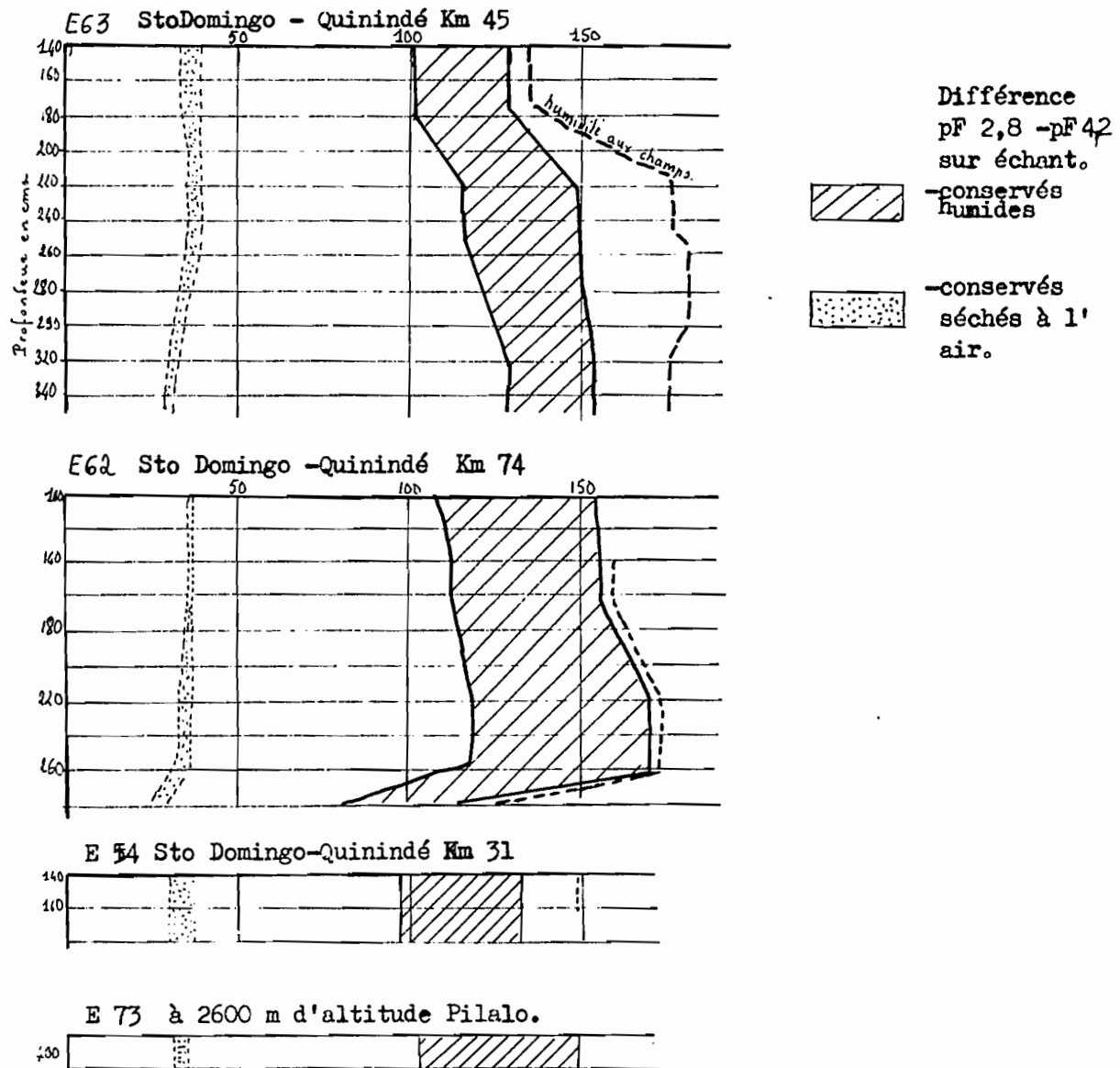


FIG 12 - Horizons enfouis profonds du versant Pacifique



L'examen des graphiques I1 et I2, surtout quand on les compare à ceux des sols faiblement allophaniques (page 26) et des sols à halloysite (page 27) montre que "l'eau utilisable" définie par la différence des humidités entre pF 2,8 et 4,2, est d'autant plus forte mesurée sur échantillons frais et d'autant plus faible mesurée sur échantillons préalablement séchés à l'air, que le sol est fortement allophanique et moins riche en matières organiques. C'est particulièrement net pour le profil II5 (Fig. I1). Dans les horizons profonds, fortement allophaniques, cette "eau utile" mesurée sur les échantillons séchés à l'air est presque nulle, bien que l'humidité (I052) soit de l'ordre de 30 %.

On remarque sur les graphiques de la fig. I2, concernant des horizons de sols du versant Pacifique, que l'humidité des échantillons de sols, ressuyés au champs, après plusieurs jours, voir même des semaines sans pluies, est souvent supérieure à celle trouvée pour pF 2,8 sur des échantillons frais (Fig. I2 profils 53-54-63-62). Cette remarque est plus difficilement applicable au profil II5 (Fig. I1) situé dans une région de pluies très fréquentes, mais l'écart très important et régulier, autorise à penser qu'il en est aussi de même. L'humidité au pF 2,8 serait donc inférieure à l'humidité réelle au champ du sol ressuyé, et l'eau "utilisable" définie par les différences d'humidité entre pF 2,8 et 4,2, aurait donc des valeurs réelles encore supérieures aux 40 et 60 % p.100 de sol sec, trouvées pour certains échantillons et qui sont pour des sols aussi légers, des chiffres considérables.

Quelques déterminations de pF 2,8 sur des échantillons frais, préalablement amenés à pF 4,2, puis réhumectés, indiqueraient que le phénomène est réversible entre ces limites de pF. La valeur du pF au-dessous de laquelle la dessiccation devient irréversible, n'a pas encore été déterminée.

Etude de l'irréversibilité de la dessiccation - Sur certains sols allophaniques des Antilles, très voisins, par leurs propriétés, de ceux qui sont représentés dans le graphique I2, nous avons étudié la réhumectation d'échantillons séchés plusieurs mois à l'air, à la température ordinaire. Les sols renfermaient encore 15 à 25 % d'eau. Les échantillons ont été mis en contact plus de trois mois avec un excès d'eau et les déterminations des pF effectuées sur la terre encore humide. La fig. I3 montre que les valeurs obtenues sont très voisines de celles obtenues sur ces mêmes échantillons séchés à l'air avant leur réhumectation et sont très éloignées de celles obtenues sur les échantillons n'ayant subi aucune dessiccation après prélèvements aux champs. Ceci confirme bien l'irréversibilité de la dessiccation à l'air à la température ordinaire.

Cette dessiccation s'effectue avec une perte considérable de volume, les agrégats se prenant en petite masses dures brunes foncées.

FIGURE 13

Irréversibilité de la dessiccation

Echantillons séchés à l'air plusieurs mois et réhumidifiés avec un excès d'eau pendant 3 mois. pF mesurés sur échantillons humides (2) -

Comparaison avec les pF mesurés sur échantillons conservés frais après prélèvements aux champs (3) et sur échantillons séchés à l'air quelques semaines après prélèvements (1) -

Ech	pF 4,2				pF 2,5		
	I	2	3		I	2	3
6IC3 a:	29	26,4	38,7	:	47	59,4	69,5
b:	36	26,6	70	:	43	42,8	100
c:	32,6	24,8	67,7	:	42	42,4	107
d:	28,9	26,1	71,4	:	35	37,3	100

6I04 b:	24	21	52	:	33	38,5	92
c:	37	27	86	:	44	40,7	152

6I06 b:	30	25,4	72	:	38	41,4	115
c:	44	32,8	87	:	46	46,8	148

6I40 b:	38	31,6	72	:	50	46,8	98
c:	44	36,1	74	:	58	61,5	108

L17 a:	38	55,4	120	:	63	77,7	129

a:	25	22,6	46	:	40,5	53,6	95
b:	20	18,5	63	:	40	44,8	80

CA 4 a:	36	43,2	131	:	46	68	167
b:	22	26,1	77	:	34	42,7	119
c:	22	31,6	140	:	30	30,9	155

Influence de la matière organique - Les rôles respectifs des matières organiques et des substances amorphes minérales dans ces phénomènes de rétention pour l'eau, sont à préciser. Il semble, comme nous l'avons déjà indiqué à propos des forts crochets exothermiques vers 400 - 600° à l'ATD, qui ne disparaissent que par des attaques prolongées à H_2O_2 , que les allophanes et la matière organique peuvent former des complexes particuliers.

Peut-on attribuer une partie de ces propriétés considérables d'absorption pour l'eau à une forme particulière de la matière organique, due à son évolution dans les conditions d'humidité permanente, qui sont la raison d'être des substances minérales amorphes très hydratées.

Il n'est pas possible de comparer ces conditions à celles qui président à la formation des tourbes, en milieu constamment inondé. En effet, la porosité pour l'air (elle s'observe bien sur le terrain) mesurée sur quelques échantillons d'Equateur et sur de nombreux échantillons analogues des Antilles, conserve toujours une certaine valeur, même lorsqu'il s'agit de sols très riches en eau (porosité pour l'eau = humidité au pF 2,5 mesuré sur échantillons frais x Densité apparente). On peut aussi faire remarquer que dans beaucoup de niveaux profonds de sols ferrallitiques à kaolinite, les conditions

d'humidité sont très analogues. Elles sont même bien supérieures dans certains niveaux argilo-humiques, à hydromorphie permanente, sans que ces propriétés particulières d'absorption d'eau n'apparaissent.

Des échantillons d'allophanes des Antilles conservés frais, ont été attaqués, à plusieurs reprises, par l'eau oxygénée concentrée. Une autre fraction a subi les mêmes traitements, mais avec de l'eau pure. Les mesures des pF 4,2 et 2,5 ont été effectuées sur les échantillons humides, n'ayant subi aucune dessiccation à l'air.

On remarque (Fig. I4) que les valeurs restent très semblables pour pF 2,5, en dépit des variations que les dégagements gazeux de l'eau oxygénée ont pu apporter en provoquant une certaine séparation des sables et une désagrégation.

FIGURE I4

Influence de la Matière Organique -

Comparaison d'échantillons frais traités à l'eau oxygénée (1) avec un témoin (2) traité exactement de la même façon, mais avec de l'eau - Moyennes de deux déterminations -

		pF 4,2		pF 2,5	
	:	H ₂ O ₂ 1	Témoin 2	H ₂ O ₂ 1	Témoin 2
La	Ib	112,5	92	134	136,5
La	8c	57,6	68,2	85,9	85,9
La	22b	81,6	84	120,4	126
La	24c	59,6	87,5	112	120,4
La	27c	111	95,2	126,8	125,7
La	28b	65,7	70,8	97,4	100

R.S. - Aucune différence pour les pF 2,5 -

Quelques différences en tous sens pour les pF 4,2 - à préciser par plus d'échantillons -

Pour pF 4,2, les résultats sont plus variables, mais en plus ou en moins. C'est une détermination plus délicate et une notion confuse, puisque l'eau de constitution est susceptible de partir suivant le temps de passage à la presse. Bien que d'autres déterminations soient nécessaires, on peut penser que le rôle de la matière organique n'est pas très important.

Certains auteurs comme Kazuake et Kawaguchi signalent qu'au contact des allophanes, une polymérisation des polyphénols issus de la décomposition des matières organiques, peut donner naissance à des composés fortement liés aux siliciums du réseau allophanique.

Une meilleure connaissance des liaisons, substances amorphes minérales, substances organiques par des études aux infra-rouges, permettra de connaître, avec plus de précision, quels sont les rôles respectifs de chacune dans l'absorption d'eau considérable de ces sols. Dès à présent, il paraît à peu près certain que c'est aux substances minérales qu'il faut attribuer surtout ces propriétés si particulières.

5) - CAPACITE D'ECHANGE DE BASES -

La capacité d'échange de base du sol dépend :

- de la proportion de substances colloïdales minérales amorphes.
Les teneurs en sables supérieurs à 50 microns peuvent seules nous donner, sur ce point, une indication.
- de l'intensité de l'hydratation des allophanes (absence de toute dessiccation).
- de l'état d'humidité du sol, du moins dans certains intervalles au moment de la détermination.
- de la proportion de matière organique (échantillon de surface seulement).

Pour les échantillons fortement allophaniques de profondeur renfermant de 10 à 20 gr de sables supérieurs à 50 microns pour 100 gr d'échantillon de sol séché à l'air et 2 à 3 % de M.O., la capacité totale d'échange déterminée sur échantillon séché à l'air avec l'acétate d'ammonium est de l'ordre de 30 mé %

Déterminée sur échantillons conservés dans un état voisin de leur humidité naturelle, la capacité d'échange est beaucoup plus élevée, parfois le double, comme l'indique la fig. 15 (les résultats ont été rapportés en % de sol séché étuve - échantillons d'Equateur et des Antilles). Pour certains échantillons, la capacité d'échange a été déterminée après séchage étuve à 60°, afin d'éliminer la plus grande partie de l'eau hygroscopique. Par séchage à 105°, ces échantillons ne renferment plus que 2 à 3 % d'eau, au lieu de 10 à 30 % pour les échantillons séchés à l'air. La capacité d'échange ne varie guère entre le sol séché à l'air ou à l'étuve.

La dessiccation à l'air du sol entraîne donc une diminution de la capacité d'échange, d'autant plus importante que le sol est plus fortement allophanique. Un réseau distendu, très hydraté, favorise vraisemblablement la fixation des cations en position interne.

Fig. 15 - T en mé p.100 g de sol séché étuve (acétate ammonium)
pF en eau p.100 gr de sol séché étuve -

Equateur				Antilles			
ECH.	T	T	pF	ECH.	T	T	pF
	sec air	frais	frais		sec 60°	sec air	frais
II5 a	52	76	214 ^x	SM4 c	25	31	178
b	39	56	192	d	29	30	166
d	33	72	255	CA4 b	23	25	176
e	33	64	231	CAII b	17	20	119
II7 a	52	82	226 ^x	L3 b	36	35	138
73 x	45	60	148	SM3 c	28	34	153
63 E	54	57	-	d	23	23	105
II3 a	43	80	220	SMI6 c	-	26	130 ^x
b	46	68	274				
III	40	88	222				
II	35	80					

^x Horizon de surfaces très riches en M.O. - 10 %. Tous les autres échantillons sont des horizons de profondeur.

N.B. - L'humidité au pF 2,5 (ou à défaut du sol frais en place) est donnée à titre indicatif, car les déterminations de T ont été souvent effectuées sur des échantillons déjà nettement moins humides.

Etat de saturation en bases - pH -

La somme des bases échangeables est variable et liée au lessivage du sol, donc à l'importance de la pluviométrie. Il s'agit là d'un fait bien établi aux Antilles et dans le monde, pour les sols ferrallitiques friables à kaolinites. Toutefois, pour des pluviométries analogues, les sols à allophanes ont généralement une somme de bases échangeables plus élevée (extraction sur échantillon séché à l'air) que pour les sols ferrallitiques.

Dans les régions très arrosées : 3,5 à 4 mètres de pluviométrie annuelle, la teneur globale en bases échangeables est souvent très faible. Aux Antilles, dans ceux qui reçoivent beaucoup d'engrais (régions bananières), le potassium est très souvent, alors, le principal cation échangeable.

A la différence des zones plus sèches, où le magnésium reste fortement fixé dans le réseau de la montmorillonite, cet élément semble disparaître très rapidement. En dépit d'abondants minéraux ferro-magnésiens en voie d'altération, on ne trouve généralement que de très faibles teneurs en magnésium échangeable et c'est le calcium qui est de loin le principal élément dans les sols ^{non} fertilisés.

Bien que l'état de saturation en bases soit souvent très faible : 5 - 10 %, si on le rapporte à la capacité d'échange déterminée sur échantillon séché à l'air et encore bien plus faible si on prend la capacité d'échange déterminée sur échantillon frais, les pH sont parfois très anormalement élevés en comparaison de ceux que l'on obtiendrait pour des états de saturation semblables sur les sols ferrallitiques (Fig.16). Le pH semble d'autant plus élevé pour un même état de saturation en bases, que l'échantillon est fortement allophanique (proportion de substances amorphes et hydratation) et la teneur en M.O. plus faible. Cependant, lorsque le taux de bases échangeables devient négligeable dans les régions tout particulièrement arrosées, le pH peut descendre jusqu'à 4,5.

Fig. 16	Ech.	$V = \frac{S}{T \text{ sec}}$	pH eau	pF 2,5 ou eau nat.	
	62 f	18	6,6	172	éch. de profondeur fortement allophanique du versant Pacifique
	6	13	6,1	160	
	53 f	13	6,0	148	
	68 E	22	5,5	106	
	73 x	7	5,9	148	éch. de profondeur à 2600 m d'altitude
	5017 c	1	5,6	140	éch. des Antilles similaires
	51018 c	8	5,7	140	
	5054 E	2	5,6	131	

On pourrait multiplier les exemples. Des relations plus complexes portant sur de nombreux échantillons et faisant aussi intervenir le taux de M.O. devront être établies.

Contrairement aux sols ferrallitiques ou aux sols fersialitiques des régions plus sèches et surtout aux sols à montmorillonite, le pH dans une solution de KCl normal est très voisin et parfois même un peu supérieur au pH déterminé dans l'eau.

6) - MICROSCOPIE ELECTRONIQUE -

Les propriétés si particulières des sols à allophanes pour l'eau, les difficultés de la dispersion des fractions fines, les variations de la capacité d'échange, etc... sont assez bien illustrées par les clichés obtenus au microscope électronique.

L'extraction a été faite sur échantillons conservés frais et traités à l'eau oxygénée et l'examen sur des échantillons séchés depuis peu de temps à l'air, à la température ordinaire.

On observe de fins filaments abondants formant un chevelu autour des particules aux formes souvent mal définies, parfois décrites par certains auteurs (Fripiat, etc...).

La Fig. 17 concerne les échantillons du versant amazonien (II5 et II7) et du versant Pacifique (63) séchés à l'air. Après séchage à l'étuve, les échantillons II7 et 63 (Fig. 17) se prennent en une masse qu'il n'est plus possible de dissocier, même avec les ultra-sons.

Le resserement du réseau initial très lâche est bien en accord avec les propriétés d'absorption, considérables pour l'eau et la déshydratation que nous avons décrites.

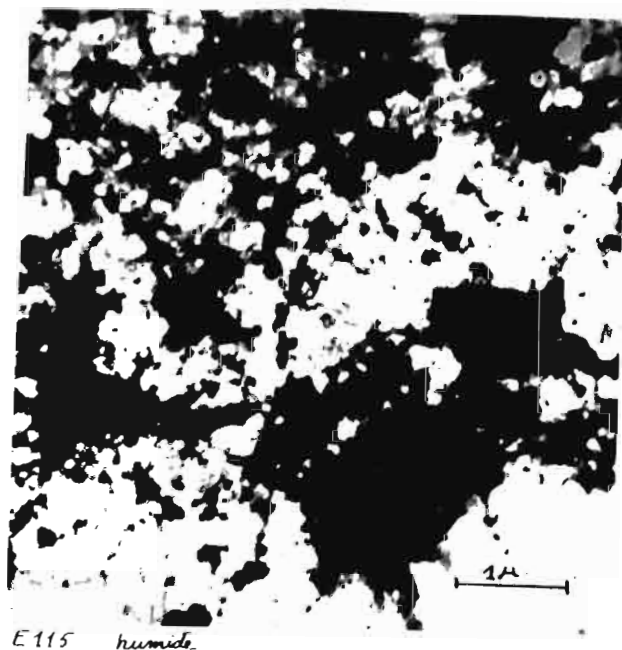


Figure 17

Clichés de l'Institut
Agronomique de Louvain
(Mr de Kimpe)

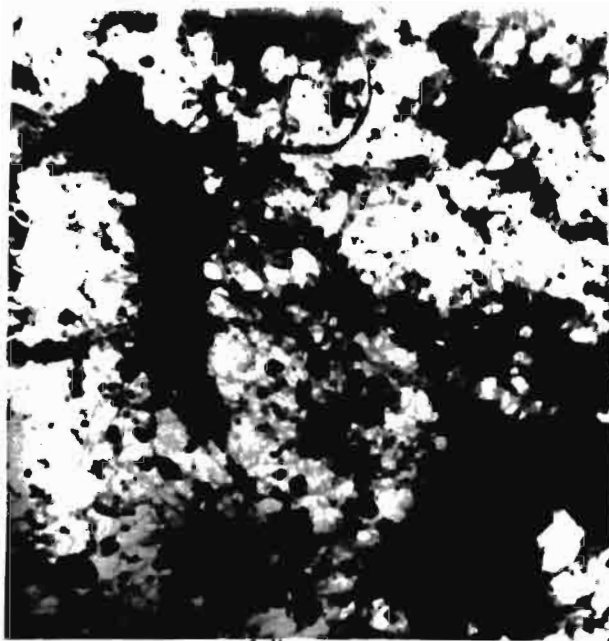
Echantillons séchés à l'air
peu avant photographie.

Figure 17 (suite)

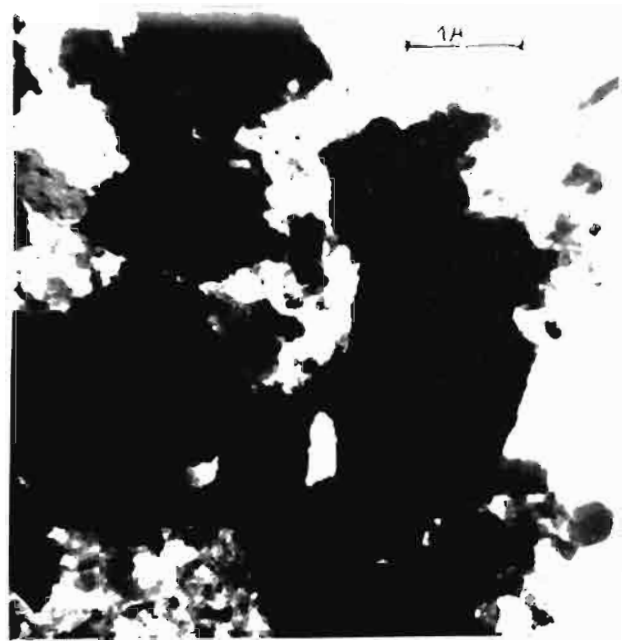
Echantillon 117 c (versant amazonien)

Conservé humide , traité à l' H_2O_2
 extrait sans séchage.
 Séché à l'air juste avant observation.

Même échantillon après
 séchage à l'étuve.



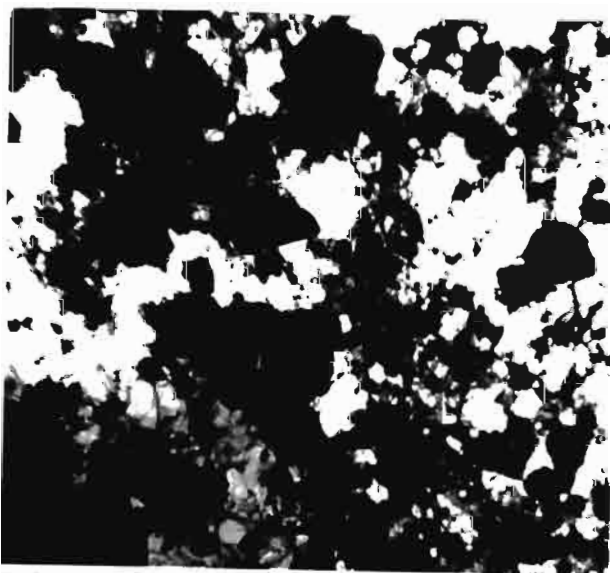
E117c. humide

E117c apres H_2O_2 et séchage

Echantillon E 63 - Versant Pacifique-

Conservé humide , traité à l' H_2O_2
 extrait sans séchage. Séché à l'air
 juste avant observation.

Même échantillon après
 séchage à l'étuve.



E63. humide



E63 - séché

B) - HORIZON CARACTERISTIQUE DES SOLS FAIBLEMENT ALLOPHANQUES -

1) - CONDITIONS DE FORMATION -

Les conditions de formation sont les mêmes que pour les sols fortement allophaniques, mais les dépôts aériens de cendres sont plus récents, plus jeunes, et par conséquent, moins altérés. La proportion de substances allophaniques est moins importante et les sables plus abondants.

Dans quelques cas, le climat un peu moins humide peut ralentir la vitesse d'altération des minéraux, ou par une dessiccation temporaire modérée réduire l'état d'hydratation de certains niveaux supérieurs. Les caractéristiques des substances amorphes sont moins accusées, sans que la présence d'hallowaysite soit encore bien nette et que l'on puisse prévoir vraiment l'évolution ultérieure du sol.

2) - MORPHOLOGIE -

L'altération étant encore peu intense, on distingue mieux les nombreux niveaux successifs correspondant à différentes phases d'une même éruption ou à diverses éruptions échelonnées dans le temps avec, en ce cas, souvent des horizons humifères enterrés bien visibles.

Certains niveaux de cendres très grossières sont encore à peine altérés. De minces bandes de sables grossiers, constituées de minéraux noirs et blancs inaltérés, peut-être jadis remaniés localement par les ruissellements superficiels, sont ainsi observés.

D'autres niveaux, quoique déjà plus fins et plus altérés, sont encore très sableux.

D'autres encore, correspondant à des particules beaucoup plus fines à l'origine ou plus anciens, sont déjà nettement allophanisés, bien que les diverses caractéristiques d'onctuosité, etc... soient moins accentuées et moins évidentes que pour les sols fortement allophaniques précédemment décrits. Ces derniers niveaux, avec beaucoup plus de variabilité que pour les sols fortement allophaniques, sont les horizons de diagnostic.

- L'épaisseur est variable mais dépasse rarement 1 mètre. Le plus souvent elle est comprise entre 30 et 60 cms. L'horizon est enserré dans des niveaux plus perméables.

- La couleur est beige-grisâtre, devenant beaucoup plus claire en séchant. L'influence de la M.O. est ici beaucoup plus nette.

- La texture apparente est celle d'un limon finement sableux, légèrement; mais nettement onctueux et un peu savonneux entre les doigts.

- La structure d'ensemble est fondue - Le sol est meuble, mais avec une certaine cohésion qui limite l'éboulement des faces de la tranchée, à la différence des horizons plus sableux, moins altérés. Il n'y a pas de mottes

ni d'agrégats, mais le sol peut se tailler au couteau en conservant une certaine forme.

La perméabilité est très élevée.

Des particules sableuses un peu plus grossières, blanchâtres plus ou moins altérées et pouvant être écrasées entre les doigts, ainsi que d'abondants minéraux noirs peu altérés, sont bien visibles.

3) - MINÉRALOGIE -

La dispersion à 2 microns étant difficile, les examens ont souvent été effectués sur des échantillons obtenus après un temps plus court de sédimentation en milieu légèrement acide.

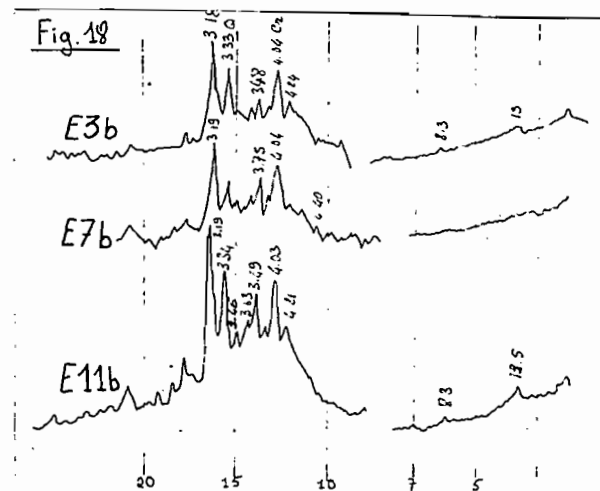
a) Rayons X -

Ils n'indiquent aucun des minéraux argileux usuels.

On retrouve sensiblement les mêmes raies que pour les sols fortement allophaniques, avec quelques raies supplémentaires de feldspaths ou autres minéraux (Fig.18).

La raie à $4,05 \text{ \AA}^2$ de la cristobalite est toujours bien visible ainsi que les raies du quartz.

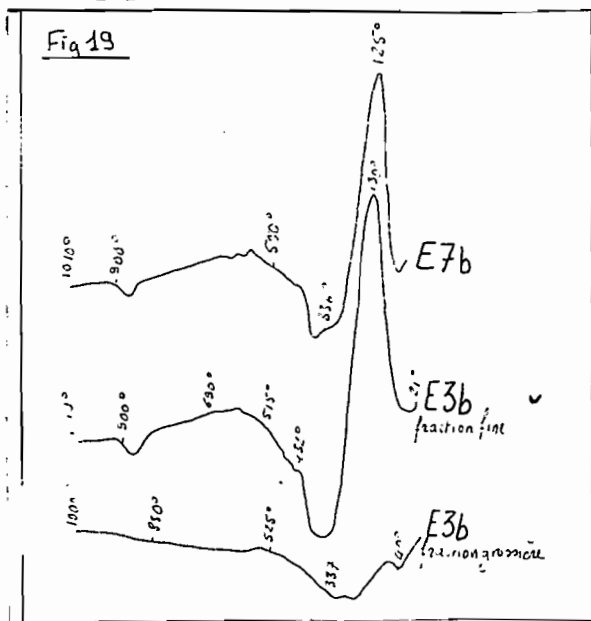
Les raies à $8,3$ et $13,5 \text{ \AA}^2$, attribuables peut-être à "l'imogolite" des japonais, sont visibles, mais très faibles.



On remarque aussi pour l'échantillon 7 (Fig.18) une légère raie à $4,40 \text{ \AA}^2$ qui pourrait être l'indice d'un début de formation d'halloysite. Ce profil, plus éloigné de la Cordillère des Andes, laisse déjà pressentir faiblement, par sa morphologie, les sols de transition à halloysite.

b) Analyses thermiques différentielles -

L'ATD donne des courbes d'allure analogues à celles obtenues pour les échantillons fortement allophaniques, mais les crochets endothermiques sont beaucoup plus faibles (Fig. 19). Le départ d'eau semble aussi commencer à une



température un peu plus basse : 125°

Le crochet exothermique vers 350° peut difficilement être pris en considération. La Fig.19 montre pour l'échantillon 3 les courbes obtenues sur la fraction fine et la fraction plus grossière. Pour cette dernière, seul un crochet exothermique de 200 à $340 \text{ \AA}^2$ apparaît.

4) - GRANULOMETRIE - SABLES -

La dispersion par les méthodes usuelles est très difficile et incomplète. La plupart des déterminations (dispersion à l'hexamétaphosphate) donnent des résultats souvent analogues, mais quelque peu illusoire.

Fraction inférieure à 2 microns =	5 à 9 %
" de 2 à 20 =	30 à 40 %
" de 20 à 200 =	45 à 55 %
" de 200 à 2000 =	2 à 8 %

Comme la proportion des sables est souvent très importante, il est difficile de savoir si ces valeurs correspondent, dans certains cas, à une dispersion incomplète et dans d'autres à une faible teneur réelle de la fraction inférieure à 2 microns. Seule, la détermination sur tamis des fractions sableuses de 50 - 200 et 200 à 2000 microns, peut-être effectuée avec précision, après lavages avec des solutions acides et alcalines peu diluées. Les résultats obtenus par ces procédés énergiques, sont parfois semblables à ceux de l'analyse granulométrique classique, mais très souvent aussi, inférieurs de moitié, voir même 10 ou 20 fois plus faibles. Même dans le cas où ces valeurs sont semblables, il n'est guère possible de savoir si les chiffres trouvés pour les fractions plus fines inférieures à 50 microns sont correctes.

La teneur en sables supérieurs à 50 microns est nettement plus élevée que pour les horizons fortement allophaniques. Elle est comprise, le plus souvent, entre 40 et 50 p. 100 G de sol séché air (au lieu de 10 à 20 %).

L'examen détaillé des fractions lourdes et légères (50 - 500 microns) n'indique pas un degré d'altération très sensiblement moindre que pour les sables des horizons fortement allophaniques. Il semble, dans ces derniers, que ce soit surtout l'altération des particules très fines inférieures à 50 microns et des verres volcaniques qui ait été plus intense.

Aux Antilles, où les sols fortement allophaniques sont souvent plus riches en gibbsite, des différences plus nettes apparaissent entre les sables des sols fortement allophaniques plus altérés, et ceux des sols encore jeunes et peu allophanisés. La variabilité à de très faibles distances dans un même profil, de la granulométrie originelle des sables, rend souvent délicate l'interprétation.

La composition minéralogique des sables est analogue à celle des des sols fortement allophaniques, ou différente. Il s'agit de différences dans la composition du dépôt originel sur lesquelles nous reviendrons. (page 35).

5) - RETENTION POUR L'EAU -

On retrouve, mais très atténuées, les propriétés d'absorption pour l'eau des échantillons fortement allophaniques.

Dans les graphiques de la fig. 20, nous avons figuré à la fois, à titre de comparaison, les humidités correspondantes au pF 2,8 et 4,2, déterminés sur échantillons conservés frais ou séchés à l'air, de sols relativement récents et peu allophanisés, surmontant des horizons plus profonds, fortement allophanisés. Ils illustrent parfaitement les faits suivants :

- il existe une différence entre les humidités des pF déterminés sur échantillons conservés frais ou préalablement séchés à l'air. Cette différence est beaucoup plus faible que pour les sols fortement allophaniques.

- L'eau utile définie par la différence des humidités entre pF 2,8 et pF 4,2 est plus élevée sur échantillons conservés frais que sur échantillons séchés à l'air.

- Par comparaison avec les sols fortement allophaniques (voir aussi graphiques page), cette "eau utile" est plus faible pour les échantillons conservés frais et plus importante pour les échantillons séchés à l'air.

Cette capacité en eau "utile" plus élevée sur échantillons séchés à l'air dans les sols faiblement allophaniques que dans les sols fortement allophanisés, bien que les teneurs en sables soient plus importantes, est difficile à expliquer. Dans certains cas, elle pourrait être attribuée à des teneurs plus élevées en M.O., moins liées aux substances allophaniques amorphes, elles-mêmes moins abondantes et parfois mieux organisées, sous l'influence de dessications temporaires modérées réduisant l'hydratation.

Le sol est aéré. La porosité pour l'air, en prenant pour le calcul de la porosité en eau l'humidité au pF 2,8 sur sol frais, est voisine de 15 à 20 % de sol séché étuve.

La Fig.2I correspond à des sols peu allophanisés sur dépôts récents très épais, en bordure de la Cordillère.

On remarque que certains horizons - correspondant à des dépôts de cendre plus fins, sont plus fortement allophanisés que les horizons plus grossiers supérieurs ou inférieurs - Cela paraît particulièrement net pour les niveaux 50 - 80 cm des profils 40 - 49 et 52.

Figure 20 Sols faiblement allophaniques reposant sur des sols fortement allophaniques

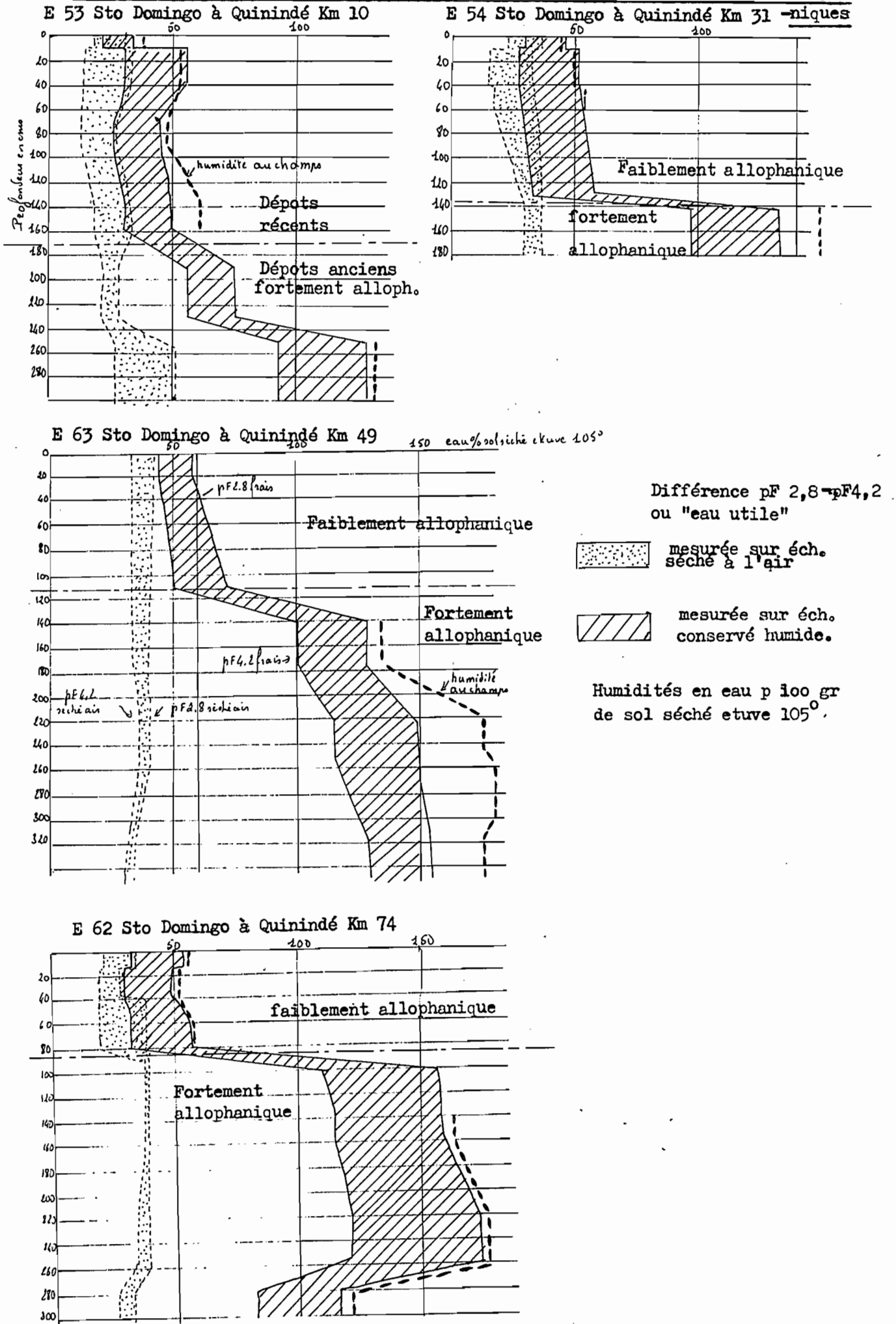
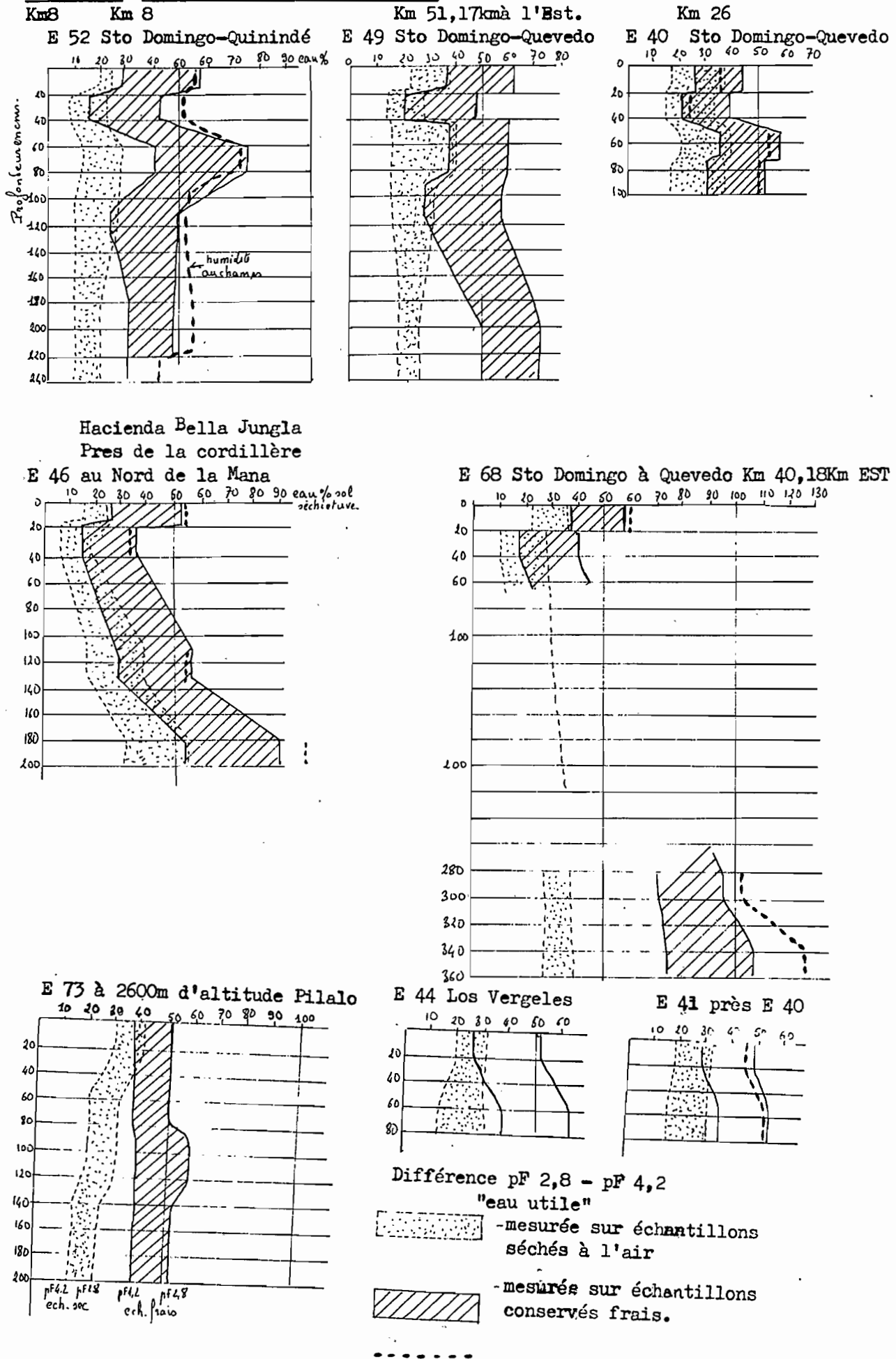


Figure 21 Sols faiblement allophaniques

b) Capacité d'échange de bases - pH -

Elle dépend de la proportion de substances allophaniques et des teneurs en matières organiques. La M.O. a une influence plus importante que pour les sols fortement allophaniques.

Par contre, (à défaut de résultats sur les sols d'Equateur, ceux des Antilles permettent de le penser) l'état d'humidité du sol n'intervient pas de façon sensible.

La fig.22 indique pour deux profils la capacité d'échange sur échantillons séchés à l'air, les humidités au pF 2,8, mesurées sur échantillons frais, les teneurs en M.O. et la proportion de sables supérieurs à 50 microns. On remarque nettement que l'allophanisation semble avoir plus d'importance que les teneurs en M.O. Des relations établies sur de nombreux profils seraient nécessaires.

Fig.22	T sec me%	pF 2,8 frais	M.O. %	Sables 50 microns	T sec me%	pF 2,8 frais	M.O. %	Sables 50 microns
E 52 a	20	57	8,3	53	E49a 28	62	7,1	28
b	12	42	2,2	55	b 18	48	2,9	37
d	19	75	3,0	34	c 25	51	2,7	36
e	14	49	1,6	-				

Comme pour les sols fortement allophaniques, les valeurs de pH sont relativement élevées pour des états de saturation faible - 10 à 20 % - (T déterminé sur sol séché air) quand on les compare aux sols ferrallitiques. L'influence de la M.O. semble très importante. La Fig.23 montre clairement que bien que l'état de la saturation croisse en profondeur, ainsi que les teneurs en M.O., les pH, au contraire, augmentent. On peut remarquer dans le profil 46, un horizon enterré humifère, dans lequel le pH est nettement plus élevé que dans l'horizon humifère de surface, bien que les teneurs en M.O. soient les mêmes. Ce serait donc surtout, les horizons renfermant de la M.O. fraîche, dans lesquels l'activité microbienne est intense, qui seraient les plus acides.

Fig.23

eau					eau				
ECH.	V= $\frac{S}{T}$ %	pH eau	M.O %	pF 2,8	ECH.	V= $\frac{S}{T}$ %	pH	M.O %	pF 2,8
eau					eau				
fr. %					fr. %				
E 49 a :	14 :	5 :	7,1 :	62 ::	53 a :	36 :	5,6 :	11,5 :	32 :
b :	12 :	5,6 :	2,9 :	48 ::	b :	10 :	5,6 :	3,6 :	55 :
c :	10 :	6 :	2,7 :	61 ::	c :	9 :	5,9 :	1,7 :	43 :
E 50 a :	15 :	5,5 :	6,4 :	- ::	46 a :	20 :	5,4 :	6,7 :	53 :
b :	13 :	5,9 :	2,9 :	- ::	b :	17 :	5,7 :	1,9 :	35 :
c :	12 :	6,4 :	2,5 :	47 ::	e :	16 :	6,1 :	6,7 :	- :
E 52 a :	22 :	5,2 :	8,2 :	57 ::	f :	11 :	6,3 :	1,9 :	57 :
b :	18 :	5,1 :	2,2 :	41 ::	g :	20 :	6,2 :	1,4 :	90 :
d :	6 :	5,6 :	3 :	75 ::	Sol des Antilles				
54 a :	36 :	5,3 :	8,2 :	46 ::	I38 c :	13 :	5,3 :	2,4 :	74 :
b :	11 :	5,4 :	3,5 :	51 ::	I39 d :	16 :	5,2 :	0,6 :	73 :
c :	7 :	5,8 :	3,2 :	- ::	I40 d :	32 :	5,1 :	2,2 :	50 :

II - Deuxième Partie

(II-2) - S O L S A H A L L O Y S I T E

CONDITIONS DE FORMATION -

Ils sont issus des formations volcaniques cendreusees analogues ou identiques à celles des sols à allophanes, mais en climat moins humide. La pluviométrie est moins importante : 1,8 à 2,5 m. La saison sèche et l'insolation (évapo-transpiration) sont souvent plus accentuées.

Le volume d'eau percolé dans le profil annuellement est moins grand que dans les sols à allophanes déjà décrits, et un déficit en eau apparaît très nettement certains mois. Le profil peut se dessécher sur une certaine épaisseur.

L'entraînement des substances dissoutes au cours de l'altération est moins intense, moins profond, souvent même stoppé à certains moments de l'année. Ces conditions semblent favorables à la néo-synthèse de l'halloysite.

L'altération des cendres volcaniques donnant naissance, dans le temps, dans ces régions, à des sols de plus en plus riches en argiles et de moins en moins perméables, les nouveaux dépôts aériens plus récents, donc très perméables, viennent se déposer sur un niveau argilisé ancien, peu perméable, facteur de ralentissement du drainage interne, favorable aussi aux néo-synthèses argileuses.

Les teneurs en argiles inférieures à 2 microns, pouvant varier suivant l'intensité de l'altération et l'ancienneté, de 10 % à plus de 60 %, les sols ont des aspects variés. Certains caractères cependant, demeurent suffisamment stables pour qu'il soit possible de définir des horizons caractéristiques d'une part, pour les sols encore très jeunes et légers, formant transition vers les sols à allophanes, d'autre part, pour les sols déjà évolués, plus anciens et nettement argileux. Ces horizons caractéristiques peuvent représenter, parfois par suite de l'absence d'horizons morphologiquement bien différenciés - et c'est souvent une des caractéristiques de ces sols - l'ensemble du profil.

Ce sont surtout les critères morphologiques et minéralogiques qui permettent un diagnostic, car, par leurs propriétés physico-chimiques, ces sols peuvent se rattacher à bien d'autres sols à pedon cambic, bruns eutrophes tropicaux ou bruns ferrisoliques.

A) - HORIZON CARACTERISTIQUE DES SOLS DE TRANSITION ALLOPHANES - HALLOYSITE -

I) - MORPHOLOGIE -

L'épaisseur est variable, généralement comprise entre 0,5 et 1 m et la limite avec l'horizon supérieur, quand elle existe, très diffuse.

La couleur est très foncée - noire à brun-noire - 10 YR 3/2 - sur le sol ressuyé frais, devenant très foncée 2/2 sur le sol mouillé, et beaucoup plus pâle sur le sol sec. Elle s'apparente, le plus souvent, à celle du niveau supérieur.

La texture apparente est celle d'un limon à sable fin qui paraît parfois, renfermer un peu d'argile. La structure d'ensemble est fondue. Le sol, parfois un peu dur à l'outil, sec, est très meuble humide. La cohésion des mottes sèches ou humides est très faible et le sol s'effrite très finement en particules sableuses, et parfois en petits agrégats peu stables. C'est souvent la seule différence nette avec le niveau superficiel plus agrégé par la matière organique, davantage grumeleux et ressemblant à un excellent terreau de couche.

Il n'y a pas de revêtements visibles, la perméabilité est excellente.

Les caractéristiques font donc souvent penser plutôt à un A_1 profond ou à un A_{12} qu'à un B_1 .

2) - MINÉRALOGIE -

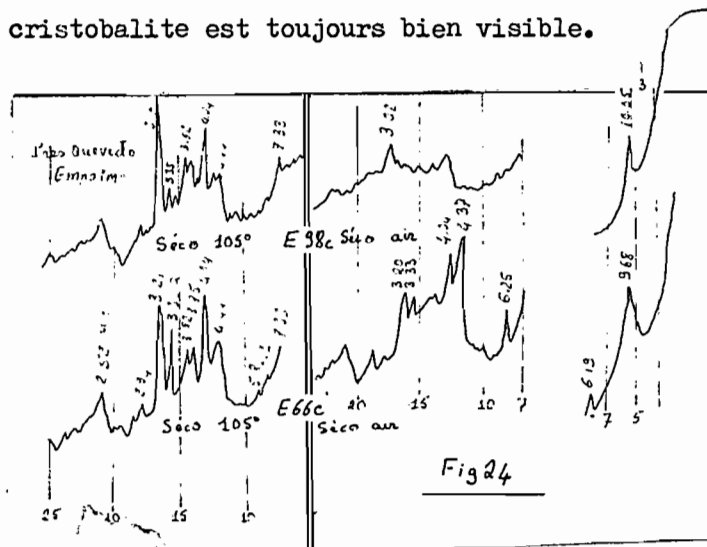
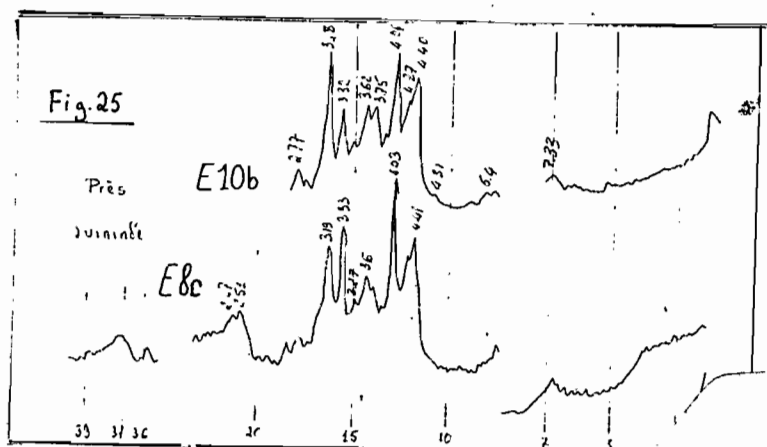
La dispersion de la fraction argileuse par les méthodes usuelles n'est pas toujours complète et valable. L'extraction de particules fines est cependant, relativement aisée. Par analogie avec les allophanes, on a souvent opéré sur des fractions obtenues après des temps plus courts de sédimentation que pour 2 microns.

a) Rayons X -

Les raies vers $4,4 \text{ \AA}$ sont bien visibles, mais les raies vers $7,3 - 7,4 \text{ \AA}$ sont parfois très faibles (Fig. 24-25).

On remarque sur la fig. 25 que les spectres de rayons X des échantillons (I0-8) prélevés près de Quinindé à l'extrême Nord et près de Empalme au Sud (Fig. 24) à plus de 200 Km de distances, sont très semblables. Les raies sont plus ou moins intenses.

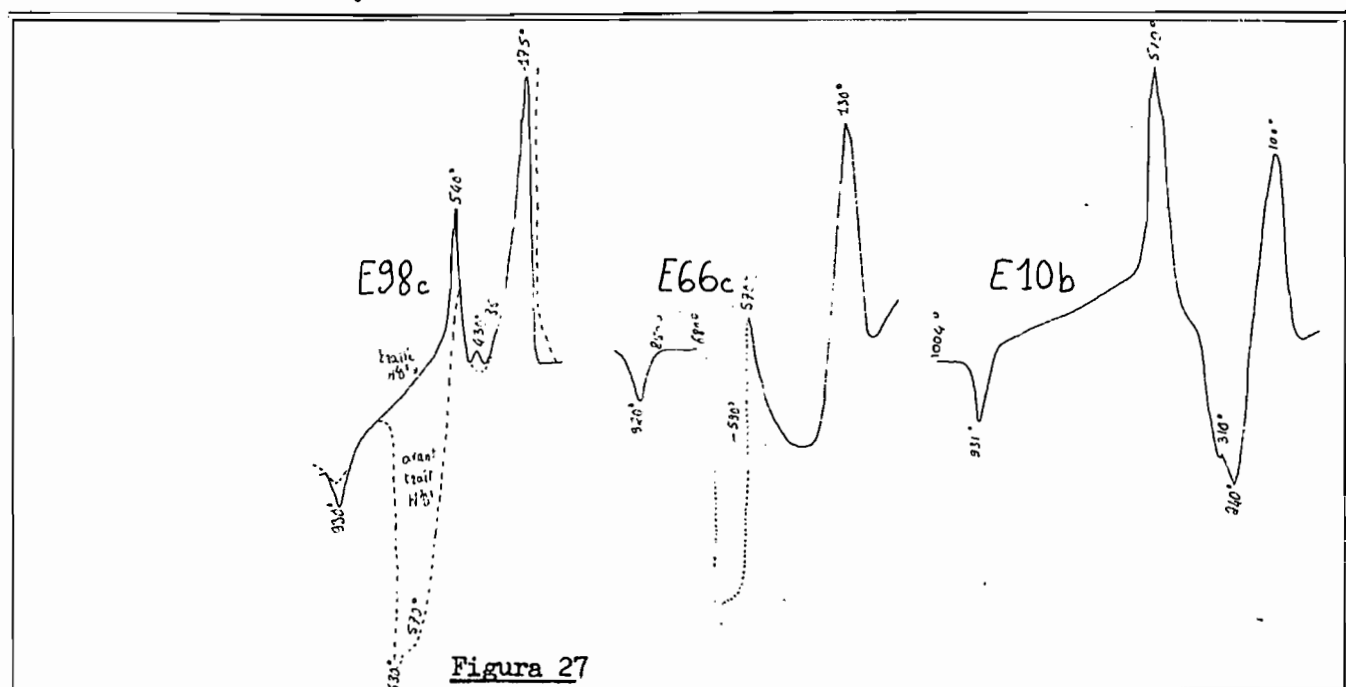
La raie à $4,04$ de la cristobalite est toujours bien visible.



L'halloysite n'existe encore qu'en faible quantité. Le plus souvent on a opéré sur échantillons séchés à 100° et les raies à $10 \text{ \AA}$ ne sont pas apparues. Sur tous les sols des Antilles, analogues à ceux d'Equateur, sur lesquels nous avons pu opérer sur les échantillons frais non séchés à l'étuve, mais simplement séchés à l'air, la raie à $10 \text{ \AA}$ est très bien apparue, passant à $7,25$ par chauffage à 100° . Sur des sols légers, très semblables des Antilles, les

tubes de l'halloysite apparaissent très nettement au microscope électronique (Fig.26 échantillon de Guadeloupe).

Il y aurait donc, outre des substances amorphes, une petite quantité d'halloysite.



Analyse thermique différentielle - Fig. 27 -

La présence d'halloysite est particulièrement nette. Le crochet endothermique relativement important vers 160 - 170° (allophanes + Halloysite) est suivi d'un crochet endothermique marqué vers 510 - 540° et enfin du crochet exothermique vers 930°.

Un très léger crochet vers 300 - 350° serait parfois attribuable à la gibbsite ou à la goethite et un soupçon de crochet vers 450°, peut-être lié à la boehmite (raie vers 6,2 Å, parfois visible aux rayons X).

En opérant comme nous l'avons fait aux Antilles sur davantage d'échantillons, on distinguerait mieux l'apparition de l'halloysite et son augmentation progressive : crochets à 510°, puis 540°, puis 570° plus importants. Raie à 7,3 - 7,4 Å plus intense et rejoignant en intensité la raie à 4,4 Å.

Il est vrai qu'aux Antilles nous trouvons des formations de surfaces déjà anciennes et plus altérées qu'en Equateur et les termes de passage y sont mieux représentés.

3) - GRANULOMETRIE ET SABLES -

L'analyse granulométrique n'est pas toujours possible et, surtout quand les teneurs en argiles inférieures à 2 microns ne dépassent pas 10 %, on ne sait pas si les valeurs sont exactes. Des taux d'argile de 20 % sont parfois rencontrés. Les fractions 12-20, 20-50 et 50-100 microns semblent très voisines l'une de l'autre et le sable grossier très faible.

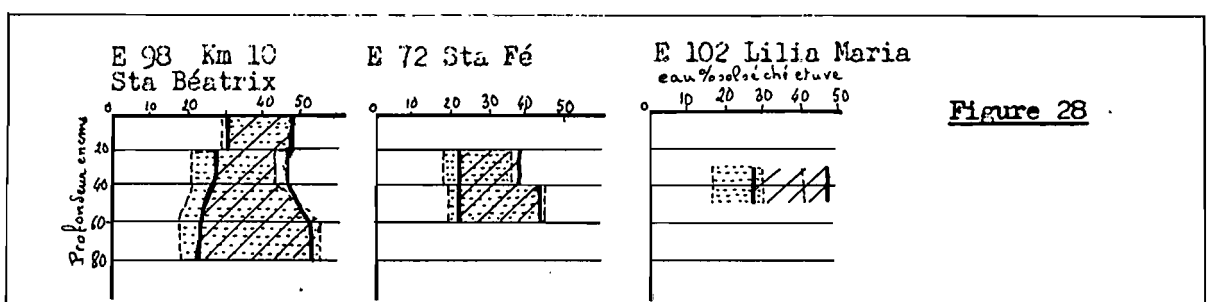
Les minéraux lourds : hypersthènes, hornblende, augite ... semblent ^{peu} très altérés et presque tous transparents, comme dans les sols à allophanes.

Les différences de composition - dominance d'hypersthènes ou de hornblende verte - sont dues à des différences dans la composition des dépôts originels. Ce seraient donc, les conditions climatiques - pluviométrie - davantage que l'ancienneté qui seraient la cause directe de la formation, soit des allophanes, soit de l'halloysite.

4) - RETENTION POUR L'EAU -

Les pF mesurés sur échantillons conservés frais ou séchés à l'air, sont très voisins, presque identiques. Ces sols se desséchant assez fortement certains mois de l'année, il fallait s'y attendre. Cependant, la capacité en "eau utile" définie par la différence entre les humidités à pF 2,8 à 4,2 est importante, surtout en profondeur, atteignant 20 à 30 %. Il y a donc, mesuré sur échantillons séchés à l'air, une très nette et forte augmentation de la capacité en "eau utile" (pF 2,8 - 4,2) quand on passe des sols fortement allophaniques aux sols faiblement allophaniques, puis aux sols de transition - sans d'ailleurs que les teneurs en M.O. soient bien différentes, quoique souvent légèrement plus fortes. Cette forte capacité en eau pour des sols aussi sableux, se retrouve aussi aux Antilles, dans les sols du même type et caractériserait le début du stade halloysite. Est-elle due à une forme de M.O., moins liée aux substances minérales, ou différente, par suite d'un meilleur état de saturation en bases ? C'est possible, mais en partie seulement, car cela n'explique pas l'augmentation en profondeur de l'eau utile, alors que les teneurs en M.O. peuvent devenir 2 à 4 fois plus faibles. Fig. 28. Une meilleure organisation des substances amorphes, comme l'indique la formation de l'halloysite, en est sans doute la cause principale.

La capacité pour l'eau des sols en place, dans leur état d'humidité naturelle, est cependant inférieure à celle des sols allophaniques.



5) - CAPACITE D'ECHANGE - PH -

La capacité d'échange déterminée sur échantillon sec, paraît beaucoup plus influencée par les teneurs en M.O. que dans les sols faiblement allophaniques, mais moins que dans les sols alluviaux sableux. Elle est voisine de 20 mé % pour des teneurs en M.O. de 2 à 4 % (30 mé en surface avec 9 à 12 % de M.O.). L'état de saturation en bases est voisin de 50 % et le pH supérieur à 6, parfois voisin de 7.

B) HORIZON CARACTERISTIQUE DES SOLS ARGILEUX A HALLOYSITES : SOLS BRUNS TROPICAUX ET BRUNS FERRISOLIQUES -

I) - MORPHOLOGIE -

C'est un horizon B_I dont la couleur reste très voisine de celle du niveau superficiel brun rouille foncé (un peu plus rouille que la teinte 7,5 YR 3/2).

La texture apparente est argileuse. Le sol est non adhérent, un peu gras (halloysite).

La structure d'ensemble est fondue. Le sol est assez dur à l'outil humide, et très dur sec. Les mottes du sol humide se brisent aisément parfois même, elles s'effritent en fins agrégats de 1 mm dans les profils les plus argilisés et évolués.

Les faces de la structure sont luisantes, souvent très luisantes. Ecrasé entre les doigts, le sol prend une teinte plus terne et un peu plus claire. Il y a parfois de nets revêtements brúnâtres manganiques et des petits pisolithes noirs, plus ou moins durcis. Les petits agrégats de la sous-structure peuvent avoir une tendance angulaire, surtout dans les profils plus évolués.

La porosité est généralement faible, sauf dans certains niveaux voisins de la surface ou dans les niveaux supérieurs des horizons enterrés sous des cendres plus récentes.

Ce sont donc des sols argileux qui s'opposent nettement par leur texture aux sols de transition - beaucoup plus jeunes et moins évolués. Aux Antilles, on passe des sols très jeunes à halloysite, aux sols argileux, par toute une gamme de sols correspondant à des stades intermédiaires. La teneur en argile augmente, l'aspect des agrégats également, les caractères de luisances et la macroporosité décroissent.

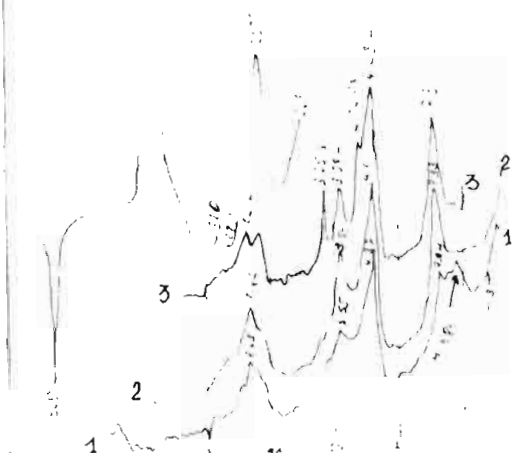
2) - MINERALOGIE -

Rayons X - La raie de 10 Å de l'halloysite est bien nette sur les échantillons séchés à l'air à la température ordinaire. Elle passe à 7,3 Å après séchage à 100° (Fig.29). Cette dernière raie est plus intense que dans les sols de transition et presque aussi importante que la raie vers 4,4 Å. Une large raie vers 2,4 - 2,5 Å remplace souvent ^{avec} l'halloysite, les multiples raies de la kaolinite. La gonthite est peu visible, en partie masquée par une petite raie à 4,04 de cristobalite.

-ATD - Le départ d'eau à 130° est moins intense que pour les sols de transition, mais il est dangereux d'attacher trop d'importance à son amplitude, variable suivant le temps de séchage à l'étuve de l'échantillon. Par contre, le crochet

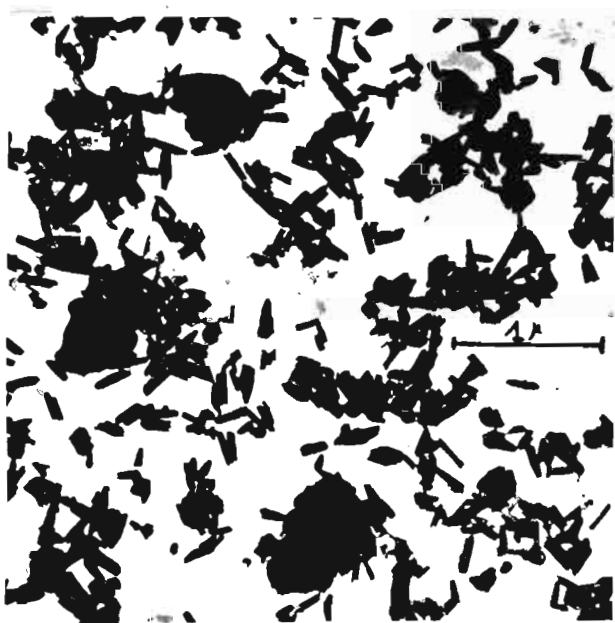
Fig.29

- 1-non chauffé ,séché air (seco air)
- 2- idem séché 105° (seco 105°)
- 3-autre extraction ,séché 105°
otro extracion ,seco 105°

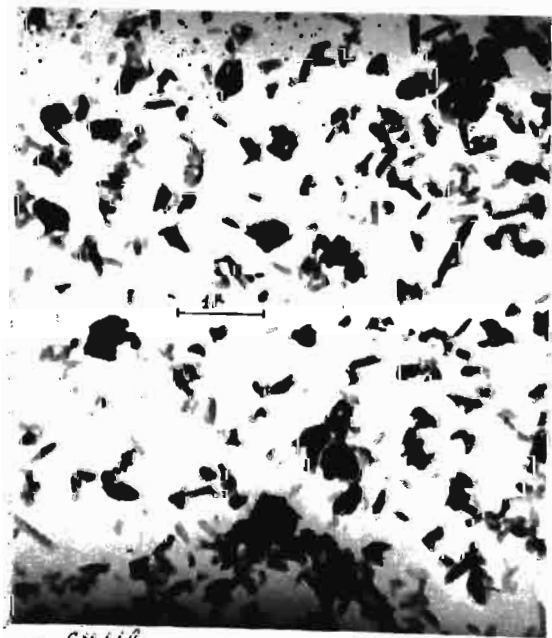


endothermique est très important à 570°; ainsi que le crochet exothermique à 940°, ce qui indiquerait une argile bien cristallisée. Le petit crochet à 320° serait probablement dû à la goéthite.

Microscope électronique - L'aspect très caractéristique des petits tubes d'halloysite est bien visible avec quelques rares plaquettes (Fig.30) et tout à fait analogue à celui des sols ~~similaires~~ des Antilles (Fig.31 - Martinique).



E79c



SM 112

3) - AUTRES PROPRIÉTÉS

La proportion d'argile peut être importante : 50 à 80 %.

La capacité d'échange est de l'ordre de 20 mé % vers 50 cm, avec 1 % de M.O.

Les pH compris entre 5,5 et 6,5.

Les humidités obtenues pour les valeurs de pF sur échantillons frais sont souvent inférieures à celles obtenues sur échantillon séché à l'air. Ceci tient à la préparation de l'échantillon frais, grossièrement émietté entre les doigts et au broyage de la terre séchée à 2 mm, avec des particules très fines et poudreuses.

Les sables renferment surtout de la hornblende verte, puis de l'hypersthène, quelques hornblendes brunes et épidote, des minéraux oxygénés et quelques zircons. La fraction légère comprend des feldspaths plagioclases, des quartz bipyramidés et du verre volcanique. La composition est donc identique à celle des autres échantillons bien que la proportion de sable soit faible et la teneur en argile vraie élevée.

PREMIERE PARTIE(III - I) NATURE ET REPARTITION DES DEPOTS AERIENS DE CENDRES VOLCANIQUES

(par Mme DELAUNE et le laboratoire de Géologie Sédimentologie)

I) - NATURE DES DEPOTS AERIENS -

La partie sableuse des sols (particules de diamètre supérieur à 35 μ) a été seule étudiée ici.

Elle est divisée en deux fractions par séparation dans une liqueur lourde (bromoforme).

Nous obtenons ainsi :

- une "fraction légère" groupant les minéraux de densité inférieure à 2,89.

- une "fraction lourde" groupant les minéraux de densité supérieure.

La préparation, le montage et la détermination des minéraux ont été faits selon la méthode de S. DUPLEIX.

Etant donné la composition très homogène des tufs et le peu d'espèces représentées, seule la fraction globale des sables, comprise entre 50 et 500 microns, a été prise en considération.

a) Minéraux de la fraction légère -

Nous trouvons dans cette fraction :

- des feldspaths plagioclases (de basicité andésine/labrador); ils sont fréquemment zonés.

- de la sanidine (feldspath potassique), mise en évidence par coloration au cobaltinitrite de sodium; elle est rare.

- des éclats et fragments de verre.

- des quartz bipyramidés.

- de l'analcime (zéolithe).

Les feldspaths forment 90 % de ces minéraux; ils sont aisément identifiables, bien que présentant un début d'altération le long des clivages et des figures de corrosion. Le verre, d'indice inférieur à 1,54 (baume) montre parfois une différenciation en calcédoine; c'est donc un verre siliceux.

Dans certains profils, il existe des quartz bipyramidés, très limpides, de taille 0,2 à 0,3 mm. Il semble peu probable qu'ils soient d'origine primaire, car ils ne montrent ni traces de corrosion magmatique, ni inclusions; (d'après MILLOT, dans le cas d'eaux naturelles très diluées et très propres, il peut y avoir croissance régulière de micro-cristaux de quartz).

Aux Antilles, de nombreux cristaux de quartz bipyramidés, non émoussés, de 1 à 2 mm, sont observés dans certaines formations ferrallitiques anciennes.

.../...

L'analcite est subautomorphe, souvent avec un "cœur argileux". Sa formation est tardive, par action hydrothermale. Sa cristallisation par transformation de minéraux (feldspaths) avec apport de Na, ne paraît guère possible dans les conditions de lessivage intense et d'entraînement rapide en profondeur des cations. On la rencontre dans tous les profils, mais rarement en quantité importante.

b) Minéraux de la fraction lourde -

Ce sont :

- de l'hypersthène
- de la hornblende verte
- de l'augite
- de la hornblende brune
- des épidotes (pistacite, zoisite)
- de la magnétite (rare).

Les hypersthènes, faiblement pléochroïques, sont en prismes courts à terminaisons irrégulières; ils ont souvent des inclusions liquides ou gazeuses.

Les autres ferromagnésiens (augite, hornblende) ont des formes plus ou moins prismatiques; leurs extrémités sont irrégulières.

Les épidotes sont en grains.

Souvent, tous ces minéraux sont bordés d'un mince feston de verre volcanique.

c) Nature des cendres -

La présence de quartz non exprimé (verre siliceux) empêche de rattacher ces cendres aux roches holoplagioclasiques (andésites); elles appartiennent au groupe des dacites.

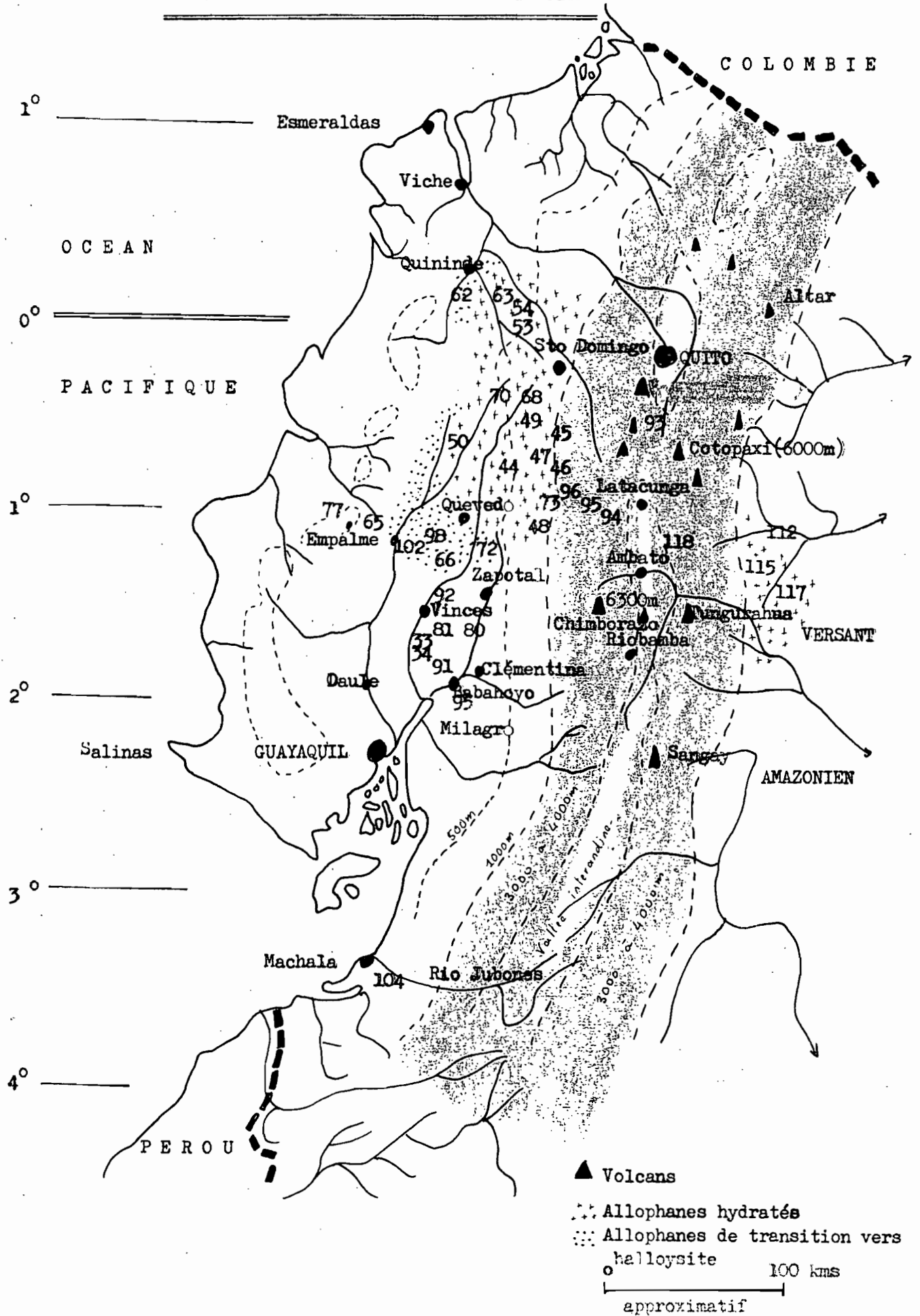
Ce sont, plus exactement, des hyalodacites (le préfixe hyalo exprimant la virtualité du quartz).

Les conditions physico-chimiques du refroidissement et la composition du magma, déterminent la nature du minéral ferromagnésien essentiel de la roche. Il peut se former ainsi, des dacites à hypersthène, à hornblende verte, à biotite (Jung, 1963).

Dans le cas où deux ferromagnésiens sont présents, on peut supposer qu'ils correspondent à deux phases de cristallisation différentes : par exemple, l'hypersthène qui est un minéral de haute température, cristallise le premier, la hornblende verte, formée à basse température, correspond à une phase tardive de cristallisation.

.../...

EMPLACEMENTS DES PROFILS PRINCIPAUX CITES



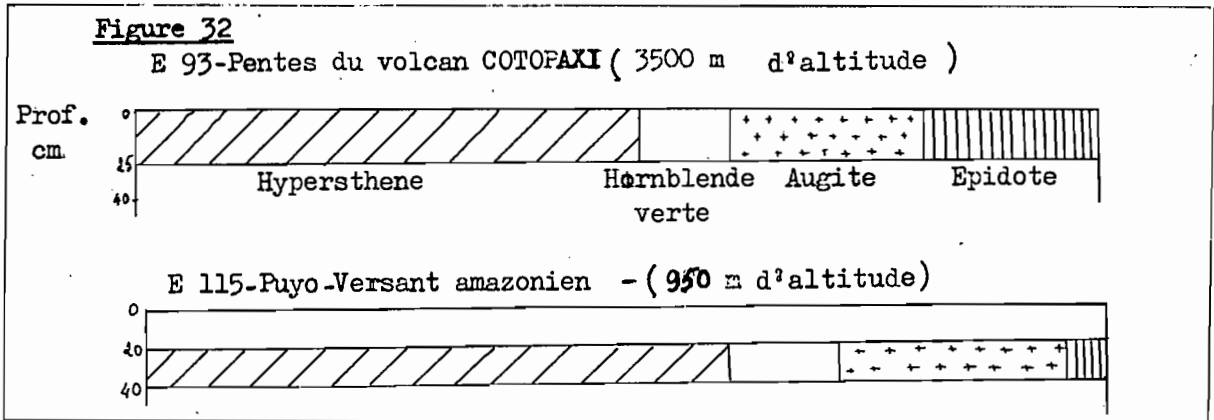
2) - COMPOSITION DES TUFFS - PROPORTION DES MINÉRAUX ET REPARTITION GEOGRAPHIQUE -

Quatorze profils ont été étudiés - parmi ceux-ci : I provient du versant amazonien des Andes, 2 de la vallée interandine, côté amazonien, et flancs du volcan Cotopaxi : I du versant Pacifique vers 2600 m et les autres de la plaine de Quevedo - Santo Domingo - Quininde.

On remarque sur la figure 32, que les profils de la Cordillère et du versant amazonien sont riches en Augite et en hypersthènes.

Puyo - altitude 700 m (E II5) - 22 % d'augite - 11 % de hornblende verte.

Cotopaxi - altitude 4500 m (E 93) - 18 % d'augite - 16 % de hornblende verte, alors que dans la plaine et le versant Pacifique, le pourcentage maximum d'augite rencontré, est de 10% .



Sur le versant et dans la plaine Pacifique, la hornblende verte et l'hypersthène dominant largement. Mais leurs proportions respectives sont sujettes à des variations, soit dans un même profil, soit régionales.

a) Au Nord de San Domingo - vers Quininde - la hornblende verte est de loin, le minéral principal de la fraction lourde (70 à 90 %) contre 8 à 20 % pour l'hypersthène et 2 à 6 % pour la hornblende brune, 0 à 8 % pour l'augite.

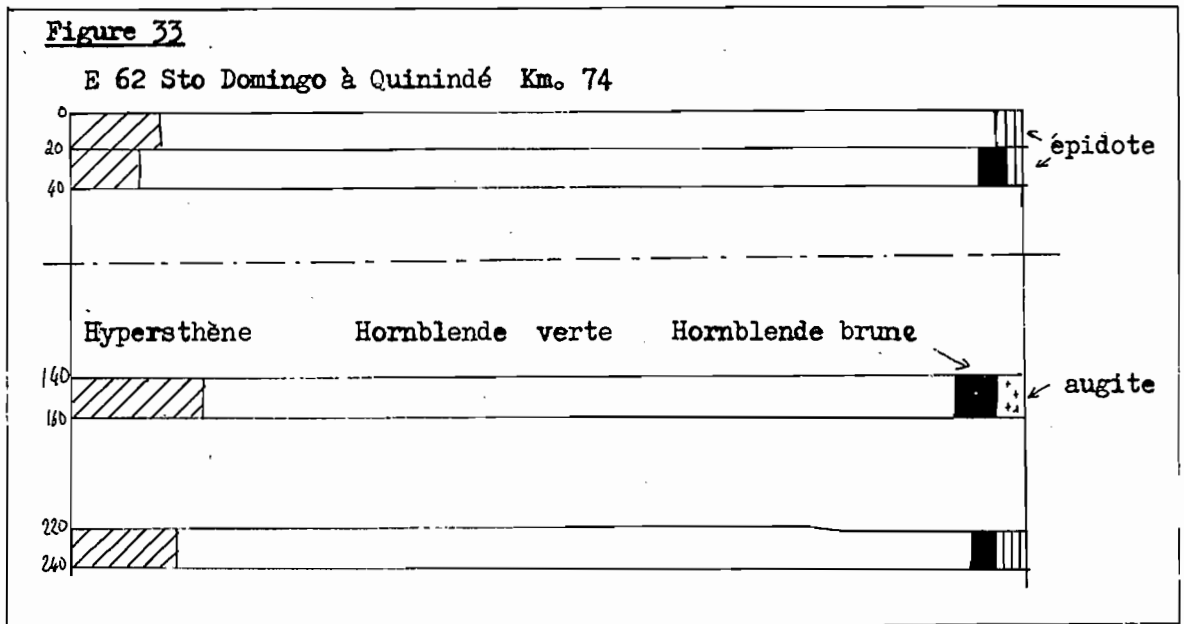
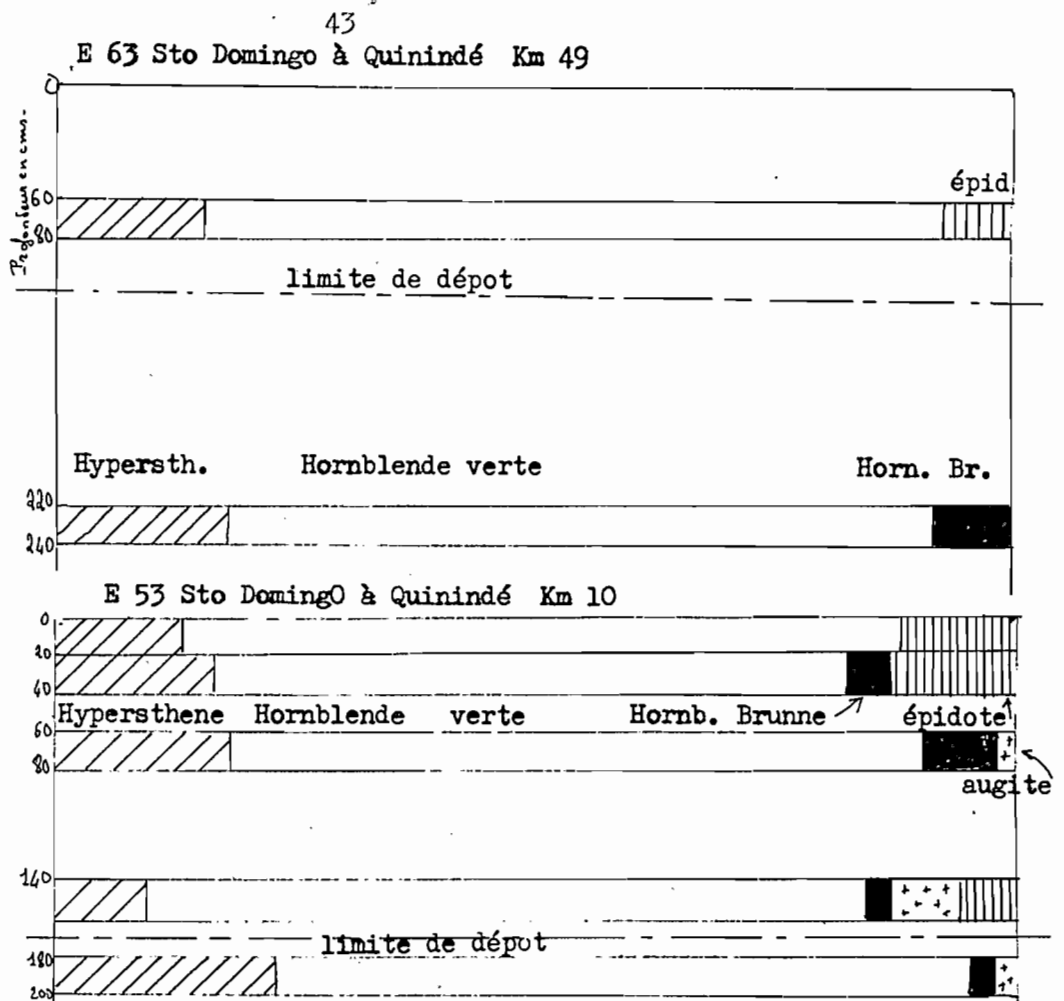


Fig 33
suite

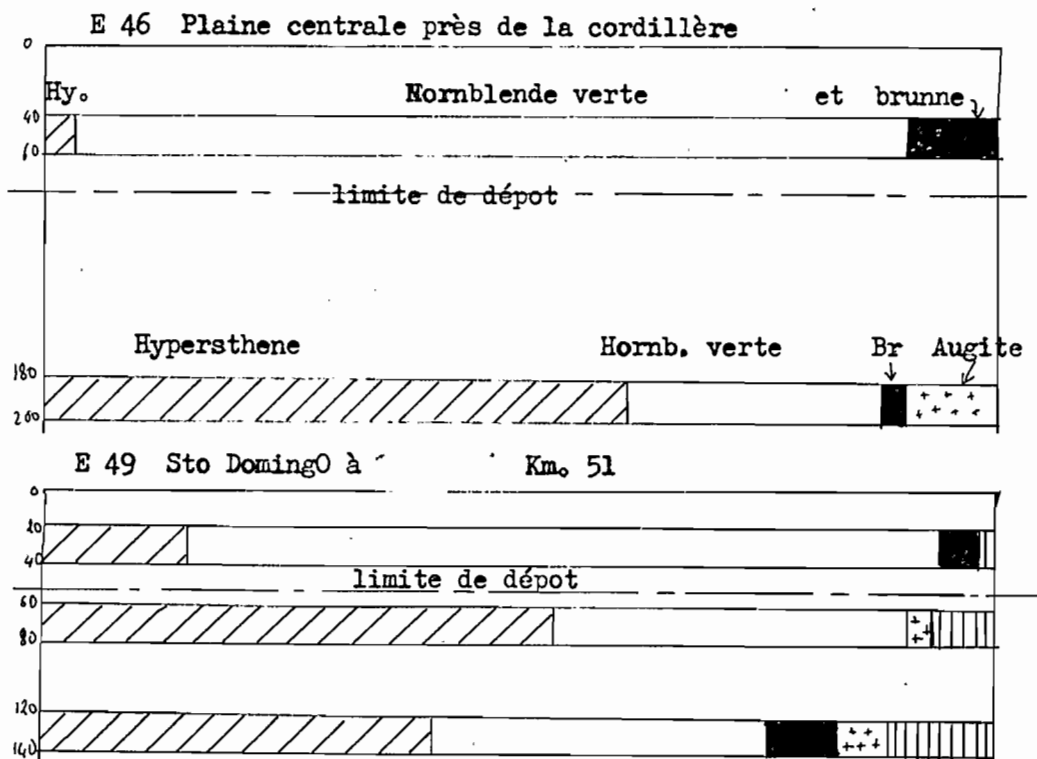


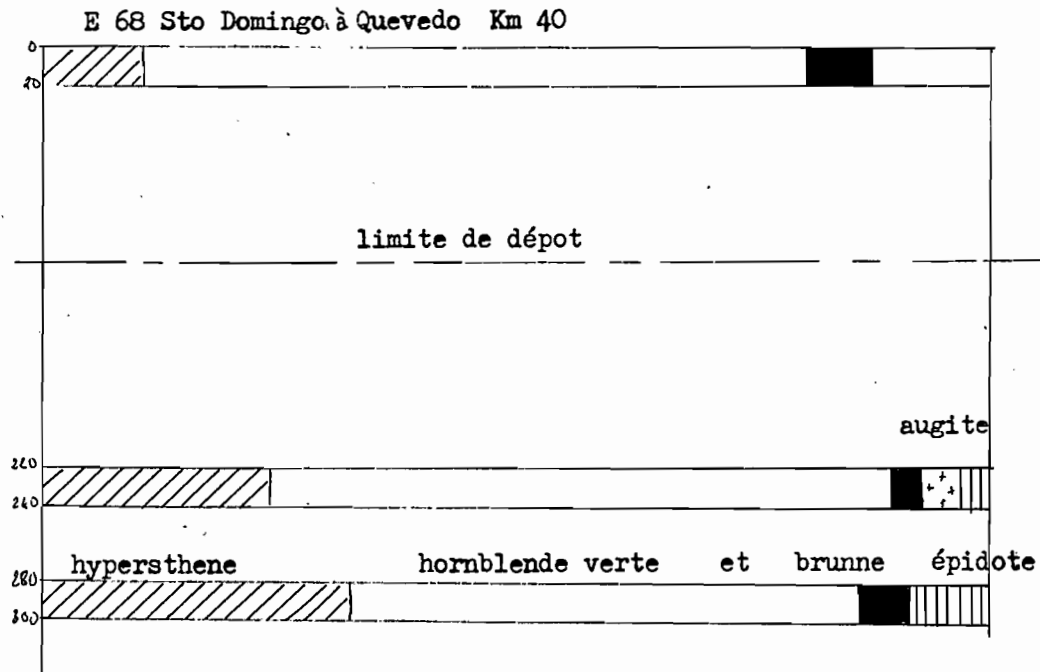
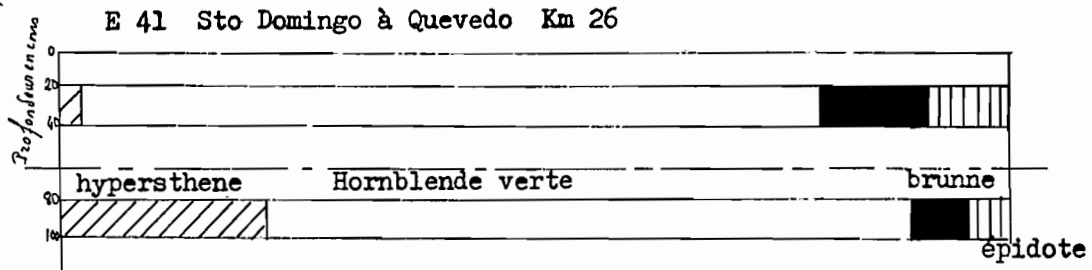
b) Entre Quevedo et Sto Domingo ,dans la partie centrale de la plaine bananière ,la Fig 34 montre clairement qu'il existe deux dépôts superposés:

- le dépôt supérieur récent a une composition voisine de ceux situés au Nord de Sto Domingo. La hornblende verte domine (70 à 80 %) avec une proportion faible d'hypersthene (4 à 14 %) . Il n'y a pas d'augite.

- le dépôt inférieur plus ancien ,renferme moins de hornblende verte (27 à 70 %) mais davantage d'hypersthene (22 à 60 %) avec présence fréquente d'augite en petite quantité.

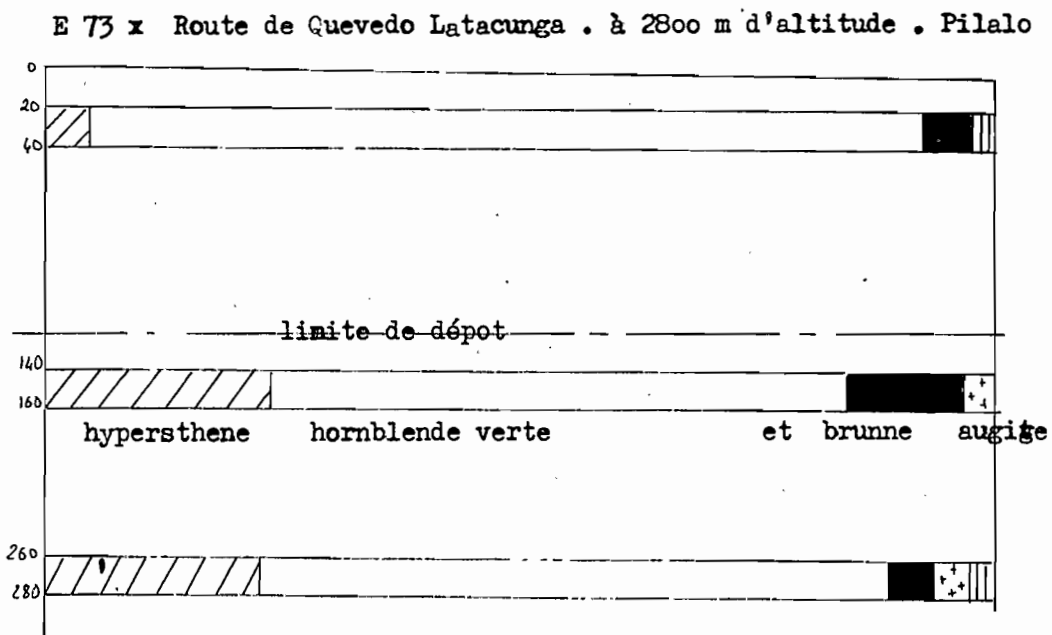
Figure 34





Sur le versant des Andes ,à la latitude de Quevedo ,à 2600 m d'altitude ,la composition des tufs des deux dépôts du profil 73 (fig 35) est voisine de celle des profils de la basse plaine (fig 34)

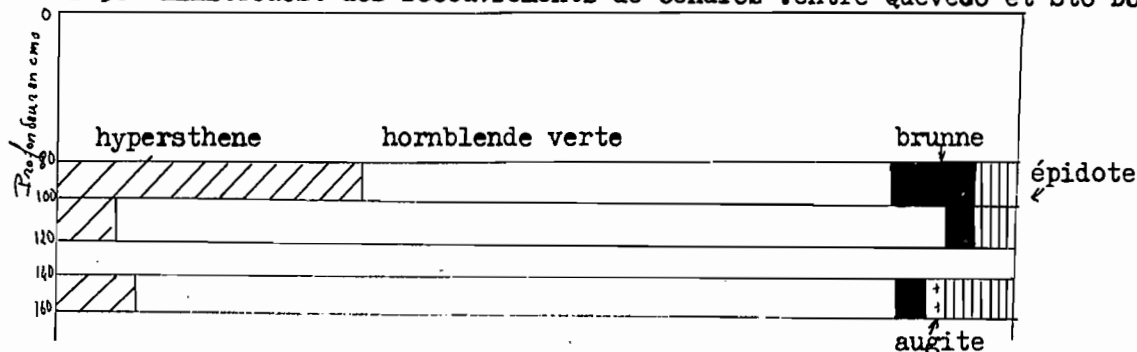
Figure 35



Toujours dans la partie centrale de la plaine entre Quevedo et San Domingo, mais à l'extrême Ouest, là où les formations cendreuses sont déjà plus minces et reposent sur des sols argileux, c'est l'inverse qui est observé. La hornblende verte domine largement en profondeur avec très peu d'hypersthène (8 %) alors que plus en surface, l'hypersthène est plus abondant (Fig. 36).

Figure 36

E 50 Limite ouest des recouvrements de cendres entre Quevedo et Sto Domingo

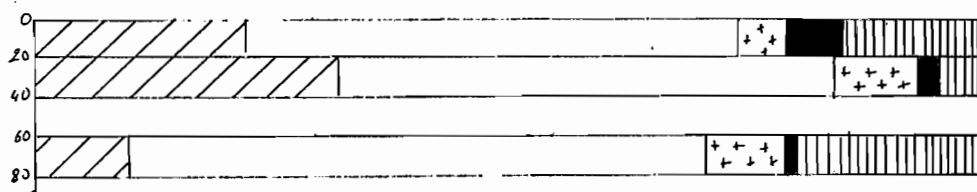


Il semble donc, dans cette région centrale de la plaine Pacifique, qu'à un dépôt riche en hypersthène ait succédé un dépôt cendreux plus pauvre en hypersthène et plus riche en hornblende verte. Vers l'Ouest, on peut supposer que ce dépôt riche en hornblende n'a pas atteint l'extrémité de la plaine et que le dépôt supérieur, riche en hypersthène a recouvert un dépôt encore plus ancien à hornblende.

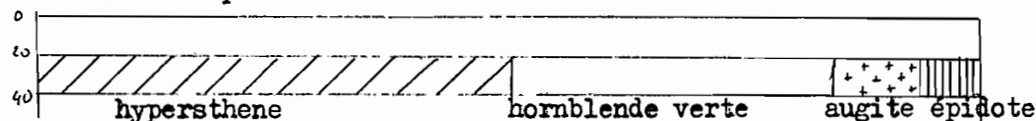
c) Au Sud de Quevedo, vers Empalme, le dépôt récent est peu épais et déjà discontinu, recouvrant des formations argileuses à halloysites. La proportion de hornblende verte ne dépasse pas 50 % et celle d'hypersthène est assez élevée : 21 à 46 %; avec 6 à 8 % d'augite. Il aurait recouvert un autre dépôt plus épais, plus riche en hornblende.

Figure 37

E 98 Quevedo à Empalme



E 102 Empalme



3) En résumé - il est donc possible de distinguer trois faciès.

Faciès 1 - Ce sont les projections de tufs dacitiques à hypersthène et augite du versant amazonien et de certaines régions orientales de la haute vallée inter-andine (Cotopaxi).

Faciès 2 - Il s'agit de projections de tufs dacitiques à hypersthènes et hornblende verte, en proportions assez voisines, localisées dans le Sud de la plaine Pacifique, vers Quevedo - Empalme et le pourtour Ouest à la limite externe des dépôts de cendres. On ne les observe plus dans la partie centrale qu'enfouis sous les tufs plus récents, du faciès 3.

Faciès 3 - Ce sont des projections de tufs dacitiques à forte dominance de hornblende verte et faible proportion d'hypersthènes que l'on trouve dans la partie centrale de la plaine, entre Quevedo et Santo Domingo et dans toute la partie Nord de la plaine vers Santo Domingo et Quininde. Dans la région centrale de Quevedo-Santo Domingo, ces dépôts ne sont pas très épais et ont recouvert les projections plus anciennes à hypersthène du faciès 2. Les régions situées au Sud de Quevedo et à l'Ouest, auraient été épargnées.

3) - AGE DES DEPOTS -

Il est intéressant de savoir si ces dépôts proviennent d'éruptions rapprochées ou au contraire, très éloignées dans le temps. Comme nous le verrons, dans toute la partie Nord, on distingue très bien deux dépôts ou deux ensembles de dépôts : un dépôt supérieur peu allophanisé et un dépôt plus profond, fortement allophanisé, bien que leur composition soit sensiblement la même et que la plupart des minéraux de la fraction lourde soient encore transparents. Ceci ne concerne que les fractions supérieures à 50 microns, et il n'est pas exclus que l'altération des fractions plus fines, soit plus poussée dans les niveaux profonds.

Dans la plaine centrale entre Quevedo et Santo Domingo, on observe, vers 1 à 2 m de profondeur, des débris de poteries indiennes, rasoirs de quartz, etc.. à la limite des deux formations, juste au-dessus d'un horizon humifère enterré. Le dépôt à hornblende dans la partie centrale et celui à hypersthène à l'extrême Ouest, n'ont donc pas plus de quelques millénaires. Il est remarquable de constater que dans près de la moitié des tranchées que nous avons ouvertes dans ces régions, dans des positions topographiques très variées et à plusieurs dizaines de kilomètres de distance, nous avons trouvé des vestiges de l'industrie humaine, ce qui indiquerait une occupation du sol très intense avant ces cataclysmes.

.../...

Numero du Pegél.	MINÉRALES PESADOS Minéraux lourds en % de m. transparents							MINÉRALES LÉGERS (en % minéraux légers) Minéraux légers					Longueur en m.m.	Sables totaux % Sol.	
	Hypersthène	Hornblende		Augite	Épidote Zoisite	m. lourds en % sables >50µ	Opaque en % m. lourds	QUA- RTZ	Feldspaths		Zéol. Pithes (anahim)	50 à 200 microns		200 à 2000 microns	
		Verte (VERDE)	Brunne (PARDO)						Calc. Sol. Andésine	Réténis Sanilim					Potass. Sanilim
Versant amazonien															
E 115 b	59	11	2	22	6	18	-								
Cordillère															
E 93	52	16		18	14	6	très noirs		100% machurés				19	34	
Santo Domingo à Quinindé															
E 53a	8	80			12	25	12	17	62	19		2		36	10
b	14	70	4		12	18	12	27	38	27		8		32	5
c	16	84	6	2		26		2	50	40	5	3		38	9
e	8	76	2	8	6	21		19	43	35		3		30	6
g	20	76		2		29	12	20	50	26		3		23	10
E 63c	14	81			5	5,3			100-----				0,2 à 0,3	15	1
e	18	75	7			3,5			-----98-----				0,1 à 0,2	8	0,5
E 62a	8	90			2	23		2	70	25		3		24	1
b	6	90	2		2	21		4	50	39		7		28	1
e	12	80	4	2		60	32	5	50	41		4		8	1
f	10	88	2			55	12	10	65	23		7		7	1
Zone centrale Sto Domingo Quevedo															
E 68a	10	72	6		12	13		9	39	42		10			
d	22	70	2	4	2	13	28	8	43	36		13			
e	30	58	4		8	17	8	6	61	28		5			
E 49b	14	80			6	11		9	57	34		-		33	4
c	50	28		2	10	15		8	48	42		2		32	4
e	38	40	6	6	10	13		14	44	34		8		33	4
E 41b	3	78	10		9	4	11	10	88-----		2		0,4 à 0,6	34	3
e	24	66	7		3	10	20	10	90-----				0,25	19	2
E 46b	4	86	10			10	13	38	56-----		8		0,5		
g	62	27	1	10		3	16	16	84-----				0,4 à 0,7	29	7
à 2600 metres d'altitude Pilalo															
E 73 b	6	86	5		3	5	30	40	60-----				0,7 à 1,2	24	
e	24	60	11	5		3	16	33	67-----					24	9
x	23	60	7	7	2	2	10	6	94-----				0,4 à 0,7	8	4
Ouest															
E 50(95)	31	56	9		4	8		18	82-----						
c	6	88	2		4	18		5	46	45	2		0,4 à 0,6		
d	8	80	2	2	8	13	24	25	23	40	2	10		15	2
Quevedo Empalme															
E 98a	21	52	8	6	13	9		15	53	27		5			
b	34	52	2	8	4	14		11	50	37		2		27	1
c	10	60		8	16	10		9	50	40	4	1		22	0
E 102b	46	40		8	6	12		6	50	41		3		15	0
Alluvions de Vincés															
E 80 b	8	56			12	5	24	60	39----- +biotites		1		0,08 à 0,2		

MINÉRALES EN % de m.
transparentes
(examen de arena de 50 - 500 microns)
Contenido
en peso
% arenas
> 50µ

MINÉRALES LIGEROS

Deuxième Partie

(III-2) - LES SOLS ET LEUR REPARTITION GEOGRAPHIQUE

I) - VERSANT AMAZONIEN (ORIENTE) PUYO -

I-1 GEOMORPHOLOGIE -

C'est la zone de piedmont de 800 à 1000 m d'altitude, située au pied des hauts reliefs, presque abrupts de la Cordillère. Le relief est encore assez accidenté, formé de collines aux ondulations souvent serrées, mais parfois plus larges. L'altitude décroît progressivement vers l'Est et la vallée du Rio Napo, affluent de l'Amazone (300 m).

Toute la région autour de Puyo, semble avoir été recouverte par des dépôts de cendres à hypersthène et augite, mais le substratum argileux rouge est souvent visible à quelques mètres de profondeur dans les talus. En se rapprochant du Rio Napo, les cendres disparaissent et les sols ferrallitiques désaturés semblent s'être formés, en partie, sur des coulées, des brèches ou des formations volcaniques anciennes.

I-2 CLIMAT -

La pluviométrie est élevée - 3 m par an - et assez remarquablement constante au cours de l'année. Ces conditions sont particulièrement favorables à la formation des allophanes et au maintien de leurs propriétés d'absorption vis-à-vis de l'eau. Les sols ne sèchent pratiquement jamais. Le climat chaud et humide n'est pas tempéré par le courant froid de Humbolt, comme sur le versant Pacifique. Les formations nuageuses basses qui viennent de l'Amazonie, envahissent souvent ces premiers contreforts avant de s'élever sur les flancs de la montagne et de se dissiper plus haut en altitude.

I-3 VEGETATION -

La région est encore très peu cultivée et la forêt équatoriale domine largement. Quelques plantations de cannes à sucre pour distillation directe et des pâturages clos, plantés pour l'élevage de boeufs à viande, semblent les seules spéculations importantes agricoles, donnant lieu à une commercialisation hors de la région.

I-4 LES SOLS -

A) Sols fortement allophaniques (hydrandepts et oxyhydrandepts) -

Ce sont des sols à humidité permanente dès la surface, qui possèdent tous les caractères des horizons fortement allophaniques (cf. page 711). L'humidité au champ - ou celle au pF 2,8 sur échantillon frais - dépasse 200 et parfois 250 d'eau pour 100 g de terre séchée étuve, sur l'ensemble du profil.

En surface, les teneurs en M.O. sont élevées : 10 % environ dans les 15 premiers centimètres. Le sol est noir, spongieux, mou. Ces valeurs élevées de M.O. peuvent être attribuées à la très forte humidité tout au long de l'année. La M.O. est encore importante en profondeur, mais, même avec des teneurs de 2 - 3 % vers 1 m, elle n'apparaît guère, le sol étant jaune assez clair. Ceci fait penser à des liaisons particulières : allophanes, M.O.

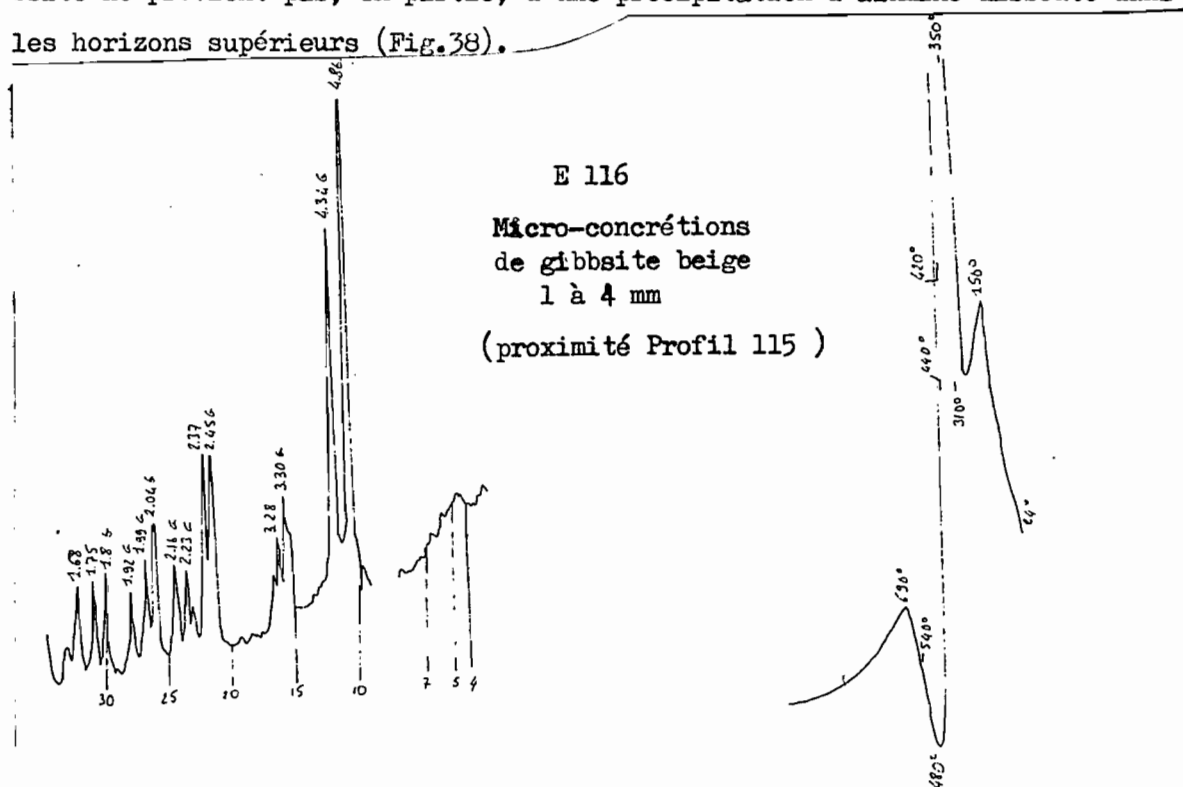
Les teneurs en bases échangeables sont faibles, mais non négligeables. Elles sont nettement plus élevées en profondeur, atteignant 7 mé % en poids, valeur correcte pour des sols aussi perméables dans des régions aussi humides. Le magnésium et le potassium échangeables sont très faibles. Le pH est très bas en surface (4,5) et s'élève progressivement en profondeur, par suite de la diminution des teneurs en M.O. et d'un meilleur état de saturation en bases (25 %) (T sur sols séchés à l'air).

Les teneurs en phosphore total (en poids) sont relativement correctes en surface, mais très faibles en profondeur. Les teneurs en phosphore Truog sont très faibles dès la surface.

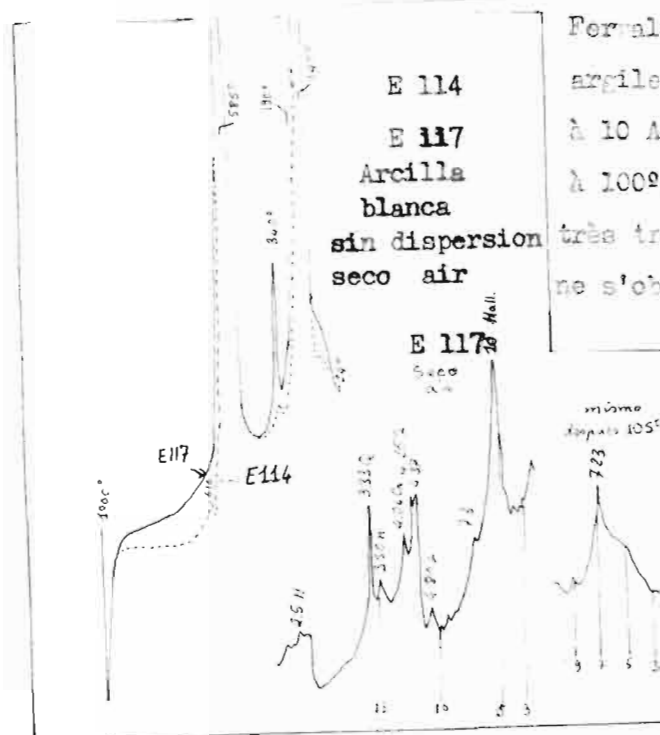
Les propriétés les plus remarquables restent l'énorme capacité en eau "utile" mesurée sur échantillons frais, (définie par la différence : pF 2,8 - 4,2) soit environ 50 à 60 pour 100 g de terre séchée étuve, souvent davantage.

Il faut tenir compte cependant, pour les résultats exprimés en poids de terre, de la densité apparente très faible, de l'ordre de 0,4 à 0,5. Exprimés en volume de terre, ces résultats sont donc inférieurs de moitié.

Certains profils semblent renfermer de la gibbsite (II5), d'autres pas (II7). En profondeur, vers 4 à 5 m, nous avons trouvé des petites poupées blanchâtres, globuleuses ou des bâtonnets dans les trous de racines, qui sont de la gibbsite pure. Comme il s'agit de niveaux très profonds et très humides, situés juste au-dessus des formations anciennes moins perméables, l'écoulement des eaux a lieu surtout obliquement et on peut se demander si la gibbsite ne provient pas, en partie, d'une précipitation d'alumine dissoute dans les horizons supérieurs (Fig. 38).



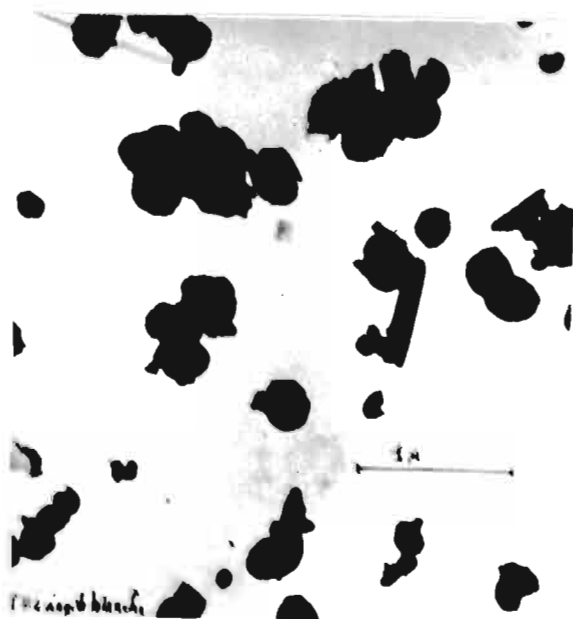
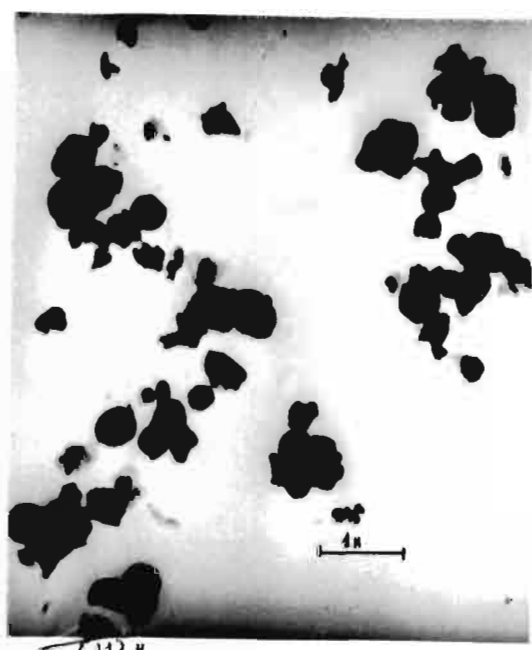
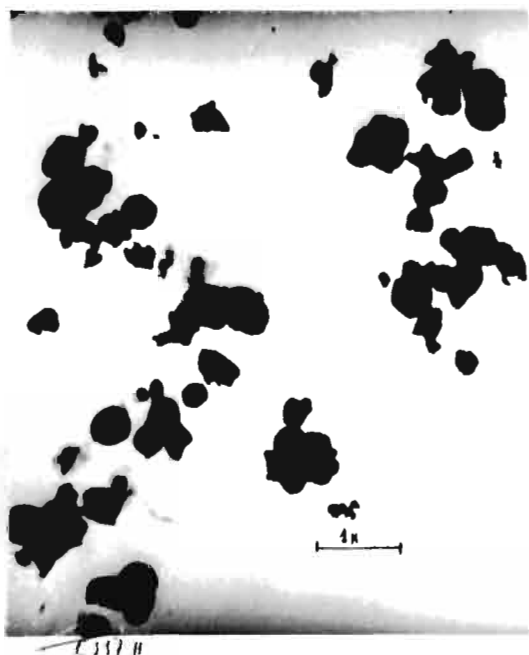
Par places, en position basse, sous les sols allophaniques, dans des sites où le drainage interne est manifestement ralenti par les anciens sols argileux



Pervallitiques sous-jacentes, nous avons trouvé des poches d'argile blanche, un peu grasse, dont les raies très intenses à 10 Å sur échantillon frais, passent à 7,23 par séchage à 100°. Il s'agit donc d'hallowsite hydratée, mais il est très troublant de constater que l'aspect enroulé en tubes ne s'observe pas au microscope électronique (E 117 h et E 114 Fig. 59). L'ATD

montre un fort crochet endothermique à 140° suivi d'un crochet à 580°, indiquant une argile bien cristallisée.

Le mauvais drainage modifie t'il l'aspect de l'hallowsite.



B) Sols ferrallitiques - Latosols -

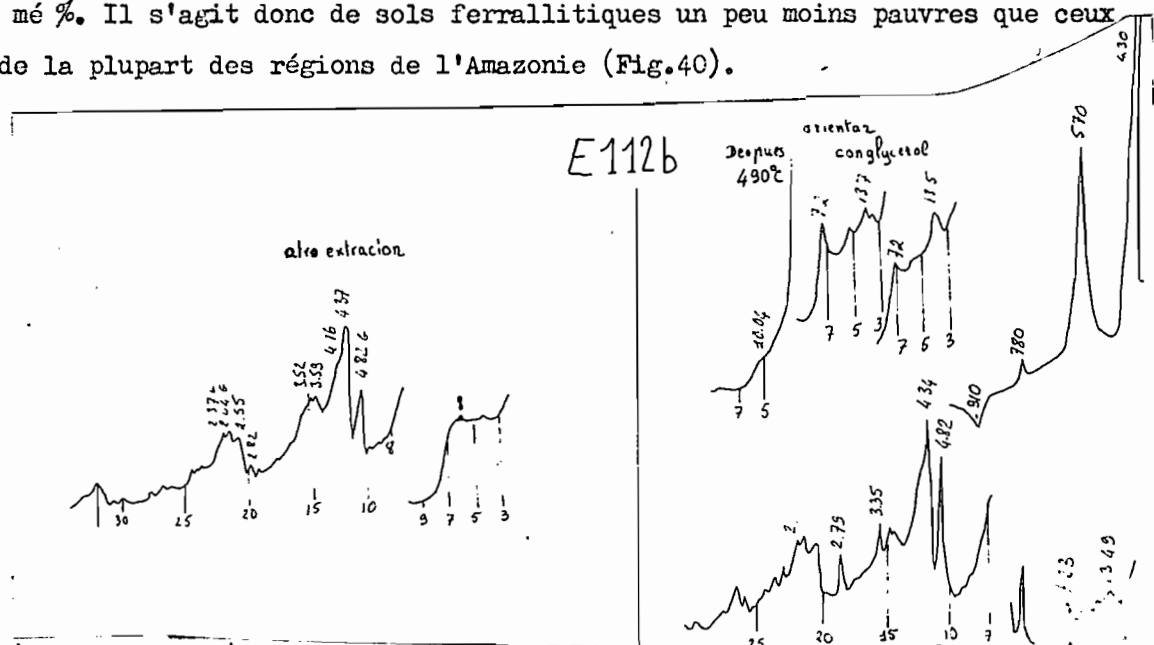
En s'approchant du Rio Napo, les sols deviennent plus rougeâtres et franchement argileux, quoique friables. La dispersion est aisée et les teneurs en argile peuvent atteindre 40 à 60 %, aisément dispersable.

Il semble que l'argile soit surtout constituée de gibbsite un peu de goéthite, et des substances amorphes, probablement des hydroxydes. La métahalloysite n'existe qu'en petite quantité (petite raie 7,2A°) par contre la raie à 4,34 est très intense. Une petite raie à 13,5 A° demeurant inchangée au glycérol passe sembler'il à 10A° par chauffage à 500°. S'agit il de vermiculite, c'est peu probable;

L'humidité du sol au champ, encore bien humide après des pluies, ne dépasse guère 50 %, ce qui distingue particulièrement bien ces sols des sols à allophanes voisins (250 %).

Les teneurs en M.O. sont encore très importantes sous forêt : 9 % dans les 15 premiers cms.

Les teneurs en phosphore total et en potassium échangeables sont très faibles, mais la somme des bases échangeables dépasse légèrement 2 mé %. Il s'agit donc de sols ferrallitiques un peu moins pauvres que ceux de la plupart des régions de l'Amazonie (Fig.40).



2) - VERSANT PACIFIQUE - ZONE NORD - REGION DE SANTO DOMINGO QUININDE -

2-I GEOMORPHOLOGIE -

Plus qu'une zone de piedmont, c'est une vaste pénéplaine qui s'étend depuis le départ des hauts versants très accidentés, jusqu'à la côte. Le relief est dans l'ensemble assez tourmenté, mais de nombreux plateaux d'étendue moyenne, ou des collines aux pentes modérées, permettent une extension importante des cultures.

On distingue nettement deux dépôts de cendres, de composition analogue, à forte dominance de hornblende verte (80 - 90 %), peu d'hyperssthène et pas d'augite? Le dépôt supérieur encore peu allophanisé est très épais en bordure des Andes et atteint plusieurs mètres entre Santo Domingo et la Cordillière. Il diminue progressivement d'épaisseur quand on se rap-

proche de la mer et le dépôt inférieur fortement allophanique apparaît de plus en plus près de la surface : à 1 m près de Quinindé.

Au-delà de Quinindé, vers Esmeraldas, les projections de cendres disparaissent rapidement et les sols ferrallitiques, ou plutôt des ferrisols sont issus de formations dures volcaniques anciennes (cf. page).

2-2 CLIMAT -

La pluviométrie est élevée près des Andes (3,2 m à Santo Domingo à 700 m d'altitude) et assez bien répartie au cours de l'année, quoique la saison sèche soit nettement plus marquée que sur le versant amazonien. En se rapprochant de la côte, la pluviométrie décroît d'abord doucement jusqu'à Quinindé (100 Km), puis, plus fortement jusqu'à Viche (à 150 Km) où elle n'est plus annuellement que de 2 m. Sur la côte, à plus de 200 Km de Santo Domingo, la pluviométrie ne dépasse pas 800 mm et toutes les bananeraies sont irriguées, sauf dans quelques vallées où une nappe existe en profondeur.

Zone	:	Km	:	SANTO DOMINGO - 14 ans -												
bananière	:	0	:	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	<u>TOTAL</u>
cendres	:		:	476	485	569	462	342	174	121	53	118	93	66	172	= 3130 mm
volcaniques	:	100	:	QUININDE												2,5 à 3 m
-----:-----:-----																
Roches	:	150	:	VICHE												
dures	:		:	253	306	235	375	195	187	114	125	98	40	93	60	= 2036 mm
-----:-----:-----																
sédimentaire	:	250	:	ESMERALDAS sur la côte Pacifique												
bananeraies	:		:	111	184	136	130	59	81	53	32	32	12	14	31	= 844 mm
irriguées	:		:													
-----:-----:-----																

La température est celle des régions tropicales chaudes, adoucie légèrement par l'altitude près de Santo Domingo (700 m) et de Juin à Novembre, par l'influence rafraichissante légèrement sensible du courant froid de Humbolt.

2-3 VEGETATION -

Il y a peu d'années encore, toute cette région était à peine cultivée. Avec l'ouverture de nouvelles routes, la culture bananière a pris une large extension, mais reste encore localisée sur quelques kilomètres de largeur et parfois moins, le long des axes routiers. Partout ailleurs, c'est la grande forêt équatoriale, particulièrement riche en palmiers.

L'altitude de 700 m semble un maximum pour la culture bananière. Au-delà, et jusqu'aux pieds des Andes, ce sont surtout les pâturages qui semblent convenir.

Avec le développement des routes, toute cette région semble promise à un bel avenir. L'éloignement des ports d'embarquement est un handicap pour la banane, mais d'autres cultures semblent se développer : palmiers à huile, etc...

2-4 LES SOLS -

- A) Ier type : SOLS FAIBLEMENT ALLOPHANIQUE recouvrant des sols FORTEMENT ALLOPHANIQUE - (Umbrandepts à C/N=10 ou Entic-hydrandepts sur hydrandepts et oxy-hydrandepts) - hydric-tropic -normandept

Le plus souvent, on trouve deux ou trois sols superposés, correspondant à des dépôts de cendres relativement récents, recouvrant un sol fortement allophanique plus ancien.

La succession des horizons est alors la suivante :

- I - A 0 - 10 à 15 cms - brun humifère
 B1C Sableux
 B2C vers 40-70 cms - Horizon de diagnostic des sols faiblement allophaniques - finement limono-sableux -
 B3C - C - avec des lentilles de cendres plus grossières inaltérées -
- II - vers 70 à 100 cms
 B1C Niveau humifère
 B2C - C - avec parfois des lentilles de cendres peu altérées -
- III - vers 120 à 180 cms
 B1C - 20 à 30 cms - Niveau humifère
 B2C - Horizon de diagnostic des sols fortement allophaniques pouvant atteindre plusieurs mètres.

Le dépôt III fortement allophanique contient généralement moins de sables supérieurs à 50 microns (15 - 20 %) que les dépôts supérieurs I et II (40 à 50 %). Les teneurs en M.O. sont élevées en surface sous bananeraies non labourées : 7 à 9 % dans les 10 premiers cms et décroissent progressivement en profondeur, restant encore voisines de 3 % vers 1 m et 2 % vers 2 m de profondeur, dans l'horizon jaune fortement allophanique. Le C/N voisin de 10 indique une M.O. bien humifiée. Il peut être plus élevé dans les horizons humifères enterrés.

L'humidité au pF 2,8, ne dépasse guère, mesurée sur échantillons frais, 55 % dans les dépôts I et II, faiblement allophanique. Elle dépasse 100 ou 150 % dans les dépôts profonds III, fortement allophaniques. Eau "utile" définie par la différence pF 2,8 - pF 4,2 sur échantillon frais, passe ainsi de 15 - 20 % à 40 - 50 % de sol séché étuve. La densité apparente de l'ordre de 0,8 à 1 dans les dépôts I et II, s'abaisse à 0,4 ou 0,5 dans le dépôt III de profondeur.

Les teneurs en bases échangeables sont faibles, mais non négligeables. Elles sont toujours plus élevées en surface (bananeraies sur défriches de 2 à 6 ans) et augmentent assez régulièrement quand on s'éloigne des régions les plus humides (3,5 m pluviométrie) vers les régions moins arrosées. Les teneurs en potassium échangeable, souvent négligeables dans les zones très humides, de-

viennent alors nettement meilleures - 0,5 à 0,7 mé %. Les teneurs en P total sont correctes en surface pour des sols non fertilisés. Les teneurs en P Truog sont faibles pour des sols encore jeunes et sans hydroxydes. Sensibles en surface, elles sont nulles plus en profondeur.

Tous ces résultats exprimés en p.100 de terre séchée à l'air, devraient être rapportés au volume de sol. Sensiblement les mêmes pour les horizons supérieurs, les chiffres devraient être divisés par 2 environ, en profondeur dans le dépôt III.

Bien que les teneurs en M.O. décroissent régulièrement en profondeur, la capacité totale d'échange sur échantillons séchés à l'air, augmente progressivement en profondeur et augmenterait encore beaucoup plus, déterminée sur échantillons frais (Ech. 63 e de profondeur : T sec = 27 - T frais = 54). Bien que l'état de saturation en bases décroisse régulièrement en profondeur, le pH varie en sens inverse, passant de 5,5 à 6,2 - 6,5.

Qu'il s'agisse de la surface ou de la profondeur, la porosité pour l'air (avec pF 2,8) serait de l'ordre de 25 à 30 %.

On peut donc, en résumé, dire qu'il s'agit d'excellents sols, légers, aisés à travailler, perméables et cependant avec une bonne capacité pour l'eau en surface et surtout en profondeur, dans des niveaux profonds mais pénétrables par les racines. Une fertilisation phospho-potassique semble utile après quelques années de cultures sur défriches de forêt.

B) 2ème type - Sols de transition : allophane-halloysite - Mollic Umbrandepts -

C'est le type de sols que l'on rencontre dans les régions moins arrosées, proches de Quinindé. Il sera étudié avec ceux de la région de Quevedo.

Il se distingue sur le terrain très nettement des précédents par sa coloration très foncée sur au moins 60 cms.

3) - VERSANT PACIFIQUE - ZONE CENTRALE - REGION DE QUEVEDO - SANTO DOMINGO -

3-1 - GEOMORPHOLOGIE -

C'est une vaste pénéplaine de 100 à 600 m d'altitude, coupée par les rivières qui descendent du Nord au Sud, vers le Golf de Guayaquil. Le relief est assez fortement moutonné ou doucement vallonné. Plusieurs dépôts aériens, relativement récents et encore peu allophanisés, forment un ensemble très épais, surtout en bordure des Andes. Les dépôts plus anciens, fortement allophanisés, ne s'observent, en général, qu'à plus de 2,5 m de profondeur, dans les tranchées de route.

Vers Quevedo, au Sud et à l'Ouest, le dépôt s'amincit progressivement.

Rappelons que ces dépôts successifs peuvent avoir une composition différente. Des dépôts très riches en hornblende verte et pauvres en hypersthène ont recouverts, dans la partie centrale, d'autres formations, dans lesquelles les teneurs de ces deux espèces minérales sont voisines. Plus à l'Ouest et au Sud, le dépôt riche en hypersthène, n'a pas été recouvert, mais semble en recouvrir lui-même un autre peu épais, plus riche en hornblende.

Au Nord, vers Santo Domingo, on ne trouve plus que les dépôts riches en hornblende.

3-2 - CLIMAT -

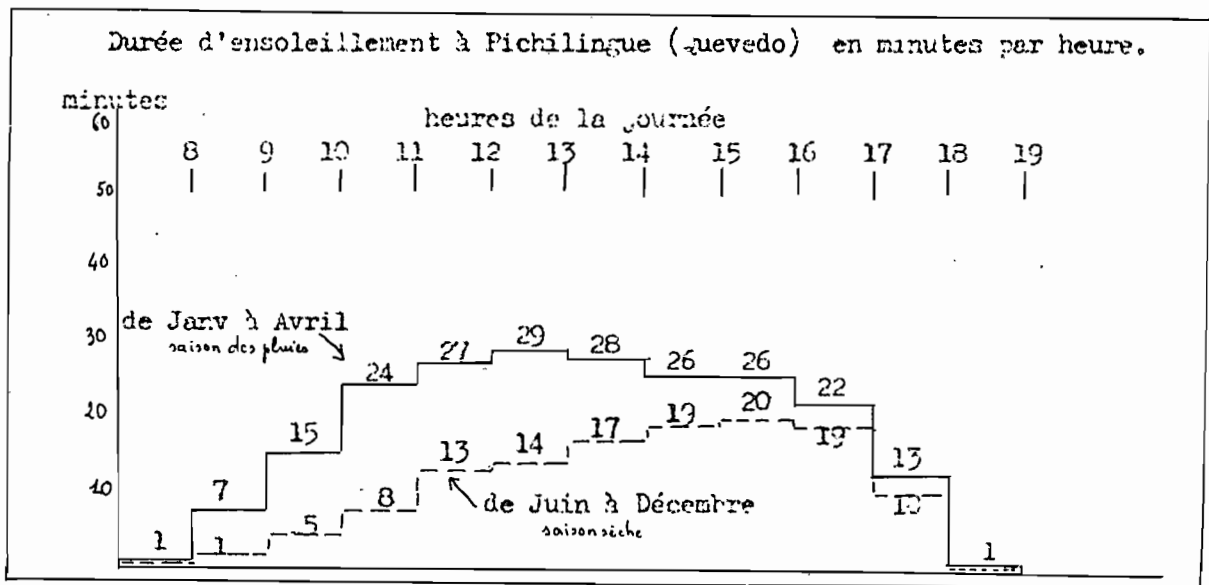
La pluviométrie annuelle augmente sensiblement du Sud au Nord, passant de 2,5 m environ à Quevedo, avec 5 à 7 mois presque secs, à 3 m à Santo Domingo, avec moins de trois mois secs.

Elle augmente également quand on va d'Ouest en Est et les précipitations sont plus fréquentes aux abords de la Cordillère.

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Total
PICHILINGUE-10 ans - (Quevedo)	560	463	422	396	115	33	54	4	4	18	23	121	= 2224 mm
SANTO-DOMINGO-14 ans	476	485	569	462	342	174	121	53	118	93	66	172	= 3131 mm
	27	26	27	26	26	26	16	19	29	23	18	23	= 264 jours

La température est tempérée de Juin à Novembre par l'influence du courant froid de Humbolt. Durant cette période "sèche", l'ennuagement est constant, et l'ensoleillement très réduit et tardif dans la journée. Des brouillards matinaux apportent une substantielle rosée et souvent une fine bruine.

La durée de l'ensoleillement annuel à Pichilingue ne dépasse guère 800 heures, contre 1500 à Ambato dans la Sierra - 1800 aux Antilles dans les plaines.



3-3 - VEGETATION -

A l'origine, c'était la grande forêt équatoriale. De vastes zones ont maintenant été défrichées, surtout autour de Quevedo, et de part et d'autre de la route Quevedo-Santo Domingo, où la banane a pris une large extension.

La région de Quevedo, relativement plus ensoleillée, semble mieux convenir à la banane que les régions plus au Nord, où des densités de plantations à l'hectare plus faibles, sont nécessaires. La proximité de Guayaquil (180 Km) est aussi un facteur très important.

3-4 - LES SOLS -

On distinguera plusieurs régions :

- A) Zone Nord et Est - SOLS FAIBLEMENT ALLOPHANQUES - (Umbrandepts à C/N = 10 ou Entic - hydrandepts - sols relativement lessivés en bases hydric-tropic-normandept)

Elle comprend toute la région de Santo Domingo, jusqu'au Km 50 au Sud, sur la route de Quevedo et toute la partie voisine des Andes, jusqu'à la Mana, à l'Est de Quevedo.

Il s'agit donc d'une région très humide, avec une pluviométrie annuelle de l'ordre de 3 m et une saison sèche modérée.

Les sols sont constitués de plusieurs dépôts successifs. Certains niveaux sont encore très peu altérés, mais d'autres niveaux, plus fins à l'origine, sont davantage allophanisés. L'un de ceux-ci se retrouve très fréquemment vers 50 - 80 cms de profondeur, l'humidité au champ et les pF sur échantillons frais, y sont nettement plus élevés (horizon de diagnostic de sols faiblement allophaniques).

Les horizons fortement allophanisés s'observent rarement dans les tranchées de 25 m de profondeur, surtout quand on se rapproche de la Cordillère. On les remarque dans certains talus de route et parfois, aussi, dans des sites où le décapage de niveaux supérieurs permet leur apparition, à moins grande profondeur (cas du profil 68 où ce niveau fortement allophanique, à hypersthène, apparaît vers 1,5 m sous le dépôt à hornblende).

Les teneurs en M.O. sont élevées, de l'ordre de 7 % dans les I5 à

20 premiers cms. Elles décroissent en profondeur, mais peuvent se relever brusquement dans certains horizons humifères enterrés, vers 1 m, pour atteindre des valeurs, parfois voisines de celles de la surface du sol. C'est une preuve supplémentaire de la jeunesse de ces dépôts. C'est généralement dans ce niveau enterré humifère, ou juste au-dessus, que l'on rencontre des débris de poteries... Le rapport C/N est voisin de 10 sur l'ensemble du profil et varie peu.

L'humidité au champ ou au pF 2,8, mesurée sur échantillons frais, est variable, bien entendu, suivant les niveaux et peut atteindre 70 % dans certains niveaux plus allophanisés des dépôts supérieurs, avec une "eau utile" (pF 2,8 - 4,2) de 20 à 30 %. Les déterminations faites sur échantillons conservés frais, sont nettement supérieures, souvent deux fois plus élevées que celles faites sur échantillons préalablement séchés à l'air. En profondeur, des humidités de 100 % ou davantage, sont rencontrées dans les horizons fortement allophaniques qui, d'apparence similaire, à ceux du versant amazonien ou ceux de profondeur de Santo Domingo - Quinindé.

Les teneurs en bases échangeables varient suivant le degré d'altération des horizons. Elles sont plus élevées en surface, puis décroissent pour reprendre des valeurs similaires en profondeur : 4 à 7 mé pour 100 g de sol. Les teneurs en K éch. sont généralement très faibles. Par contre, les teneurs en P total sont très correctes (150 à 200 mg %), ainsi que celles en P Truog (2 à 7 mg P^{205} %) pour des sols qui ne reçoivent pas d'engrais. En l'absence d'hydroxydes, le P est peu fixé, mais on est très loin des 20 à 30 mgr de P^{205} Truog p. 100 que l'on rencontre aux Antilles, dans les bananeraies fertilisées, situées sur des sols similaires.

Voisins de 5,1 à 5,4 en surface - les pH augmentent régulièrement jusqu'à 6 à 6,2 en profondeur, bien que l'état de saturation en base décroisse souvent et ne dépasse que très rarement 30 ou 40 %. La capacité d'échange mesurée sur échantillon sec n'est pas très élevée : 15 à 20 mé % et augmente en profondeur, passant à 30 mé dans les horizons plus fortement allophaniques.

En résumé, il s'agit de bons sols dans lesquels des fumures minérales potassiques sont à prévoir, après quelques années de défrichement. La rétention pour l'eau est élevée pour des sols aussi perméables et aérés et les racines peuvent descendre très en profondeur.

- Cf. profils principaux : E 49 - E 46 - E 68 - E 52 -

B) Zone Centrale - SOLS FAIBLEMENT ALLOPHANIQUES - (Umbrandepts à C/N = 10 ou Entic-hydrandepts - Les sols étant peu acides, peu lessivés en bases, on pourrait parler aussi de Mollic-umbrandepts) - Porous humic latosolic régosol - E.FREI -

C'est la région située au Nord et au Nord-Est de Quevedo jusqu'au Km 40 ou 50. La pluviométrie est un peu plus faible que dans la région précédente et la région peu ensoleillée.

Les sols ressemblent fortement aux précédents, mais ils sont nettement mieux saturés en bases, par suite d'un lessivage moins intense. Les teneurs en potasse échangeable et en P^{205} Truog, sont plus élevées et les pH supérieurs à 6 dès la surface. Le degré d'allophanisation semble un peu moins poussé, surtout quand on se rapproche de Quevedo ou quand on va au Nord de cette ville d'Est en Ouest, vers les zones plus sèches de la côte.

L'eau "utile" (pF 2,8 - pF 4,2) est encore très satisfaisante, de l'ordre de 20 %, exprimée en poids de terre séchée air. Elle est plus faible mesurée sur échantillons conservés frais que dans les sols situés plus au Nord et à l'Est et plus forte, mesurée sur échantillons préalablement séchés à l'air. Cette "eau utile" est sensiblement la même, que les déterminations soient faites sur échantillons secs ou frais, bien que les valeurs de l'humidité pour un même pF soient différentes.

Au Nord-Ouest de Quevedo, on commence à voir apparaître en profondeur, un sol enterré à argile brune à halloysite.

En résumé, ce sont d'excellents sols à bananes, dans lesquels la fumure phospho-potassique ne paraît pas encore probablement utile. Le profil est pénétrable par les racines sur une grande profondeur et le bananier y trouve d'importantes réserves en eau.

4) VERSANT PACIFIQUE - ZONE SUD - REGION DE QUEVEDO ET OUEST -

4-1 GEOMORPHOLOGIE -

Le relief est adouci, formé de plateaux doucement ondulés, entaillés par les rivières.

Les dépôts de cendres s'amincissent et disparaissent au Sud et à l'Ouest de Quevedo, peu au-delà d'Empalme. Dans toute cette région, un ancien sol argileux apparaît à une profondeur variant de 0,8 à 1,5 m. Des poteries sont très souvent rencontrées, juste au-dessus de ce niveau argileux. Par suite du décapage par l'érosion des dépôts de cendres récents, ce sol ^{argileux} affleure, en général, sur les pentes, en bordure des ravins.

Le dépôt à hornblende verte encore visible au Nord de Quevedo, disparaît et le dépôt à hypersthène-hornblende recouvre toute la partie Sud et Ouest. Plus en profondeur, juste au-dessus du niveau argileux, on remarque un autre dépôt riche en hornblende, plus ancien.

4-2 CLIMAT -

C'est une région plus sèche - où la pluviométrie annuelle ne dépasse guère 2 m à 2,5 m avec 5 - 7 mois de sécheresse accentuée. L'ensoleillement est un peu meilleur, quoique encore faible (Pichilingue : 800 Heures).

4-3 LES SOLS -

SOLS DE TRANSITION ALLOPHANES-HALLOYSITE sur sol argileux brun-rouille à halloysite
 Sol brun eutrophe tropical peu évolué sur sol brun ferrisselique
 Mollic umbrandepts ou tropic-eutrandepts sur Rhodocrults
 Humic latosolic régosol (Pichilingue loam) sur rubrozemic latosol

Avec une nette gradation du Nord au Sud et d'Ouest en Est, ce sont les sols de transition allophanes - halloysite - sous des faciès légèrement différents, qui dominent dans ces régions. La tendance allophanique s'accroît vers les régions plus humides (horizons moins foncés, toucher plus onctueux, etc...), la tendance halloysite vers les régions plus sèches (sols uniformément foncés, plus friables, à tendance particulière ou limono-argileuse).

A un horizon de 15 - 40 cms bien humifère, à structure finement grumeleuse, véritable terreau de chassis, succède un niveau finement sableux, de coloration foncée très voisine.

Plus en profondeur, vers 80 ou 120 cms, on observe généralement un niveau de cendre plus grossier, peu altéré, de quelques centimètres d'épaisseur.

On passe ensuite brutalement à un ancien sol, uniformément brun-rouille foncé, argileux, un peu gras, quoique adhérent (halloysite). Dans les 30 premiers centimètres, ce sol enterré est très poreux - macroporosité de 1 à 2 mm ou davantage puis il devient plus compact avec des faces très luisantes et des revêtements bruns foncés, manganiques ou autres. Quelques pisolithes ferro-manganiques peuvent être observés. Quoique même humide, le sol soit difficilement pénétrable à l'outil, les mottes s'effritent assez bien. Sec, ce sol enterré est très dur.

Les teneurs en M.O. sont importantes - 6 à 9 % dans les 15 à 20 premiers cms et souvent encore; 3 à 4 % vers 40 cms de profondeur, mais faibles dans le sol argileux enterré (inférieur 1 %). Le C/N voisin de 10 indique une M.O. bien humifiée.

Les teneurs en bases échangeables sont importantes en surface : 12 à 15 mé %, avec surtout du calcium et encore en profondeur : 6 à 8 mé. La capacité totale d'échange paraît liée surtout à la M.O. et décroît en profondeur. Les pH sont rarement inférieurs à 6,5 et peuvent atteindre 7, bien que l'état de saturation en bases ne dépasse guère 60 %. Les teneurs en K éch. sont généralement bonnes souvent très élevées : 1,5 à 3 mé %. Les teneurs en P total sont excellentes (300 à 400 mgr P₂O₅ %).

Les humidités aux pF 2,8 et 4,2 déterminées sur échantillons frais ou secs, sont les mêmes et l'eau "utile" (pF 2,8 - pF 4,2) importante pour des sols aussi légers : 20 % environ. La faible profondeur fréquente du sol (1 m) au-dessus du niveau argileux, peu pénétré par les racines, limite, cependant, la valeur de l'eau ^{utilisable} pour l'ensemble du profil.

En résumé : ce sont d'excellents sols, remarquables par leur structure légère, faciles à travailler, aisément explorés par les racines et très riches chimiquement en K et P. L'épaisseur souvent limitée du sol léger à 1 m, rend, dans les régions périphériques où la saison sèche est plus marquée, les irrigations par aspersion indispensables durant plusieurs mois de l'année. La qualité exceptionnelle de ces sols justifie les investissements et les aménagements d'ensembles qui pourraient être faits pour l'irrigation.

Principaux profils : E 66 - E 72 - E 98 - autour de Quevedo et E 50 à 10 Kms à l'Ouest du Km 38 vers Santo Domingo, sol encore un peu allophanique, reposant sur l'argile brune vers 1,5 m de profondeur.

5) - REGIONS SUD ET OUEST EN BORDURE MAIS AU-DELA DES DEPOTS DE CENDRES RECENTS -

5-1 GEOMORPHOLOGIE -

Le relief est constitué de collines aux pentes souvent accidentées. La roche mère paraît être des projections anciennes très altérées qui ont recouvert des brèches et des coulées andésitiques.

5-2 CLIMAT -

La pluviométrie est voisine de 1,5 à 2 m par an, avec 4 à 7 mois de sécheresse au Sud de Quevedo. Elle augmente quand on se rapproche des Andes.

5-3 VEGETATION -

C'est encore souvent une forêt dense dans laquelle de nombreux défrichements ont jadis été effectués pour la banane. Après quelques années de cultures, la plupart des plantations semblent avoir été abandonnées.

5-4 LES SOLS - SOLS BRUNS-ROUILLES ARGILEUX A HALLOYSITE -

INTERGRADES BRUNS EUTROPHES - FERRISOLS ou sols BRUNS FERRISOLIQUES (sols à évolution faiblement ferrallitique) -
rhodochromes (coloration foncée profonde mais peu de M.O.) -
Rubrozemic latosol (E. FREI).

Ce sont des sols argileux à halloysite hydratée et goethite brun-rouille, identiques à ceux que nous trouvons aux Antilles. Le profil 79 est bien caractéristique des sols bruns ferrisoliques, voir même de ferrisols bruns, quoique les teneurs en goethite ne paraissent pas très élevées.

En surface, le sol est argileux, mais très bien structuré, finement grumeleux, très foncé, bien que la teneur en M.O. ne dépasse guère 3 %.

L'analyse granulométrique de l'horizon A est identique à celle des niveaux supérieurs des sols argileux enterrés, situés dans les régions plus au Nord. Ce qui confirme bien l'identité de ces formations.

Plus en profondeur, et jusqu'à plus de 1 m, la couleur demeure encore très foncée. Les faces sont très luisantes avec souvent des revêtements manganiques

Le sol est compact à l'outil, un peu gras (halloysite), mais les mottes s'effritent assez bien à l'état frais, en petits agrégats anguleux, ayant parfois une tendance pseudo-sable. Sec, le sol est dur, mais peu fissuré.

La teneur en argile dans l'horizon B₁ peut atteindre, dans les profils plus évolués, 80 % avec un rapport limon/argile, inférieur à 10.

La teneur en bases échangeables est relativement importante et semble peu varier dans le profil. Le pH est voisin de 5,5.

En résumé, ce sont de bonnes terres, mais de qualité bien inférieure aux sols légers qui les recouvrent plus au Nord. L'enracinement est moins profond et les réserves en eau trop faibles pour permettre, avec plusieurs mois de sécheresse, la culture de la banane. Une fertilisation phospho-potassique paraît nécessaire.

Principaux profils : E 79 - sur la route de Quevedo Zapotal -
et E 36 - pour son niveau profond enterré.

6) SOLS DERIVES DE ROCHES VOLCANIQUES DURES EN REGIONS TROPICALES - (Hors chapitre à titre comparatif)

Bien qu'ils ne soient pas formés sur des projections cendreuse volcaniques, nous citerons quelques profils qui peuvent compléter cette étude en soulignant les oppositions.

A) Sols des régions sèches au-delà des dépôts de cendres - FERRISOLS à B Compact Intergr. Ferris-Vertice
Deux profils ont été analysés à l'Ouest d'Empalme, hors de la zone bananière, près de Pichincha.

C'est une région doucement ondulée où des coulées volcaniques anciennes sont parfois visibles.

La pluviométrie ne semble pas dépasser 1,5 m et la saison sèche est importante. En fin de saison sèche, tous les pâturages sont grillés et la forêt n'a plus de feuilles. Celle-ci ne semble pouvoir se régénérer, après les abâtis, que dans les bas fonds plus humides. C'est une région d'élevage avec quelques cultures familiales : manioc...

Les sols sont souvent peu profonds, les affleurements de roches fréquents. Le profil suivant a été observé sur une coulée andésitique bien visible en position bien drainée.

Le sol est argileux, compact et fissuré. Sous un horizon humifère de 30 cm, on observe un niveau rougeâtre à faces légèrement anguleuses. Dès 60 cm, apparaissent des débris de roches altérés, souvent encore durs.

La teneur en M.O., voisine de 3 % en surface, décroît très rapidement en profondeur. Le rapport limon/argile est voisin de 30 à 50 %. Avec une teneur en argile de 60 %, la capacité d'échange ne dépasse pas 23 mé %. Le degré de saturation en bases (Ca surtout) est voisin de 50 % et le pH de 6.



L'argile (inf. 2 microns) serait de la métahalloysite, mais la raie à 4,04 de la cristobalite, très intense, gêne l'observation de la goéthite. Il y aurait un peu de gibbsite. (Fig. 4I). On peut classer ces sols parmi les ferrisols à B compacts.

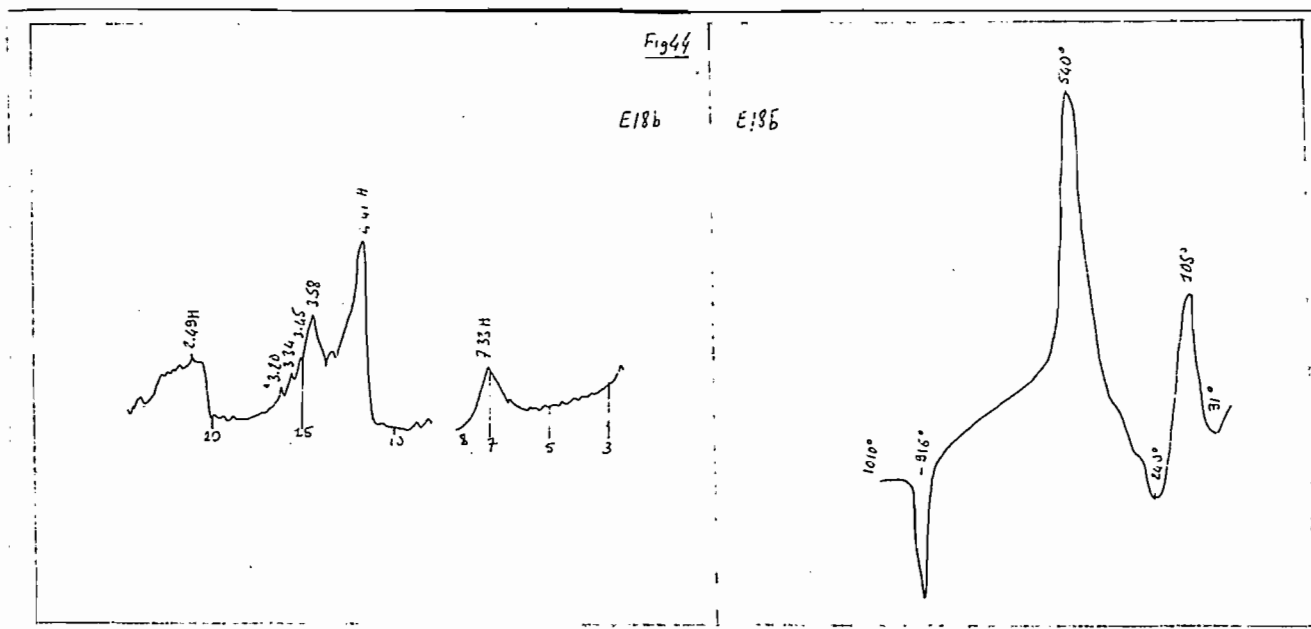
N.B.— Des profils semblables ont été observés entre Quininde et Esméralda, mais dans des régions, semble-t-il, nettement plus arrosées. (2 m de pluviométrie annuelle, avec une saison sèche plus réduite et une forêt encore bien verte, en fin de saison sèche).

B) Sols des fortes pentes au pied des Andes - FERRISOLS ET SOLS FAIBLEMENT FERRALLITIQUES - LATOSOLS -

Sur les premiers contreforts très en pente des Andes, près de la Mana, à l'Est de Quevedo, dans une région très humide (pluviométrie annuelle 3 m), l'érosion a enlevé les recouvrements de cendres. Bien que certains mélanges soient probables, les sols paraissent surtout formés sur des coulées volcaniques andésitiques ou basaltiques et sont constamment rajeunis par l'érosion.

Le sol est argileux-limoneux (L/A = 1), plus compact, relativement profond, rougeâtre, avec des agrégats anguleux. L'argile semble être de l'halloysite. La goéthite, quoique décelable, est peu importante. Il n'y a pas de gibbsite. Les teneurs en bases échangeables sont correctes, 14 mé en surface, 8 en profondeur, le pH voisin de 6. Les 9 % d'eau "utilisable" contrastent avec les 20 à 30 % des sols sableux faiblement allophaniques des parties plates voisines.

Ce sont des caractéristiques de sols encore faiblement ferrallitisés du type ferrisols à B peu compacts.



7) SOLS D'ALTITUDE DE VERSANT PACIFIQUE DES ANDES - PILALO - A 2600 m D'ALTITUDE

7-1 GEOMORPHOLOGIE -

Le versant des Andes est extrêmement accidenté, s'élevant très rapidement au-dessus de la plaine, jusqu'à plus de 4000 mètres. Des dépôts de cendres et de ponces, lorsque les pentes ne sont pas trop fortes, recouvrent les formations rocheuses plus anciennes.

7-2 CLIMAT -

C'est une région très humide, noyée une bonne partie de l'année dans le brouillard des nuages qui s'élèvent le long des parois de la montagne. La pluviométrie semble élevée, voisine de 3 m. La température est très constante au cours de l'année, avec une moyenne mensuelle de 12° (moyenne maximum mensuelle 17° , minimum : 8°).

7-3 VEGETATION -

La forêt^{est}/relativement peu élevée, avec une abondante végétation hygrophille, coupée de quelques rares pâturages.

7-4 LES SOLS -

SOLS FAIBLEMENT ALLOPHANQUES recouvrant des sols FORTEMENT ALLOPHANQUES UMBRANDEPTS ou ENTIC-HYDRANDEPTS sur HYDRANDEPTS -
Latosolic brunizems ? E. FREI -

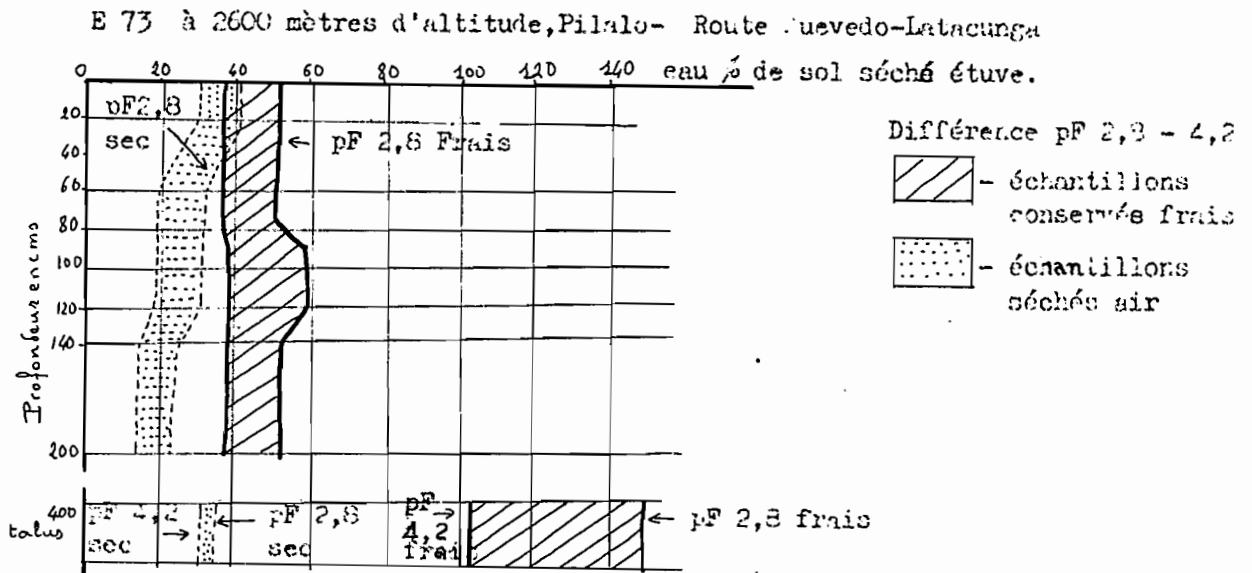
Le profil est analogue à ceux de la plaine tropicale de Quevedo à Santo Domingo, située près de la Cordillère.

On observe deux dépôts superposés, de plus de 2 m d'épaisseur. Le premier à hornblende, le deuxième plus riche en hypersthène, avec des niveaux grossiers peu altérés et des niveaux déjà très nettement faiblement allophaniques.

Les teneurs en M.O. sont très semblables, ainsi que les autres propriétés, à celles des sols faiblement allophaniques des régions tropicales humides.

Plus en profondeur, dans un talus de route, on observe très bien un horizon jaune, tout à fait identique, par son aspect et ses propriétés, à l'horizon de diagnostic des sols fortement allophaniques très hydratés, des régions tropicales d'Equateur et des Antilles. L'humidité au pF 2,8 dépasse 150 %, mesurée sur échantillon frais, l'eau "utile" (pF 2,8 - pF 4,2) atteint 45 %, la capacité d'échange est élevée : 45 mé sur échantillon sec (cf. rayon X et ATD page 12). Cet horizon renferme nettement moins de sables supérieurs à 50 microns (12 %) que les dépôts plus récents (30 à 40 %) qui le recouvrent.

L'évolution des sols sur cendres est donc la même en régions tropicales chaudes ou tempérées froides. L'excès d'eau et la perméabilité restent les deux principaux facteurs d'évolution.



8) LES SOLS DE HAUTE ALTITUDE DU PARAMON - Brunizems - CRYANDEPTS -
- Black Equatorial Brunizems - E. FREI - Thapto-tropic-normandept

Dans les hautes régions des Andes, vers 3500 à 4000 m d'altitude, de larges croupes ondulées portent des pâturages aux herbes rases, constamment jaunies par les gelées nocturnes et les vents très violents de la journée.

La température moyenne ne dépasse guère 10°. La pluviométrie annuelle serait de l'ordre de 1 à 2 m et régulièrement distribuée.

Sur ces croupes, des dépôts de cendres et de ponces de 1 à plusieurs mètres d'épaisseur, recouvrent des formations rocheuses dures.

Qu'il s'agisse de la région de Pilalo à Piluli (Quevedo Latacunga) ou des pentes du Cotopaxi, près de Quito, ce sont des cendres à hypersthène et augite, avec peu d'hornblende, de texture nettement plus grossière que dans les plaines tropicales.

Les 3 à 5 premiers cms du sol, sont surtout constitués d'un feuillage noir, très dense et très serré de racines enchevêtrées. Plus en profondeur, le sol est fortement humifère, avec une texture particulière de moins en moins liée à la M.O. et plus grossière. Très souvent, on observe un deuxième niveau enterré, plus épais et beaucoup plus noir que le premier : noir antracite, luisant, à reflets bleutés. S'agit-il, comme le pense E. FREI, d'une migration d'humus dispersé ou plus simplement du recouvrement d'un ancien sol; par un dépôt plus récent superficiel ? De tels horizons foncés - "spodiques" - existent aussi dans la vallée interandine et aux Antilles, dans des sols modérément acides.

Les teneurs en M.O., après élimination des cinq premiers cms superficiels de chevelu de racines, sont importantes : 5 à 8 % de 5 à 25 cms de profondeur, avec des C/N de 13 à 20. Les sols sont relativement bien saturés en bases : 50 % et les pH modérément acides : 5,5. Le phosphore semble peu fixé et les teneurs en P Truog correctes.

Profils principaux : E96 - E95 - Piluli - Pilalo - E93 Cotopaxi

IX- SOLS DE LA VALLEE INTERANDINE

Ces sols seront étudiés plus en détail dans un prochain article. Pour l'instant, deux profils sur cendres ont été retenus dans la haute vallée, vers 2800 m d'altitude, entre les deux cordillères : l'un à l'Ouest, l'autre à l'Est de Latacunga, dans des régions de cultures : blé, pommes de terre, luzerne.

La température moyenne mensuelle est très uniforme, ^{proche} de 13° toute l'année, avec des maxima moyens de 20° et des minima de 8°. La pluviométrie n'est pas très élevée, de l'ordre de 500 à 600 mm par an, mais assez bien répartie toute l'année.

Brunizems ou Thapto tropic eutra ndepts

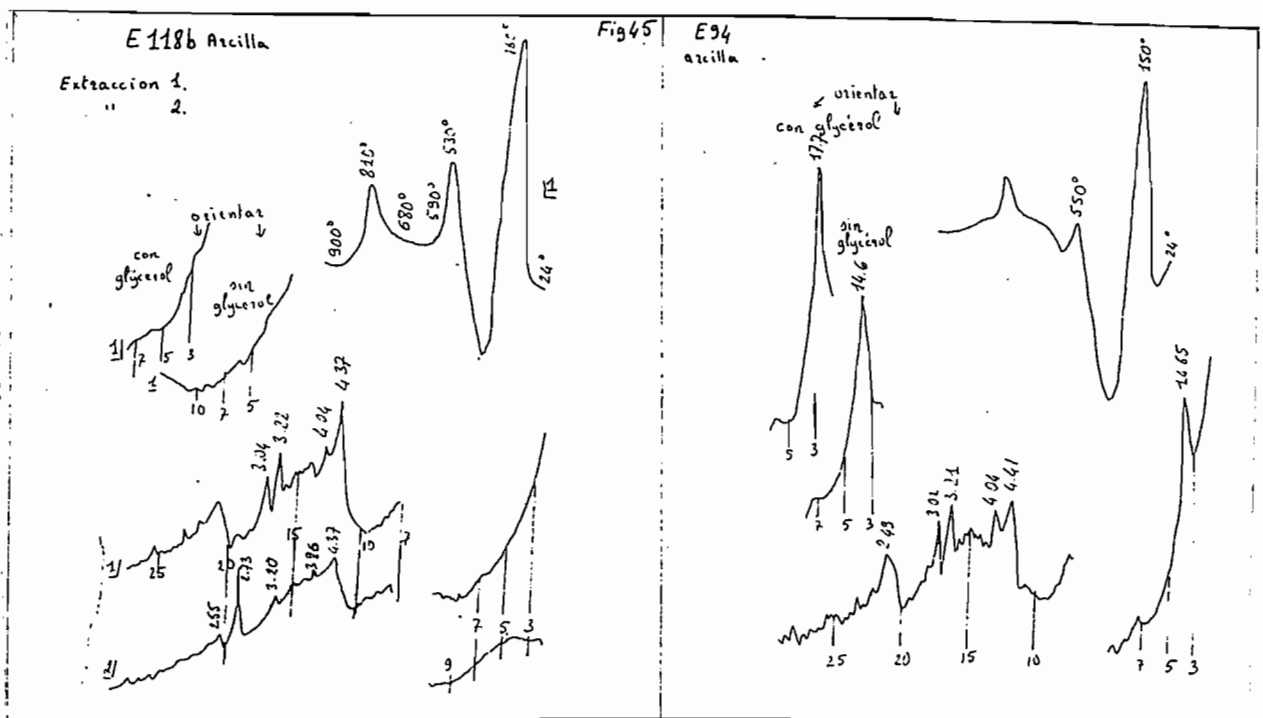
Dans un profil situé en zone irrigable, l'horizon labouré de 25 cm, bien noir ^{à l'état} humide, mais beige très clair lorsqu'il est sec, sablo-limoneux, rendu finement grumeleux par la matière organique, recouvre un autre horizon de texture semblable, mais beaucoup plus noir, luisant, avec de petits agrégats anguleux, un peu durcis et de nombreux revêtements très foncés. Un tuf volcanique, brunâtre, assez dur, est visible vers 70 cm. (Cangagua).

La fraction inférieure à 2 microns semble surtout formée de substances amorphes dispersables, dont la composition reste à préciser. On remarque la petite raie à 4,04 Å de la cristobalite, et un fond important vers 12-14 Å présentant un léger gonflement à 17 Å au glycérol.

Andeptic-hapludents - Ustropepts-

L'autre profil, situé dans une région très sèche, ne présente pas cet horizon profond plus noir. Il est plus épais et probablement remanié par les vents, comme en témoignent les petites dunes de bordure des champs. Il y aurait surtout de la montmorillonite.

Les propriétés de ces sols sont analogues : 11 à 17 % d'argile, 22 à 33 % de limon fin et 20 % de limon grossier. Les pH sont un peu supérieurs à 6, pour un ^{faux} ~~taux~~ de saturation de 60 %. Les teneurs en Phosphore Truog sont importantes et représentent 12 et 20 % du phosphore total. Le C/N ne dépasserait pas 8 à 10.



DISCUSSION

- I CONDITIONS DE FORMATION -

Après avoir replacé les sols dans leurs conditions naturelles de formation, est-il maintenant possible de dégager les facteurs qui semblent présider à leur évolution?

On examinera successivement l'influence de la nature et de l'âge du dépôt, de sa durée d'altération, puis de la pluviométrie, de la température et du drainage interne.

- II INFLUENCE DE LA NATURE ET DE L'ÂGE DES FORMATIONS MÈRES

On a vu qu'il s'agissait de cendres dacitoïdes renfermant une proportion variable d'hypersthène, augite et hornblende verte.

Cette composition actuelle du dépôt, quantité de sables et proportions des minéraux, correspond-elle à son état original ou résulte-t-elle de modifications intervenues au cours des temps par une altération sélective des minéraux, entraînant la diminution plus rapide de certains ^{d'entre eux} et l'augmentation relative des autres?

Dans une telle hypothèse, il serait donc possible de savoir, par le degré d'altération des sables, si les dépôts de compositions différentes, souvent superposés, proviennent d'éruptions très éloignées dans le temps.

- III - Teneur en sables supérieurs à 50 microns.

L'analyse granulométrique des fractions supérieures à 50 microns après lavage des sables par des solutions acides et alcalines peu diluées, montre que les niveaux encore relativement peu évolués sont nettement plus riches en sables (30 à 40% entre 50 et 200 microns) que les niveaux plus évolués, fortement allophaniques ou déjà argileux (8 à 10% de sables entre 50 et 2000 microns).

Bien que cette observation soit très nette et constante, la grande hétérogénéité des niveaux successifs, même dans un dépôt provenant du même cycle d'éruption, nécessiterait l'exécution systématique des déterminations pour tous les niveaux d'un même profil, au lieu des 6 ou 7 au maximum qui ont été retenues.

Si pour les sols argileux à halloysite, l'ancienneté par rapport aux sols de transition à halloysite encore peu évolués, ne fait pas de doute et explique la diminution des sables, le problème n'est pas aussi évident, bien que la conclusion soit vraisemblablement la même, pour les sols fortement et faiblement allophaniques. Les formations plus fines s'altèrent plus vite et une différence de granulométrie au départ, permettrait d'expliquer l'allophanisation plus poussée de certains horizons ou sols.

Aux Antilles, cependant, où les différences de granulométrie sont analogues à celles constatées en Equateur, on remarque, en général, une proportion plus importante de minéraux opaques parmi les minéraux lourds dans les sols fortement allophaniques par rapport aux sols faiblement allophaniques, ce qui peut laisser entendre qu'il s'agit de formations plus anciennes.

Il est difficile de conclure, mais il est certain que les variations de la granulométrie des sables ne semblent pouvoir influencer ou refléter que l'intensité de l'évolution, mais non le sens d'évolution (allophanes ou halloysites). Aux Antilles, on peut observer des sols fortement allophaniques dans des matériaux très grossiers (ponces).

II2 - Altération sélective des minéraux -

On n'envisagera pas ici les feldspaths plagioclases, assez rapidement détruits et transformés en produits argileux, amorphes ou substances dissoutes entraînées.

Existe-t-il une relation entre l'altération de l'hypersthène et de la hornblende verte?

D'après les suites réactionnelles de BOWEN et GOLDSCH, les minéraux les derniers formés par différenciation magmatique sont les plus stables vis-à-vis des agents de l'altération météorique, tandis que les minéraux primaires, hâtivement cristallisés, sont les premiers atteints. L'hypersthène, minéral formé à haute température et cristallisant, de ce fait, avant la hornblende, serait donc moins stable que cette dernière.

L'altération d'un pyroxène se manifeste par la capture de molécules d'eau; les chaînes simples se soudent deux par deux, avec fixation de OH. Le minéral passe alors à un stade hydroxylé et acquiert ainsi une structure d'amphibole. On connaît des exemples, dans des roches, de transformation de diopside (pyroxène monoclinique) en hornblende (amphibole monoclinique). Mais l'hypersthène est orthorhombique; peut-il se transformer en hornblende monoclinique? On n'observe pas; d'autre part, dans les minéraux lourds, de termes de passage entre hypersthène et hornblende.

Si l'on considère, d'autre part, la façon dont l'altération progresse dans un minéral, on observe les faits suivants :

- dans un édifice cristallin, les premiers polyèdres dissous sont ceux de 8 à 12 sommets, centrés sur les cations Ca, Na et K; puis les octaèdres occupés par les ions Al, Fe, Mg et, enfin, les très petits tétraèdres centrés sur Si et Al.

Les deux minéraux principaux en présence ont pour formules:

- Hornblende verte : $(\text{Si}_6\text{Al}_2\text{O}_{22}) \text{Ca}_2 (\text{Fe}, \text{Mg})_4 \text{Al} (\text{OH})_2 \text{Na}$

- Hypersthène : $(\text{Si}_2\text{O}_5) (\text{Mg}, \text{Fe})_2$

Il faudrait donc tenir compte, dans l'altération de ces cendres, de deux phénomènes concomitants :

- La transformation de l'hypersthène en un minéral à structure d'amphibole (ce n'est qu'une hypothèse).

- L'hydrolyse rapide de la hornblende avec élimination des cations Ca et Na.

Les conditions climatiques, la pluviométrie importante et le drainage (tufs et cendres perméables) sont tels que l'hydrolyse des minéraux doit être rapide. En conséquence, la hornblende doit être très vite détruite par élimination des cations (Ca, Na).

Dans le cas où la seconde hypothèse ^{serait} retenue, il serait possible de dire qu'une partie de la hornblende a disparu par altération dans les horizons profonds, entraînant une augmentation relative du taux d'hypersthène. ^{(Ce serait} l'inverse dans le premier cas.

Le problème apparaît encore assez complexe et nécessiterait des études plus poussées. Il est, en définitive, difficile de parler d'une altération préférentielle de l'un de ces minéraux. Bien que la dégradation de la hornblende paraisse devoir être plus aisée, ce fait ne paraît pas suffisamment établi pour qu'il soit possible, dans le cas étudié ici, d'en tenir compte pour différencier l'âge des formations.

II3 - Relations entre les proportions actuelles des minéraux lourds et les types de sols -

La composition minéralogique du dépôt ne semble pas, dans l'état actuel, être en relation avec l'intensité ou le sens d'évolution des sols.

Les sols fortement allophaniques du versant amazonien, avec ou sans gibbsite sont issus de formations à dominance d'hypersthène et d'augite. Ceux du versant Pacifique, proviennent, par contre, de formations à dominance de hornblende verte sans augite. L'évolution des sols est dans les deux cas identique. La loi de BOWEN serait applicable dans le premier cas, mais pas dans le second.

On peut remarquer qu'aux Antilles il existe des sols à allophanes tout à fait semblables à ceux d'Equateur, sur des formations beaucoup plus riches encore en hypersthène, qu'il y ait ou non présence de gibbsite. La gibbsite semble surtout se rencontrer dans les formations plus anciennes et plus évoluées. Des observations analogues n'ont pu être faites en Equateur.

L'étude des sols de transition allophane-halloysite a surtout concerné la région Sud (Quévêdo) où les dépôts sont relativement plus riches en hypersthène que ceux dont sont issus les sols à allophanes situés plus au Nord.

En Martinique, Les sols évoluant vers l'halloysite se rencontrent , au contraire, souvent sur des dépôts plus riches en hornblende que ceux qui évoluent vers les allophanes.

II4 - Degré d'altération en climats différents -

La détermination des formations d'après le degré d'altération des minéraux, se complique encore lorsqu'il s'agit de dépôts placés sous des conditions climatiques fort différentes, pouvant influencer les processus et la rapidité de l'altération. En région modérément arrosée, l'altération progresse moins vite que dans les régions très humides. Théoriquement, sur des formations de même âge, les sols de transition vers l'halloysite devraient avoir des sables moins altérés que les sols à allophanes situés en climat plus humide. C'est ce qui semble pouvoir être observé tant en Equateur qu'aux Antilles, où les sols de transition renferment, en général, peu ou pas de minéraux opaques.

Dans les formations de cendres grossières, particulières, très humifères des pentes du volcan Cotopaxi, à 50 Km au Sud de Quito, vers 4000 m d'altitude, en climat froid (température moyenne mensuelle constante et inférieure à 10°), les feldspaths nettement plus corrodés, arrondis et la proportion d'opaques plus importante que dans la plaine Pacifique tropicale. Ils semblent plus altérés.

Les dépôts de cendres des pentes du Cotopaxi seraient, contrairement aux apparences, plus anciens que ceux des versants pacifiques et amazoniens, qui proviendraient d'autres volcans, plus éloignés mais plus jeunes.

II5 - Sites archéologiques -

Un élément très favorable à la détermination de l'âge des formations et de leur mise en place respective est la présence, dans certains niveaux enfouis sous des dépôts issus de nouvelles éruptions, de vestiges de l'industrie humaine primitive : poteries, racloirs de silice, etc...

Il est remarquable de constater que, dans près de la moitié des tranchées ~~ouvertes~~ ouvertes dans la région de Quevedo - Santo-Domingo, dans des positions topographiques très variées et à plusieurs dizaines de kilomètres de distance, de tels vestiges ont été trouvés. Cette fréquence indiquerait une occupation très intense du sol avant ces cataclysmes.

Dans cette plaine, on observe souvent, vers 1 à 2 m de profondeur, des débris de poteries à la limite des deux formations à hornblende et à hypersthène, juste au-dessus de l'horizon humifère enterré. Le dépôt à hornblende n'aurait donc pas plus de quelques millénaires, en admettant qu'il s'agisse effectivement de vestiges enfouis naturellement sous les cendres, ce qui paraît probable, et non de vestiges funéraires.

Au Sud de Quevedo, près de la limite extrême des dépôts de cendres récentes, on retrouve encore ces poteries (et dans un profil en quantité considérable), juste au-dessus des sols argileux brun rouille à halloysite, sous les sols de transition allophane-halloysite. Ce dépôt supérieur à hypersthène, qui évolue avec formation d'halloysite, ne serait donc pas très ancien. Son âge serait similaire de celui des dépôts situés plus au Nord qui évoluent vers les sols à allophane (sols faiblement allophaniques).

L'abondance de ces vestiges préhistoriques, identifiés par davantage de tranchées et le concours de spécialistes, permettrait certainement de préciser avec plus d'exactitude les âges respectifs de ces dépôts. L'examen au C^{14} permettrait peut-être de fixer leur âge et de connaître ainsi, le temps nécessaire à la formation de substances amorphes ou d'halloysite en quantité notable, ou à l'apparition des premiers symptômes de l'altération sur les divers minéraux primaires.

L'âge des formations et la durée de l'altération ne seraient donc pas dans ce cas, et jusqu'à ce stade d'évolution, le facteur du sens de l'évolution.

- 12 INFLUENCE DU CLIMAT (PLUVIOMETRIE)

Puisque l'âge et la nature des formations ne paraissent pas avoir une influence bien nette sur le sens d'évolution des sols, ce sont donc les variations de la pluviométrie (intensité annuelle et répartition) qui sont le facteur le plus important. Cette hypothèse a été suffisamment envisagée au cours d'un précédent article —> pour qu'il soit nécessaire d'insister. Ceci confirme certaines des observations faites sur les sols similaires des Antilles.

Dans les régions très humides, il semble, si le milieu demeure constamment perméable en profondeur, les substances amorphes hydratées se maintiennent avec élimination progressive de la silice, et apparition et augmentation de la gibbsite. Le terme final serait une bauxite, avec parfois, en profondeur, dans les parties moins bien drainées, des poches d'halloysite.

La diminution de la silice ressort assez bien du tableau 4, bien que l'analyse triacide, dans le cas de forts résidus insolubles, non quartzeux, ne donne pas de résultats très valables, ni bien reproductibles (Sol total).

On remarque que le rapport $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ (silice soluble dans la soude) est élevé (4,0) dans l'horizon faiblement allophanique récent de la plaine tropicale pacifique, mais beaucoup plus bas dans les horizons profonds fortement allophaniques (I,5), qu'il s'agisse des régions tropicales chaudes ou tempérées froides d'altitude (2800 m). Le rapport s'abaisse à 1 dans les sols fortement allophaniques de la plaine amazonienne, plus anciens et sous un climat plus humide. En Guadeloupe, des chiffres encore plus bas ont été trouvés et sont donnés à titre de comparaison.

Avec des rapports $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$, voisins de 1,5, la gibbsite n'est pas toujours décelable, mais les raies de la cristoballite apparaissent encore très nettement aux rayons X. Le rapport $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ des substances amorphes fortement allophaniques, débarassées des sables et limons fins, serait donc très probablement inférieur à 1,5.

TABLEAU 4 Extraction au tri-acide - Silice soluble dans la soude 2 % chaude (Sol total)

	: Hor. faibl ^t :	Horizons fortement allophaniques très hydratés				
	: allophanique:	Pacifique	Tropical	2800m	Amazonie	Guadeloupe
	: E 62b :	E 62f :	E 53h :	E 73 X :	E II5 d :	CA 4 b :
: SiO ₂	: 22,35 :	27,00 :	22,20 :	22,75 :	17,70 :	13,90 :
: Al ₂ O ₃	: 9,50 :	30,50 :	24,90 :	25,00 :	29,00 :	37,50 :
: Fe ₂ O ₃	: 4,20 :	9,25 :	6,00 :	7,25 :	8,50 :	13,00 :
: ,, DEB	: 1,50 :	5,3 :	- :	5,20 :	6,70 :	9,20 :
: TiO ₂	: 0,45 :	1,05 :	0,80 :	0,95 :	1,20 :	1,15 :
: Résidu	: 52,85 :	13,80 :	31,30 :	26,05 :	18,35 :	11,25 :
: P. au feu	: 7,85 :	16,55 :	13,05 :	17,10 :	24,50 :	22,80 :
		R a p p o r t s m o l é c u l a i r e s				
: SiO ₂ /Al ₂ O ₃	: 4,00 :	1,50 :	1,52 :	1,54 :	1,04 :	0,63 :
: SiO ₂ /R ₂ O ₃	: 3,12 :	1,25 :	1,31 :	1,30 :	0,87 :	0,51 :
					(Analyses S.S.C.BONDY)	

Les teneurs en Fer total et en fer libre sont généralement importantes. Cependant, la goethite est rarement décelable, alors que, pour des teneurs analogues en sols ferrallitiques, elle peut être aisément identifiée.

Si le drainage interne, vertical ou oblique, se ralentit dans le profil au cours de l'évolution, il pourrait y avoir formation d'hallowysite, peut-être en partie à partir de la silice libérée de nouvelles couches cendreuses, provenant de dépôts aériens plus récents, et ayant recouverts ces formations déjà fortement allitisées.

Dans les régions moins arrosées où la percolation de l'eau dans le sol est beaucoup moins intense, et les horizons supérieurs, certains mois de l'année, soumis à dessiccation, les substances amorphes peu hydratées se transforment en halloysite, donnant naissance à des sols bruns eutrophes. Si le climat est favorable à l'individualisation des hydroxydes, ceux-ci évolueraient ensuite en sols bruns ferrisoliques, puis ferrisols bruns et enfin en sols ferrallitiques friables. Signalons dans certains sols de transition vers l'halloysite, encore très jeunes, la présence de boehmite en quantité notable; il est probable qu'il s'agit d'un stade transitoire.

I2I - Drainage interne -

Certaines objections peuvent, cependant, être faites.

Dans les régions de sols faiblement allophaniques, le dépôt supérieur perméable repose sur des dépôts successifs plus anciens, faiblement ou fortement allophaniques, très perméables. Par contre, dans les zones moins arrosées, les dépôts correspondant aux sols de transition vers l'halloysite recouvrent fréquemment d'anciens sols argileux brun-rouille à halloysite. Il serait alors possible, dans ce cas, d'invoquer l'absence du drainage en profondeur, induisant la formation d'halloysite.

Certains profils de sols de transition ont cependant une forte épaisseur, parfois plus de 2 m ^(et sont) constitués de matériaux perméables, provenant quelque fois de plusieurs dépôts successifs, au-dessus du niveau argileux profond. Le passage, dans l'espace, vers les sols faiblement allophaniques sur niveaux profonds perméables, est progressif, en particulier ^(en ce qui concerne) le caractère foncé profond du sol.

On peut aussi observer des sols fortement allophaniques sur des matériaux peu perméables, vers 2 m de profondeur, en général sur des versants très en pente.

S'il n'est donc pas étonnant que des niveaux argileux d'anciens sols existent souvent en profondeur dans ces régions, puisque c'est l'aboutissement normal de l'évolution climatique, il ne semble pas que la présence de ce facteur de ralentissement du drainage interne soit la cause essentielle du sens de l'évolution, bien que, incontestablement, sur les larges plateaux à drainage externe lent ou modéré, il y ait là un facteur pouvant accentuer les processus de formation de l'halloysite.

I22 - Température -

La température ne semble pas avoir une action bien nette sur la formation ou non des allophanes.

En altitude, vers 2800 m, dans une région très arrosée, à température moyenne mensuelle constante de 12°, on retrouve les niveaux faiblement allophaniques, au-dessus des niveaux fortement allophaniques, tout à fait identiques à ceux de la basse plaine. On ^{remarque} l'absence de gibbsite, du moins à cet endroit.

Plus en altitude, vers 3200 m, avec une température moyenne annuelle de 10° et une température du sol (à 50 cm.) ne dépassant pas 14°, contre 26° en zone tropicale humide, on retrouve encore les niveaux fortement allophaniques à plus

de 100 % d'eau en profondeur.

A ces altitudes, sauf en de rares endroits, le climat est généralement nettement plus sec, même en tenant compte de l'évapotranspiration plus faible et les comparaisons^{sont} plus difficiles. Le sens et l'intensité de l'évolution seraient davantage sous la dépendance de l'humidité que de la température. Si des sols de la haute vallée interandine, entre 2600 m et 3000 m d'altitude, ne semblent renfermer que des substances amorphes sans minéral argileux bien net, d'autres auraient déjà de la montmorillonite comme dans les régions sèches tropicales chaudes.

X - 2 - DISCUSSION SUR LA PLACE DES SOLS DANS LES CLASSIFICATIONSX - 21 - Classification française en zone tropicale (Aubert 1962)

Quelques difficultés apparaissent pour intégrer les sols issus de formations perméables dans la classification française.

Les sols très jeunes sur cendres, qui ne renferment encore que très peu d'allophanes ou d'halloysite, correspondent à la classe des sols peu évolués, sous-classe des sols peu évolués d'origine non climatique à pédo-climat permettant l'évolution du sol, et au groupe des sols d'apports. Certains sols de transition allophanes-halloysite pourraient déjà être placés dans le groupe des sols bruns eutrophes tropicaux de la classe des sols à humus évolué - sols ABC ou A (B) C ne présentant que peu d'hydroxydes libérés, - mais l'horizon B est encore peu marqué.

La classification devient plus délicate pour les sols fortement allophaniques. Ceux qui renferment beaucoup de gibbsite subissent une allitisation extrêmement intense, mais ceux qui en sont dépourvus et sont encore riches en silice présentent des caractères de sols peu évolués. Or, morphologiquement, ces sols sont très semblables et possèdent les mêmes propriétés de rétention très importante pour l'eau et autres caractères particuliers des sols à allophanes. Les hydroxydes de fer sont rarement décelables aux Rayons X et à l'ATD et il est possible que le fer soit peu individualisé, faisant partie des substances amorphes allophaniques.

Pour ces raisons, il semble préférable de conserver groupés, comme dans la 7ème approximation USDA, les sols où les cendres volcaniques dans les sables, ou les substances amorphes dans l'argile, sont dominantes.

22 - Classification utilisée

La distinction qui a été faite entre les sols à allophanes caractérisés par leurs propriétés d'absorption très importantes pour l'eau, et les sols à proportion variable de métahalloysite et de substances amorphes, mais ayant déjà perdu irréversiblement une partie de "propriétés vis-à-vis de l'eau, permet de fixer une limite très précise entre ces deux ensembles, qui correspond à des caractères physico-chimiques, minéralogiques (absence ou présence de métahalloysite en quantité notable) et surtout morphologiques. Le concept des sols à allophanes pourrait être étendu à l'ensemble des sols renfermant des substances amorphes, mais il devient alors difficile de fixer des limites, surtout quand ces substances deviennent délicates à déceler, par exemple en présence de montmorillonite et d'halloysite. - (Sols de transition allophane - halloysite..., et sols brun rouille encore peu argileux).

Pour des formations d'âges voisins, la limite entre les facteurs climatiques, pluviométrie surtout, qui permettent l'apparition et le maintien de gels fortement hydratés, et ceux qui favorisent la formation d'halloysite, directement ou à partir de substances amorphes moins hydratées, est bien nette. Cela justifie la distinction proposée quelque soit le terme employé.

Le terme "de sols ando n'a pas été retenu faute de définitions précises".

23 - Classification USDA (7ème approximation 1960; Smith 1965)

La plupart des sols issus de cendres volcaniques font partie, dans l'ordre des INCEPTISOLS définis par l'absence de pédon argilique et une altération modérément poussée, du sous-ordre des ANDEPTS qui comprends les sols "ayant une dominance d'allophanes dans la fraction argileuse ou une dominance de cendres dans les sables".

Plus récemment, ce sous ordre a été défini par "un complexe d'échange ne donnant pas de raies aux rayons X ou à dominance de substances amorphes" et, soit avec une densité apparente inférieure à 0,9, soit plus de 60 % de cendres volcaniques, ponces ou autres matériaux pyroclastiques dans le sable fin et les fractions plus grossières.

- 231- Sols fortement allophaniques : La définition du Grand groupe des HYDRANDEPTS leur convient très bien "gels séchant irréversiblement à l'air et se transformant en agrégats graveleux durs, pH KCl souvent voisin ou supérieur, au pH eau". Ceux qui renferment de la gibbsite seraient des OXY-HYDRANDEPTS.
- 232- Sols faiblement allophaniques : On pourrait parler d'ENTIC-HYDRANDEPTS, c'est-à-dire de sols ayant déjà certains caractères, mais très atténués, des hydrandepts, au moins dans certains niveaux, caractères qui vont s'accroître avec le temps.

Par l'ensemble du profil, il semble qu'il puisse s'agir aussi d'UMBRANDEPTS définis ainsi : "L'horizon de surface est épais, foncé, du type épipédon umbric ou mollic, et est associé ou non à un pédon cambic. Du fait des incertitudes concernant l'état de saturation en bases (variable suivant les méthodes) et de la dominance d'allophanes et de cendres considérée comme prépondérante, il n'est pas possible de dissocier épipédons umbric et mollic qui sont ici combinés. Des horizons A enterrés sont fréquents, séparés parfois par des lits de cendres plus grossières. Les teneurs en M.O. sont élevées et la densité apparente peut descendre jusqu'à 0,3".

Il faut remarquer qu'^{dans les} régions tropicales humides, les sols bien drainés, à l'exclusion des quelques centimètres superficiels, ont rarement des C/N supérieurs à 10 ou 12, même lorsqu'ils sont acides et désaturés. Le C/N de 17 requis pour la définition de l'épipédon umbric, par ailleurs relativement épais, est peu fréquent. Cette "confusion" faite dans les UMBRANDEPTS, en dépit du nom, entre les épipédons umbric et mollic nous permet d'y inclure les sols faiblement allophaniques d'Equateur. Au motif "saturation en bases faible et imprécise" il faudrait ajouter "C/N relativement bas, 10 à 12", bien que les teneurs en (M.O.) élevées, les teneurs en cations bivalents souvent faibles (2 à 5 mé %) et pH relativement acide, (5,0 à 5,8) en surface. A défaut de termes précis, il semble bon d'indiquer UMBRANDEPTS (C/N = 10) pour les distinguer nettement des orthic-umbrandepts à C/N élevé, supérieur à 17, probablement formés en climats plus froids.

Les sols faiblement allophaniques, mieux pourvus en bases (pH > 6, et 8 à 12 mé de bases échangeables), ainsi que les sols de transition allophanes-halloysite, seraient des MOLLIC-UMBRANDEPTS définis par "C/N = 10 à 12, un pH supérieur à 6, bien pourvus en Ca et K".

.../...

mais état de saturation en bases variable, suivant les méthodes et analyses mécaniques sans signification" - Le caractère épipédon mollic, ^{matériau argileux} formée en présence de cations divalents, l'emporte sur l'épipédon umbric en dépit d'un état de saturation incertain.

En résumé, les sols faiblement allophaniques peuvent être classés de deux façons :

- Si l'accent est mis principalement sur les caractères hydriques, il s'agit alors d'Entic-hydrandepts,

- Si les autres caractères du sol l'emportent, on doit alors distinguer les termes les plus acides, classés en Umbrandepts ($C/N = 10$) ou encore avec les plus récentes définitions en "hydric-tropic-normandepts - (tropic signifiant déjà un C/N plus bas que celui des normandepts), et les termes peu acides, relativement bien saturés en bases, qui seraient des mollic-umbrandepts ou des hydric-tropic-eutrandepts (le terme tropic signifiant alors seulement ici une capacité d'échange un peu plus faible que pour les eutrandepts typiques).

233- Sols de transition Allophanes-halloysite d'Equateur. Il ne paraît pas possible de les rattacher aux ochrandepts. Il y a trop de M.O. pour qu'il puisse s'agir d'un horizon ochric et la restriction : "horizon A₁ foncé, mais moins foncé que C" est difficile à appliquer du fait des niveaux successifs enterrés souvent peu épais. Le concept des ochrandepts semble s'appliquer à des sols, soit dont l'évolution argileuse est plus poussée, soit situés en régions plus sèches comme on en observe aux Antilles "Ceux constitués de cendres relativement peu altérée, brunâtre ou rougeâtre seraient de entic, ceux plus évolués et avec une proportion appréciable de kaolin des ultics, et ceux riches en hydroxydes des oxi-." Les ochrandepts seraient en somme les intermédiaires entre les sols de transition allophanes-halloysite d'Equateur, encore très jeunes, qui ont été décrits, et les sols argileux brun rouille à halloysite, dont les plus argileux (60 à 80 %) n'en font déjà plus partie. C'est une gamme de sols bien représentée aux Antilles, mais qui n'a pas pu être observée en Equateur, bien qu'elle existe probablement par place. Les sols de transition allophanes halloysites seraient donc des tropic-eutrandepts pour la plupart, les teneurs en argiles identifiées aux rayons X étant encore le plus souvent faibles.

234 - Sols d'altitude - vallée interandine

On pourrait penser aux ochrandepts pour certains sols, et cendres, mais il faut faire remarquer que la couleur beige très clair sur sol sec devient beaucoup plus foncée sur sol humide.

Dans les régions relativement sèches, où les profils sont épais et uniformes, remaniés par le vent, l'érosion et la culture, on pourrait penser à des ANDEPTIC-HAPLU-DENTS - grand groupe des USTENTS, de l'ordre des ENTISOLS - "sols sans horizons de diagnostic nettement différenciés, ne pouvant avoir ni mollic ni umbric épipédon, mais seulement un ochric." "L'absence d'horizons différenciés serait attribuable au manque de temps pour leur formation, le sol ayant pu être jadis un mollisol ou un brunizem, érodé ou transformé par la culture". Dans son concept, l'orthic-hapludent est un sol à moins

de 60 % de cendres ou d'allophanes. L'andeptic-hapludent est donc un intergrade.

Certains de ces sols pourraient être rattachés à des aridisols, d'autres, riches en carbonate de calcium secondaire, seraient des USTROPEPTS.

En régions plus humides, les sols présentent souvent des niveaux enterrés plus noirs qu'en surface à moins de 60 cm de profondeur. Ils sont exclus du groupe précédent et la restriction horizon A1 moins foncé que l'horizon C inapplicable dans presque tous les cas. Cet horizon plus noir qu'en surface est-il un horizon spodic "revêtements amorphes d'humus et d'allophanes, avec plus de 0,3 % de ^{bonne} Ca pas de structure d'ensemble, C/N supérieur à 12 en sols vierges"? On ne saurait affirmer s'il s'agit d'un niveau fortement organique ayant peu évolué depuis son enfouissement, ou d'un niveau constitué au moins partiellement par des processus pédogénétiques. Certains sols des Antilles présentent aussi des horizons plus noirs en profondeur, en particulier ceux qui ont été affectés par les dernières éruptions de la ^{montagne} Pélée - 1962. En l'absence de données permettant de parler de niveau spodic, les termes mollic - Umbrandepts ou Umbrandepts semblent encore convenir au mieux, (sols peu acides). L'expression plus récente de "Thapto-tropic-eutrandepts" tient compte des niveaux successifs à moins de 1m de profondeur et des faibles variations annuelles de la température du sol.

235 - Sols du paramon

Au-dessus de 3.500 m d'altitude, avec une température moyenne mensuelle inférieure à 10°, il pourrait s'agir de CRYANDEPTS "andepts de régions froides sans duripan, avec un umbric épipédon" c'est-à-dire, comme pour les cryumbrepts, bien que cela ne soit pas spécifié, "un horizon noir épais généralement peu saturé en bases et à rapport C/N élevé". Le C/N semble en effet atteindre 15 à 20. Un niveau plus noir, manifestement enfoui, est aussi le plus souvent observé. Si la température est jugée trop élevée (8 à 10°) pour ^{qu'} le rattachement aux Cryandepts soit possible, au-dessous de 4.000 m d'altitude, il faudrait alors parler de Thapto-tropic-Normandepts.

236- A 2.500 m, les sols de la ceinture nuageuse humide mais fraîche (15°) seraient des Umbrandepts à C/N encore peu élevé ou "hydric-tropic-normandepts" ou encore des Entic-hydrandepts" recouvrant des Hydrandepts.

237 - Sols brun rouille argileux à halloysite : Le grand groupe des RHODOCHRULTS de l'ordre des ULTISOLS, sols à horizon argiliq^{ue} avec quelques minéraux altérables, état de saturation inférieur à 35 %, décroissant en profondeur" semble le mieux convenir. Les rhodochrults "présentent d'ailleurs d'étroites relations avec les oxisols, la distinction entre Ochric, mollic et umbric épipédon a peu de signification dans les sols dont les horizon argiliq^{ue} sont de couleur sombre, secs ou humides". Si les teneurs en (M.O.) peuvent être importantes en surface, elles sont faibles en profondeur bien que la couleur change peu". Toutefois, la conception du pédon argiliq^{ue} formé en partie par accumulation d'argile provenant de niveaux supérieurs est gênante, bien que, par ses caractères, l'horizon B de ces sols puisse s'y rattacher : teneur en argile de 50 % en surface et de 80% en B, surfaces luisantes (mais il peut s'agir d'hydroxydes...) C'est pourquoi ce terme de classification n'a pas été ^{encore} retenu. Les profils moins désaturés en régions plus sèches avec augmentation des bases échangeables en profondeur seraient des Rhodustalfs.

LES SOLS SUR ALLUVIONSI) - LES ALLUVIONS FLUVIALES LEGERES -

1) Origine :

On conçoit qu'avec les immenses dépôts de cendres volcaniques qui ont recouverts les hauts massifs des Andes, et les flancs des montagnes, les alluvions bordant les rivières dans les plaines basses, renferment une importante quantité de ces éléments fins, entraînés, puis déposés le long des berges, parfois même assez loin du lit principal, au cours des inondations.

a) Dans la région de QUEVEDO et au NORD, c'est-à-dire dans la zone des vastes dépôts des cendres que nous avons étudié, les vallées ne sont pas très larges et la pente des rivières encore relativement importante, les débordements limités. Il s'agit d'excellents sols à bananes.

Les dépôts de cendres qui se sont produits sur les plateaux, (les débris de l'industrie humaine trouvés souvent vers 1 m de profondeur le montrent) n'ont pas épargné, bien sûr, les plaines alluviales. Il devient très difficile, dans ce cas, de dire s'il s'agit d'alluvions au sens de particules transportées par les eaux ou parfois de dépôts volcaniques aériens. Dès qu'un dépôt de cendres vient d'avoir lieu, les pluies provoquent aussitôt dans ces matériaux très meubles, non consolidés, une érosion très active et en entraînent vers les parties basses situées parfois à peu de distance. On devait alors parler de colluvionnement.

Il semble qu'un critère valable pour caractériser, dans ces régions, les alluvions soit une teneur en argile plus élevée, en surface, de l'ordre de 20 - 25 %, décroissant rapidement en profondeur vers 40 cm. Ceci indique, qu'à des dépôts relativement grossiers aériens (sables fins) ont succédé de très fines particules d'argile et de limon fin (inf. à 20 microns) apportés par les débordements des rivières.

b) Au SUD de QUEVEDO, vers le Golf de Guayaquil, l'altitude devient très faible. La topographie très douce est celle d'une vaste zone deltaïque - percée par endroits de quelques pointements rocheux. Les rivières ont de nombreux méandres et débordent largement de leur lit en périodes pluvieuses. Le classique phénomène des bordures de rivières plus élevées, sur quelques centaines de mètres de largeur, suivies de zones plus basses est très net. Les particules limoneuses et sableuses se déposent d'abord, constituant d'excellents sols légers à bananes, faiblement inondés. Les limons très fins et les particules d'argile qui restent encore en suspension dans les eaux assagies, vont se déposer plus loin dans les plaines argileuses plus basses, et inondées de longs mois de l'année.

Dans ces régions situées hors des zones de dépôts de cendres importantes, la composition minéralogique des sables atteste une origine en partie volcanique. A Ventanas, la fraction lourde est déjà en partie altérée : 25% de minéraux opaques - Parmi la fraction transparente, la hornblende verte domine largement (75 %), puis on trouve de

.../...

l'hypersthène de l'épidote, de la zoisite. Parmi les minéraux légers qui constituent plus de 95 % de la fraction sableuse supérieure à 50 microns, le quartz est l'élément essentiel (60 %) avec des feldspaths calciodiques et quelques rares feldspaths potassiques. Des petites paillettes de micas noirs - souvent chloritisés (biotites) sont très souvent observées et expliqueraient la richesse parfois très élevée de ces sols, en potasse.

2) Climat :

La pluviométrie décroît fortement au Sud de Quevedo, quand on se rapproche de Guayaquil, passant de 2,2 m à 1,1 m. Entre ces deux villes, elle augmente quand on se rapproche des Andes, passant de 1 m à Daule, sur la route de Guayaquil-Quevedo, à 2 m à Babayoyo et 2,5 m à Clémentina.

Du Nord au Sud			Ja.	F.	M.	A.	M.	J.	J.	A.	S.	O.	N.	D.	Total
QUEVEDO	17	ans	513	482	421	399	128	43	36	7	11	23	22	113	= 2200 mm
GUAYAQUIL	49	ans	226	304	296	192	53	16	3	0	2	3	4	32	= 1131 mm
d'Ouest en Est															
Daule	4	ans	307	260	200	112	46	19	42	0	0	1	1	80	= 1070 mm
Babayoyo	7	ans	343	498	511	398	157	13	2	1	1	6	3	61	= 2000 mm
Clémentina	15	ans	533	568	605	408	156	34	24	6	8	13	14	95	= 2500 mm

Toute la grande zone bananière sur alluvions de Vincas, Babayoyo, a une pluviométrie de 1500 à 2000 mm avec une saison sèche de plusieurs mois, très accentuée.

Une telle pluviométrie serait très insuffisante sans la présence d'une nappe maintenant une humidité presque permanente, à environ 1 m à 1,5 m de profondeur, même au plus fort de la saison sèche.

3) Les Sols :

- 1) Zones de QUEVEDO -

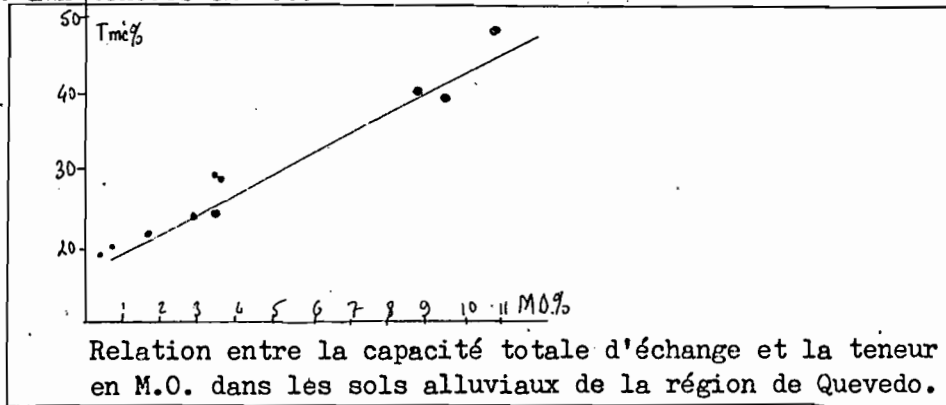
Dans les régions humides de Quevedo, où des dépôts aériens récents de cendres ont pu se mélanger ou recouvrir en partie les alluvions, l'allophanisation ou la formation d'hallowysite a lieu comme sur les sols des plateaux environnants. Bien souvent, nous parlons d'alluvions parce qu'il s'agit de zones plates en position basse. Les sols sont souvent très profondément humifères, légèrement acides (pH 5,5 à 6). Les teneurs en M.O. atteignent 8 à 10 % dans les premiers cms et sont encore importantes en profondeur. Les teneurs en K éch. et en P Truog sont souvent élevées et même très élevées. La teneur en P total est très élevée partout (400 à 500 mgr P^{25} %).

Près des rivières, l'horizon humifère est mieux tranché et les teneurs en

.../...

M.O. décroissent souvent plus rapidement en profondeur. Les sols sont généralement peu acides pH 6 à 6,8 riches en potasse échangeable (1 à 3 mé), en P Truog et en P total en surface et en profondeur.

La capacité d'échange est élevée pour des sols aussi sableux et semble proportionnelle aux teneurs en M.O.



2) Zone de Vincés - Babahoyo -

L'horizon humifère est plus mince - 10 cms en iron - avec un feutrage très dense de racines. C'est un sable fin, un peu agrégé, un peu argileux et légèrement dur à l'état sec. Les teneurs en M.O. sont de l'ordre de 4 à 6 %.

Le sol devient ensuite beige clair, limoneux ou sableux, parfois encore un peu dur à l'état sec jusque vers 30 cms de profondeur. La teneur en M.O. dépasse rarement 1 %.

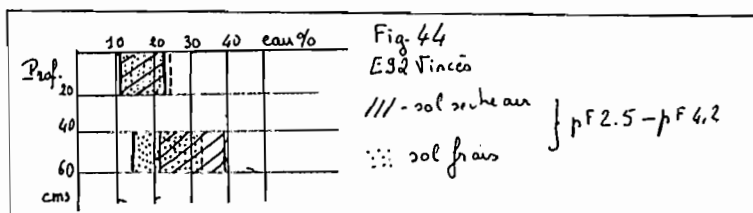
Vers 1 m de profondeur ou davantage, on trouve des lits alternés très sableux ou sablo-argileux, parfois même des niveaux très argileux hydromorphes.

La granulométrie dans le premier mètres est très variée, quoique les fractions de sable grossier et argile soient peu représentées.

La capacité d'échange voisine de 20 mé % en surface est encore importante en profondeur, dans les niveaux sableux, ainsi d'ailleurs que la teneur en bases échangeables. De telles teneurs sont étonnantes pour d'aussi faibles valeurs de la M.O. Les sols sont peu acides (pH 6,3 à 7), les teneurs en K éch. sont généralement modérées (0,5 mé % en surface), les teneurs en P Truog sont partout très bonnes et souvent sur l'ensemble du profil. Les teneurs en P total sont correctes (150 à 200 mg P^{25}), mais inférieures à celles des alluvions ou des sols de transition de la région de Quevedo.

La capacité en eau utile en surface est de l'ordre de 10 à 15 % (pF 2,8 - pF 4,2), mais l'importance de cette valeur est très relative puisque même en fin de saison sèche, l'humidité se fait sentir déjà vers 1 m et que les niveaux de 2 m de profondeur sont franchement mouillés. Les humidités des pF mesurés sur échantillon séché à l'air ou frais, sont les mêmes en surface, mais des différences apparaissent en profondeur, dans certains niveaux.

.../...

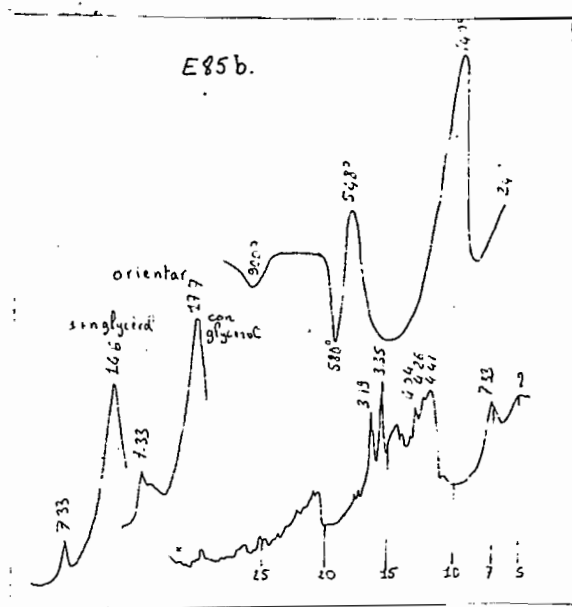


En résumé, il s'agit d'excellentes terres à bananes, bien drainées, constamment alimentées en eau en profondeur, bien pourvues en P. Un certain épuisement en K semble se faire sentir. L'insolation meilleure que dans les régions plus au Nord, vers Quevedo, la proximité du port de Guayaquil, les larges voies de pénétration fluviale, ont jadis contribué à l'essor rapide de la banane dans cette région qui est considérée encore par la qualité, le rendement et le prix de revient, comme une des meilleures régions bananières.

II) - LES ALLUVIONS ARGILEUSES DES PLAINES BASSES -

Il s'agit de grandes plaines rizicoles, jadis marécageuses situées entre les rivières au-delà des alluvions légères.

Fissuré en saison sèche sur 5 à 6 cms en pavés, le sol est argileux noir (2,5 Y 3/0), un peu limoneux, mais peu adhérent avec des veines rouilles le long des racines. Il s'éclaircit légèrement un peu après 40 cms de profondeur, avec souvent apparition de taches grises ou verdâtres et de nombreux petits pores. La teneur en argile est de l'ordre de 50 % avec 25 % de limon fin. L'argile est constituée d'un mélange de métahalloysite (raies à 4,4 Å et 7,33) et de montmorillonite (raies à 14,2 passant à 17,7 Å après traitement au glycérol (Fig.)



L'ATD montre aussi un fort départ d'eau à 140 °, mais le crochet à 540° a été perturbé par, sans doute, un reste de M.O.

La capacité d'échange de bases ne dépasse pas 25 mé.

De vastes superficies de ces sols sont maintenant aménagées en rizières mécanisées, mais dans beaucoup d'endroits, l'assainissement est rudimentaire.

3) - LES SOLS DES BANANERAIES DE LA PROVINCE DEL ORO - MACHALA -

3-1) - GEOMORPHOLOGIE -

Au Sud du pays, la plaine côtière est resserée entre le Golf de Guayaquil et les versants abrupts de la Cordillière des Andes. En bien des endroits, la largeur n'excède pas 20 à 30 Kms.

A la latitude de Machala, l'important Rio Jubones descend directement des Andes vers la mer et a recouvert la région de ses alluvions.

Les hauts massifs des Andes dans l'arrière pays n'étant pas volcaniques, mais surtout constitués de formations crétacées sédimentaires surélevées, les particules entraînées ont donc probablement en partie, une origine bien différente de celle des alluvions des provinces du Guayaquil et de Quevedo. Quelques mélanges de cendres ne sont pas impossibles. Aucun examen de sables détaillé n'a été effectué.

3-2) - CLIMAT -

C'est une région sèche, la pluviométrie annuelle varie entre 300 à 600 mm, la moitié des précipitations tombant durant deux mois. Toutes les bananeraies sont irriguées par gravité par les eaux du Rio Jubones. L'inséation est bien meilleure que dans la région de Quévêdo et ce serait une des raisons de la qualité des fruits.

Au Sud de la plaine alluviale de Machala, les collines de piémonts des Andes s'approchent davantage de la côte. La région est plus sèche, avec une petite forêt xérophyte ; les sols sont souvent courts, érodés, rocailleux, laissant déjà présager les régions désertiques du Nord Pérou.

3-3) - LES SOLS - (cf: Golmet-Daâge 1961)

A) Granulométrie -

Ce sont des sols limono-argileux à limono-sableux, dans lesquels des différences importantes de texture peuvent exister dans le premier mètre. Des horizons d'épaisseur variable, parfois de simples lentilles plus argileuses ou plus sableuses sont aussi fréquents.

La teneur en argile décroît le plus souvent de la surface 30 %, vers la profondeur. Le pourcentage de limon est nettement supérieur. Les sables grossiers sont peu représentés - inférieurs à 1 %. Certains niveaux profonds sont finement sableux, presque sans argile (10 %) d'autres très argileux (50 à 60 %).

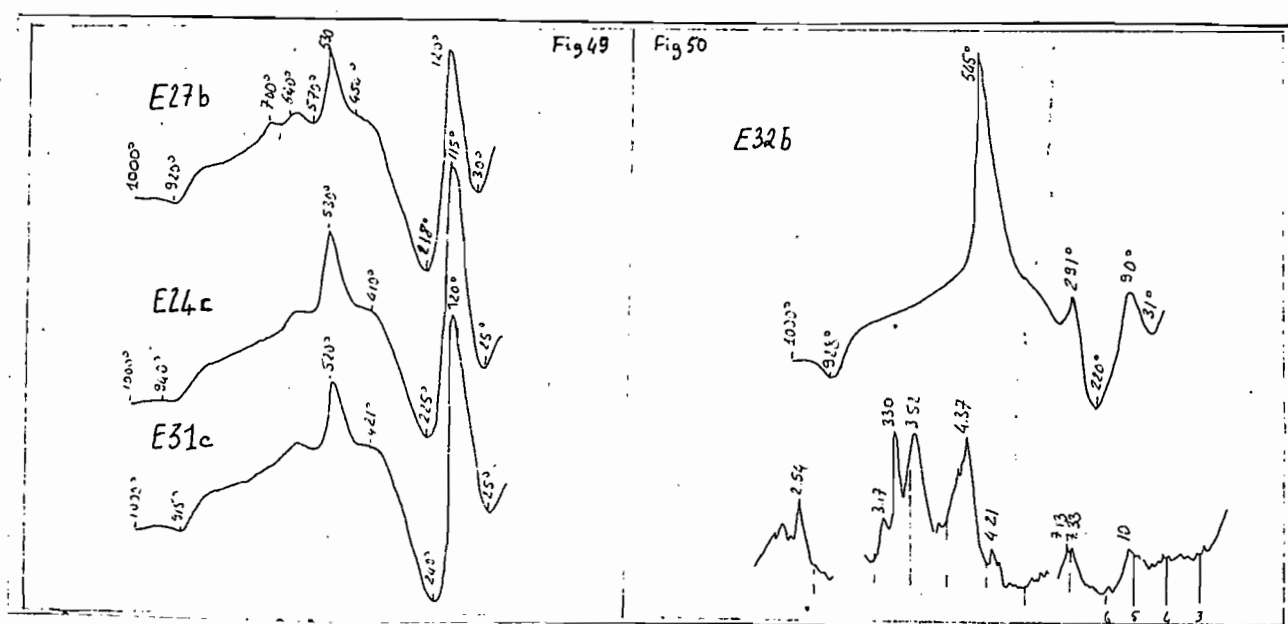
Cet enrichissement en argile des niveaux superficiels témoigne d'un enrichissement alluvionnement assagi. C'est un élément favorable pour l'irrigation. Des minces bandes argileuses lenticulaires provoquent souvent, par place, en profondeur, un ralentissement du drainage interne et l'apparition de taches grisâtres ou rouilles.

.../...

B) Minéralogie -

L'argile paraît surtout constituée de montmorillonite avec un peu de kaolinite ou halloysite. Certains sols des terrasses plus anciennes paraissent surtout formés de métahalloysite avec un peu de gibbsite (E 32). Il s'agit vraisemblablement d'alluvions issues des sols ferralitisés du bas versant très humide des Andes.

Les sables n'ont pas été examinés en détail, mais des paillettes de micas sont le plus souvent bien visibles, parfois en quantité très importante.



C) Autres propriétés :

1) Les teneurs en M.O. totales sont de l'ordre de 3 à 4 % dans les 15 à 20 premiers cms, mais décroissent très vite en profondeur comme l'examen du profil le laisse bien deviner. Le rapport C/N est souvent inférieur à 10 en surface - ce qui indique une humidification déjà poussée.

2) La capacité d'échange de base est élevée, comprise entre 40 et 50 mé % en surface et décroît dans les niveaux plus sableux de profondeur. Elle semble liée surtout à la teneur en argile et relativement indépendante du taux de M.O. dans les sols à montmorillonite. Elle est bien plus faible dans les sols des terrasses plus ancienne

Le calcium est très largement le cation échangeable principal. La teneur est en général 10 fois plus élevée que celle du Magnésium, sauf dans certains sols salés. La teneur en Na éch. dépasse rarement 1 % du total des bases échangeables, ce qui est très satisfaisant pour des sols parfois inondés par des eaux un peu saumâtres.

3) Les teneurs en potasse échangeable sont élevées, parfois même extrêmement fortes 2 - 3 ou même 5 mé % de sol. De telles valeurs sont très rares pour des sols tropicaux, même pour ceux qui, à la différence de ceux-ci, reçoivent de très fortes fumures potassiques. Avec des apports de 1 T de K_2O par an, les sols des bananeraies des Antilles renferment rarement plus de 1,5 à 2 mé K % de sol. Des teneurs de 0,5 à 0,7 mé en profondeur, peuvent encore être considérées comme très satisfaisantes dans

des niveaux où le taux d'argile ne dépasse pas 20 %.

Dans certains profils, les teneurs en K éch. Peuvent être supérieures à celles en Mg éch. C'est un cas très fréquemment observé dans certains sols des Antilles, après de fortes fumures potassiques et, bien que les taux de Mg éch. soient beaucoup plus faibles que ceux de Machala, les apports de magnésie ne semblent guère apporter une quelconque amélioration. La richesse en K de ces sols est peut être liée à l'abondance de particules micacées.

4) Les teneurs en sels solubles sont faibles et dans la plupart des profils, elles ne dépassent pas 0,1 gr de Na Cl p.100 g de sol.

a) Dans certains cas, la salure a une origine marine évidente : anciennes alluvions inondées par les marées et remontée d'eaux saumâtres, lors des fortes marées. Il ne semble pas que le déssalement puisse présenter des difficultés. La comparaison du profil 23 encore vierge avec sa végétation basse indiquant une forte salure et du profil 22 situé à une centaine de mètres, dans une zone récupérée il y a un an et inondée plusieurs fois par des eaux douces, avant plantation, montre la rapidité de la disparition des sels. Le rapport Na/S a fortement baissé en surface (10 à 3) et la structure initiale cubique s'est beaucoup améliorée. Le rapport Na/S est encore assez élevé en profondeur (20 %), mais il y a tout lieu de penser que dans les niveaux sableux, en profondeur les irrigations vont faire baisser ce taux. Les bananiers donnent déjà 1200 régimes Ha de 40 kg de moyenne.

b) Dans beaucoup de bananeraies situées plus à l'intérieur des terres, l'origine des sels est discutable. On observe en saison sèche de nombreuses efflorescences blanchâtres qui recouvrent les bords des fossés et souvent même forment de larges taches sur les sols, à l'intérieur des bananeraies. Nous avons gratté au couteau ces efflorescences, en essayant d'entraîner le moins de terre possible (1 cm maximum).

Le tableau ci-dessous, dans l'extrait $1/10^e$, montre que les teneurs en sels sont très faibles et probablement en partie issues des bases échangeables. Les cations solubles les plus importants sont Ca et K, le plus faible Na. Il s'agit probablement de bicarbonates chlorures et sulfates. On peut faire remarquer aussi les très fortes teneurs en P soluble Truog (N/500).

Echant. N°:	Bases échangeables mé p.100				S	T	V %		p205 total mg %	p205 truog mg %	pH
	Ca	Mg	K	Na gr							
E 108 a	25.95	3.80	2.92	0.26	33	41	80		205	022	7.7
E 109	30.00	4.41	2.06	0.36	36,8	44	86		187	022	
Fr	Sels solubles Cations mé %					mé % Anions					Conductivité 1/10: mhos/cm 25°
	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	Na ⁺	Total	CO ₃ ⁻⁻	CO ₃ H ⁻	CL ⁻	SO ₄ ⁻⁻	Total	
108 A	0,80	0,50	0,65	0,18	1,53	0	1,20	1	0,10	3,3	0,15
109 a	1,40	0,50	0,50	0,25	2,65	0	0,96	0,80	0,90	2,66	0,24

Ces efflorescences disparaissent avec les premières pluies. Beaucoup de bananiers présentent des brunissements sur le pourtour du limbe foliaire, semblables à celles que l'on a coutume d'observer sur des terrains salés. S'agit-il d'un excès de sel ou de certains cations, K par exemple, à certaines époques du cycle. Il est difficile de se prononcer, bien que les taux faibles de Na Cl semblent devoir incliner à un déséquilibre minéral plutôt qu'à une action des sels.

5) Phosphore : Très riches en potasse, ces sols le sont aussi en Phosphore. Les teneurs en P total ne sont pas considérables : 120 à 150 mgr P^{205} % de sol, mais une forte proportion - 30 à 40 % de ce P - existe sous une forme facilement soluble, peu fixée, extraite par le réactif Truog (N/500). Il est intéressant de noter que la M.O. ne semble pas avoir d'influence sur le rapport P Truog/P total. Ce sont souvent dans les horizons profonds pauvres en M.O. que le rapport est le plus élevé. Il ne semble pas y avoir non plus de relations bien nettes avec la teneur en argile. Le P. est nettement moins fixé dans les sols montmorillonitiques que dans les faciès plus anciens à halloysite et gibbsite.

6) Capacité pour l'eau : De nombreuses déterminations de PF sur plaques poreuses ont été effectuées.

Rappelons que l'humidité au pF 4,2 est sensiblement celle d'un sol au voisinage de son point de flétrissement c'est-à-dire quand l'eau est si fortement retenue par le sol qu'elle n'est pas utilisable par la plante qui commence à flétrir.

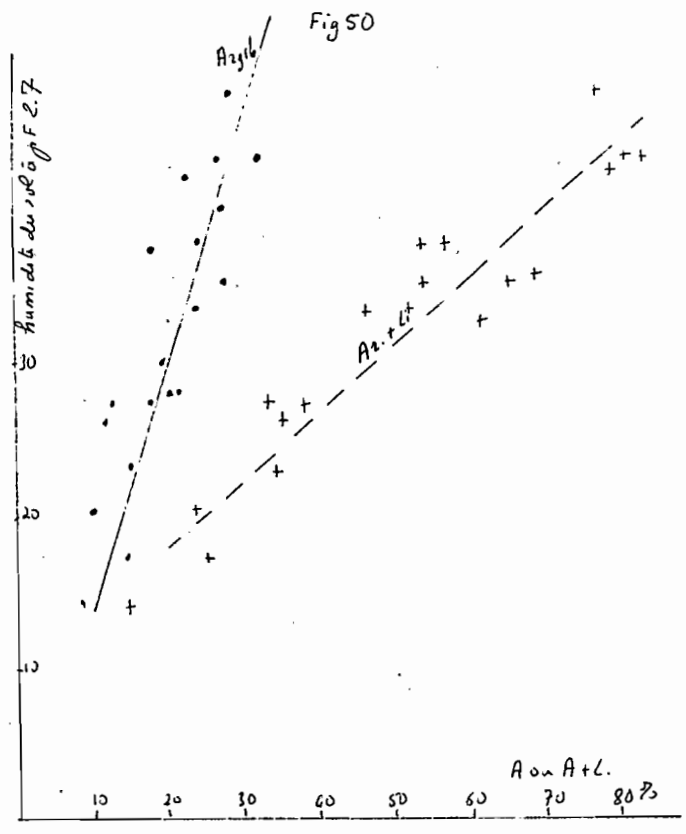
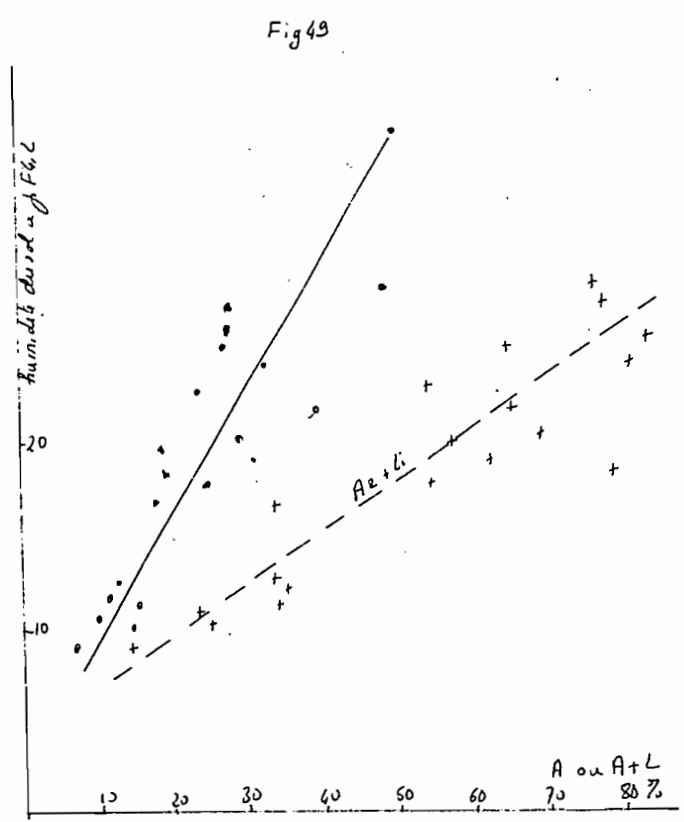
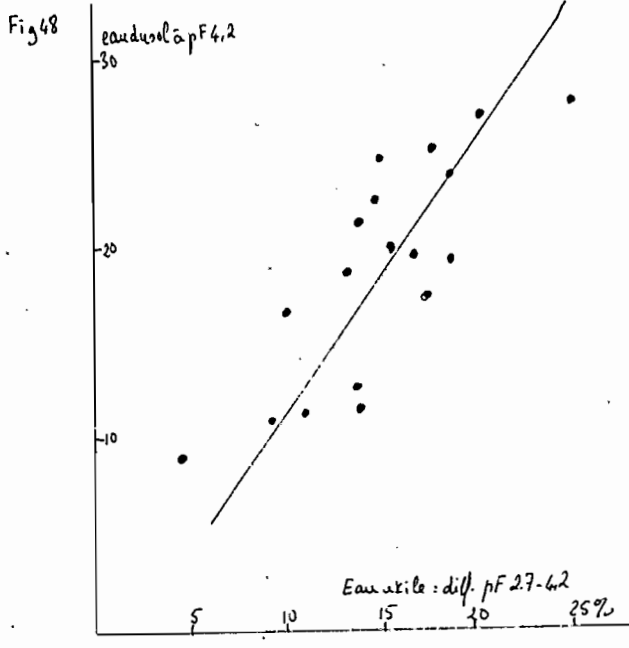
L'humidité au pF 2, serait voisine de celle d'un sol ressuyé 24 heures après une forte pluie, c'est-à-dire d'un sol dans lequel l'eau n'est plus en mouvement. Cette valeur est moins précise que la précédente car l'humidité d'un sol ressuyé ne correspond pas toujours à la même valeur de pF si le sol est sableux ou plus ou moins argileux.

L'eau utilisable définie par la différence des humidités à PF 2,7 et 4,2 serait donc probablement trop faible dans les sables sols sableux (moins de 15 % d'argile) et trop élevée dans les sols très argileux 50 à 60 % d'argile. Pour les sols très argileux constitués d'argiles gonflantes la quantité d'eau absorbée par le sol au laboratoire est plus élevée que sur le terrain où des contraintes s'exercent sur le sol et limitent son expansion. L'écart PF 4,2, pF 2,5 est d'autant plus réduit.

L'eau "utile" est dans une certaine mesure liée pour ces sols à la valeur du pF 4,2. Le graphique 48 indique qu'elle peut être déduite par la relation approchée : "Eau Utile" = pF 4,2 x 0,72.

Comme le montrent les graphiques 49, 50 une relation existe entre les humidités entre au pF 4,2 et au pF 2,7 et les teneurs en argile et argile + Limon. La M.O. ne semble donc pas jouer un rôle.

La connaissance de l'eau utilisable peut aider au calcul des doses d'irrigation et éviter des excès d'eau inconsidérés qui risquent de provoquer un engorgement en eau au-dessus du niveau moins perméable que l'on rencontre fréquemment en profondeur. Des déterminations plus précises sur le terrain seraient utiles.



3-4) - CONCLUSION -

Il s'agit donc de sols particulièrement bien pourvus en P et K dans lesquels aucune fertilisation, hormis l'N, n'est à envisager. La conduite des irrigations et le problème de la fumure azotée en liaison avec les irrigations restent les deux principaux points d'étude. Les brunnissures constatées sur le pourtour des limbes foliaires des bananiers restent encore mal expliquées. Sont-elles dues aux concentrations salines très locales en surface ou à un déséquilibre cationique . L'analyse foliaire pourra vraisemblablement mieux nous renseigner.

C H A P I T R E T R O I S I E M E

ETUDES AGRONOMIQUES PARTICULIERES

Au cours de notre mission de Novembre-Décembre 1963, un programme d'études susceptible de déboucher sur des résultats intéressant directement l'économie bananière, a été établi en collaboration avec Mr. CUCALON, Chef de la section sols de la D.N.B. et Mr MOREAU, Directeur de l'I.F.E.I.A.

L'exécution de ce programme a été prise en charge par Mr. CUCALON et son adjoint SOTOMAYOR.

I - ETUDE DE LA POTASSE DANS LES REGIONS HUMIDES DE SANTO DOMINGO -

La mission de Mr. COLMET-DAAGE en 1961, avait montré une certaine relation entre le taux de K échangeable et la pluviométrie pour un même type de sols. Sols faiblement allophaniques.

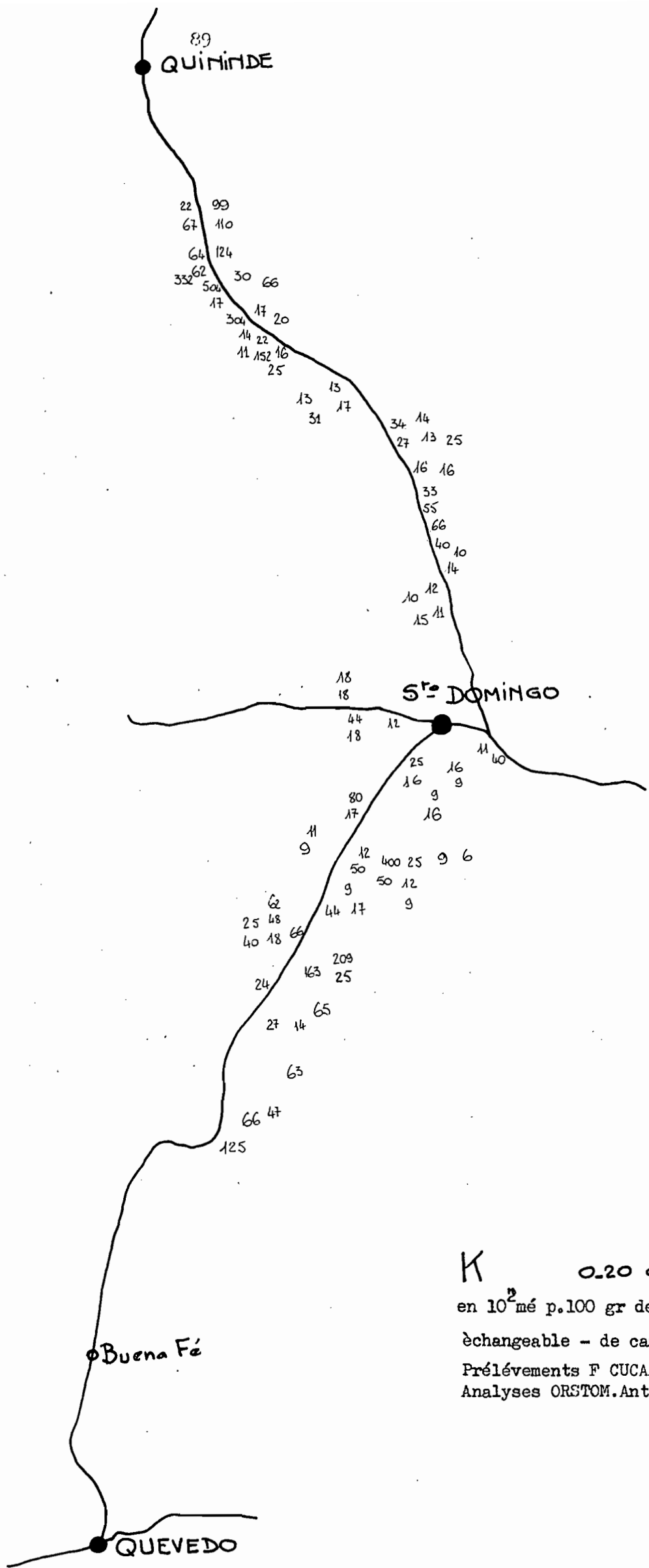
Les teneurs très élevées des régions modérément arrosées de Quevedo, contrastaient avec les taux très faibles des alentours de Santo Domingo en zone très humide, dans des bananeraies pourtant souvent récemment défrichées. Les études de Novembre-Décembre 1963 ayant confirmé ces premiers résultats, il a paru intéressant de les étendre à une centaine de bananeraies.

La carte ci-contre porte l'indication de la teneur en K éch. exprimée en 10^2 mé p.100 g de sol, de 0 à 20 cms. On remarque nettement les valeurs très faibles observées près de Santo Domingo et les chiffres plus élevés, quand on se rapproche des régions plus sèches vers Quevedo et Quininde (Analyses de l'Université de Quito)

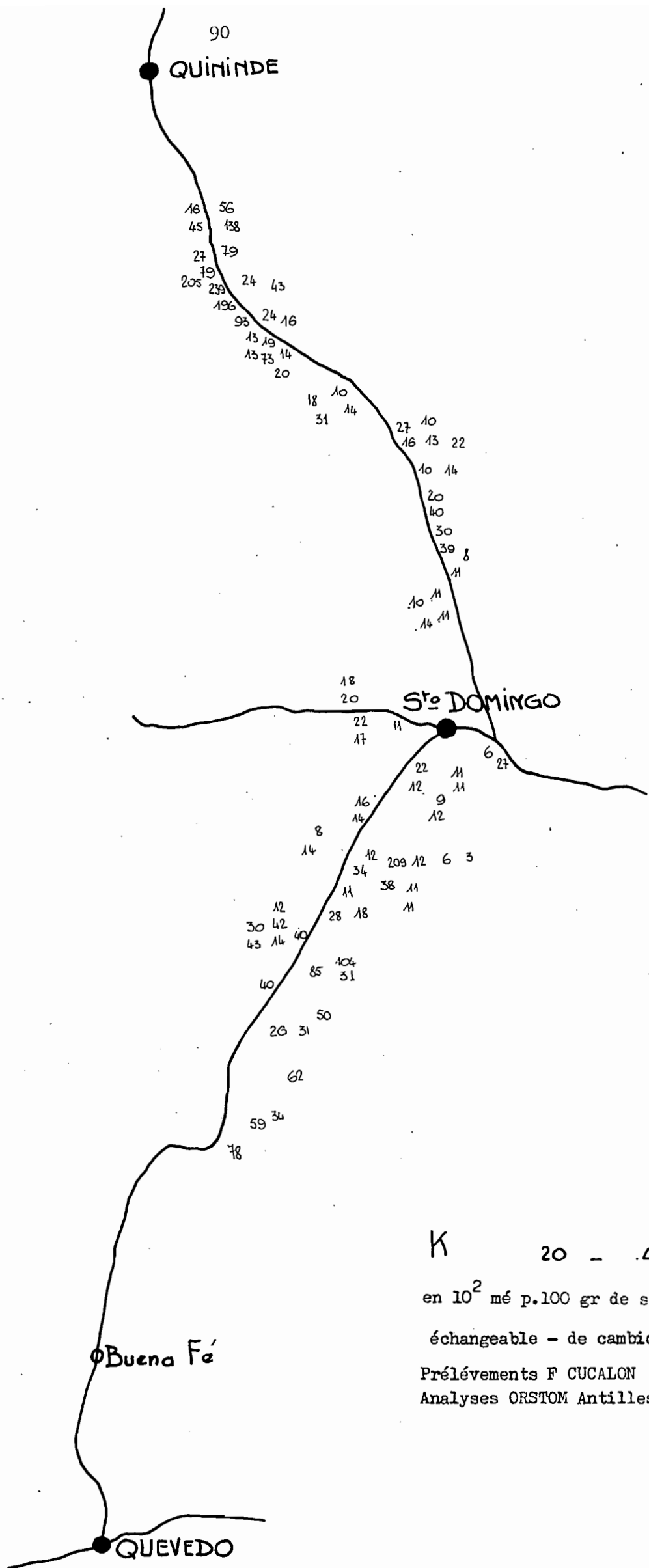
Quelques dosages de potassium total - extraction à l'acide nitrique bouillant - indiquent que les réserves ne sont pas importantes : 1 à 1,4 mé p.100 entre 0 - 20 et 20 - 40 cms.

S'il n'est pas encore possible, avec certitude, en Equateur, de se baser sur l'analyse du sol pour déterminer une fumure potassique, on peut cependant, par comparaison avec des sols semblables de bananeraies aux Antilles, dire, sans grande chance de se tromper, qu'avec des taux aussi faibles que 0,08 à 0,2 mé de K % échangeable de sol en surface et encore plus faible en profondeur, les bananeraies ne pourront pas subsister plus de quelques années sans engrais, après le défrichement de la forêt. Il est fort probable que dès maintenant, des carences se font sentir et limitent les rendements des bananeraies où la densité est correcte.

Des fumures potassiques d'abord modestes et fractionnées les premières années de culture, puis plus importantes après 6 ou 7 ans, paraissent donc nécessaires. A défaut d'expérimentation, les tests de l'analyse foliaire la révéleront probablement.



K 0.20 cm
 en 10^2 mé p.100 gr de s.
 échangeable - de cambio
 Prélèvements F CUCALON
 Analyses ORSTOM.Antilles



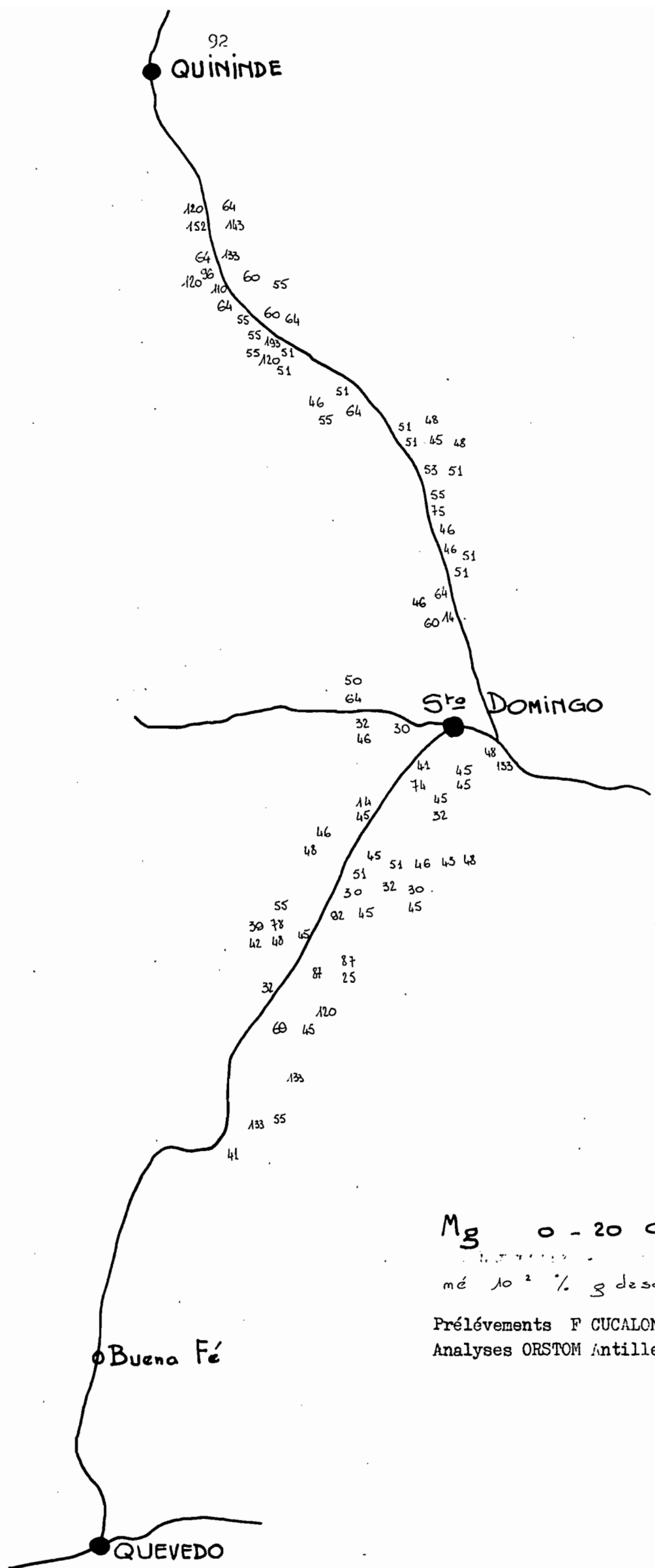
K 20 - .40 cm
en 10² mé p.100 gr de sol.
échangeable - de cambio
Prélèvements F CUCALON
Analyses ORSTOM Antilles

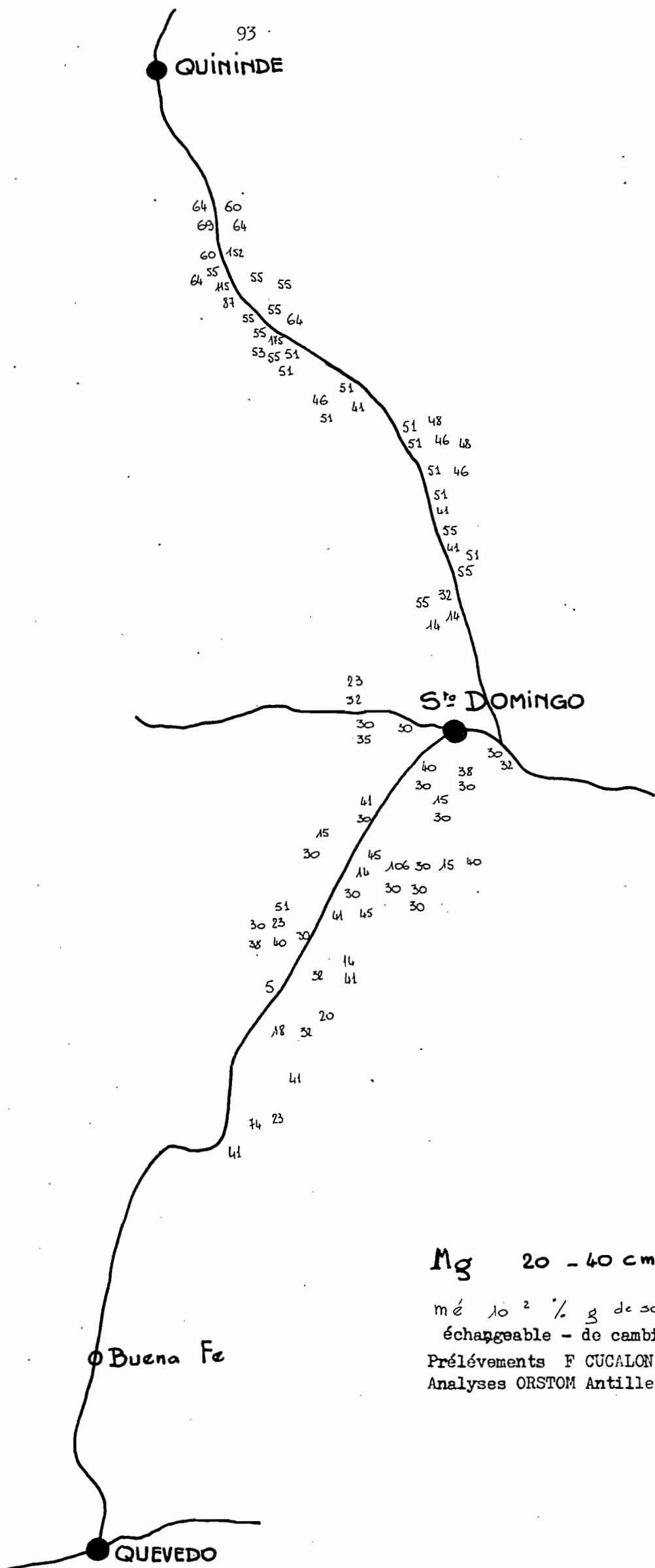
A N N E X ETeneurs en Calcium et magnésium échangeables- Somme Ca+Mg+K+Na éch.

Profitant de l'extraction de la potasse échangeable, on a dosé en même temps sur les solutions d'acétate, le calcium, le magnésium et le sodium. Ces indications permettront de faire des comparaisons avec les teneurs des autres régions bananières lorsqu'elles auront été ainsi étudiées.

- Mg- On remarque les faibles teneurs en magnésium échangeable voisines de 0,5 mé% et souvent même inférieures à cette valeur dans la région très humide de Santo-Domingo ces valeurs se relevant nettement vers Quinindé moins arrosé. Bien que ces chiffres soient faibles, il ne semble pas, d'après des essais réalisés sur des sols similaires des Antilles et analysés au même laboratoire (ORSTOM Antilles) que des apports magnésiens soient nécessaires dans l'état actuel de la fumure générale (Guillemot). Aucune réponse nette n'était observée pour des teneurs de 0,15 mé% les autres conditions étant similaires hormis une fumure plus importante en potasse et des niveaux plus élevés. Rappelons que tous ces sols encore jeunes renferment de nombreux éléments limoneux et sableux plus ou moins en voie d'altération riches en magnésium, dont les quantités mis à la disposition de la plante ne peuvent guère être déterminées.

- Ca - Les teneurs en Calcium échangeable sont souvent faibles, mais suffisantes pour la nutrition calcique du bananier. Le chaulage de ces bananeraies, sans expérimentation préalable valable, n'est cependant pas à conseiller. Dans des sols similaires des Antilles, plus acides et désaturés souvent, les apports de chaux n'ont pas été significatifs mais plutôt de tendance dépressive. (Guillemot). Par contre le choix de formes calciques pour les engrais phosphatés est à conseiller.

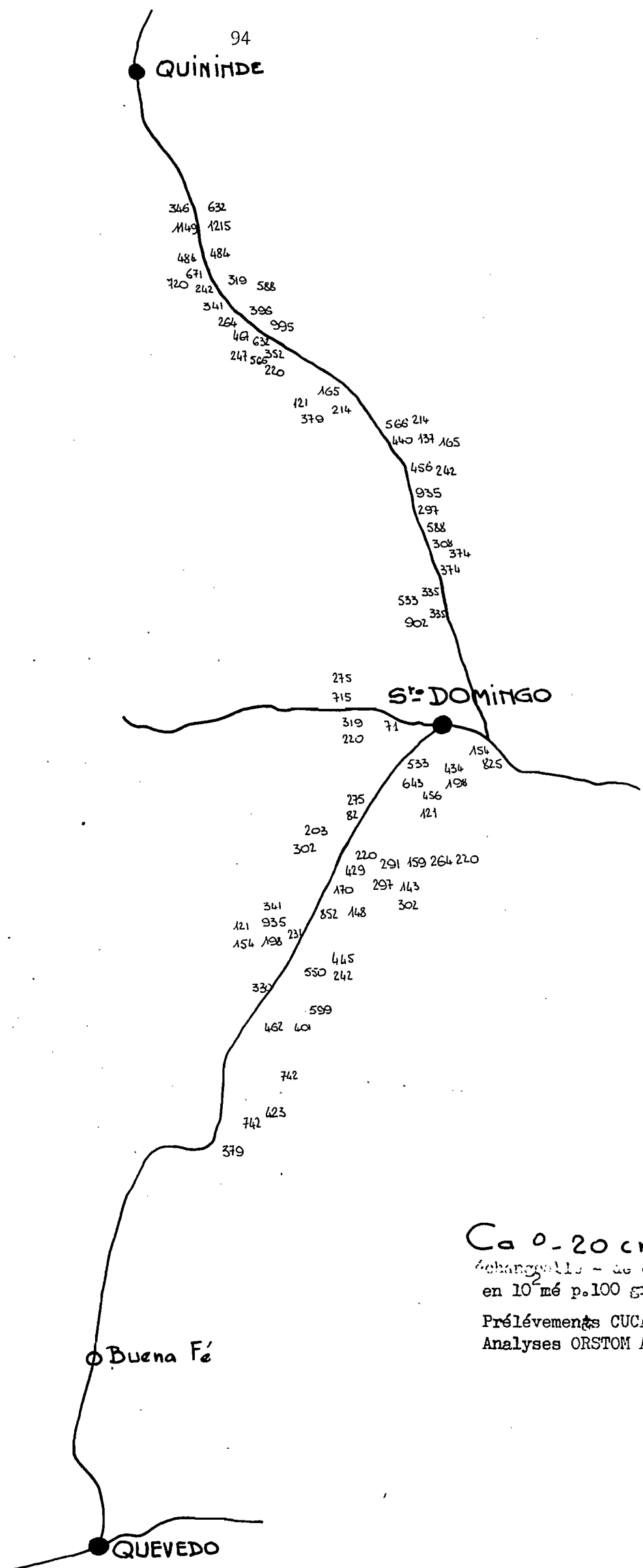




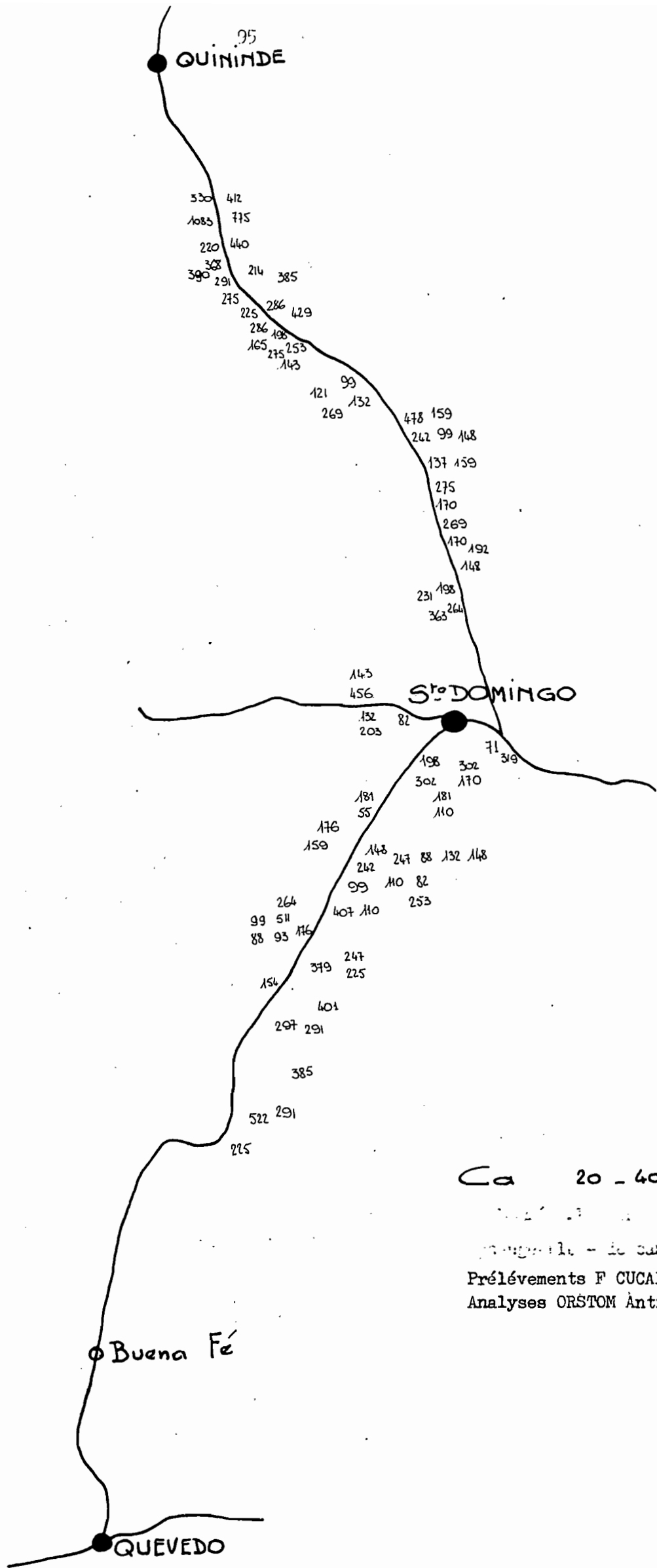
Mg 20 - 40 cm de cambio

mé 10² % g de sol
échangeable - de cambio

Prélèvements F CUCALON
Analyses ORSTOM Antilles



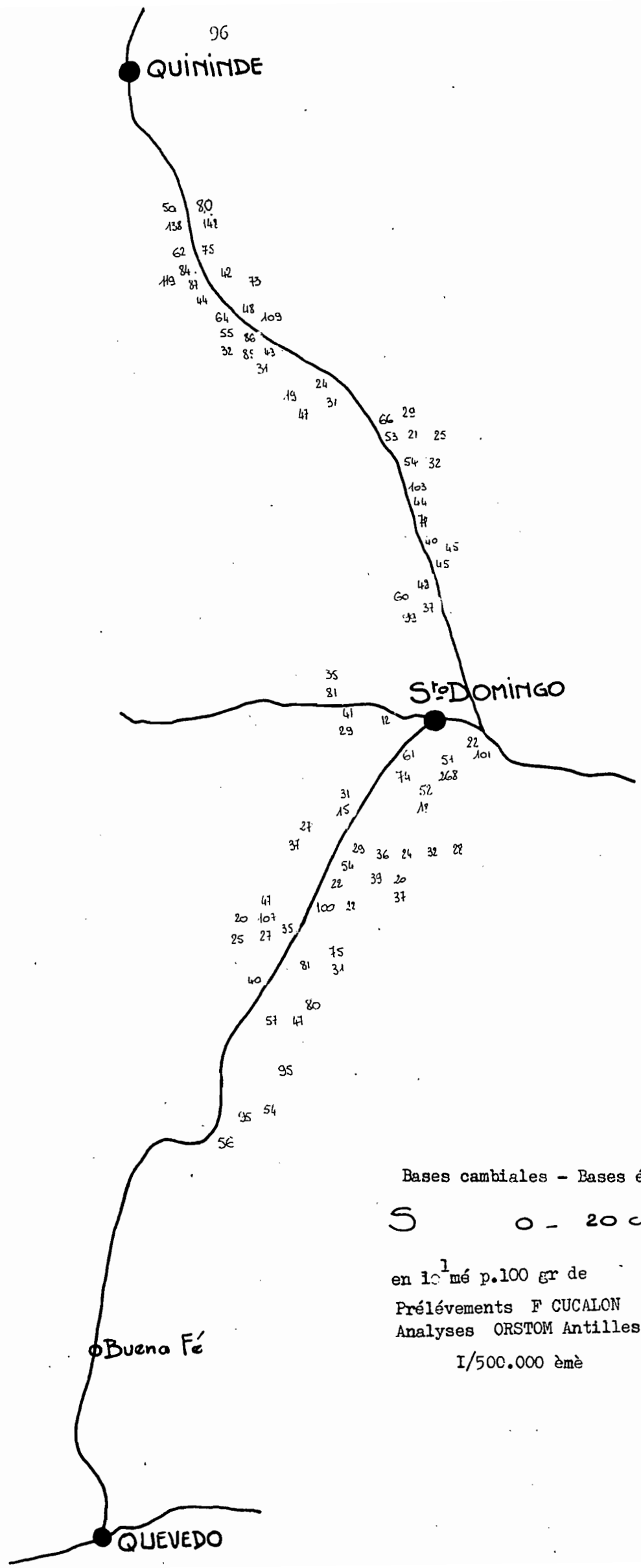
Ca 0-20 cm
 Gehangelle - de camolo
 en 10² mé p.100 gr de s
 Prélèvements CUCALON
 Analyses ORSTOM Antilles



Ca 20 - 40 cm

Prélèvements F CUCALON

Analyses ORSTOM Antilles



96

● QUININDE

50 80
138 142
62 75
119 84 42 73
87 44 118 109
64 55 86
32 85 43
31

24 31
19 47
66 29
53 21 25
54 32
103 64 74
40 45
45
43
60 37
32

St. DOMINGO

35 81
41 29 12
61 51 22 101
74 52 17
268

31 15
27 37
29 36 24 32 22
54 39 20 37
22 100 22
47 20 107 25 27 35
75 81 31
40

80 57 47
95
95 54
56

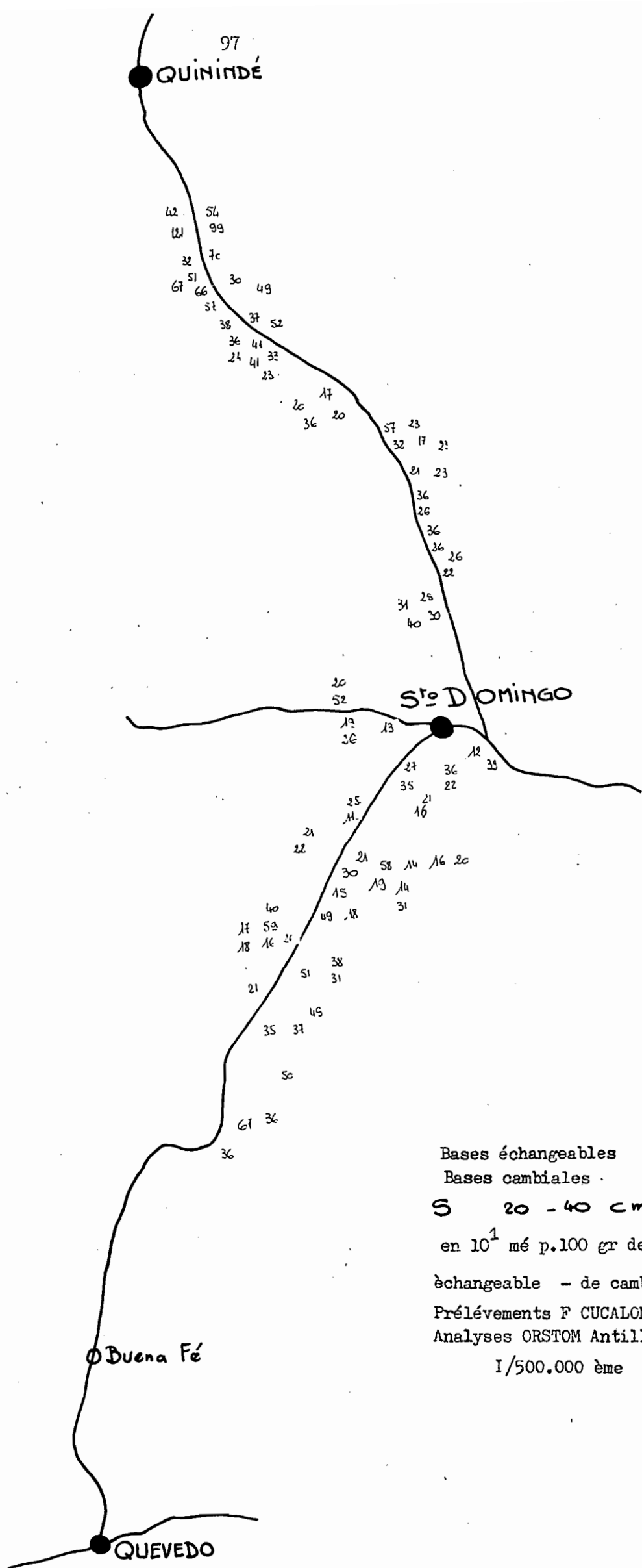
○ Buena Fe

● QUEVEDO

Bases cambiales - Bases échangeabl

S 0 - 20 cm.

en 10¹ mé p.100 gr de
Prélèvements F CUCALON
Analyses ORSTOM Antilles
1/500.000 èmè



Bases échangeables

Bases cambiales .

S 20 - 40 cm

en 10^1 mé p.100 gr de sc⁻

échangeable - de cambio .

Prélèvements F CUCALON

Analyses ORSTOM Antilles

1/500.000 ème

II ETUDE DU PHOSPHORE DANS LA REGION DE SANTO DOMINGO.

Comme pour la potasse on constate une nette diminution des teneurs en P Truog (N/500) et P total quand on va des régions relativement sèches de Quevedo vers les régions très humides de Santo Domingo, ou proches de la Cordillière.

Ces diminutions des teneurs en P Truog et P total correspondent vraisemblablement à un lessivage du P et un entraînement. Les teneurs en $P_{25}O_5$ total passent ainsi en surface de 250 à 300 mg, près de Quevedo à 120 - 150 mg vers Santo Domingo. Celles de P Truog de 8 à 10 mg ou davantage à 1 ou 2 mg en surface avec des valeurs nulles plus en profondeur.

Il ne semble pas que le P soit fixé sous des formes peu solubles hormis les formes organiques. Les sols sont encore jeunes, riches en silice, sans hydroxydes individualisés dans les niveaux supérieurs.

Aux Antilles sur des sols analogues, la plus grande partie des engrais apportés reste sous des formes aisément solubles. Par contre dans les sols à allophanes à gibbsite le P est aussitôt énergiquement fixé et bien que les teneurs trouvées pour P Truog soient très faibles, cela ne signifie pas nécessairement que le sol soit carencé en P (voir Dabin 1964). Pour des sols sans gibbsite de faibles teneurs sont en général liées à une déficience.

Il a semblé intéressant d'essayer de relier les valeurs de P Truog aux effets des apports d'engrais phosphatés. Le 29 Avril 1964, 1000 kg ha de Superphosphate à 46% ont été épandus dans des parcelles situées près de Santo Domingo. Toutes les analyses ne sont pas encore disponibles mais il semble qu'en Fev. 1965 le niveau de $P_{25}O_5$ Truog soit dans les vingt premiers cm voisin de 12 mg % au lieu de 3,5 juste avant l'épandage une année auparavant soit une augmentation d'environ 250 kg ha de $P_{25}O_5$ soluble dans le réactif Truog. Dans le niveau 20 - 40 aucune augmentation n'est constatée.

Une étude systématique du P dans 100 bananeraies a également été effectuée. Les résultats exprimés en 10^3 me de PO_4 Bray et en mgr p.1000 de $P_{25}O_5$ Truog N/500 sont figurés sur la carte ci-jointe. Les résultats sont environ 10 à 20 fois plus faibles que dans la région de Machala mais les différences dans la région de Machala ne sont pas très nettes. En se rapprochant de Quevedo mais encore en deçà de la Cordillière les teneurs augmentent sensiblement et augmenteraient considérablement plus, certainement, à la proximité de cette ville.

Aux Antilles dans les sols de bananeraies analogues, sans hydroxydes individualisés, les teneurs en P Truog N/500 descendent rarement en dessous de 5 à 10 mg. Une fumure de fond initial ou des fumures répétées permettant de relever le niveau du sol en P paraît donc une précaution utile dans les régions les plus humides où les teneurs en P Truog en surface descendent à 1 ou 2 mg % et sont quasiment nulles plus en profondeur. ($P_{25}O_5$ total - 120 à 150 mg % en surface et 70 à 90 en profondeur au delà de 30 cm - région de Santo Domingo vers Quinindé).

TABLEAU - Parcelles avec et sans phosphore / Evolution dans le temps

Lieu: Route de Sto Domingo -Quevedo Km 30 Plantation Menche.

Sol faiblement allophanique . Pluviométrie d'environ 3 metres par an.

Epandage 1T SuperPh. à 46% le 29 Avril 1964	P205 Truog N/ 500			
	Témoin sans P		Parcelles avec P	
	0 - 20	20 - 40	0 - 20	20 - 40
Mai à Dec 1965 moy de 5 dates	4, 1	1,7	9,6	1
Mars à Aout 1966 moy de 6 dates	3, 1	0,7	10	1,1

P205 Truog- Ayres N/ 50				
Mai à Dec 1965	15,1	6	22,7	8
Mars à Aout 1966	15,2	5,5	29,2	5,5

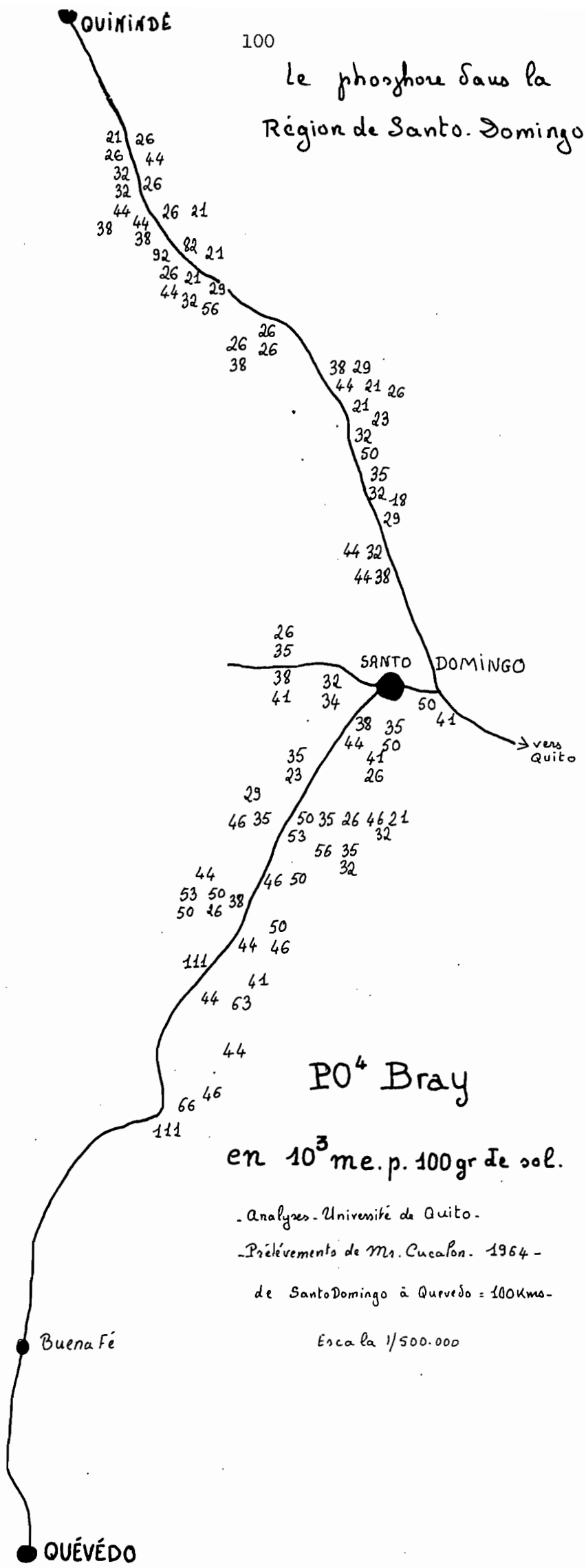
Sur 40 cms d'épaisseur l'élévation des teneurs en P205 Truog classique est de 7,5 mgr % de sols soit environ 150Kg Ha et de 16 mgr % en P205 Ayres soit 320 Kg P205 Ha. Ces valeurs en Kg par Ha sont sur estimées car l'engrais n'a malheureusement pas été apporté uniformément sur toute la surface du sol comme le protocole le prévoyait mais autour du bananier selon les pratiques usuelles. Il n'est pas possible d'établir un bilan précis. Une grande partie du P apporté reste disponible pour la plante et le niveau ainsi relevé au voisinage de celui de la plupart des bonnes bananeraies des Antilles en sols analogues ne paraît plus varier sensiblement

Annexe

Détail des résultats

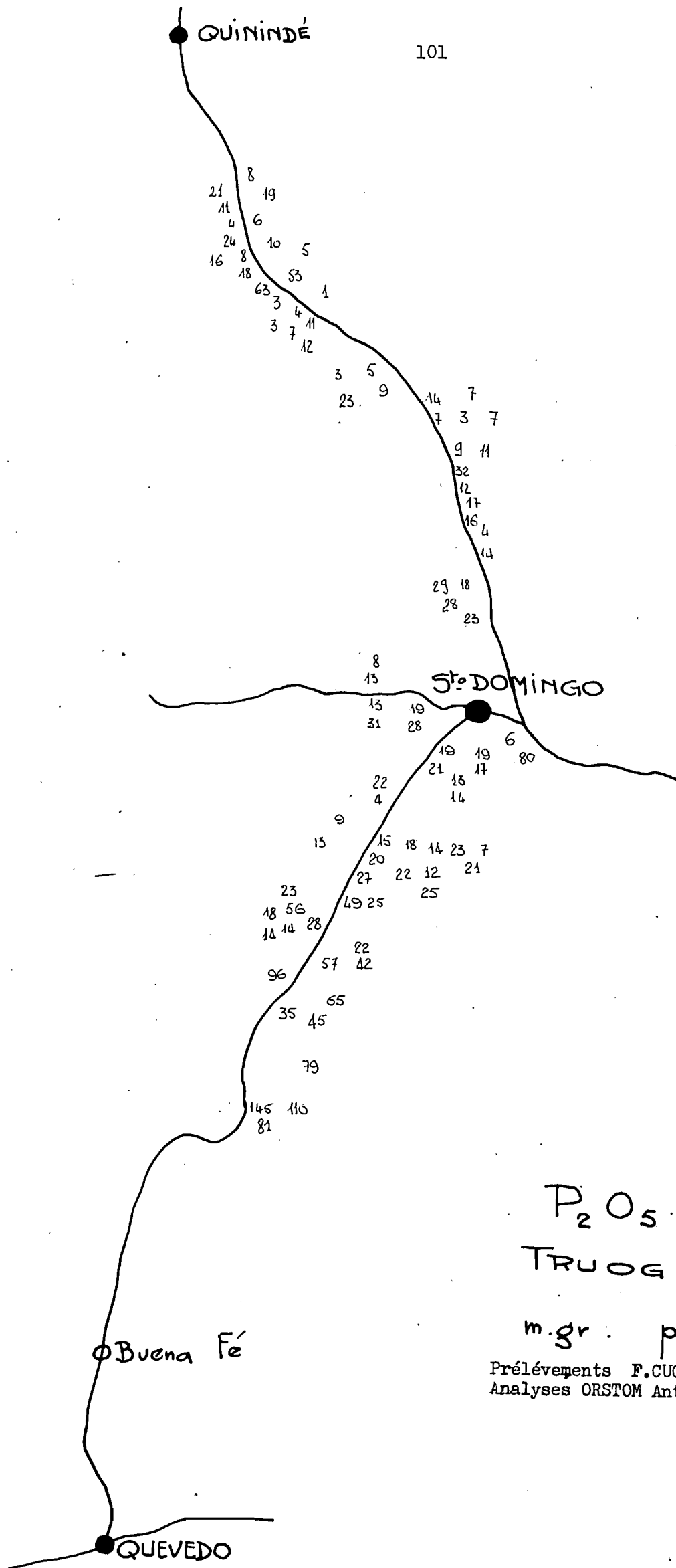
DATES	P205 Truog				P205 Truog-Ayres N/50			
	Parc. P		Témoin		Parcelle P		Témoin	
	0- 20	20-40	0-20	20-40	0-20	20-40	0-20	20-40
6 - 5 - 65	9,9	1,4	4	1	23,1	6,7	20,7	5,8
4 - 8 - 65	9,4	1,8	4	0,7	21,3	7,1	13,1	5,1
7 -10 - 65	7,5	1,8	3,9	1	19,8	8,5	13,3	7,1
4 -11 - 65	8,3	1,4	4,5	1,2	21,3	8,2	14,7	5,6
1 -12 -65	12,7	2,3	4,2	1	28	9,8	13,9	6,2
9 -3 -66	7,5	1,3	3,5	0,9	20,7	7,5	12,8	5,5
13-4 - 66	11,7	1,3	3,6	0,8	39,2	8	13,4	6,3
13-5 - 66	9,1	0,9	3,5	0,7	24,2	6,5	12,9	5,8
8 -6 - 66	10,2	1,4	2,4	0,4	31,8	8,4	12,6	5,7
4 -7 - 66	9,9	1,3	2,7	0,8	28,9	7,5	13,5	6,2
4 -8 - 66	11,7	0,5	2,7	0,6	30,4	7,3	13,8	5,5

Mgr p.100gr
de sol sec
à l'air.



QUININDÉ

101



P₂O₅
TRUOG

m.gr. p. 1000

Prélèvements F.CUCALON
Analyses ORSTOM Antilles

Buena Fé

QUEVEDO

III - ETUDE DE LA POTASSE DANS LES SOLS D'ALLUVIONS DE MACHALA -

La mission de Mr. COLMET-DAAGE en 1961, avait confirmé, pour une quinzaine de bananeraies, les chiffres très élevés en potasse échangeable, trouvés par Mr. CHAMPION en deux points de cette région.

Comme pour la région de Santo Domingo et pour des motifs inverses, il a paru intéressant d'étendre cette étude à une centaine de bananeraies.

Les prélèvements ont été effectués par Mr. CUCALON en 1964 et les analyses effectuées aux Antilles.

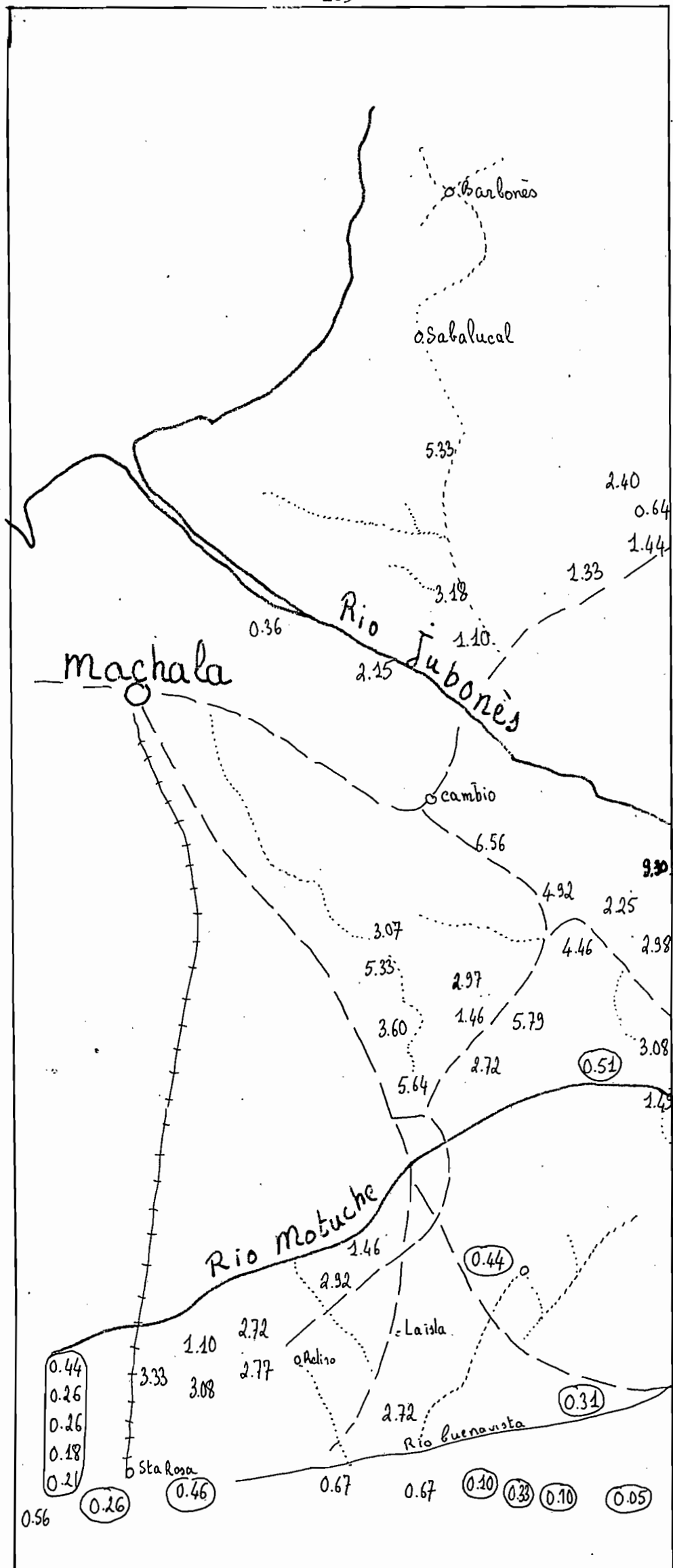
La carte ci-jointe, sur laquelle sont portées les valeurs de K échangeable (Acétate d'Ammonium) de 0 à 20 cms en mé p.100, montre bien les teneurs élevées, parfois considérables, rencontrées dans la plupart des bananeraies (environ 2 à 6 mé %).

Des teneurs plus faibles groupées (inférieures à 1 mé %) apparaissent sur le pourtour de la plaine alluviale, dans la partie Sud-Ouest, à l'Est et au Nord, probablement sur les terrasses plus anciennes à argiles kaoliniques. Quelques teneurs faibles sont aussi rencontrées isolément et il serait intéressant de préciser la nature du sol, très certainement en relation avec ces valeurs.

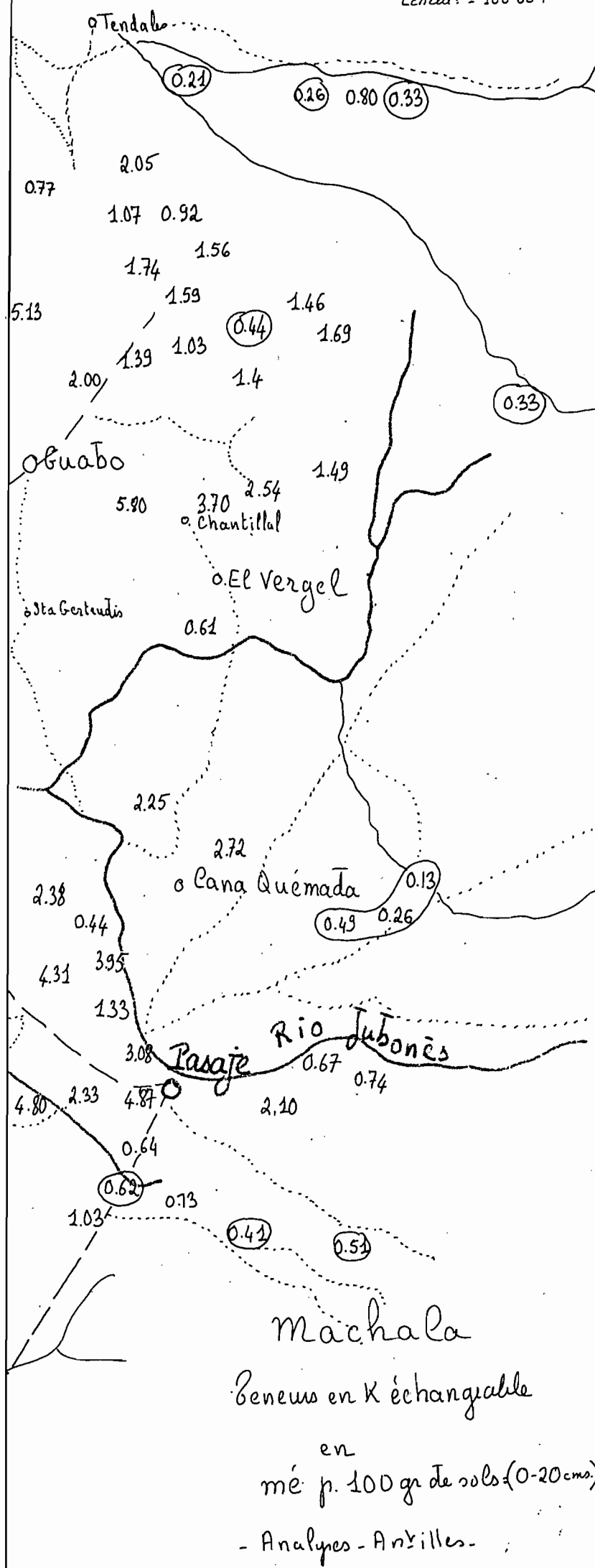
De tels chiffres confirment les conclusions antérieures sur les besoins en engrais potassiques très faibles, souvent nuls, parfois peut-être même nuisibles à la plante (sans parler du manque à gagner du propriétaire).

Or, l'irrigation de toutes les bananeraies de ces régions, de faible pluviométrie (500 mm), ayant obligé les agriculteurs à soigner davantage leurs plantations, densité, sarclage, etc..., la coutume des engrais a pris dans cette région, elle aussi, un développement plus important que dans les autres zones bananières.

Des prêts très importants étant accordés ou envisagés pour aider les agriculteurs à mieux fertiliser leurs sols, cette étude vient donc fort à propos montrer qu'une diversification des formules devient indispensable. Des formules sans potasse seront à conseiller pour la zone Centrale et Sud, très riche en potasse. Des formules incluant cet élément, seront conseillées sur les terrasses plus pauvres du pourtour ou certaines enclaves. Il est probable qu'une carte pédologique au 1/10.000, renforcée de quelques centaines de dosages aussi simples que celui du K échangeable, permettrait d'établir, avec sûreté et détail, le plan de fumure précis de cette région pour plusieurs années.



Echelle: 1 100 000 m



IV - ETUDE DU PHOSPHORE DANS LES SOLS D'ALLUVIONS DE MACHALA -

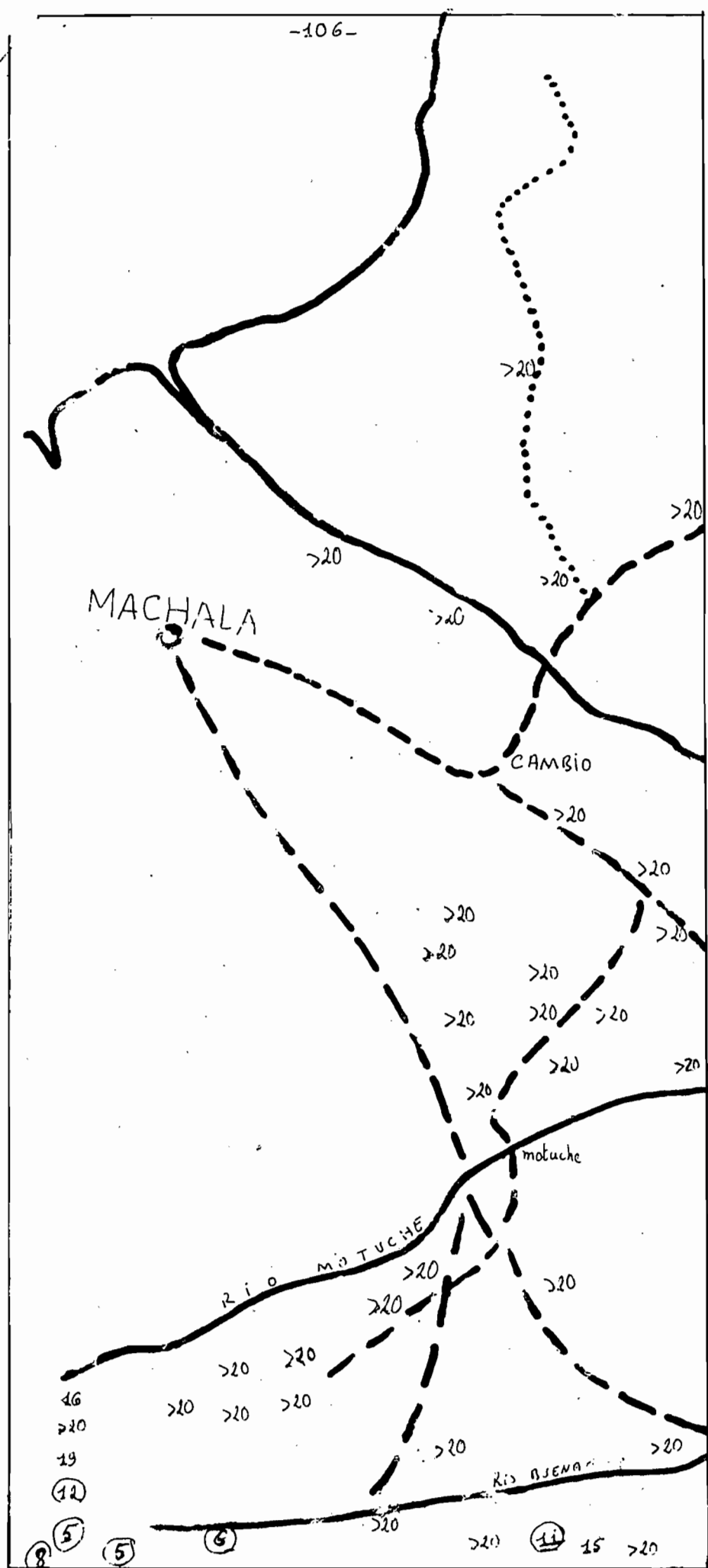
La mission de Mr. COLMET-DAAGE en 1961 avait montré dans les sols, des teneurs souvent considérables en phosphore, facilement soluble (réactif Truog N/500), bien que les teneurs en P total n'atteignent que des chiffres moyens pour des sols de bananeraies (150 à 200 mg P^{205} %). Une forte proportion du P, et c'est ce qui est important, est donc sous une forme facilement absorbable par la plante. Ces fortes teneurs semblent en relation avec les sols jeunes à montmorillonite. Sur les terrasses plus anciennes à kaolinite, le P est beaucoup plus énergiquement fixé par le sol.

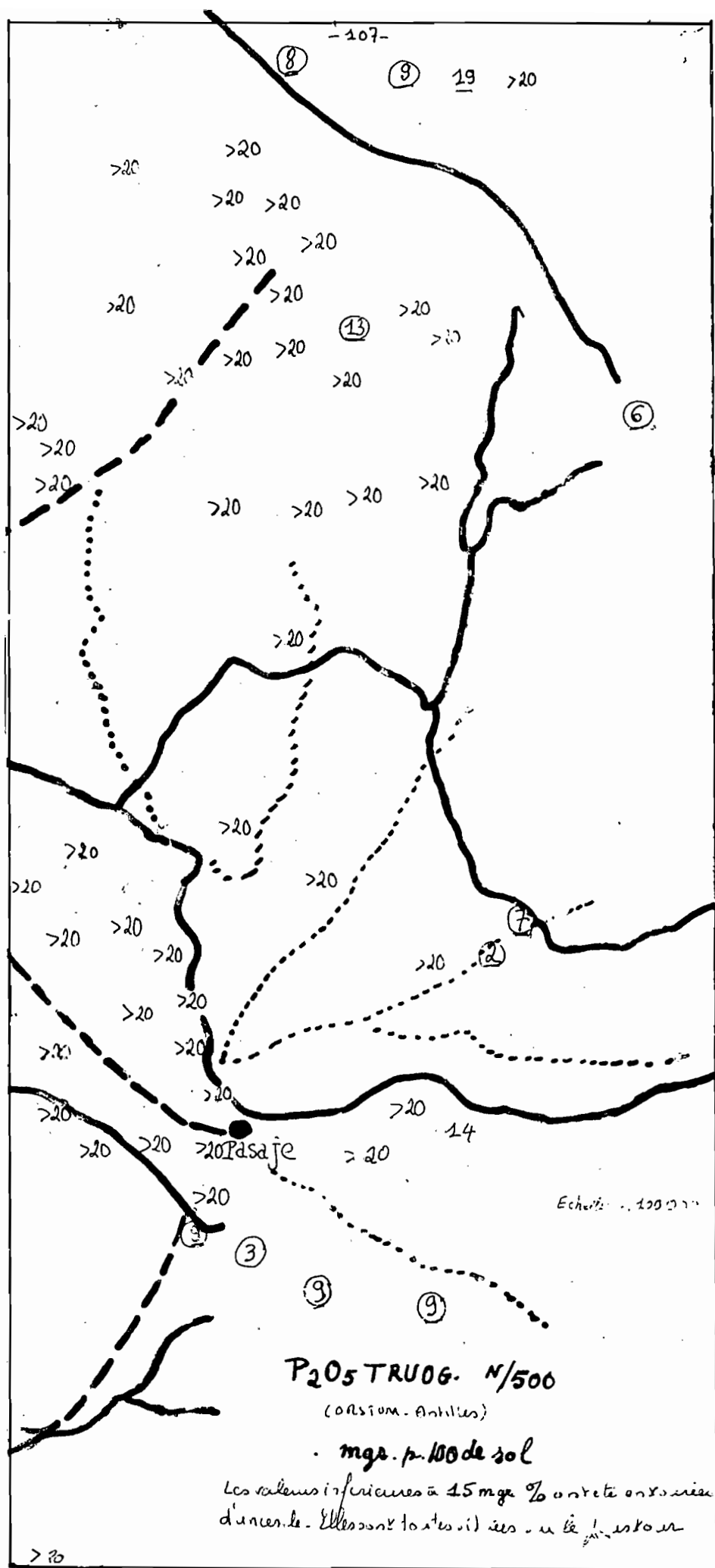
Il est intéressant de noter que le rapport P Truog/P total est souvent plus élevé en profondeur qu'en surface, ce qui va à l'encontre de toutes les observations usuelles. Le rôle de la M.O. comme modérateur de la fixation de P, paraît donc faible.

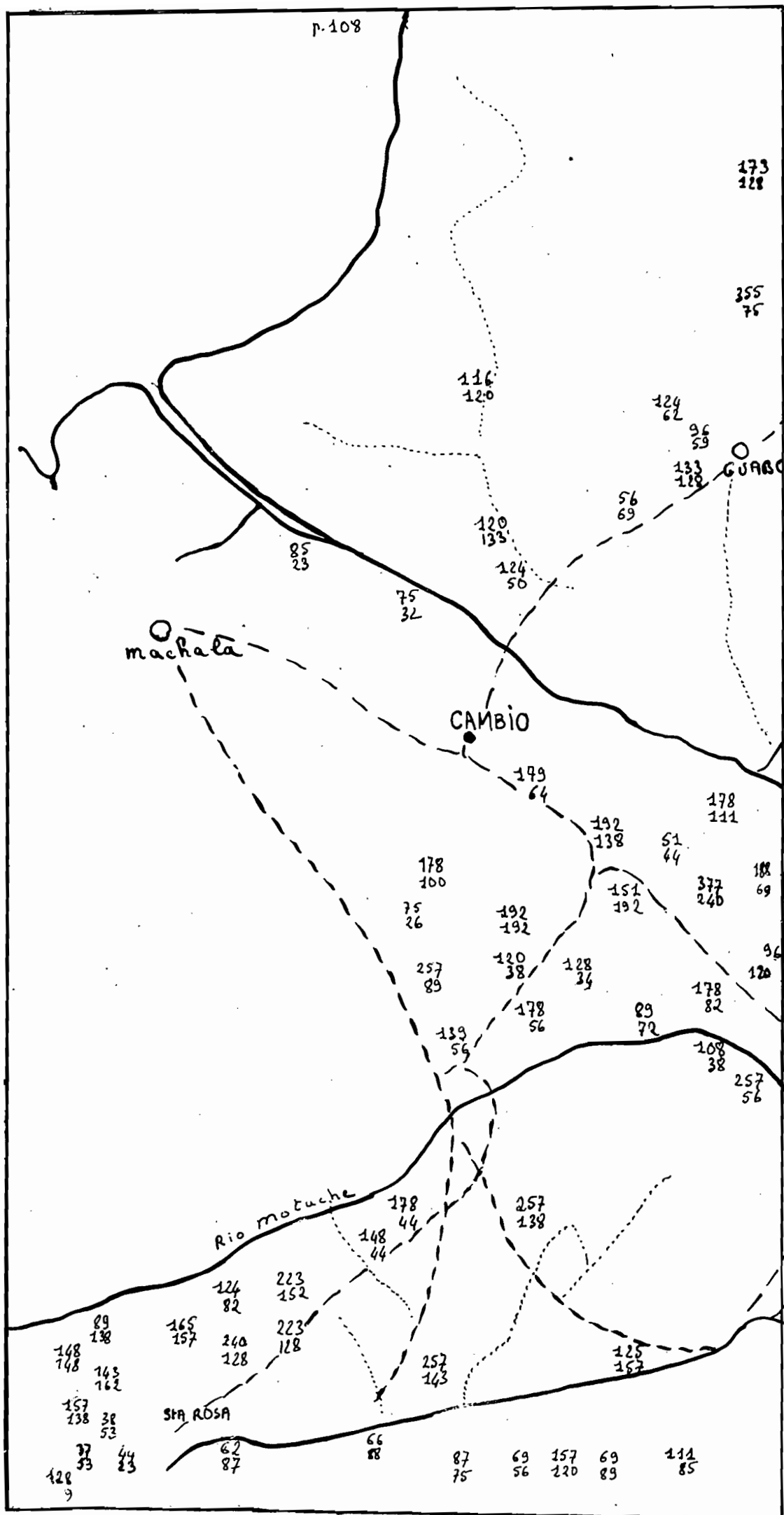
Sur les mêmes échantillons des 100 bananeraies qui ont servi au dosage de la potasse, le phosphore a été déterminé par deux méthodes : méthode BRAY (Université de Quito) de 0 à 20 et 20 - 40 cms et méthode TRUOG (N/500 - ORSTOM, Antilles - de 0 à 20 cms). Il n'a pas été jugé utile de préciser par dilutions les valeurs supérieures à 20 mg de P^{205} .)

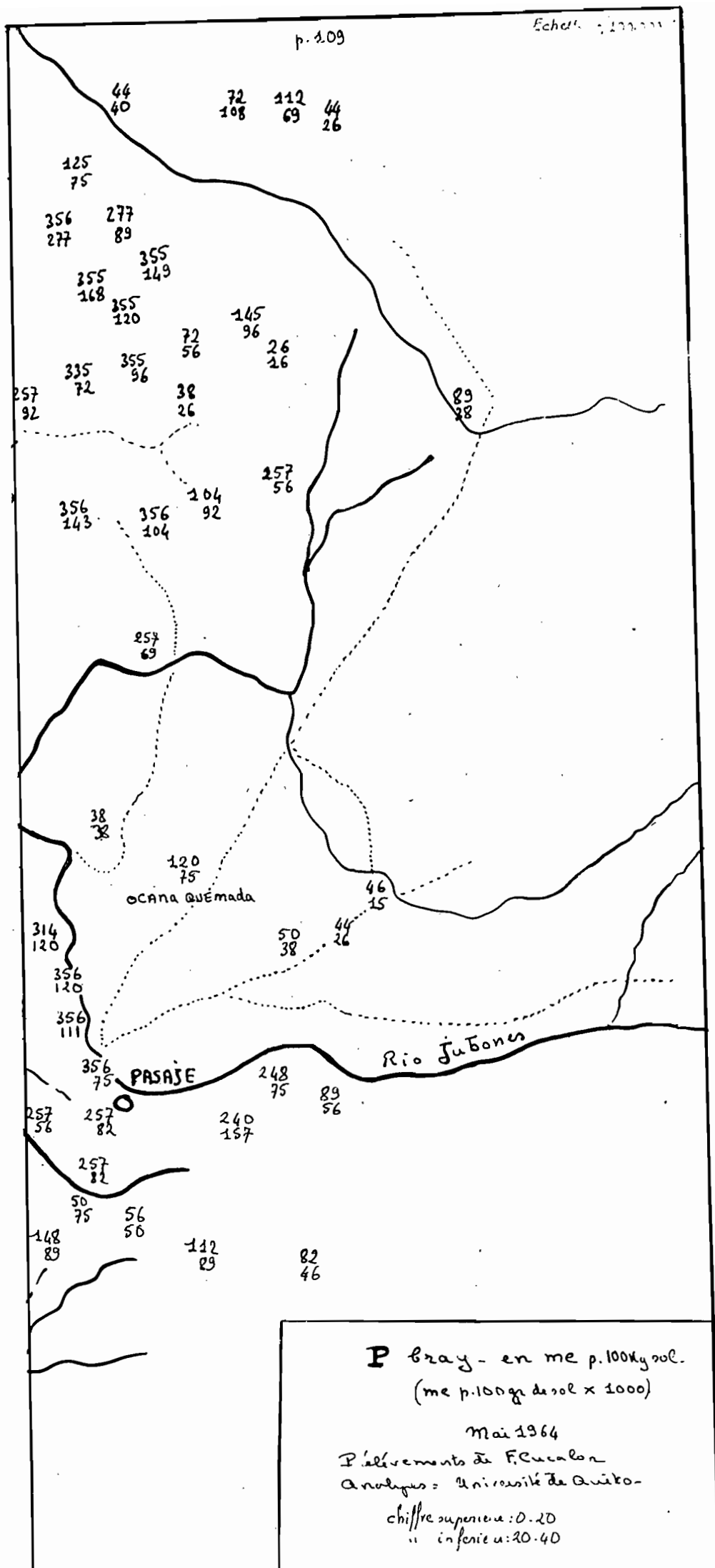
On remarque sur les cartes, les chiffres très élevés, obtenus presque partout, à l'exception des zones de pourtour du Sud-Ouest, de l'Est et du Nord. Dans l'ensemble, de bonnes teneurs en K sont accompagnées de bonnes teneurs en P, mais ce n'est pas toujours vrai.

Toute fumure phosphatée, paraît donc inutile, dans la plus grande partie du bassin de Machala.









V - DISCUSSION SUR L'ORIGINE DES FORTES TENEURS EN K ET P DES SOLS DE MACHALA -

Les fortes teneurs en K et P, et en particulier les valeurs élevées de P soluble, observées en profondeur, permettent de penser que les irrigations par les eaux du Rio Jubones, issues des terrains crétacés des Andes, sont peut-être responsables de ces hautes valeurs. Certaines régions de la haute vallée interandine sont très sèches et les premières pluies peuvent entraîner des substances dissoutes en quantités importantes.

Deux prélèvements d'eau ont été effectués dans le Rio Jubones par Mr. MOREAU et analysés par l'ORSTOM à la Guadeloupe.

Les résultats sont décevants. En supposant une tranche d'irrigation de 2 m d'eau annuels, sans drainage, donc avec une évaporation sur place de toute l'eau épanchée, l'apport des substances dissoutes ne dépasserait pas 70 Kg Ha de K, 220 Kg Ha de Ca et 2 à 3 Kg Ha de P.

Il semble qu'il soit difficile de tirer une conclusion et que d'autres prélèvements d'eau, plus systématiques au cours de l'année, soient nécessaires. Si ces résultats sont confirmés, les agriculteurs devront veiller à éviter des excès d'eau inconsidérés, qui risquent, à la longue, d'épuiser le potentiel chimique, particulièrement élevé de leurs sols.

<u>Eau du Rio Jubones</u>		en mgr par litre					
		: Cl	: P	: K	: Ca	: Mg	: Na
		: 0,10	: 0,10	: 2,20	: 10,8	: 1,04	: Résultats en mg par litre
L 9 6 4		: 0,10	: 0,14	: 3,63	: 11,2	: 1,02	: d'eau brut.
Déc 1965		: -	: 0,087	: 1,70	: 2,4	: tr	: 10,90 :
Avril 1966		: -	: 0,072	: 1,24	: 2,63	: tr	: 7,26 :
		:	:	:	:	:	:

VI - ETUDE DE L'AZOTE DANS LA REGION DE QUEVEDO -a) INTRODUCTION -

L'azote est bien souvent en Equateur, le seul élément apporté par les fumures minérales, aux bananeraies, après quelques années de défrichement. Deux problèmes se posent : date d'épandage et doses annuelles.

L'expérience acquise en Guadeloupe par le Bureau des Sols des Antilles (ORSTOM) et l'I.F.A.C. par l'étude de 15 bananeraies, pendant deux ans, permet d'envisager de résoudre le problème des dates d'épandage, grâce à des prélèvements systématiques de sols, tous les 15 jours, parfois tous les 8 jours, pour le dosage de l'azote nitrique et ammoniacal.

Il est en effet possible de déterminer des périodes de hauts niveaux en azote nitrique, dans le sol, durant lesquelles les besoins de la plante paraissent satisfaits, puisqu'un excédent important demeure disponible et des périodes de basses teneurs, durant lesquelles la plante est susceptible de manquer d'azote. Nous disons bien "susceptible", car il se peut fort bien que même avec de faibles teneurs, la vitesse de renouvellement de l'azote soit suffisante pour que la plante s'alimente normalement. On peut cependant essayer de s'arranger pour que ces périodes durant lesquelles des déficiences sont possibles, ne se produisent pas.

Dans certaines régions, les pluies débutent brutalement après une longue période sèche. C'est généralement à cette période que les planteurs mettent de l'engrais. C'est aussi aux reprises des pluies que l'azote "préminéralisé" accumulé, si on peut dire, durant la saison sèche, se minéralise en quantité importante. L'engrais nouvellement apporté, risque donc de ne pas servir et d'être entraîné, alors qu'il va manquer plus tard, quand les réserves aisément minéralisables du sol auront été épuisées. Tous ces phénomènes sont très complexes et on ne sait pas non plus encore très bien les besoins de la plante sous ces climats peu ensoleillés. L'étude des mécanismes des transformations de l'N dans le sol et des causes, etc... risque de demeurer illusoire quant aux applications et il paraît préférable de s'en tenir aux résultats globaux qui traduisent l'équilibre entre les phénomènes complexes du sol et les besoins de la plante. Les résultats d'expériences conduites aux Antilles ont montré que ces niveaux étaient bien reproductibles dans différentes bananeraies d'une même région, recevant les mêmes fumures, aux mêmes dates. L'espacement des dates de prélèvements, fixé à 15 jours, semble suffisant lorsque les causes de variations ne sont pas fréquentes, et peut-être ramené à 8 jours au début des pluies.

Pour déterminer la dose annuelle, la comparaison avec les Antilles est plus délicate : l'ensoleillement n'est pas le même et la variété est différente : Gros Michel.

Le recours à des essais classiques, en dehors de la station IFELA paraissant impossible, il a été décidé de compléter les études des variations du niveau de l'azote, par des analyses foliaires dans diverses régions, sur des bananeraies établies depuis au moins 5 ans, après défrichement. Aucun résultat n'étant encore connu, nous nous limiterons à l'étude de l'azote du sol.

La variété des sols et des climats aurait justifié des études régionales. Pour commencer, il a paru préférable de se limiter à quelques postes situés à moins de 30 Kms du laboratoire de Pichilingue (Quevedo). Il est préférable d'avoir des résultats d'échantillons régulièrement prélevés, séchés et analysés dans de bonnes conditions, plutôt que des résultats fragmentaires et douteux.

Trois emplacements ont d'abord été retenus et étudiés à partir de Mars 1964.

- Sols à alluvions - cultivés depuis plusieurs dizaines d'années.
 - Station de Pichilingue - IFEIA
 - a) Parcelle recevant des engrais azotés (250 Gr par pied)
 - b) Parcelle ne recevant pas d'engrais.
- Sol à allophane de transition reposant sur une argile brune à halloysite -
 - Hacienda Mopa - Sol vierge sous forêt (Est de Quevedo)

En fin 1964, trois autres emplacements ont été choisis et étudiés. Les prélèvements n'ayant souvent lieu, en saison sèche, que tous les mois.

- Sols à allophanes de transition
 - Hacienda de Santa Beatriz (Quevedo, Empalme)
 - Hacienda Très coronas (Est de Quevedo)
- Sols faiblement allophaniques
 - Hacienda : Rte Quevedo - Santo Domingo Km :

Les échantillons sont prélevés sur 30 cms de profondeur à la sonde tubulaire. Chaque échantillon correspond au mélange de 12 prélèvements effectués autour de 2 bananiers. (6 par bananier). Il y a 6 bananiers choisis par station.

Certains changements de bananiers ont lieu après quelques mois. Il a été montré aux Antilles que ces changements étaient sans effets. Les échantillons sont immédiatement, après prélèvement, étalés dans un courant d'air, puis analysés le lendemain. L'azote nitrique et ammoniacal est extrait par le Cl K et distillé en présence de magnésie calcinée, avant puis après réduction au Dewarda.

Il est possible que l'azote dosé englobe aussi des formes facilement transformables en ammoniacque, soit au cours du séchage pourtant rapide, soit surtout au cours du dosage.

La comparaison des analyses effectuées sur échantillons frais, immédiatement après prélèvements ou après 24 heures de séchage, ne montre pas de différences sensibles.

c) RESULTATS ET DISCUSSIONS -

- STATION I.F.E.I.A. -

1) Parcelles sans engrais -

L'étude a débuté en Mars, donc en pleine saison des pluies, celle-ci ayant commencé avec quelques rares averses au cours de Décembre.

Dans la parcelle sans engrais, le niveau d'N nitrique reste voisin de 1 mg %, soit environ 30 Kg/Ha jusqu'à fin Juin, puis s'élève progressivement avec la diminution des pluies, pour atteindre 2 mg % (60 Kg d'N/Ha). Il se maintient encore aux premières pluies de Décembre-Janvier, avec tendance à une augmentation puis, redécroît progressivement en restant, dans l'ensemble, supérieur à 1 mg. L'année 1965 été anormalement humide, les pluies s'étant poursuivies jusqu'en Septembre, il est normal, dans ces conditions, que les chiffres de Juillet-Août soient un peu plus faibles que ceux de l'année précédente. Ainsi que les niveaux de la saison des pluies suivantes.

2) Parcelles avec engrais -

La première mise s'engrais en Mars provoque une nette remontée quelque peu estompée cependant. Cet épandage suffit à maintenir, jusqu'à la fin des pluies en Juin, un niveau correct de 1,5 mg N nitrique (45 Kg/Ha). En Juillet, on observe une nette remontée, puis le niveau se maintient toute la saison sèche, un peu au-dessus de celui de la parcelle sans engrais vers 2 mg (60 Kg).

Aux premières pluies de Décembre-Janvier 1964, on observe des pointes de nitrification suivies de chutes, puis une décroissance générale, comme dans la parcelle sans engrais, chute qui est brutalement stoppée par l'apport d'engrais de Février. L'élévation est considérable et bien supérieure à la dose apportée (on ne peut pas attribuer de valeurs aux chiffres absolus). Cette fumure a permis de maintenir un niveau supérieur à 1,5 mg, jusqu'à la fin des pluies.

L'époque d'épandage de l'azote vers fin Janvier, après 1 ou 2 mois de pluies, a donc été favorable et évite la baisse d'azote du sol, qui se produit vers cette époque (Mars 1964). L'épandage de Juin permet de maintenir un niveau élevé d'N nitrique, trop élevé, durant toute la "période sèche" qui fut cependant en 1965 très anormalement pluvieuse. L'épandage de fin décembre au début des pluies provoque une forte remontée d'N minéral qui ne dure qu'un peu plus de un mois, les niveaux redevenant ensuite très bas.

Il semble qu'il eut été préférable de réduire de moitié les doses d'épandage en remplaçant l'épandage de Juin par deux autres en Mai et fin Novembre, début Décembre, ce deuxième étant rendu nécessaire par la pluviosité anormale entre ces deux périodes. L'épandage de fin Décembre aurait pu être remplacé par deux autres, l'un pour remédier à la forte chute qui aurait sans doute eu lieu un peu plus tôt en Janvier et l'autre pour pouvoir remédier à une chute ultérieure éventuelle vers Avril ou Mai. En année normale trois épandages de 50 Kg N ha sembleraient donc suffir, et quatre certaines années.

STATION IFEIA DE PICHILINGUE

2) Parcelle sans apports d'engrais (sin a l'année)

— NH⁴
— NO³ en mg p 100 gr de sol.

(Analyses IFEIA Pichilingue Catedral Diaz Sotomayor)

N Agr %

PLUIE

200
mm

100

11 MARS
1964

AVRIL

MAI

JUIN

JUILLET

AOÛT

200
mm

100

8 SEPTEMBRE

6 OCTOBRE

5 NOVEMBRE

3 DECEMBRE

6 JANVIER
1965

3 FEVRIER

300
mm

200

100

MARS

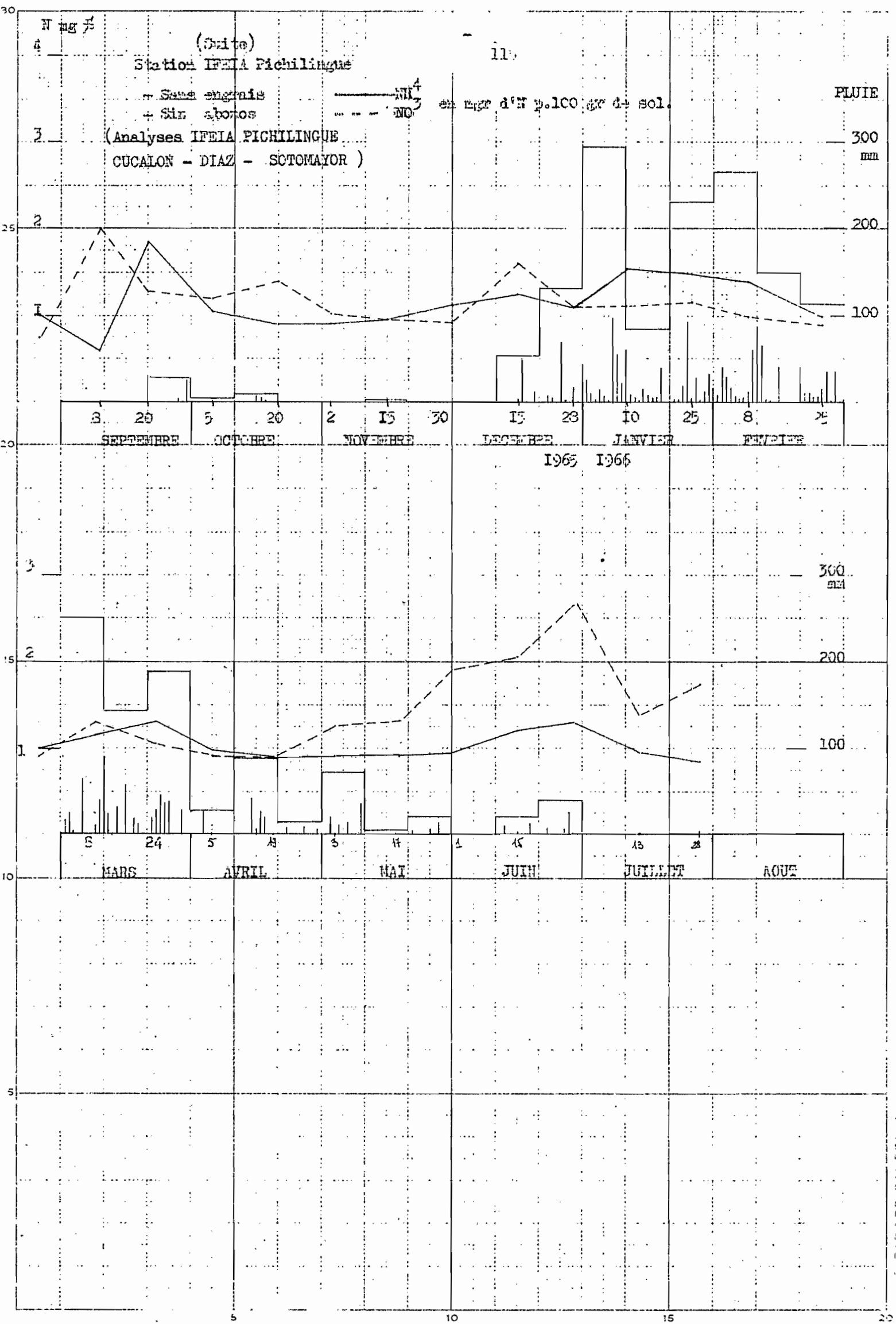
AVRIL

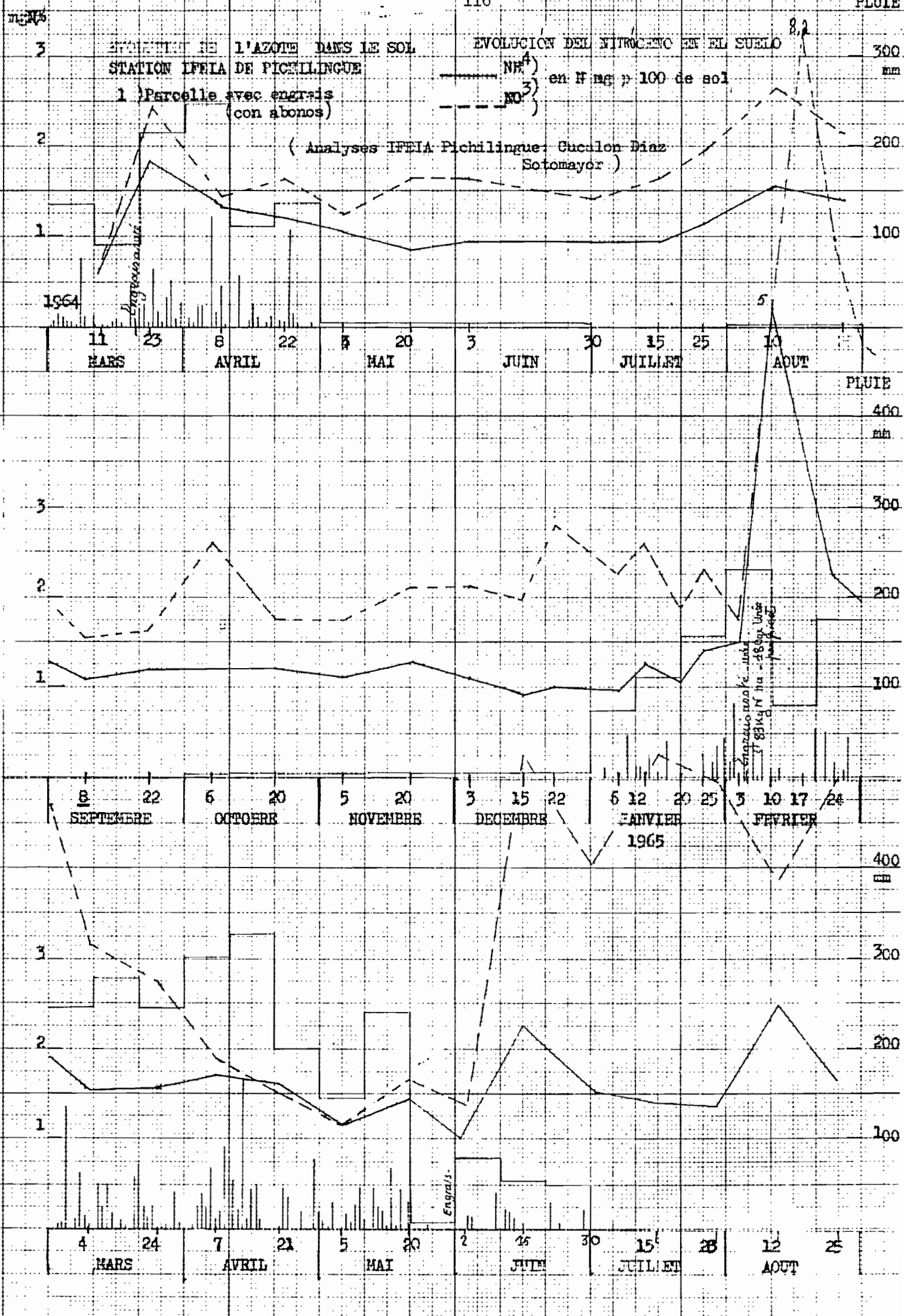
MAI

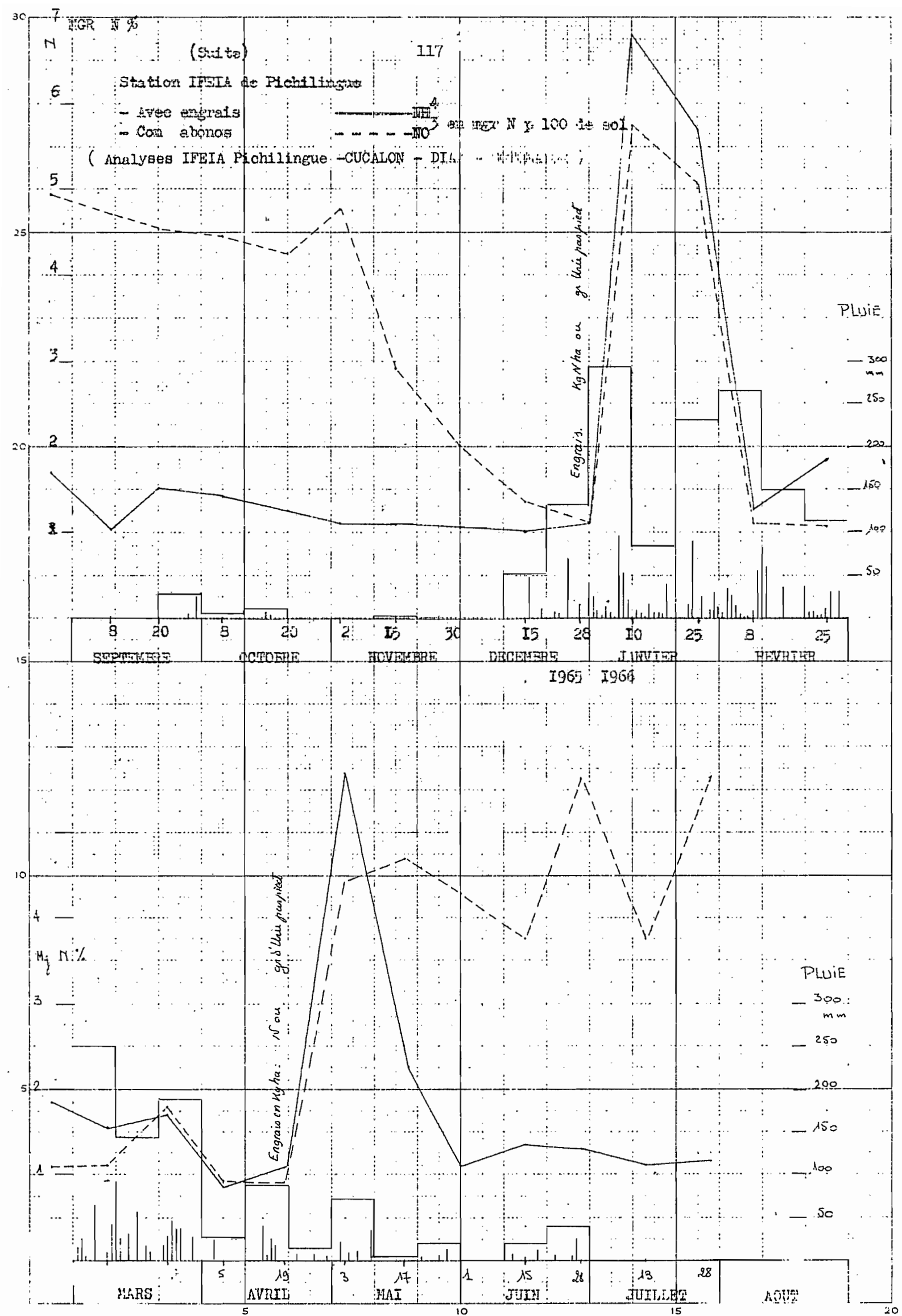
JUIN

JUILLET

AOÛT







Comparaison avec les résultats des Antilles -

Nous avons joint, à titre de comparaison, des graphiques de variations de l'azote nitrique et ammoniacal dans diverses plantations de bananes de la Guadeloupe étudiées par l'IFAC et le Bureau des Sols des Antilles (ORSTOM).

Pour certaines plantations (traits fins) une correction de la fumure azotée par des apports complémentaires de Sulfate d'Ammoniaque, en plus de la fumure usuelle, permet d'éviter des teneurs en azote nitrique inférieures à 1,5 mgr d'N %. L'apport de seulement 50 Kg/Ha d'N est bien marqué et son effet dure parfois plusieurs semaines. Les apports d'engrais ternaires sont faits par les planteurs aux doses et dates usuelles.

Les teneurs en N nitrique dans ces plantations recevant de fortes fumures sont souvent très élevées, trop élevées. Sans apports d'engrais, des chutes rapides et brutales à moins de 1 mg % peuvent se produire et se maintenir quelques semaines. L'étude envisagée a justement pour but d'essayer de maintenir un niveau d'alimentation azotée suffisamment élevé pour éviter des troubles végétatifs dus à des déficiences à certaines périodes du cycle, ayant peut-être une incidence sur la qualité des fruits, et d'éviter des excès manifestes, résultant d'un gaspillage inutile et très coûteux d'engrais.

Signalons à titre indicatif que, dans les champs de canne à sucre des Antilles, sauf après les 1 ou 2 mois qui suivent la mise d'engrais annuelle, le taux d'N nitrique ne dépasse guère 0,5 à 1 mg d'N nitrique %.

DISCUSSION -

On aurait pu s'attendre, dans la parcelle recevant des engrais, après plusieurs mois sans pluies, à une véritable explosion de l'azote à la reprise des pluies. Le phénomène est très atténué. Deux explications peuvent être envisagées :

- 1°) L'apparition de l'azote minéral correspond à une reprise active de la végétation des bananiers et une absorption très intense.
- 2°) Les fortes pointes d'azote que nous observons aux Antilles sont surtout attribuables à des formes d'azote provenant des engrais apportés et réorganisés. Or, ici, les doses annuelles sont considérablement plus faibles. La M.O. qui intervient dans la minéralisation est donc probablement plus stable que celle qui se constitue aux Antilles, sous l'influence et à partir des fortes quantités d'engrais.

Dans la plupart des sols des Antilles recevant beaucoup d'engrais, le taux d'N ammoniacal est souvent très supérieur aux taux d'N nitrique. Cela serait souvent, en partie, attribuable à certaines substances azotées, non minérales, détruites lors de la distillation.

Dans les sols recevant peu ou pas d'engrais, aux Antilles, comme en Equateur, le taux d'N nitrique demeure légèrement plus élevé que le taux d'N ammoniacal.

L'azote apporté par les engrais est en partie absorbé par la plante, en partie fixé par le sol (Ammoniac) et en partie absorbé par des micro-organismes qui l'organisent sous des formes aisément détruites et minéralisables, si les conditions de micro-climats du sol sont favorables. De fortes pluies survenant pendant ou après une période de minéralisation importante, peuvent donc provoquer une perte appréciable d'N du sol, mais avoir peu d'effets en d'autres moments. Tous ces phénomènes sont très complexes et sous la dépendance de nombreux facteurs et seule la résultante telle que nous l'observons par les déterminations d'azote minéral du sol, peut nous guider de manière approchée. Un apport d'Urée peut se traduire par une forte élévation des taux d'N ammoniacal et nitrique ou être à peine sensible. Les deux cas ont été observés à Pichilingue en 1964 et 65. S'agit-il d'un lessivage brutal de l'engrais ou d'une réorganisation rapide ? Il n'est pas aisé de le savoir.

Nous avons constaté aux Antilles qu'un apport d'engrais dans des sols n'en recevant pas depuis plusieurs années, provoquait une apparition d'azote minéral beaucoup plus importante que la quantité apportée. L'apport d'engrais occasionne probablement une prolifération de la population microbienne, rompant ainsi un équilibre établi. Si cette hypothèse est exacte, des apports trop importants et inutiles d'engrais seraient susceptibles de gaspiller inutilement le potentiel initial du sol.

Dans une plantation des Antilles (Matouba) sur allophanes, au climat peu ensoleillé et relativement frais, donc présentant certaines analogies avec celui de l'Equateur (Quevedo), quoique beaucoup plus humide, le niveau général d'N à tendance à ne pas descendre au-dessous de 1,5 mg d'N % et à demeurer assez constant, même sans apports réguliers d'engrais, à la différence des autres régions des Antilles où des taux très bas apparaissent dès qu'on néglige les apports fréquents d'engrais.

Ces études montrent la possibilité de contrôler le niveau des disponibilités minérales du sol en azote, afin de s'assurer que la plante ne manque pas de cet élément pendant la période des fortes pluies, où sa croissance^{est} très active et l'entraînement en profondeur de l'azote minéralisé, rapide dans des sols aussi sableux.

Les essais mis en place sur la station IFEIA n'ayant pas montré une amélioration des rendements par des apports d'engrais azoté, il ne paraît pas opportun de chercher à atteindre des valeurs comme celles que nous observons aux Antilles : graphiques ci-joints. Comme nous l'avons indiqué, les phénomènes de minéralisation et de disparition de l'azote y sont plus explosifs, plus intenses. Le niveau moyen 1964-65 semble avoir été d'ailleurs spécialement élevé.

Il paraîtrait judicieux de s'efforcer de maintenir un taux d'N nitrique, voisin de 2 mg % de sol, de Décembre à Juin, ce taux paraissant ensuite se maintenir sans autres apports, les années normales, durant toute la période sèche. Des expérimentations devraient ensuite permettre de déterminer le niveau le plus favorable tant pour le rendement que la qualité.

- Parcelle sous forêt - 17 Km S.E. de Quevedo -

L'étude de la parcelle sous forêt complète bien nos conclusions précédentes. On observe, après les niveaux relativement bas de la saison des pluies - Mars-Avril 1964 - une remontée très nette en Mai, le taux d'N se maintenant au-dessus de 2 mmg durant toute la saison sèche, pour redescendre brutalement en fin Janvier, début Février, période qui a été reconnue propice pour des apports d'engrais.

Les niveaux relativement bas se situent en Février, Mars, Avril. La remontée de Mai 1965 n'a pas été aussi sensible qu'en 1964, les pluies ayant anormalement persisté jusqu'en Septembre, époque à laquelle les niveaux de la précédente saison sèche ont été à nouveau atteints.

Pour les trois autres postes étudiés, nous ne disposons pas encore d'une année complète.

2) - A l'Hacienda Santa Béatrix - (Allophanes de transition)

Les taux de début Décembre sont faibles, puis se relèvent fortement en Janvier et restent sensiblement constants : 1,5 à 2 mg.

La chute d'Août est-elle due à la prolongation anormale de la saison des pluies ? Il semble pourtant, vu les faibles teneurs de Décembre 1964, qu'il y ait intérêt à relever un peu le niveau d'azote de ces plantations.

3) A l'Hacienda Très coronas vers la Mana, le niveau d'N nitrique baisse nettement durant la pleine saison des pluies (Mars-Avril). Mêmes remarques que pour Santa Béatrix.

4) Vers Santo Domingo - on peut faire les mêmes remarques que pour l'Hacienda Santa Béatrix. La saison des pluies en Décembre 1964 est abordée avec des taux relativement faibles d'N nitrique. A une légère remontée en Janvier-Février, succède des taux moyens, voisins de 1,3 à 1,5 mg. Le niveau d'azote devrait probablement être légèrement remonté.

Dans ces trois plantations, les basses valeurs de fin Août sont quelque peu anormales, en 1965.

d) CONCLUSIONS GENERALES -

Il ressort de cette première étude que les besoins en azote ne paraissent pas encore très importants, dans la région de Quevedo. Le niveau d'azote nitrique descend rarement en dessous de 1,2 à 1,5 mg d'N %, soit 40 à 50 Kg/Ha d'N, même en pleine saison des pluies. C'est pendant cette période de fortes pluies, lorsque les taux d'N sont les plus bas et la croissance du bananier la plus active, qu'il faudra veiller à maintenir des taux corrects que l'on pourrait fixer à 2 mg au minimum d'azote nitrique pour 100 g de sol dans les 20 premiers cms (environ 60 Kg d'N/Ha auquel il faut ajouter 40 à 50 Kg d'N ammoniacal.)

.../...

Il ne semble pas que des épandages au début des pluies de Novembre soient toujours nécessaires. Celles-ci provoquent une minéralisation qui peut permettre de tenir certaines années, comme en 1965 jusqu'à fin Janvier. Quelques postes régulièrement suivis permettraient d'apprécier l'opportunité de la fertilisation, variable suivant la répartition des premières pluies. L'épandage de fin Janvier 1965, semble suffire jusqu'à la fin de la saison pluvieuse 1965. Il n'en a pas été de même en 1966. Des doses plus importantes risqueraient peut-être de provoquer par l'accroissement de la population microbienne, une perte d'N inutile, provenant des réserves organiques du sol. Le fractionnement en trois ou quatre fois aurait surtout pour but de remédier à une chute éventuelle de la teneur en azote nitrique, provoquée par des pluies survenant à une période de minéralisation particulièrement propice au lessivage de l'azote en profondeur. On pourrait envisager: Décembre - Janvier puis Mars et Mai avec éventuellement un épandage complémentaire de correction en période très pluvieuse. Les doses ne peuvent être fixées encore, mais 40 kg d'N Ha semblerait suffisant pour chacun des quatre épandages au Nord de Quevedo.

Le maintien tout au long de l'année d'un niveau d'azote minéral ne constitue qu'une première étape. Le choix du niveau le meilleur devra découler d'expérimentations comparant les rendements de bananeraies ou différents niveaux d'azote minéral seront maintenus dans le sol. Il ne semble guère possible d'extrapoler sur ce point les résultats des Antilles où l'insolation est de deux fois supérieure et les besoins en azote probablement plus importants.

Si les études effectuées aux Antilles sur l'évaluation à différentes périodes de la fourniture d'azote par le sol donnent des résultats intéressants, l'application de ces techniques pourra être envisagée.

L'étude des variations de l'azote minéral du sol de bananeraies situées dans des régions moins privilégiées quant à la richesse du sol en M.O. (Machala) ou plus arrosées, avec un lessivage constant de l'azote (Santo Domingo), serait certainement utile.

122

PARCELLE SOUS FORET = MONTANA Plantation Santa Fé - 13 Km au Sud Est de QUETZAL

Pluie

(Proximité profil 72)

EVOLUCION DEL NITROGENO

(Analyses IFEIA Pichilingue Cucalon Diaz Sotomayor)

--- NH₄⁺ en N mgr p 100
--- NO₃

200
mm

100

11 25 8 22 5 20 3 30 15 25 11
MARS AVRIL MAI JUIN JUILLET AOUT

200
mm

100

22 6 20 5 20 3 15 22 12 25 10 24
SEPTEMBRE OCTOBRE NOVEMBRE DECEMBRE JANVIER FEVRIER

300
mm

200

100

*9 24 7 21 5 20 2 15 30 15 28 12 25
MARS AVRIL MAI JUIN JUILLET AOUT

EVOLUTION DE L'AZOTE

EVOLUCIÓN DEL NITRÓGENO

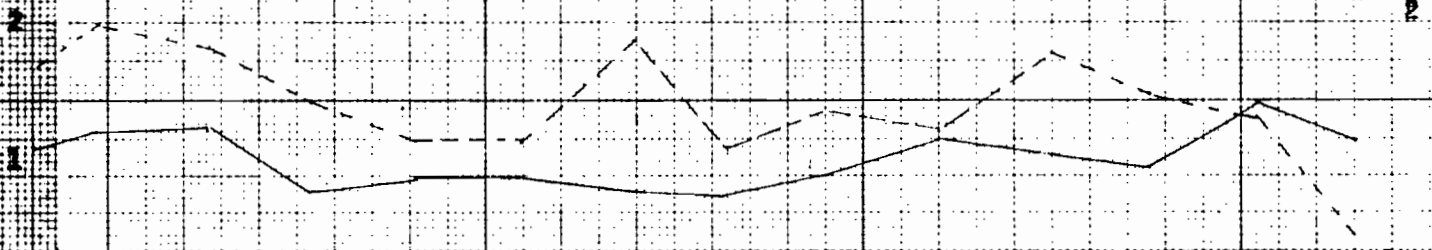
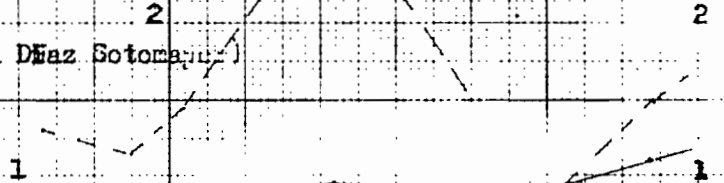
N mgr %

HACIENDA SANTA BEATRIZ - QUEVEDO - EMPALME

3

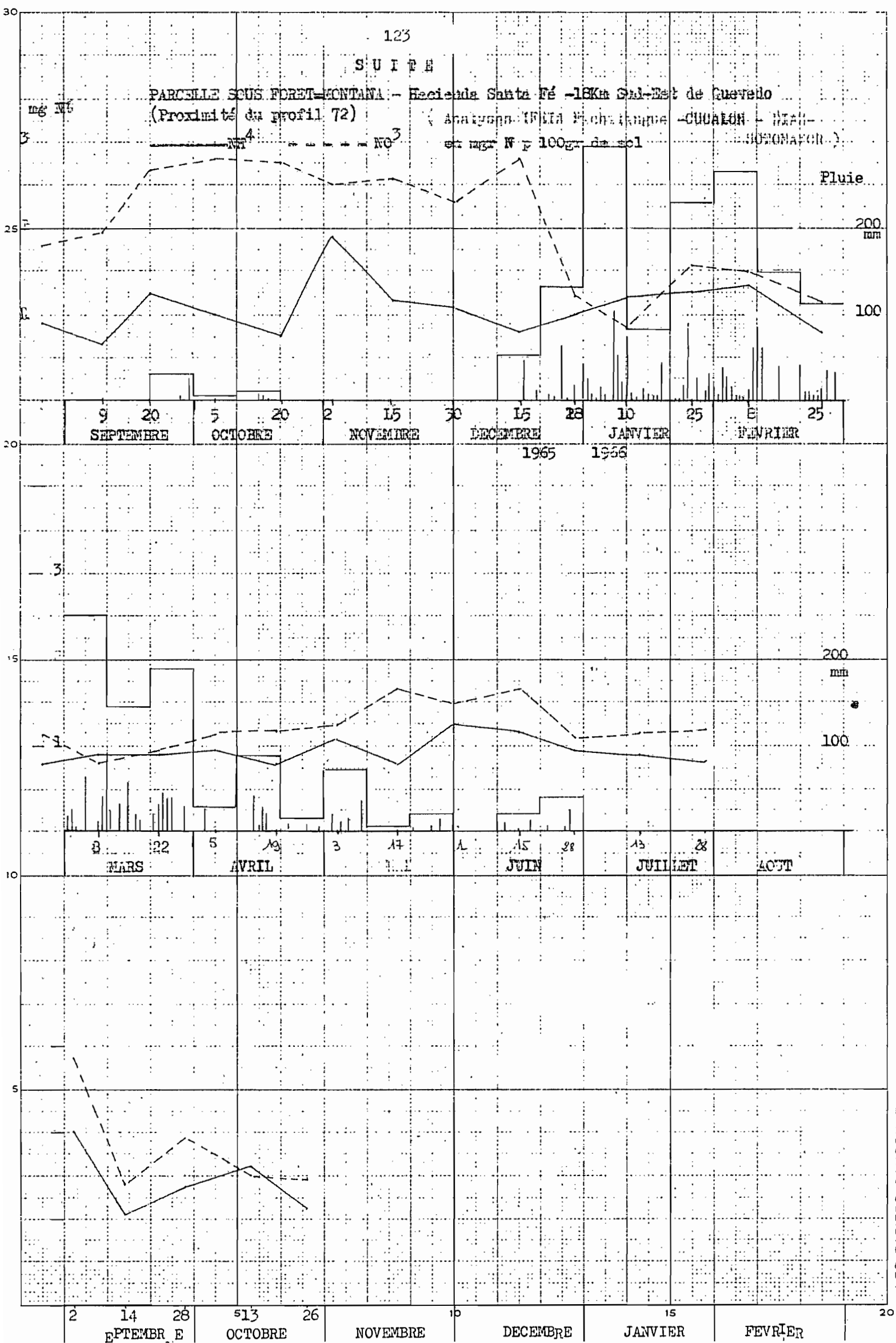
— NH_4^+) en H mgr p 100 gr
 - - - NO_3^-

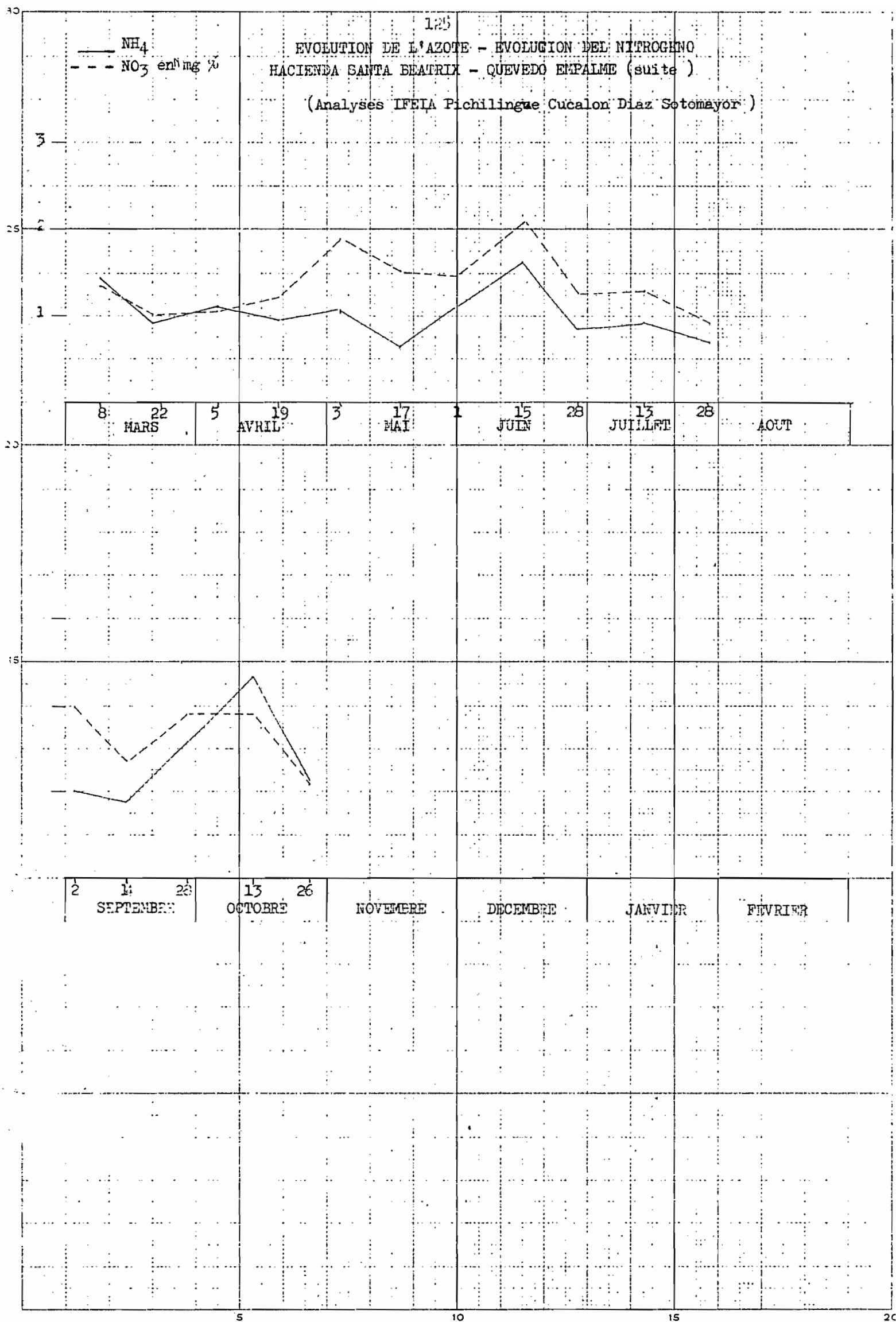
(Analyses IFEIA Pichilingue Cucalon DEaz Sotomayor)



9 24 7 21 5 20 2 15 30 15 28 12 25
 MARS AVRIL MAI JUIN JUILLET AOUT

9 20 2 15 30 15 28 10 25 3 25
 SEPTEMBRE OCTOBRE NOVEMBRE DECEMBRE 1965 1966 JANVIER FEVRIER





EVOLUTION DE L'IAZOTE

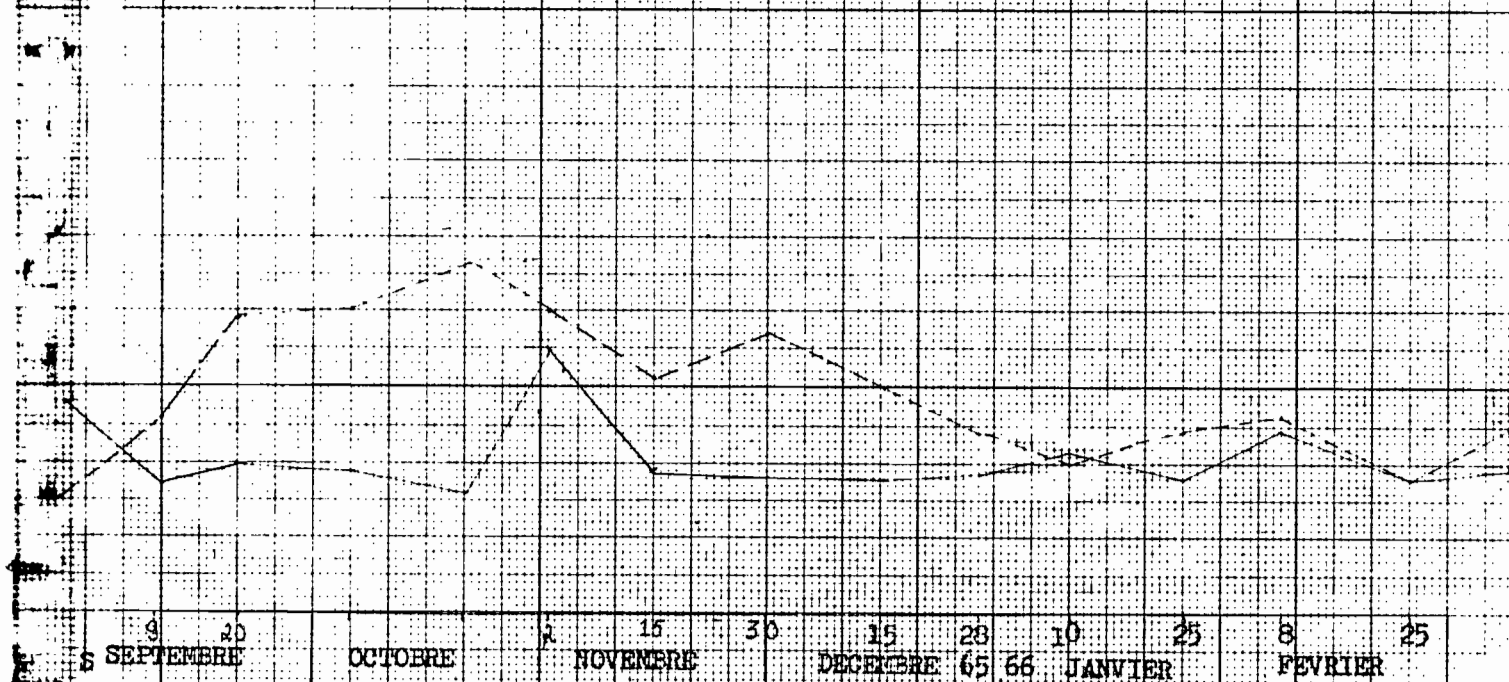
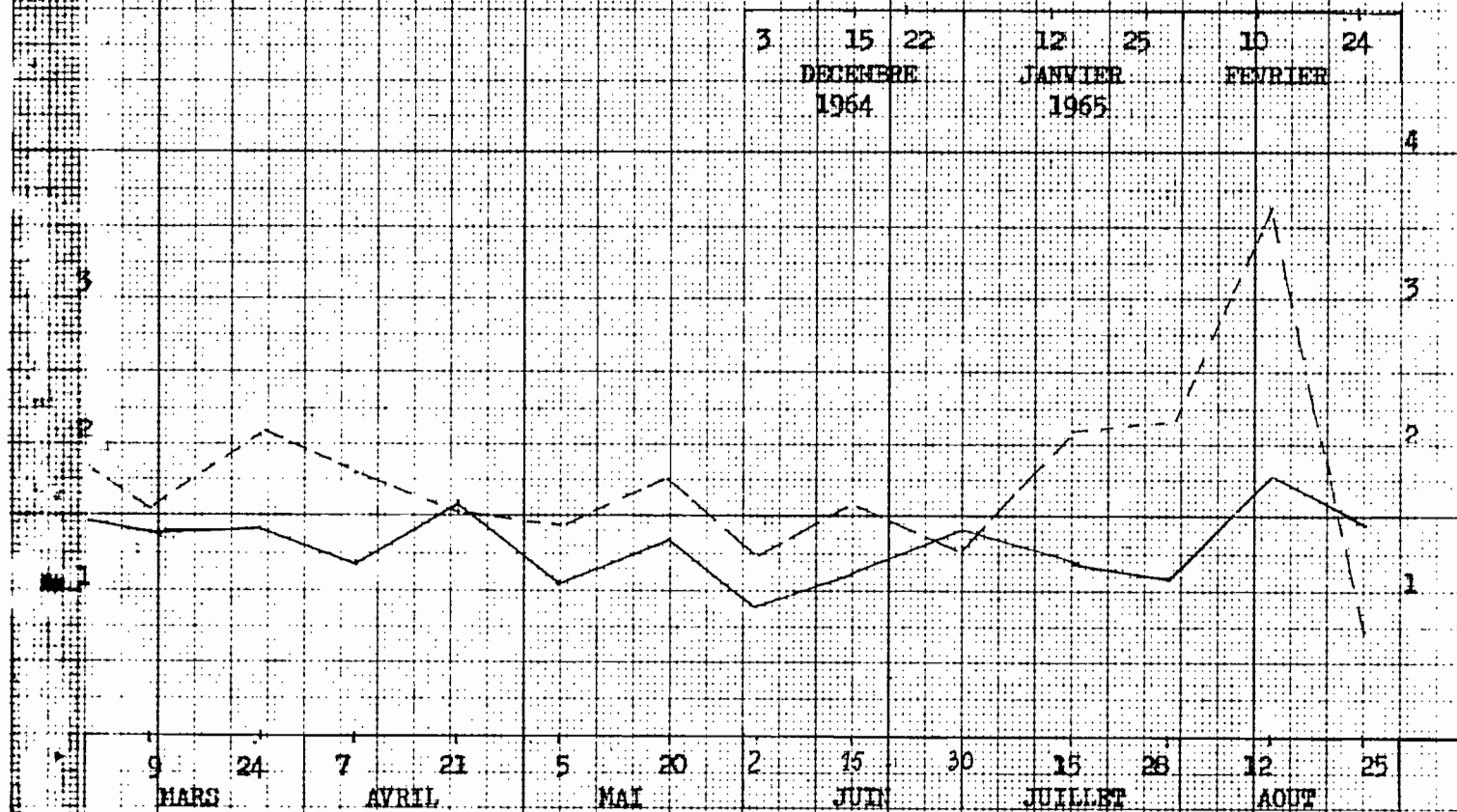
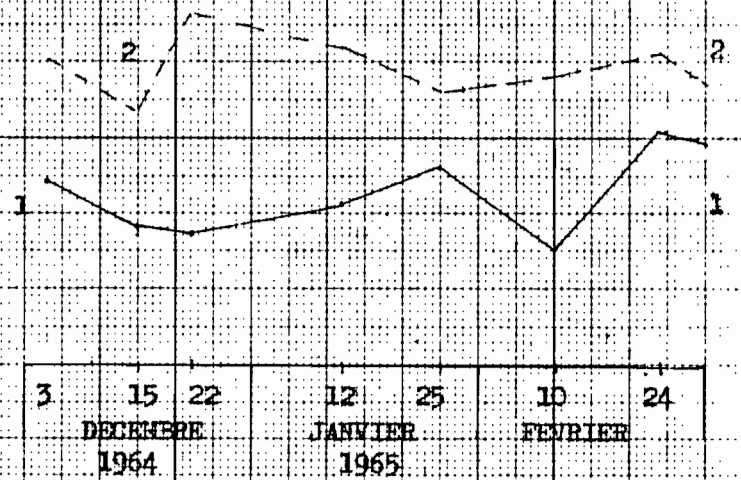
HACIENDA TRES CORONAS A LA MANA (Est de SUE VEDO)

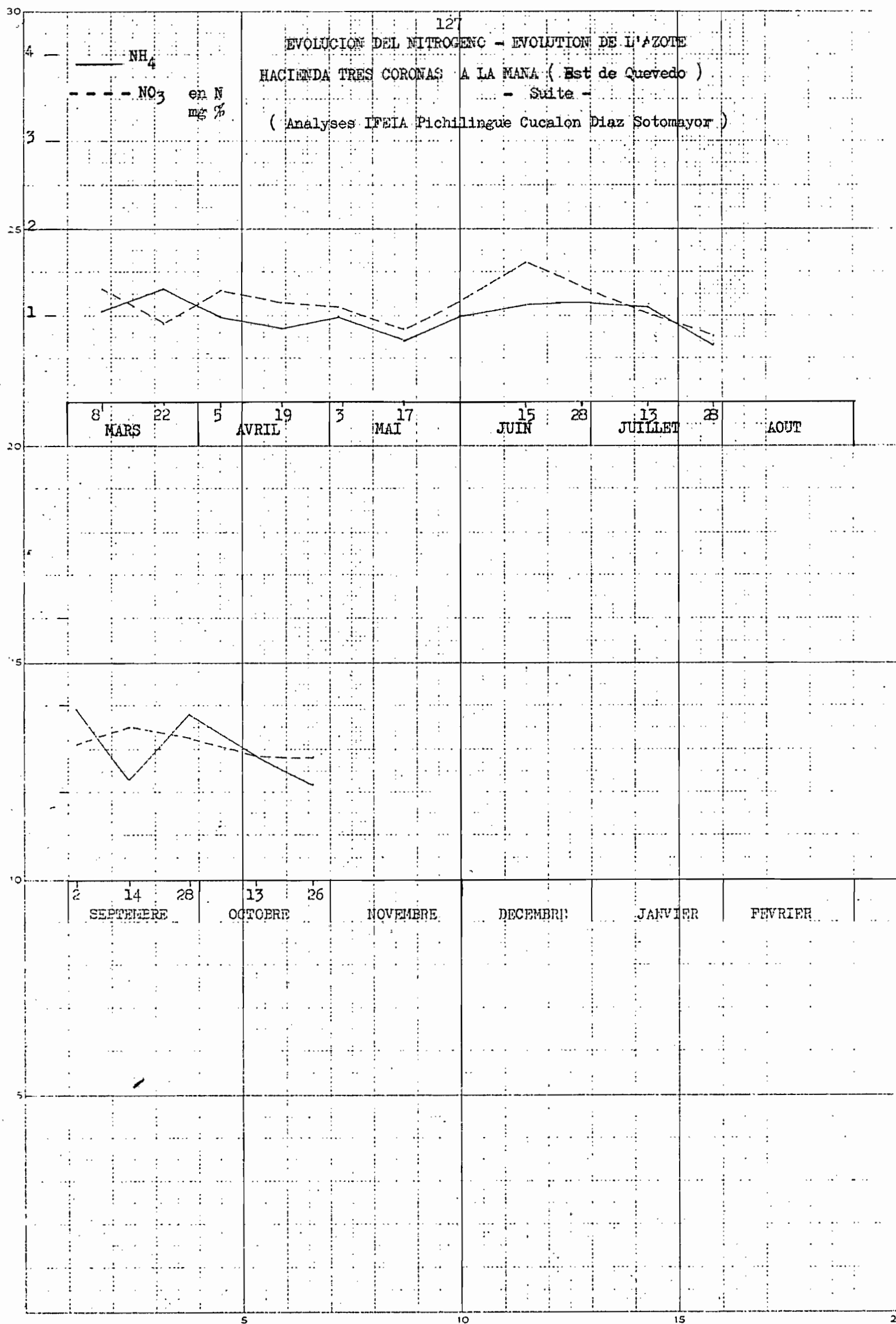
EVOLUCION DEL NITROGENO

N mg %

— NH₄⁺
 - - - NO₃⁻ } en N mg %

(Analyses IFELA Pichilingue
 Cacalon Diaz Sotomayor)





ROUTE DE QUEVEDO= SANTO DOMINGO Km: 1.80
EVOLUTION DE L'AZOTE

HACIENDA ADA MARIA
EVOLUCION DEL NITROGENO

N en Mgr 2

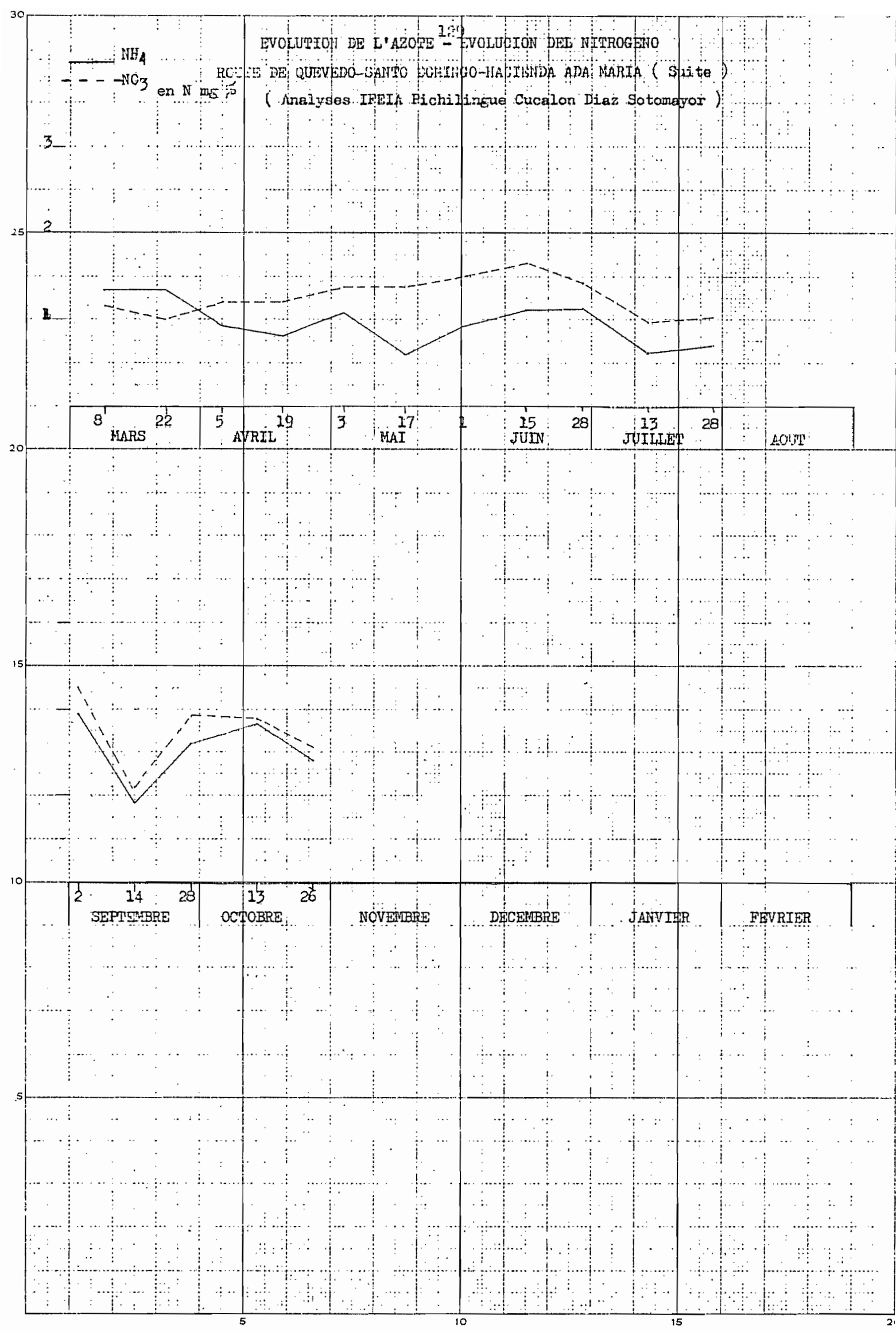
— NH⁴) en N Mgr %
- - - NO³

(Analyses IFEIA Pichilingue Cucalon Diaz Sotomayor)

3 15 22 12 25 10 24
DECEMBRE 1964 JANVIER 1965 FEVRIER

2 1 9 24 7 21 5 20 2 15 29 15 28 12 25
MARS AVRIL MAI JUIN JUILLET AOUT

9 20 2 15 30 15 28 10 25 8 25
SEPTEMBRE OCTOBRE NOVEMBRE DECEMBRE 1965 1966 JANVIER FEVRIER



NEUFCHATEAU

Guadeloupe

Sols à allophanes-

Pluviométrie ann. : 4 m.

Altitude : 200 m.

1^{er} Semestre

Juin-Nov. 1964

↑ Parcelles NH_4

⊕ corrigées NO_3

Parcelles NH_4

non corrigées NO_3

(fumure normale)

N mg

5

10

9

8

7

6

5

4

3

2

1

8 18

JUIN

1964

JUILLET

AOUT

SEPTEMBRE

OCTOBRE

NOVEMBRE

DEC.

PLUVIOMETRIE

150

100

50

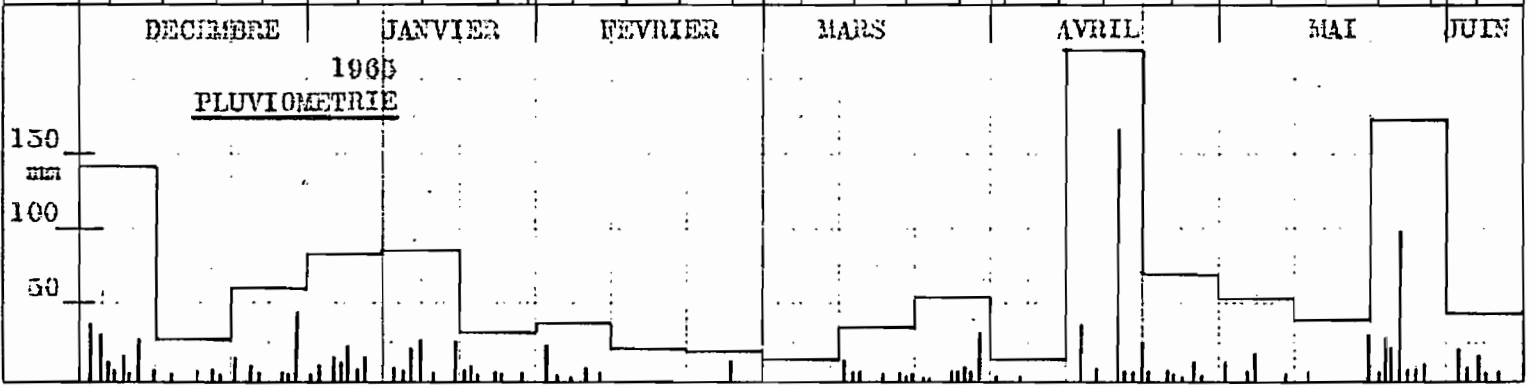
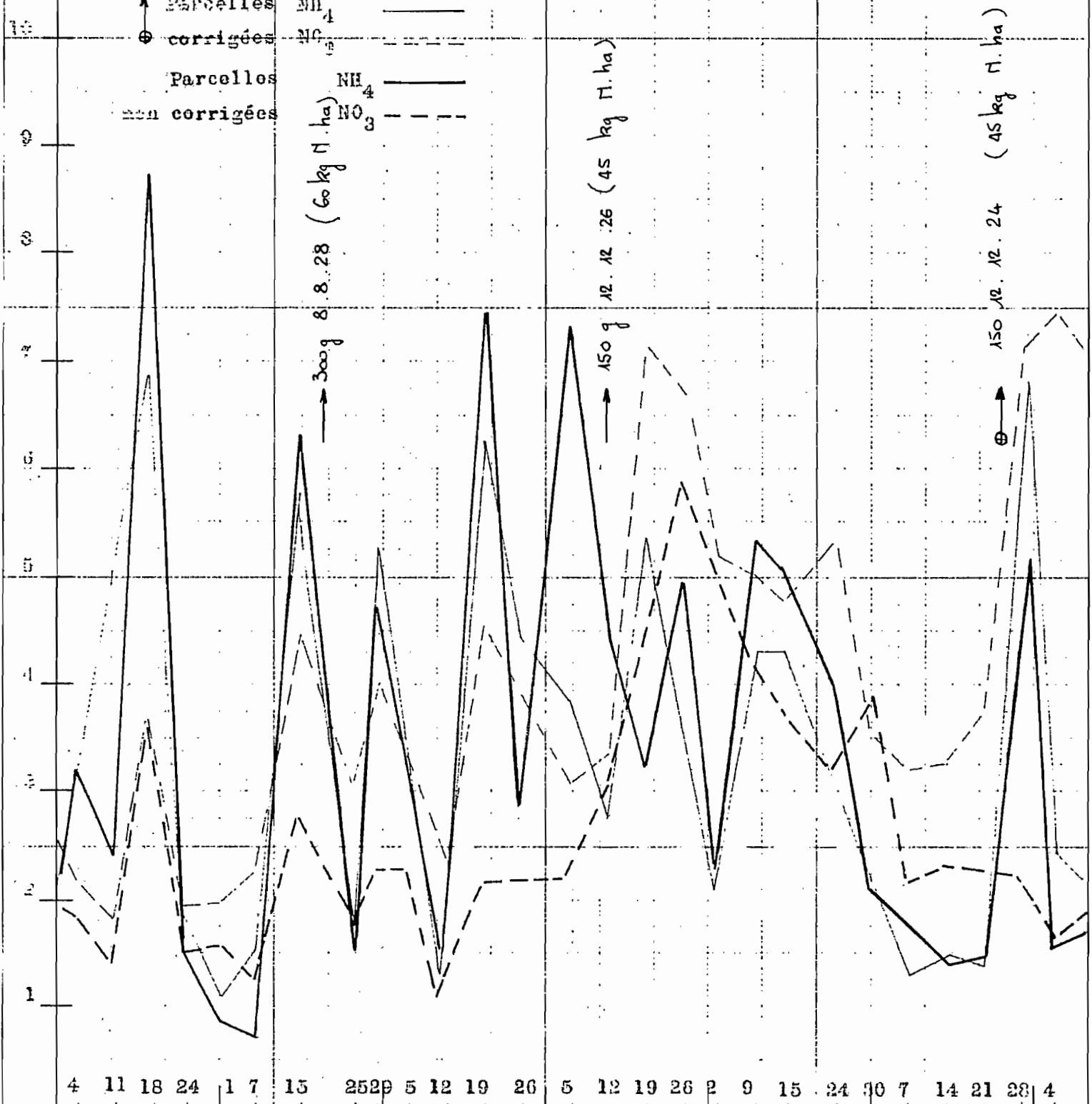
150 8.8.28 (30kg N/ha)

300 8.8.28 (60kg N/ha)

100g Sulf Amm. (50kg N/ha)

HENRI CHATEAU
 2ème Semestre
 Décembre 1964
 Mai 1965

↑ Parcelles NH₄
 ⊕ corrigées NO₃
 Parcelles NH₄
 non corrigées NO₃



NEUFCHÂTEAU
3ème SEMESTRE
Juin-Nov. 1965

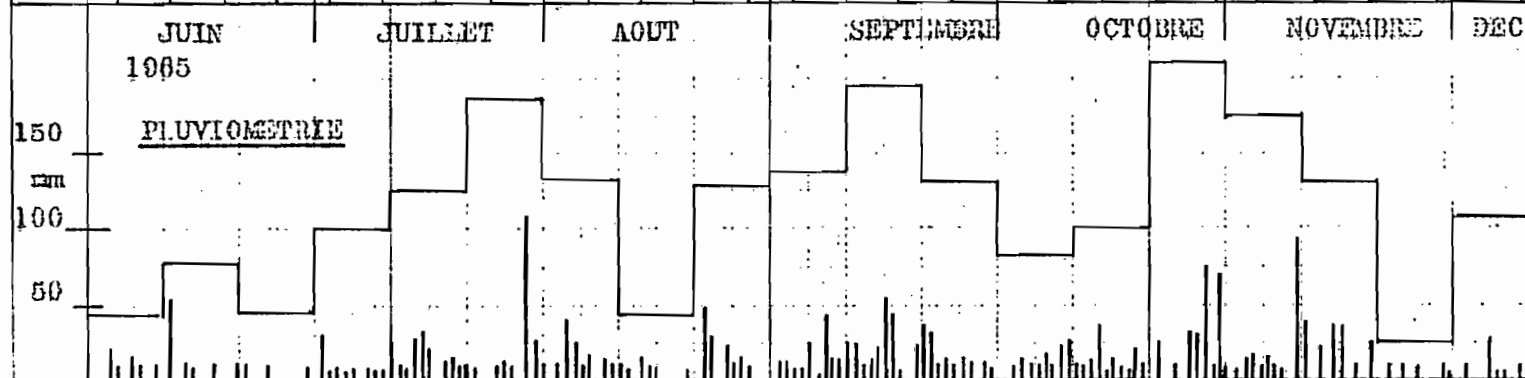
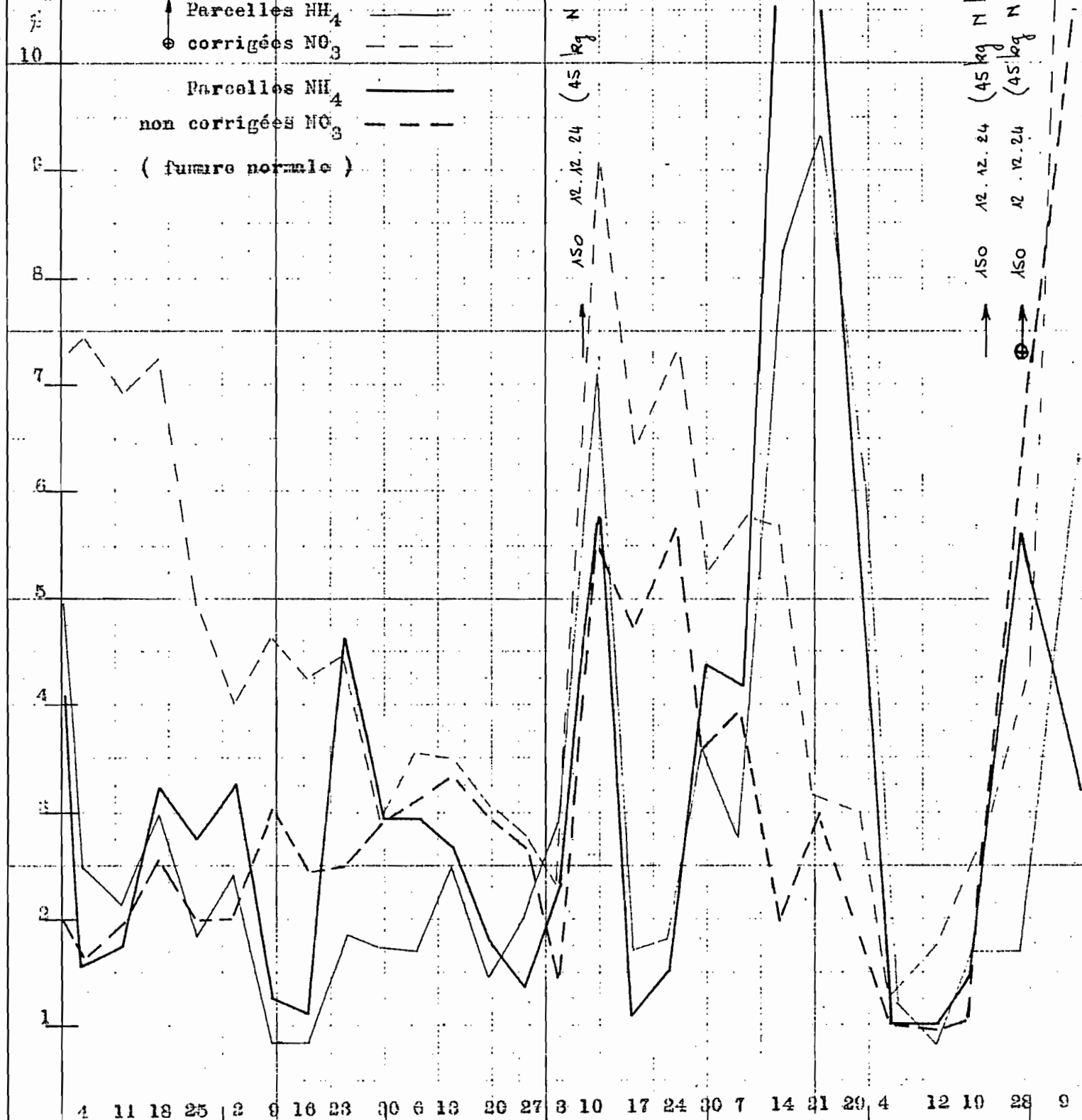
mg

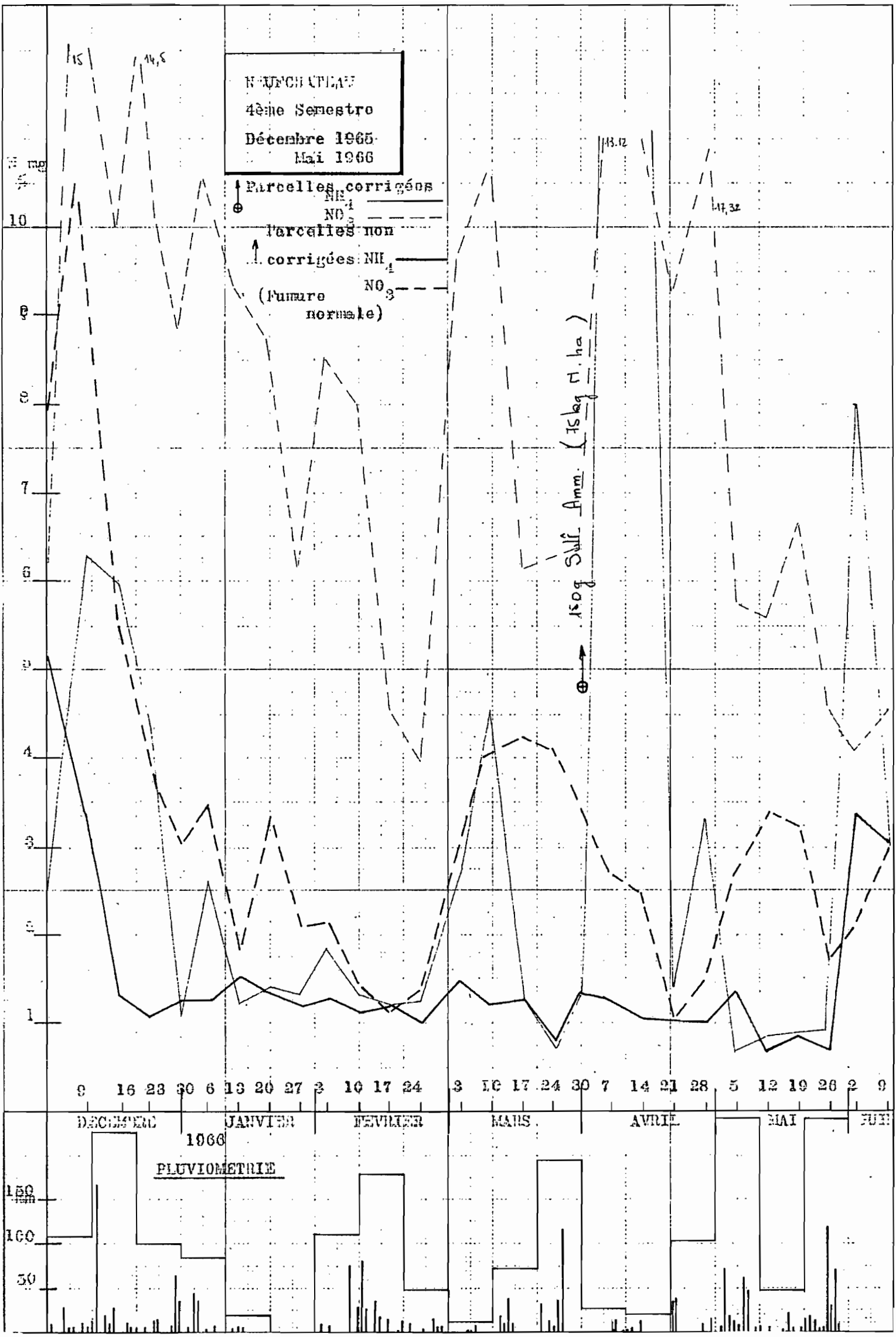
↑ Parcelles NH_4
⊕ corrigées NO_3

Parcelles NH_4
non corrigées NO_3
(fumure normale)

150 12.12.24 (45 kg N/ha)

150 12.12.24 (45 kg N/ha)
150 12.12.24 (45 kg N/ha)





— M A T O U B A —
 (Guadeloupe)
 Pluviométrie annuelle : 4m.
 Altitude : 500 m.
 Sols fortement allophaniques
 1^{er} Semestre
 Juin - Nov. 1964

N_{ex}
%

10

9

8

7

6

5

4

3

2

1

NH₄ ———
 Anote du sol
 NO₃ - - -

22 Aout CYCLONE

Engrais 250g 8.8.28 50kg N ha

Engrais 250g 8.8.28 50kg N ha

8 15 3 10 17 24 31 7 14 21 28 4 11 18 25 2 9 14 23 30 6 13 20 27

JUIN 1964 JUILLET AOÛT SEPTEMBRE OCTOBRE NOVEMBRE DEC.

MATOUBA
 2^{ème} Semestre :
 Décembre 1964
 Mai 1965

N mg %

10

Azote du sol

NH₄

NO₃

9

8

7

6

5

4

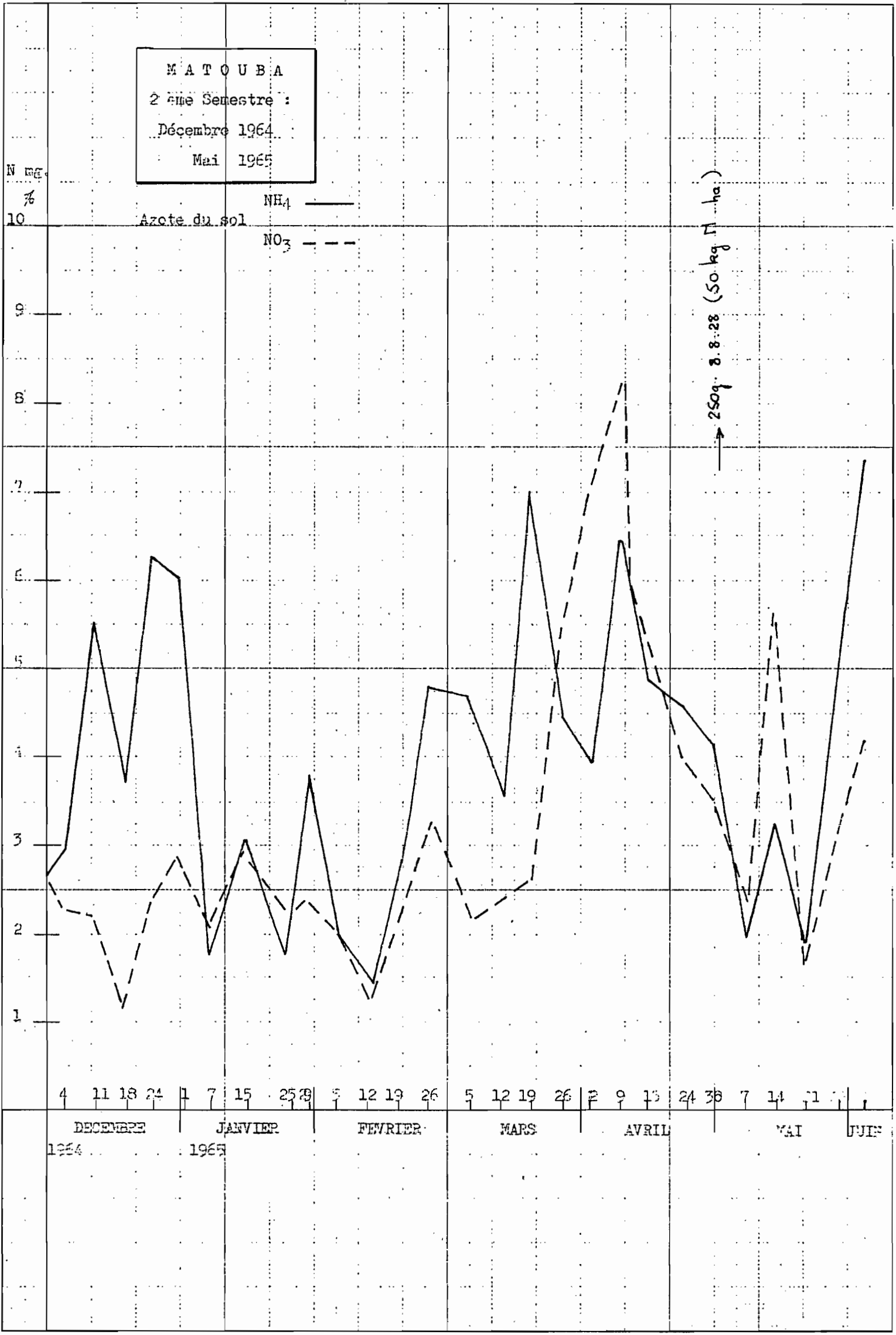
3

2

1

250g 2.8.28 (50 kg N ha)

4	11	18	24	1	7	15	25	29	5	12	19	26	5	12	19	26	2	9	15	24	30	7	14	21	28	4
DECEMBRE 1964				JANVIER 1965				FEVRIER				MARS				AVRIL				MAI				JUIN		



M A T O U B A
 3^e ème Semestre
 Juin-Nov. 1965

N mg.
 %

10

9

8

7

6

5

4

3

2

1

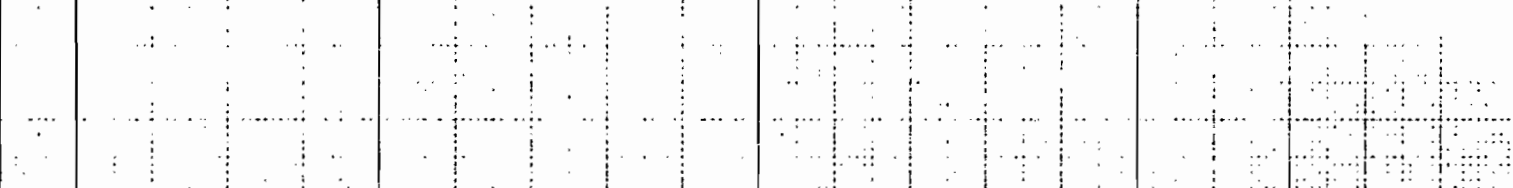
Azote du sol NH_4 ———
 NO_3 - - - -

11,73

4 11 18 25 2 9 16 23 30 6 13 20 27 3 10 17 24 30 7 14 21 28 4 12 28 9

JUIN JUILLET AOÛT SEPTEMBRE OCTOBRE NOVEMBRE DEC.

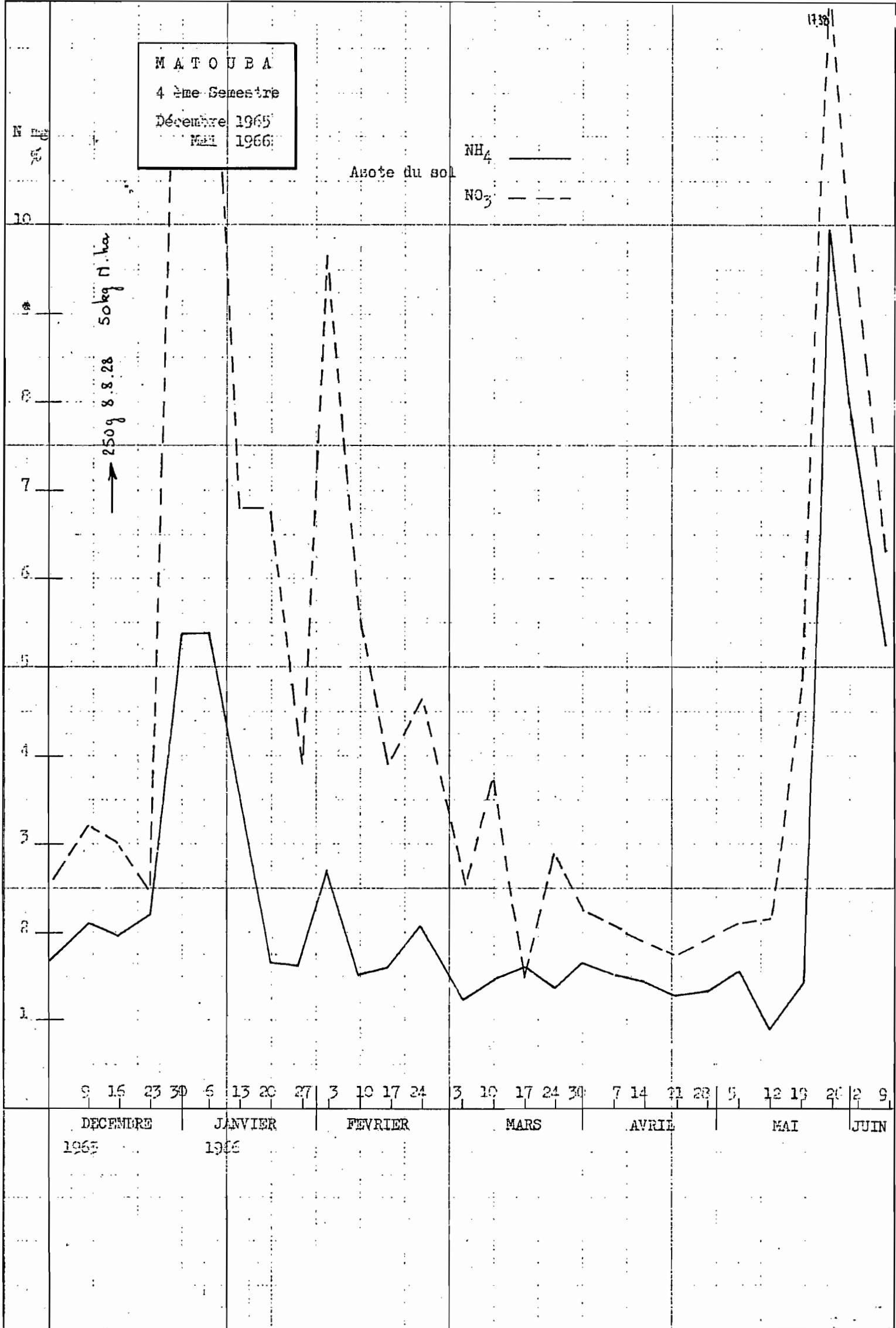
1965



MATOURA
 4^{ème} Semestre
 Décembre 1965
 Mai 1966

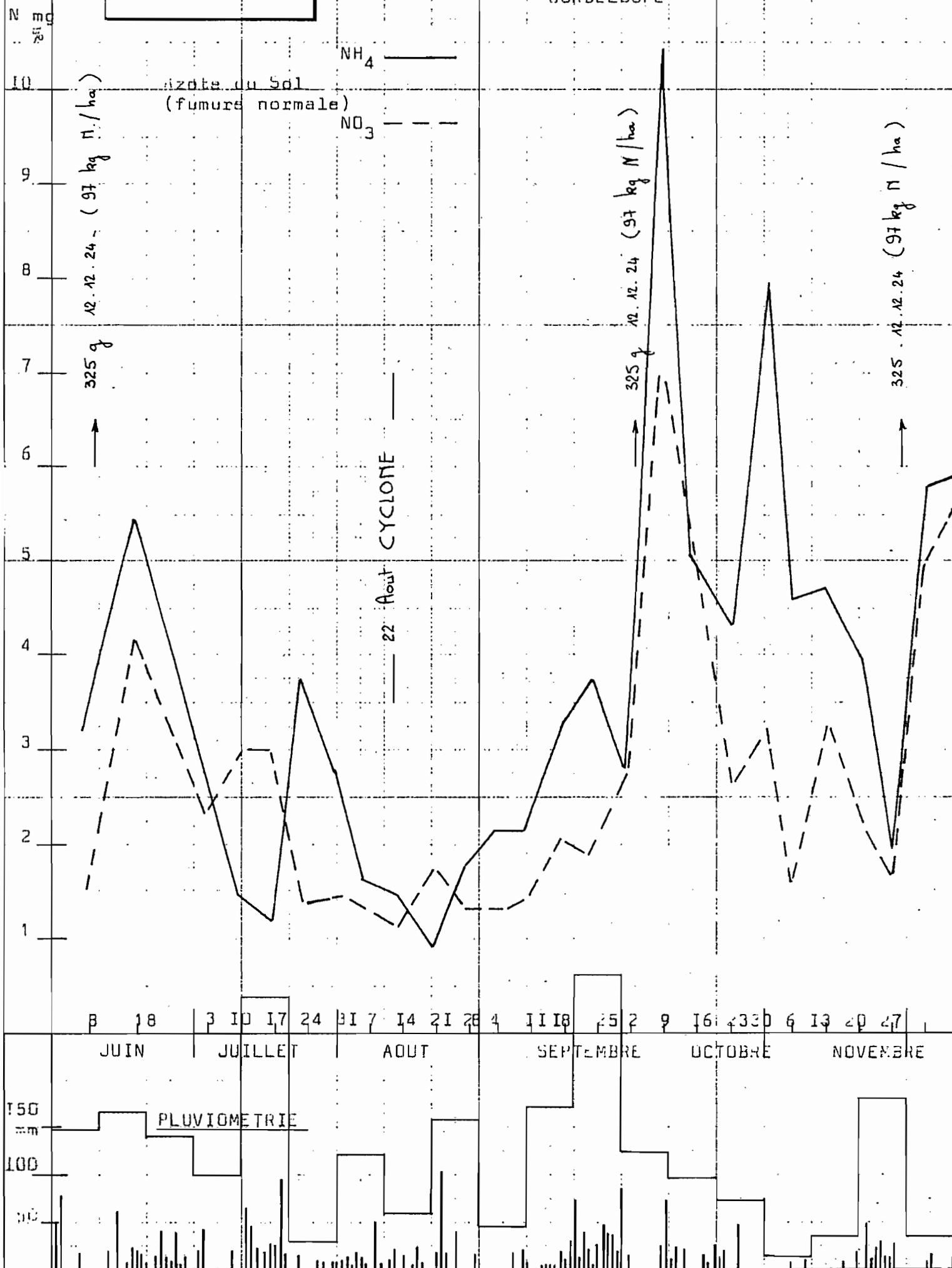
Asote du sol
 NH_4 ———
 NO_3 - - -

250g 8.8.28 50kg N/ha
 ↑

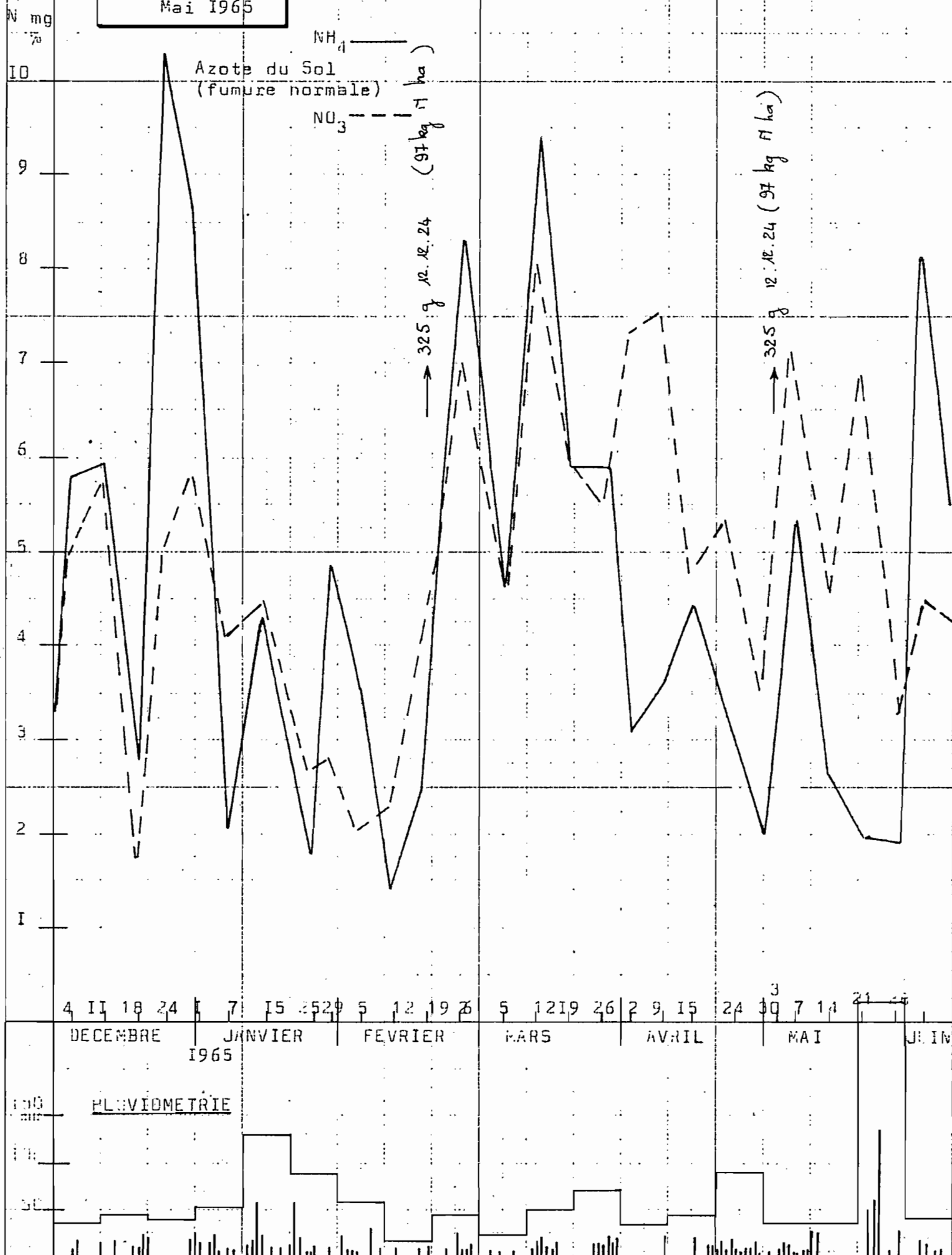


GRAND - MAISON
1er Semestre
JUIN 1964
Novembre 1964

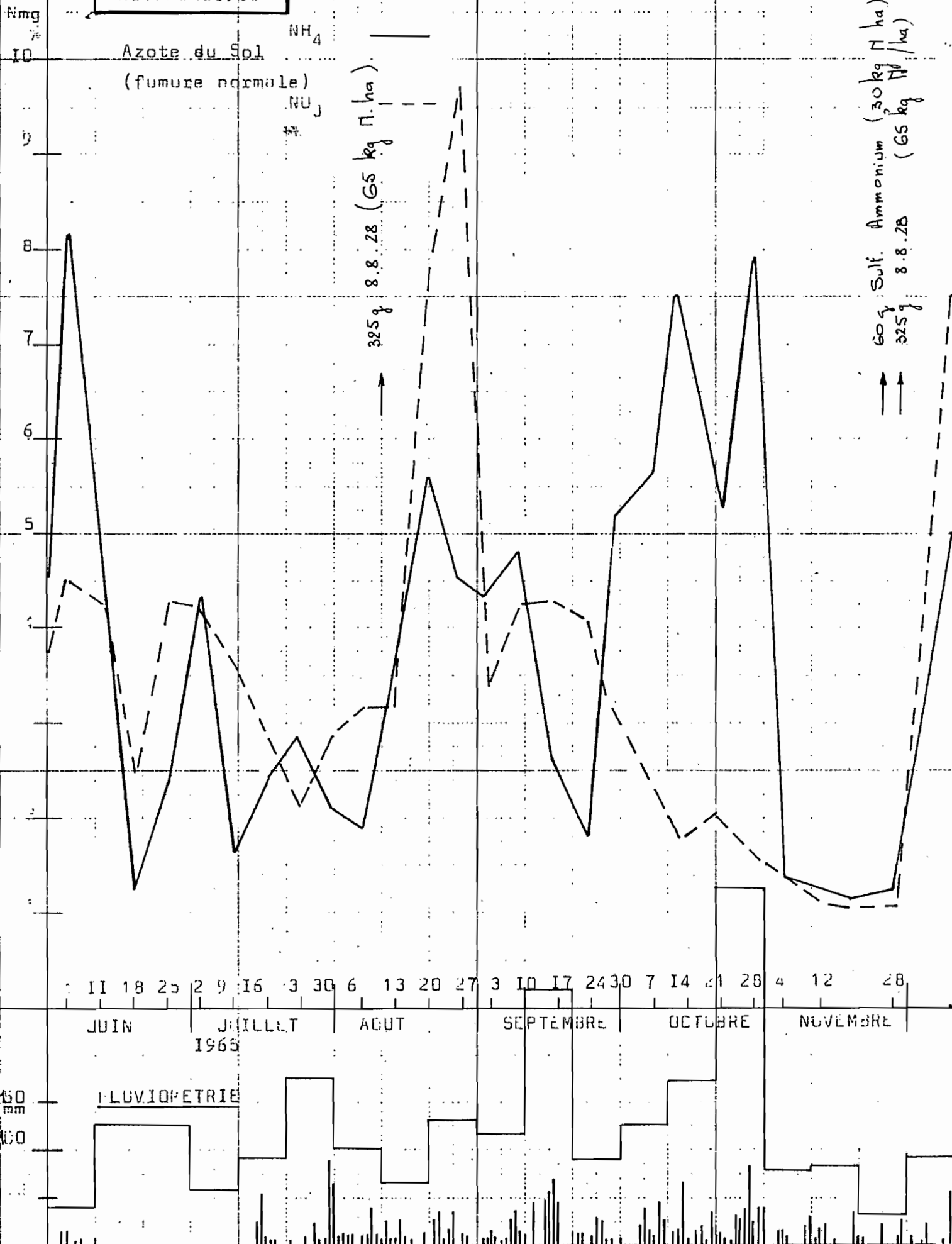
Suelos de transición alofanos halloisite
Sols de transition allophane-halloysite
GUADELOUPE



GRAND-MAISON
2ème Semestre
Décembre 1964
Mai 1965



GRAND-PAISON
3ème Semestre
JUIN
NOVEMBRE 1965



GRANT - MAISON
4 Rue Semestre
Décembre 1965
Mai 1966

27 1107
24 1107
6
7

NEI

10

_____Cote du sol

(future normale)

NO 2

5

3

7

52

47

3

3

45

=

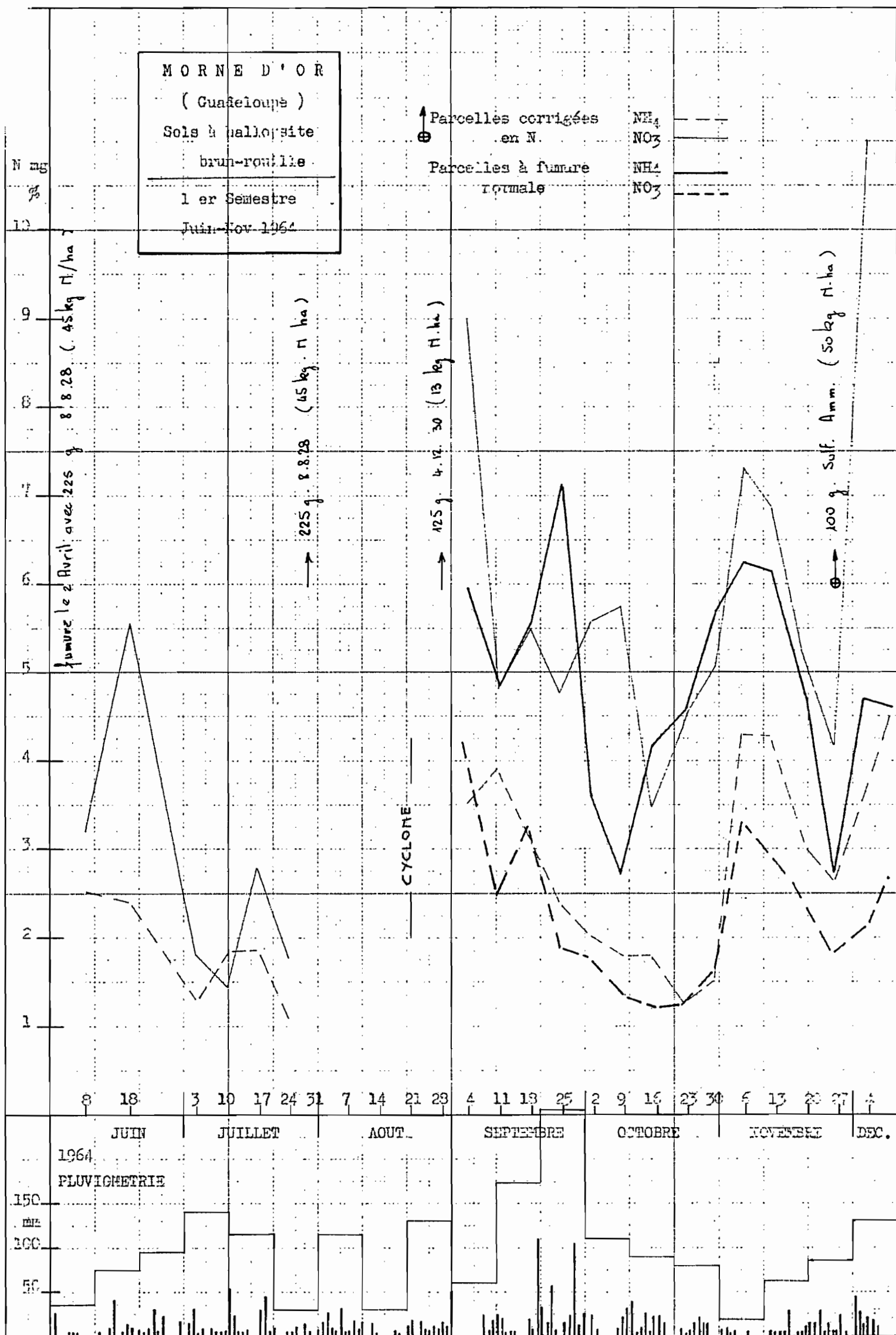
5	16	23	30	6	13	20	27	3	10	17	24	31	7	14	21	28	5	12	19	26	3	9			
DECEMBRE				JANVIER				FEVRIER				MARS				AVRIL				MAI				JUIN	
1960																									

PLUVIOMETRE

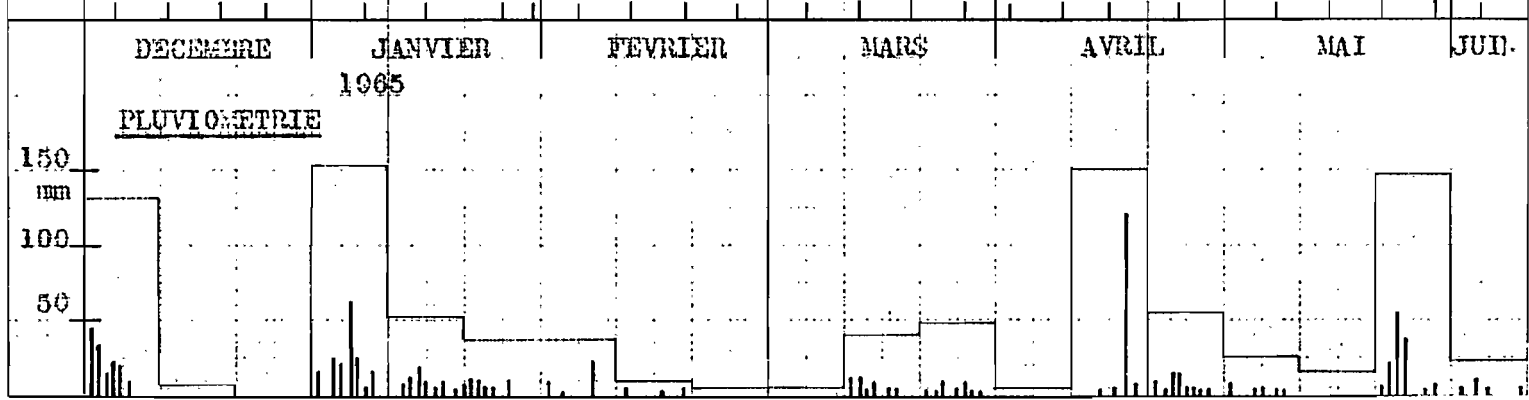
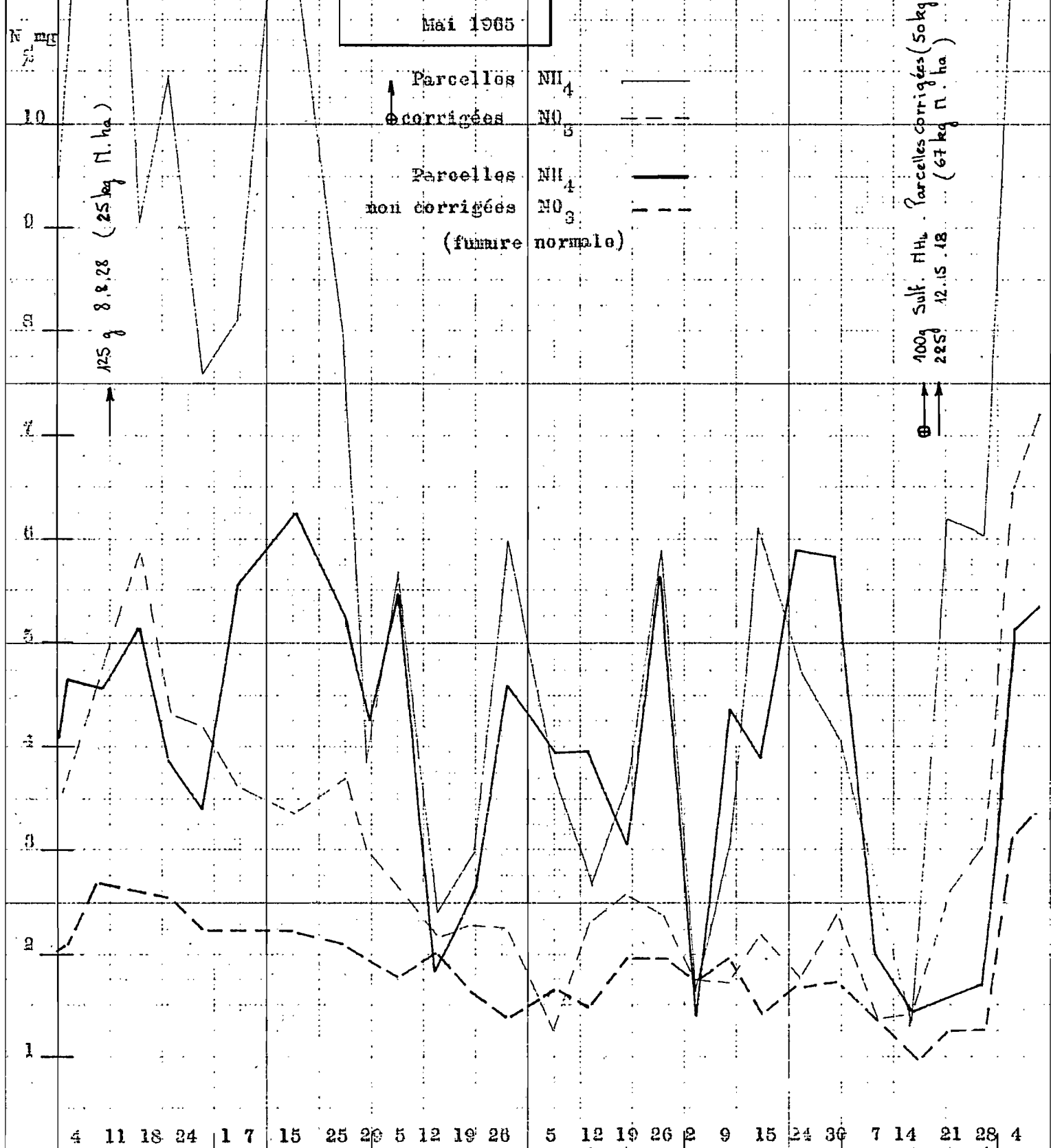
50
1944

100

50



MOYENS D'OR
2ème Semestre
Décembre 1964
Mai 1965



MORNE D'OR
Sème SEMENCE
Juin-Nov. 1965

Parcelles NH_4
corrigées NO_3
Parcelles NH_4
non corrigées NO_3

(Fumure normale)

N mg

10

9

8

7

6

5

4

3

2

1

4 11 18 25 2 9 16 23 30 6 13 20 27 3 10 17 24 30 7 14 21 29 4 12 28 9

JUIN
1965

JUILLET

AOUT

SEPTEMBRE

OCTOBRE

NOVEMBRE

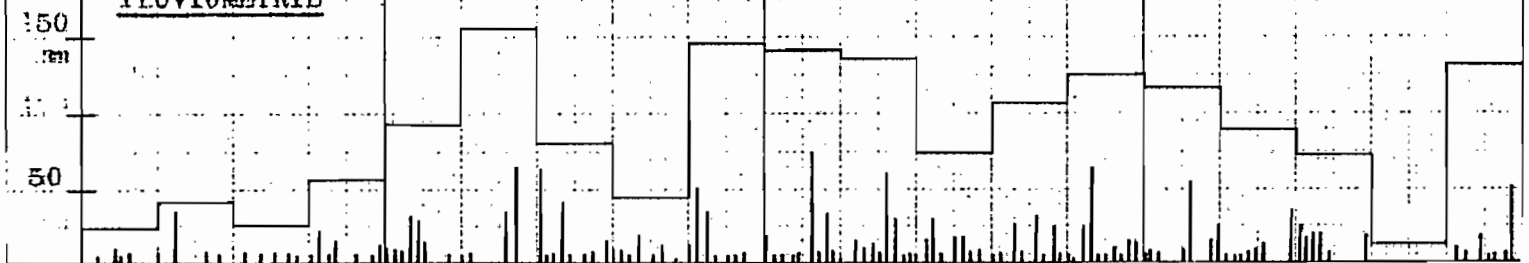
DEC

PLUVIOMETRIE

150

100

50



225 12 15 18 (67 kg N/ha)

150 g Sulf. Am. parcelle corrigée (35 kg N/ha)

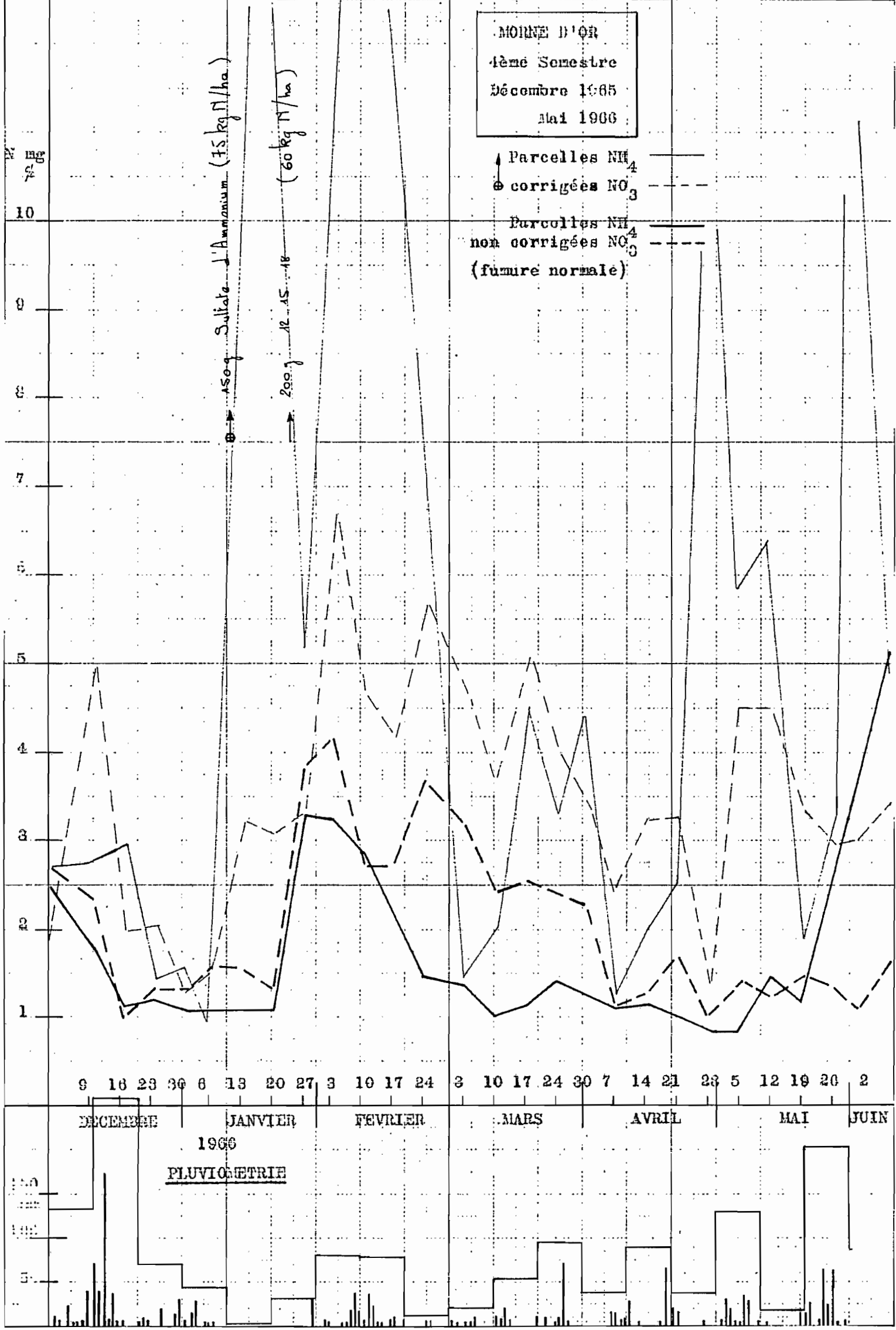
225 12 15 18 (67 kg N/ha)

MOIRNE D'OR
4ème Semestre
Décembre 1965
Mai 1966

↑ Parcelles NH₄
⊕ corrigées NO₃

Parcelles NH₄
non corrigées NO₃
(fumure normale)

150g Sulfate d'Ammonium (75 kg N/ha)
200g (60 kg N/ha)



Pour 1964, un programme de fertilisation portant sur 25.000 Ha et bénéficiant de prêts très importants de l'Etat, a été établi en tenant compte des premiers résultats disponibles. Les études effectuées depuis cette date par Mr CUCALON ne peuvent que le confirmer.

Il semble toutefois, que les alluvions des régions de Vines - Babahoyo, d'après nos prospections, très riches en phosphore, même en profondeur, n'aient souvent que des teneurs très moyennes en potasse. Une étude systématique analogue à celle qui a été effectuée à Santo Domingo et Machala, paraît donc utile pour préciser les besoins en potasse. Les sols étant très sableux et relativement peu organiques, à plus de 30 cm de profondeur, les épandages devront être fractionnés. Une étude du lessivage de la potasse en petites parcelles, pourrait être faite sur les sols les plus sableux en surface.

Rappelons les recommandations adoptées par la Direction de la banane :

1) Régions au Nord du 40ème Km de Quevedo - Santo Domingo et à l'Est vers la Cordillère -

- Sols sur cendres en régions humides à faibles teneurs en K éch. et P Truog, même dans les horizons de surface relativement récemment défrichés où les réserves risquent vite de s'épuiser :

Fumure - $160 - 90 - 90$ /Ha en plantation de plus de 4 ans.

2) Régions au Sud du Km 40 de Quevedo - Santo Domingo

- Sols sur cendres généralement riches en K et P :

Fumure - sur la base de $180 - 45 - 45$ avec peut-être 240 Kg d'N dans les parties très érodées ou argileuses - Epandage de l'N en 3 fois.

- Dans les sols d'alluvions de Vines - Babahoyo, la fumure pourrait être $240 - 45 - 90$, et peut-être davantage de K.

3) Machala -

- Sols exceptionnellement riches en P et K - mais moins bien pourvus en M.O.

Fumure - sur la base de $240 - 0 - 0$. Fractionnement d'N à étudier avec les irrigations. Sauf, les anciennes terrasses plus pauvres à délimiter.

Une étude systématique devrait être effectuée sur de nombreuses plantations dans la région des alluvions de Vines - Babahoyo, pour saisir les déficiences éventuelles en potasse.

!- dans la région de Quevedo - cercle de 30 à 40 Kms. pour confirmer les hautes teneurs en P et K.

VII - PROFILS HYDRIQUES

Bien qu'il ne soit pas possible encore de tirer des conclusions, il est permis cependant de faire quelques observations préliminaires. Nous avons cru bon de faire figurer les premiers résultats.

Dispositif :

Quatre postes ont été choisis pour suivre les variations du profil hydrique, au cours de l'année. Ils sont situés dans la station de Pichilingue à des distances de plus en plus grandes de la rivière.

Le sol est alluvionnaire légèrement argileux en surface, sableux en profondeur.

Primitivement, chaque poste correspondait à un sprinkler d'arrosage, mais pour diverses raisons les arrosages n'ont pu être réalisés. Les variations de l'eau dans le sol ont été suivies depuis le début des pluies en Décembre 1964 jusqu'à maintenant (Septembre 65) et seront étudiées jusqu'à Décembre prochain.

Rappelons que la période de Juin à Septembre 1965 a été exceptionnellement pluvieuse, les pluies ayant été fréquentes durant toute cette période.

Observations :

On remarque sur le graphique 1 qu'en Décembre-Janvier, aux premières pluies, c'est l'horizon supérieur qui est le plus humide. A partir de Février-Mars, en pleine période pluvieuse, ce sont les horizons profonds qui deviennent les plus humides. A partir de Juin, début de la saison sèche, il y'a une diminution générale, le niveau profond décroche d'abord par suite d'un bon drainage - puis en Septembre, c'est le niveau 20 - 40 - le niveau de surface, avec les quelques petites pluies, conserve des valeurs plus élevées.

L'action de "pompage" par la plante ne paraît donc pas comme on aurait pu le penser, s'exercer principalement dans le niveau de surface.

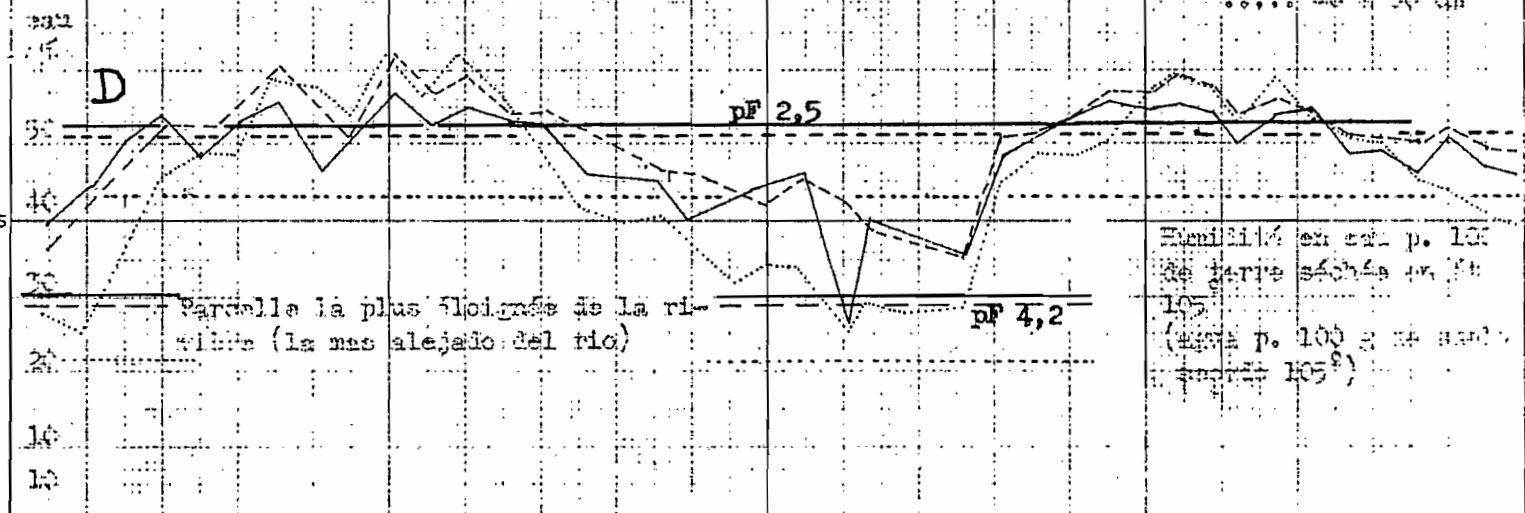
Sur le graphique 2, on remarque très bien que c'est le profil situé le plus près de la rivière qui présente les valeurs les plus basses, dans les trois niveaux 0 - 20/ 20 - 40/ 40 - 60 cms.

Les autres postes plus éloignés, se comportent sensiblement de la même façon, avec une tendance du poste B, le plus proche du précédent, à être plus faible.

L'action de drainage interne, provoquée par la rivière, semblerait donc assez nette.

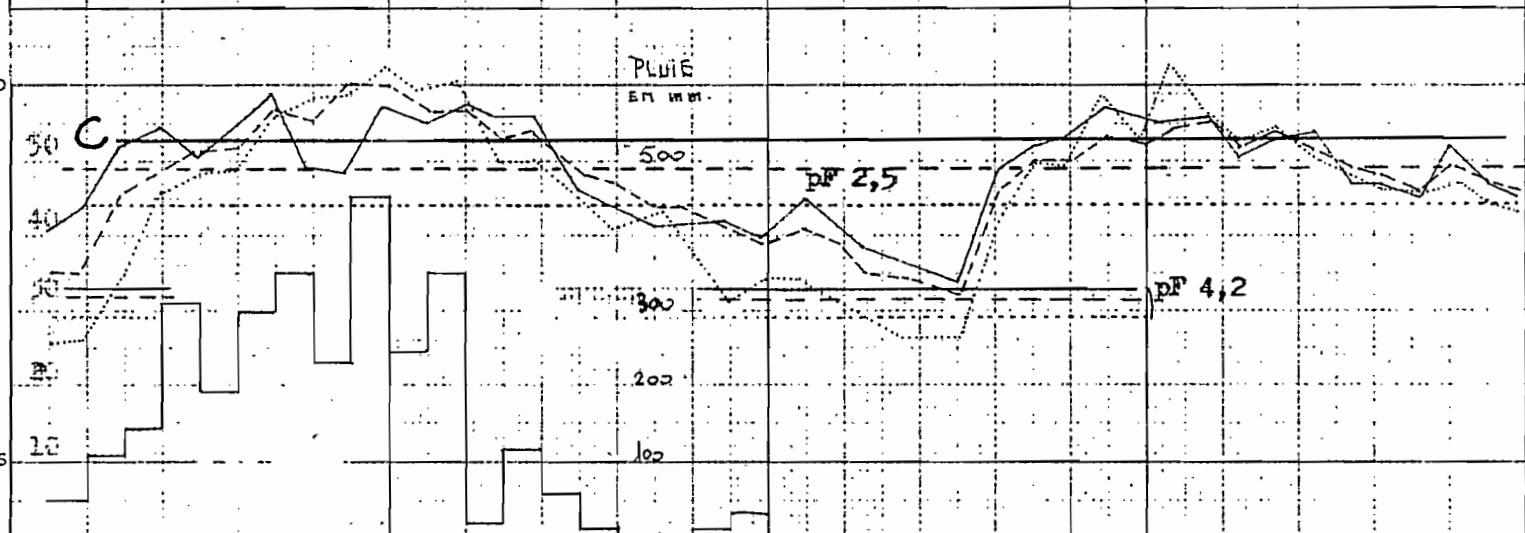
Parfiles hidricos de la estacion de ~~El Estero~~

.....	20	40	du
.....	40	60	du



Varadero la plus splendide de la rive
norte (la mas alejado del rio)

Remise en état p. 100
de terre sèche 100
105
(avec p. 100 et 100
105)



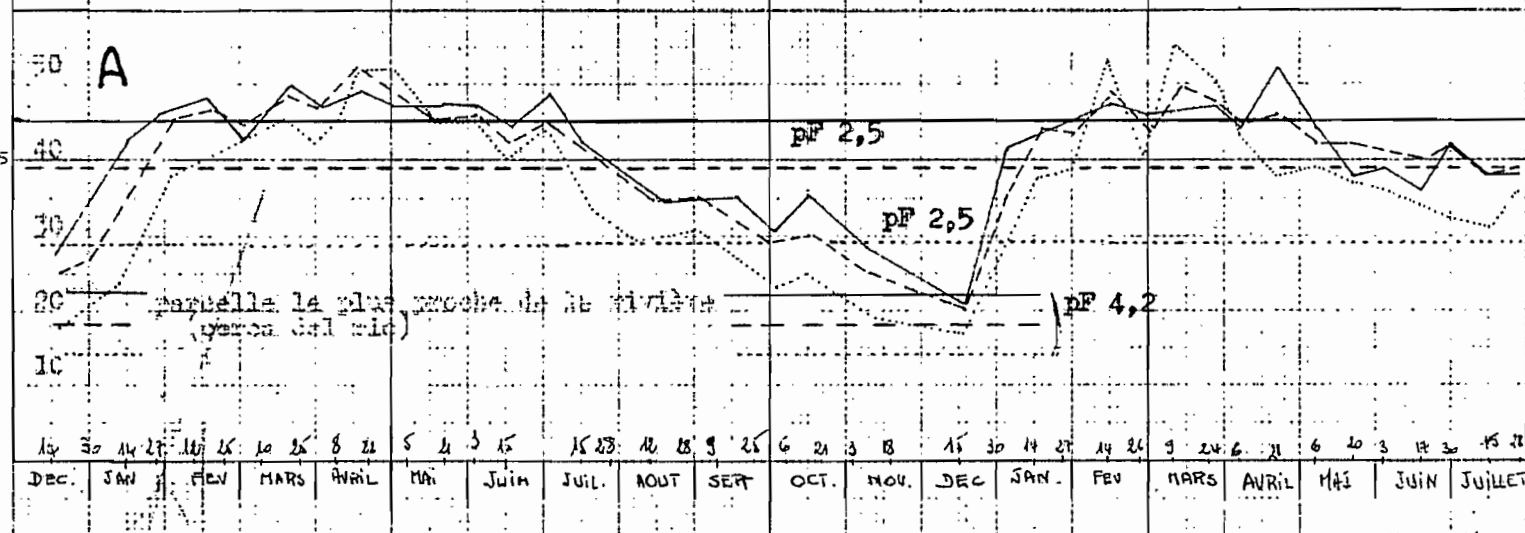
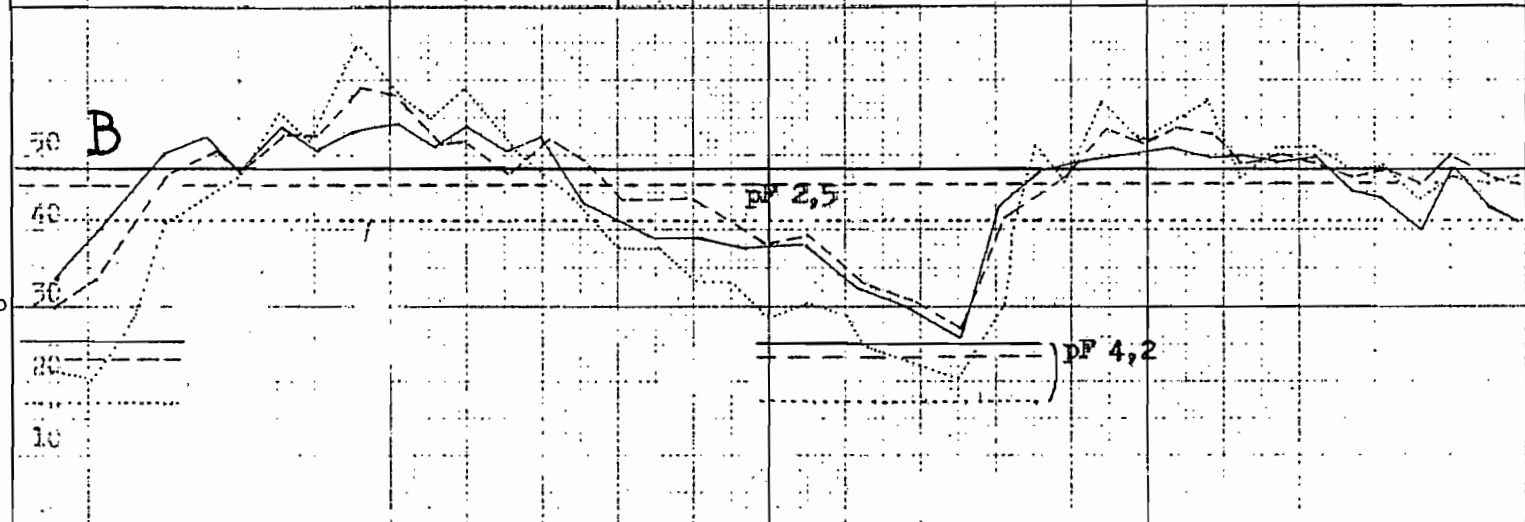
PLUIE
EN MM

5.02

1202

202

102



partelle la plus proche de la rivière
(vers le sud)

14	30	14	27	16	28	10	26	8	21	5	17	3	15	18	23	12	25	9	20	6	21	3	13	15	30	14	27	14	26	9	24	6	21	6	20	3	14	30	15	28
DEC.	JAN.	FEB.	MARS	AVRIL	Mai	Juin	JUIL.	AOUT	SEPT	OCT.	NOV.	DEC.	JAN.	FEB.	MARS	AVRIL	Mai	Juin	JUIL.																					

DEC.	JAN.	FEB.	MARS	AVRIL	MAI	JUIN	JUIL.	AOUT	SEPT	OCT.	NOV.	DEC.	JAN.	FEB.	MARS	AVRIL	MAI	JUIN	JUILLET
------	------	------	------	-------	-----	------	-------	------	------	------	------	------	------	------	------	-------	-----	------	---------

PROFILS HYDRIQUES des alluvions de la Station IFEIA de PICHILINGUE
à différentes distances de la rivière

PERFILES HIDRICOS de las aluviones de la Estación IFEIA a diferentes
distancias del río

Pres de la rivière

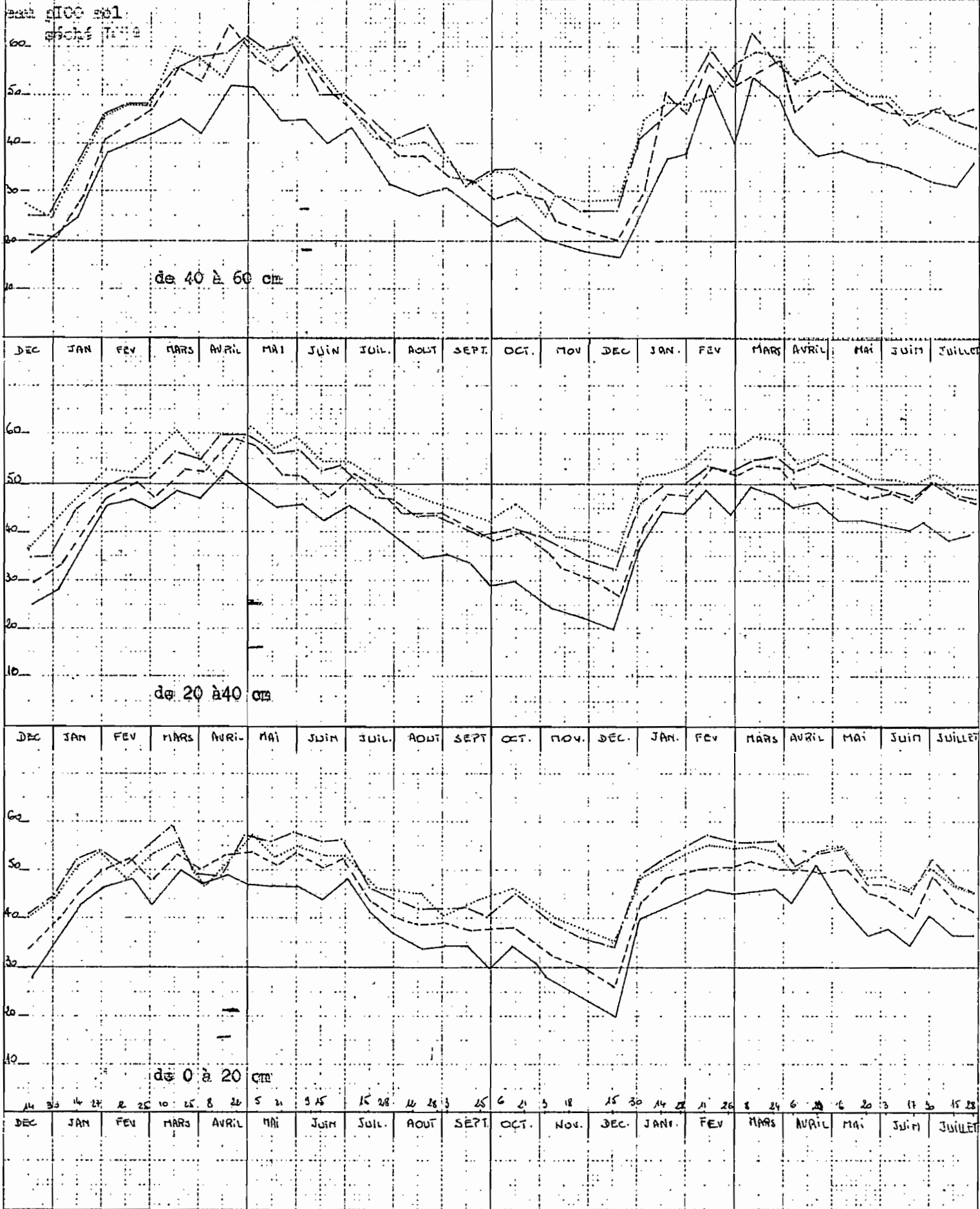
— A — Cercos del río

— C

— B —

— D

le plus éloigné de la rivière
le más alejado del río



L'orientation économique actuelle de la culture de la banane en Equateur, réside davantage dans une politique de qualité et de prix de revient que dans une politique de quantité, l'offre dépassant de beaucoup la demande et une large partie de la production restant invendue.

Devant la concurrence d'autres pays mieux favorisés par la distance aux pays consommateurs, le maintien et l'extension des ventes nécessitent la présentation de produits concurrentiels de bonne qualité.

Il semble nécessaire de prévoir :

- 1^o/ une intensification de la culture dans les zones les plus propices par le coût et la qualité, grâce à des méthodes culturales plus soignées, la fertilisation avec les éléments nécessaires et éventuellement l'irrigation.
- 2^o/ une extension de la culture dans les zones propices par leur sol, leur climat et les distances aux ports d'embarquement, mais encore peu cultivés par suite de voies d'accès défectueuses ou d'aménagements insuffisants (irrigation, drainage).
- 3^o/ une reconversion vers d'autres cultures des zones marginales (coût trop élevé ou qualité médiocre).

Une carte des sols en indiquant les surfaces et la qualité des sols, leur potentialité, les besoins approximatifs en engrais actuellement et ultérieurement, permet le calcul des investissements nécessaires (routes, ponts, aménagements hydrauliques), des services (crédits ...), et de leur rentabilité. Il est ainsi possible de faire un choix entre différentes solutions pour chaque région (cultures intensives, extensives, reconversion).

Si la connaissance détaillée des principaux types de sol, et ce fut le but de ce rapport, reste le fondement de toute expérimentation, en particulier sur les techniques de fertilisation et d'irrigation, la carte permet le choix des emplacements d'essais les plus représentatifs et l'extrapolation rationnelle des résultats là où elle est valable. La carte peut guider aussi les météorologistes et hydrologues dans le choix des postes d'observation pour qu'il soit possible de disposer de ces résultats très longs à obtenir aux endroits où ils seront utiles.

Pour chaque région, la carte des sols dans sa conception doit être adaptée aux objectifs recherchés. Plusieurs stades successifs peuvent être envisagés. La cartographie des zones d'extension et de reconversion ne requiert pas la même précision que celle des zones à irriguer par de coûteux investissements.

Dans ces dernières régions, la couverture photographique aérienne au 1/20.000 et l'établissement de cartes topographiques au 1/20.000 ou 1/50.000 (ou échelles voisines) paraissent une nécessité première. Or dans la plupart des régions bananières on ne dispose encore ni des photos, ni de carte. Dans les zones de reconversion, ou de reconnaissance en vue d'une extension éventuelle, des photographies aériennes

au 1/50.000 pourraient convenir dans un premier stade.

+++

A défaut de cartes et de photos, il n'a pas été jusqu'ici possible d'établir un programme de travail. Nous avons indiqué les zones où la couverture aérienne semble la plus utile. Le ciel constamment nuageux une grande partie de l'année et en particulier durant toute la saison sèche, ne permet pas de compter avec certitude sur des clichés dont l'obtention reste problématique et le coût difficile à chiffrer (immobilisation des avions au sol).

+++

Une étude agronomique préliminaire des zones irrigables du projet de La Māna a pu cependant être réalisée par MM. CUCALON et SOTOMAYOR en 1964-65. Une carte, schématique par suite de l'absence de fonds de plan précis, indique la répartition des principaux types de sols : sols allophaniques, sols à allophane de transition, sols alluviaux, sols hydromorphes argileux.

L'examen stéréoscopiques de photos au 1/20.000 aurait permis de dresser une carte très précise des divers sols. La distinction des sols de transition sur les plateaux et des sols argileux à halloysite sur les versants est généralement très nette dans certaines régions.

- AUBERT G.- Classification des sols - Cahiers ORSTOM - Cahiers de Pédologie 1962,3,1-
- BRAMAO et SIMONSON R.- Rubrozem a proposed great soil group 1956-VI, Congrès Science du sol -
- CHAMPION J.- Las bananeras en el Ecuador-Les bananeraies en Equateur, 1959, ANBE-IFAC 51 p.
- COLMET DAAGE F.- Etudes préliminaires des sols des régions bananières d'Equateur FRUITS Vol. 17 N 1, 1962 -
- " " et CUCALON F.- Caractéristiques hydriques de certains sols des régions bananières d'Equateur FRUITS Vol. 20 N 1, 1965 -
- " " et équipe carte des sols - Caractéristiques de quelques groupes de sols dérivés de roches volcaniques aux Antilles Françaises - Cahiers ORSTOM Pédologie 1965 - 2.
- DABIN - Etude de quelques formes de phosphore dans quelques sols des Antilles - Cahiers Pédologie ORSTOM, T II, N°2, 1964 -
- ELLIS B.G et MORTLAND M.M- Heat of desorption of ammonia and simple organic materials from bentonites. Proc. Sc. Soc. Amér. 27,1,21-25, 1963 -
- FISCHER R.- Données des principales espèces minérales 1955. 680 p -
- FREI E.- Informe al gobierno del Ecuador sobre reconocimientos edafológicos exploratorios - Informe FAO N° 585 - Roma 1957 - 35 p. (ronéo)
- FRIPIAT J.J et collaborateurs - L'altération des roches et la formation des sols au Kivu - INEAC N° 97 - 1962 -
- GRIM R.E - Clay mineralogy Mc. Graw Hill, London, 1953, 384 p.
- d'HOORE - Classification des sols inter-tropicaux d'Afrique CCTA-CSA N°II Lovanium
- KYUMA K. et KAWAGUCHI K. Oxidative changes of polyphénols as influenced by allophane Proc. Soil Sc. Soc. Amér. 1964 28,371-74 -
- KELLER W.D - Abalcime in the popo Agie member of Chugwater formation. Jour. Of sedimentary Petrology, N°22, 1952, p.71-82 -
- MILLER E.V - Ecuadorean soils and some of their fertility properties - Thesis Ithaca Cornell University College of Agriculture - 1948 - 316 p. ronéo - (Etudes en pots avec raygras et trèfle)
- MILLOT G.- Géologie des Argile - Masson -
- de MUMBRUN L.E et CHESTERS G.- Isolation and caractérisation of some soil allophanes Soil Sc. Proc. Amér. Vol.28, N° 3, 1964, 355-9 -
- OADES J.M et TOWNSEND W.N - The use of Pipéridine as an aid to clay mineral identification 1962 - Adélaïde - South Australia -
- PENA HERRERA J.- Estudio de suelos de las zonas trigueras del Ecuador y su fertilidad Boletín informativo Facultad agronomica, QUITO, 1963, Vol. I, N° 2 -
- VASCONEZ HERERA C.- Variaciones de la pluvalidad en la region occidental del Ecuador 1964, Direccion National del Banano, ECUADOR -
- " " Grupos de suelos del Ecuador, Nomenclatura comparativa entre MILLER 1962, FREI 1956 y sistema US 1956 -
- YOSHINAGA N. et AOMINE S.- Clays minerals of some well drained volcanic ash soils in Japan, 1955 - Soil Science - 79, 349-358 -
- " " Allophane in some ando soils, 1961, Soil Science and plant Nutrition, vol 8, N° 2, 1962 -
- USDA - Soils survey staff. Soil classification. A comprehensive system. 7 Th approximation, 1960, 265 p.
- Cartes : Mapa preliminar de las zonas bananeras 1/500.000 C.Herera Vasconez 1963
 Mapa de la Republica del Ecuador 1/1.000.000 Madrid Aguilar 1958
 Mapa de la zona de Machala D.N.B.

SELECTION DE PROFILS
CONCERNANT
LES PRINCIPAUX TYPES DE SOLS

comportant:

Régions

- a) - Place dans la classification française: Classes - sous classes - ...
- b) - Classification utilisée dans l'article
- c) - Classification 7ème approximation USDA - tentative
- d) - Classification du Dr. Erwin FREI - 1956 - FAO

2.

Versant amazonien

b - SOLS FORTEMENT ALLOPHANQUES SANS DESSECHEMENT TEMPORAIRE

c - HYDRANDEPTS ET OXYHYDRANDEPTS

d - Hydrol humic latosols (des îles Hawaï)

E 115 : SOL FORTEMENT ALLOPHANIQUE (OXY-HYDRANDEPT) (Versant Amazonien PUYO)

PAYS : EQUATEUR

REGION : PUYO NAPO ORIENT

PROFIL N° 115

Altitude : 950 m environ

DATE : Fin Déc. 63

Roche Mère : Cendre volcanique - dépôts anciens

Pluviométrie : très humide, pluies constantes, (4 à 5 m par an) régulièrement toute l'année, nuages

Modelé local : presque plat à l'endroit du profil, mais étroit plateau en sommet de colline, rebord de forte pente

Drainage externe : rapide

Végétation et cultures : forêt avec nombreux palmiers - En grande partie défrichée, pâturages plantés, cultures vivrières.

Lieu et paysage : région ondulée, collines peu élevées, en fortes pentes -

Km 18 - route PUYO-NAPO. Au sommet d'une colline, sommet en arrête de 10 à 20 m de large, avec pentes raides; quelques cultures de maïs entre les vieilles souches. Bon drainage en profondeur. Pas de nappes. Tranchée : jusqu'à 60 cm puis sondage

0 - 15 - très noir, très humifère, spongieux, savonneux entre les doigts, 10 YR 3/1, petites mottes peu cohérentes, s'effritant en agrégats, grumeleux, cohésion due à la matière organique, Beaucoup de racines.

15 - 80 - plus clair, beige; 10 YR 4/2 ; encore bien humifère ; très savonneux ; gels ; plastique, pas collant, cohésion faible, pas de structure d'ensemble, quelques pores, très humide, s'écrase bien entre les doigts.

80 - 90 - Transition ; plus clair.

90 - 180 - jaune vif, 10 YR 6/8, très savonneux entre les doigts, s'effrite en pseudosable et petits agrégats, très peu de minéraux visibles ou très fins, pas de structure d'ensemble, cohésion faible due aux gels, perméable, léger, très humide.

A 50 mètres Dans le talus de la route, on voit l'allophe jaune clair, très savonneux, très léger, avec beaucoup de petits pores, peu de minéraux visibles. Echantillon III vers 2 m de profondeur (humidité naturelle 260 - T frais : 80 mg par g)

microconcretions : gibbsite

Plus en profondeur on remarque des petites concrétions blanc-neige, peu dures, en lamelles de formes irrégulières (gibbsite pure). Concrétions de 2 à 4 mm, parfois en petites baguettes dans les anciens trous de racines

Echantillons 116, vers 4 m de profondeur (humidité naturelle 286 - T frais 80mg)

On a extrait de cet échantillon quelques petites micro-concrétions qui ont été examinées aux rayons X et ATD

Ech.	Profondeur en cms	Horizons	Humidité naturelle %	Sables % [*] 50-200µ	200-2000µ	N mg p.100g	Total P ₂₀₅ mg %	Truog mg %
a	0 - 15	A ₁	263	8.6	0.6	1120	154	0.3
b	20 - 40	A ₁	219	11.5	0.7	532	83	traces
c	50 - 80	B ₁	251	11.6	1.5	-	-	0.1
d	90 - 120	B ₂	296	6.5	0.7	285	73	0.1
e	150 - 180	B ₂	278	3	0.6	199	24	0.1
N°	Bases échangeables mé.p.100 g. sol				T échantillon séché air.	V %	T sur échantillon frais 100% sec. étuvé	pH 1/2,5 eau
	Ca	Mg	K	Na	S			
a	1.65	0.60	0.25	0.23	2.73	45	76	4.5
b	1.20	0.15	0.08	0.16	1.59	33	56	5.2
c	2.40	0.30	0.08	0.24	3.02	-	69	5.7
d	5.85	0.75	0.13	0.46	7.19	29	72	5.8
e						29	64	5.6
N°	pH 4,2 Frais sec			pH 2,8 Frais sec			pH 2,8 - 4,2 Frais sec	
			Diff			Diff		
a	169	52.5	115	214	63.8	149	45	11.2
b	148	36.1	112	192	47	145	43.5	10.9
c	170	35.2	134	228	41.8	186	57.7	6.6
d	192	33.2	159	255	36.2	219	63.5	3
e	178	36.6	141	231	36.8	195	53.3	0.2
114	236			242	30.6	211	5.7	
116	188			222	37.1	185		

(à flouer)
dans du
ruban)

* Sables
après lav-
ages aux
acides et
à la soude

PAYS: EQUATEUR

REGION: PUYO-ORIENT

PROFIL N° II7

Altitude: 900 m

DATE: Fin Déc. 63

Roche Mère: Cendre andésitique, dépôts anciens

Pluviométrie: Très humide, voisine: 5 m - très constant au cours de l'année.

Modelé local: presque plat à légèrement ondulé, non loin d'une petite ravine.

Drainage externe: modéré

Végétation et cultures: Forêt récemment défrichée dont on voit encore les souches et les troncs par terre

Lieu et paysage: A environ 8 Km au Sud de PUYO vers VERA CRUZ. Sur une petite butte - à mi-pente - près du sommet - bien drainé - pente de 10 % - Forêt vierge avec nombreux palmiers venant d'être défrichée et pas encore cultivée ni brûlée - Arbres abattus - Sur les collines voisines : canne à sucre et pâturages.

0-15 - Très noir - terreau - presque tourbeux - spongieux - très humide - s'effrite en terreau beaucoup de racines - Humidité = 272 - N = 1036.

15-70 - Limon savonneux - faible cohérence due aux gels - s'écrase entre les doigts - très léger - plastique pas collant - Beige foncé - encore humifère - 10 YR 4/3 à 4/2 - poreux, perméable - Structure d'ensemble massive - petits blocs peu durs - légèrement anguleux - Humidité = 226 - N = 580.

70-130 - Plus jaune, mais encore un peu beige - plus friable - s'effrite en petits agrégats arrondis et davantage que l'horizon supérieur - moins cohérent - très léger - 10 YR 5/6 Humidité = 268.

130-180 - Plus clair - 10 YR 6/6 tirant vers les 2,5 Y - quelques noyaux paraissant plus argileux - légèrement collant, mais des parties semblent bien allophanisées.

Echantil- lon N°	Profond- eur cms	Hori- zon	Humid. nat %	Argile %	Limon %	Sables %	50-200	200-2000	Ma.Or. x172 z	C g %	N mg %	C/N
a	0-15	A	272				10,5	2			1036	
b	20-40	B ₁	226								580	
c	80-100	B ₂	268									
d	150-170											

No	Bases Ca	échangeables Mg	mé.p.100 K	Na	g.sol S	T éch. p. 100 an	V %	T frais % étuve	pH ₂₀ total mg %	pH ₂₀ trug mg %		pH _{1/2} eau
a	1,80	0,60	0,44	0,23	3,07	45	6,5	82		< 0,1		4,3
b	1,65	1,80	0,11	0,13	3,69	31	11		108	< 0,1		4,8 5,1
c	5,75	1,00	0,71	0,28	7,72	33	23			< 0,1		
d										< 0,1		

No	Densité A	R	Porosité Pt	mp	pF 4,2 frais	sec	Dif	pF 2,8 frais	sec	Dif	pF 2,8-4,2 frais	sec	
a					169,9	60,1	109,8	222,6	73	149,6	52,7	12,9	
b					193,8	37,6	156,2	241,3	38	203,3	47,5	0,4	

Type de sol: Allophanes à humidité constante sans dessèchement temporaire
II7 c = argile et ATB

Versant Amazonien:

a - b - SOLS FERRALITIQUES FRIABLES HUMIFERES

c - OXISOLS

d - Porous humic latosols (E Frei)

PAYS: EQUATEUR

REGION: NAPO ORIENT

PROFIL N° II2

Roche Mère: probablement altération sur colluvions.

DATE: fin déc. 63

Pluviométrie: (tena) 4,5m.

Altitude: 200 m environ

LIEU: de PUYO à NAPO au km 66 environ. à 8 ou 9 km du rio NAPO. Grande forêt. Région accidentée, collines aux pentes raides. Nombreux palmiers. Talus fraîchement creusé, pente de 15 à 20% pas très loin du sommet, bien drainé.

0-3 Débris organiques peu décomposés mêlés à un sol très humifère gris noir grumeleux entre les débris organiques.

30-40 Beige-jaune 10 YR 5/4 à 5/6 paraissant peu humifère. Limono argileux peu collant, s'effritte bien, plastique entre les doigts, mottes déjà bien anguleuses, faces un peu luisantes, pas de structure d'ensemble, massive, pores de 1 mm assez nombreux bien humide, quelques racines.

40-150 jaune à beige jaune, légèrement plus rougeâtre en profondeur. 10 YR 5/8 puis 7,5 YR 5/8 argilo limoneux, peu de pores, structure massive, plastique, légèrement collant (très humide), faces anguleuses, aspect terne, se pénètre à l'outil, peu de minéraux visibles.

Rares blocs de roches vertes isolés vers 130 cm.

Echantillon No:	Profondeur en cms	Humidité naturelle à 100°C	Argile %	Limon %	Sables %			M.O. C x 1,72	C g %	N mg %	C / N
					20-50	50-200	200-2000 (+2000)				
a	0 - 15	56 %						9	5,24		
b	25- 40	38 %	39	14,5	14	27,5	0,9(3)	4	2,32		
c	60- 80	52 %	58,5	11	2,5	14,5	7,3(1,2)				
d	130.	46									

Echant. No:	Bases échangeables mé p.100 gr				S	T	V %		P205 total mg %	P205 truoog mg %	pH K Cl	pH eau
	Ca	Mg	K	Na								
a	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,2	-	-
b	1.65	0.60	0.04	0,28	2,6	13	20		15		3,8	4,7
c	2.10	0.60	0.04	0,15	3,3	19	17			0,2	3,7	5
d	-	-	-	-						0,1		

TYPE DE SOL :

Plaine bananière - Santo Domingo à Quinindé

a - SOLS PEU EVOLUES - D'ORIGINE NON CLIMATIQUE - D'APPORTS AERIENS

b - SOLS FAIBLEMENT ALLOPHANIQUES reposant sur des sols FORTEMENT ALLOPHANIQUES

(UMBRANDEPTS - sur - HYDRANDEPTS

(C/N = 10

c - (ou

(ENTIC-HYDRANDEPTS - sur - HYDRANDEPTS

d - Humic latosolic régosols (E. FREI)

PAYS : EQUATEUR

REGION : SAO DOMINGO vers Quinindé

PROFIL N° 53

Altitude : environ 500 m

DATE : Nov. 1963

Roche Mère : Dépôts aériens de cendres volcaniques

Pluviométrie : Sao Domingo - mensuel=476-485-569-462-342-174-121-53-118-93-66-172 = 3131

14 ans -jours pluie = 27 26 27 26 26 20 16 15 19 21 18 23 = 264

sans doute un peu moins humide ici.

Température : voisin 24° -Modelé local : Sur une petite butte - en début de très légère pente - pente plus forte à 30 m donc bon drainage en profondeur -Végétation et cultures : Dans une bananeraie de 10 ans - moyennement productrice - faible densité de plantation - Docteur Aramillo 300 régimes de 35 Kg par an.Lieu et paysage : Au Km 16, à 2 km à gauche - Carrefour de la route de Quito au Km 10 - vers Quinindé, on longe la rivière Touchi sur la droite à 300 m environ. Plateau ondulé - micro-ondulations - le plateau est à au moins 100 m au-dessus de la rivière - Une terrasse basse plus sableuse borde la rivière - les sols seraient moins productifs -

(Les conditions commerciales sont difficiles par l'éloignement des ports d'embarquement - 200 Km d'Esméralda - 300 Km de Guayaquil - Il en coûte 5 sucres par régimes sur 21 sucres de vente - On n'emploie jamais d'engrais).

PROFIL -

I - 0-10 - Humifère - beaucoup de racines dans les 2 premiers cms - véritable chevelu - grumeleux - terrau - petites mottes très cohérentes arrondies - sable rendu cohérent par la matière organique - H = 39 - C = 6,7 - MO = 11,5 -

10-15 - Beige - plus cohérent - forte macroporosité - avec digitation de l'horizon supérieur -

15-40 - Structure fondue - beige clair 2,5 Y 5/4 - poreux - limoneux, peu savonneux, mais un peu cohérent - on peut tailler un cube au couteau - s'écrase bien - en devenant plus foncé - tendance pseudosable plutôt que particulière. Beaucoup de petits pores - certains de 1 m.
H = 39 - C = 2,07 - MO = 3,96 -

35-50 - Quelques petites taches de cendre peu altérée grise beige - un peu plus jaune dans l'ensemble -

II - 50-90 - Très foncé - transition très nette et horizontale autour de la tranchée - Beaucoup de petits pores - couleur 10 YR 3/2 frais et humide - sable fin humifère - un peu savonneux - devenant très foncé écrasé - H = 48 - C = 1,70 - MO = 2,92 -

90-140 - Beige clair - 2,5 Y 5/2 frais et 4/2 humide - allophanisé - s'écrase bien mais on sent les sables fins - assez sableux dans l'ensemble - par endroit, on voit vraiment la cendre grise peu altérée - Vers 110 cm, on a trouvé des poteries, dont un grand morceau (Echant. d pour sables + 105-110 cms et f vers 150 cms) -

III - 140-170 - Brun très foncé - 10 YR 4/2 frais et 3/2 humide - s'écrase entre les doigts - assez bien - un peu allophanisé - assez sableux, mais davantage pseudosable qu'au-dessus - poreux -
H = 62 - C = 1,67 - MO = 2,87 -

170-300 - Allophane jaune très clair - 2,5 Y 7/8 frais et nettement brun foncé - mouillé 10 YR 5/ change fortement de couleur - sec presque blanc - pseudosable très friable - bien savonneux - allophane caractéristique -

250-300 - H = 134 - C = 1,23 - MO = 2,11

300-350 - Beige plus clair - se taille au couteau - savonneux - paraît humide -

Echantillon	Profondeur	Humid. nat %	Argile %	Limon %	20 50	Sables % 50 200 300	M.O. g %	C g %	N mg %	C/N
53 a	0-10	39				36* 10*	11,5	6,7	420	15
b	20-40	53				32* 5*	3,56	2,07	203	10
c	70-90	48				38* 9*	2,92	1,70	135	12
e	140-150	62	14	26	14	30 6	2,87	1,67	133	12
g	190-230					23* 10*	2,28	1,33		
h	250-300	134				14* 2*	2,11	1,23		

* extraction après HCl bouillant et rinde concentrée

Echant. N°	Bases échangeables mé				S	T	V %	p ²⁰⁵ total mg %	p ²⁰⁵ truog mg %		pH
	Ca	Mg	K	Na							
53 a	6,75	0,60	0,18	0,11	7,64	24.7	31	147	2,2		5,6
b	1,20	0,45	0,07	0,11	1,83	18.	10	117	0,2		5,6
c	0,90	0,45	0,03	0,11	1,49	17.2	9.	97	0,9		5,9
e	1,65	0,30	0,06	0,13	2,14	21.7	10	87	0,4		6,2
g	1,50	0,30	0,08	0,16	2,00	27.7	7.		0,2		-
h	3,15	0,30	0,05	0,16	3,66	34.	11				6,3

N°	Densité		Porosité		pF 4,2			pF 2,8			pF 2,8-4,2		
	A	R	Pt	mp	frais	sec	Dif	frais	sec	Dif	frais	sec	Dif
a					21,5	19,8	1,7	32,4	31,6	0,8	10,9	11,8	
b					30,2	13,8	16,4	54,5	-	-	24,3	-	
c					26	13,3	12,7	45,3	27,3	18,0	19,3	14	
e					30,1	17,4	12,7	49,2	33,8	15,4	19,1	16,4	
g					56,6	21,8	34,8	74	28	46	17,4	6,2	
h					92,7	27,1	65,6	129	50,6	78,4	36,2	23,5	

		>50µm Terre	ML ST	Opaq. % M.L.	% minéraux lourds transpar.						ML ST	% minéraux légers				
					Hyp. testine	Argile	Hornblende Vnt	Bz	Epid. Zois	Div.		Quartz	Andes -ine	felds Alty	Sapide	Zéol.
a	moy. à gros	45,8	25	12	8		70		12	10		17	62	19		2
b		36,6	18	12	14		64	4	12	6		27	38	27		8
c	grossier	43,6	26	0	16	2	76	6		8		2	50	40	5	3
e		35,5	21	0	8	8	72	2	6	4		19	43	35		3
g	grossier	32,8	29	12	20	2	64	2		12		20	50	26		4

BUREAU des SOLS des ANTILLES O.R.S.T.O.M.

PAYS: EQUATEUR REGION: SAO DOMINGO
 Altitude: 300 à 400 m
 Roche Mère: Dépôts aériens de cendres volcaniques

PROFIL N° 54
 DATE: Nov. 1963

Pluviométrie: Sans doute voisin de 3 m. surtout de Janvier à Mai - saison sèche avec quelques pluies, mais peu ensoleillée - Tranchée à I M et sondage.

Modelé local: Accidenté par place - Ondulé - Profil sur une bosse, donc bien drainé.

Drainage externe:

Végétation et cultures: Forêt naturelle, très riche en grands palmiers - dans un abattis récent - vient d'être brûlé, mais il n'a pas plu depuis le feu.

Lieu et paysage: Route Sao Domingo Quindé - au Km 31 - Institut de Colonisation Hacienda Furukawa - pour Ramie Japonaise, sisal et abaca (bananier à fibre) 250 Ha à planter prochainement - firme japonaise -

I - 0-10 - Humifère - beaucoup de racines - chevelus en surface - grumelleux - peu cohérent - brun foncé - 10 YR 4/2 sec et 2/2 humide - H = 44 - C = 4,76 - MO = 8,2 -

10-50 - Beige jaune - limoneux - 2,5 Y 6/6 plus sombre humide 10 YR 5/4 - limon très poreux - légèrement cohérent - se taillant au couteau - un peu allophanisé - limon et sable fin - paraît un peu plus sablaux en profondeur - H = 50 - C = 2,01 - MO = 3,5 -

II - 50-70 - Horizon plus foncé - 10 YR 3/2 frais et humide - nettement humifère - plus friable - sable limoneux humifère - H = 54 - C = 1,84 - MO = 3,16 -

70-120 - Sable très fin beige clair -

III - 120 - Horizon très humifère - très foncé 10 YR 3/2 - frais plus foncé humide -

140 - friable - sable très fin - humifère -

140-300 - Allophane jaune clair très friable - s'émiettant en pseudosable fin - s'écrase bien entre les doigts - peu de minéraux visibles - quelques petits minéraux noirs - devient plus foncé écrasé ou mouillé -

140-200 - H = 150 - C = - MO =

200-260 - H = 185 - C = 1,22 - MO = 2,1

260-270 - H = 177

Dans un talus frais : allophane jaune, bien friable, avec petits noyaux un peu plus bruns, plus cohérents (identique Bassignac - Martinique) -

Même profil -

*tamisage apres attaque HCl bouillant et reprise à la soude concentrée.

Echantil- lon N°	Profond- eur cms	Hori- zon	Humid. nat %	Argile %	Limon %	Sables 20 50 200	Ma.Or. C x 172 z	C g %	N mg %	C/N
54 a	0-10	IA	44				8,2	4,76	455	10,5
b	20-40	B.	50?	10?	39?	10?	3,5	2,01	207	10
c	50-60	IIA	54	6?	20?	6?	3,16	1,84	165	11
e	140-200	III B	150	mauvaise disper.			-	-	-	-
f	200-260	B	185				2,1	1,22		

No	Bases échangeables mé.p.100				G.sol S	T sec	V %	K total me %	P2O5 total Mg %	P2O5 truog Mg %		pH 1/ eau
	Ca	Mg	K	Na								
54 a	7,50	0,60	0,51	0,15	8,76	242	36	1,4	132	1,8		5,3
b	1,35	0,45	0,11	0,11	2,02	18.2	11	1,4	92	0,4		5,4
c	0,90	0,45	0,04	0,17	1,56	20.5	7.6		84	0,2		5,8
e										0,2		6,2
f	4,35	0,45	0,56	0,23	5,6	42.5	13			0,2		6,6

No	Densité		Porosité		pF = 4,2			pF = 2,8			pF = 2,8-4,2	
	A	R	Pt	mp	frais	sec	Bif	frais	sec	Dif	frais	sec
a					30,9	23,8	7,1	46,5	36,5	10	15,6	12,7
b					27,1	14,7	12,4	51,3	32,5	18,8	24,2	17,8
c					-	16,2	-	-	33,5	-	-	17,3
e	0,37				96,9	30,4	66,5	132	37,6	94,4	35,3	7,2
f	eau 167				132	37,1	94,9	174	43,7	130	42	6,6

Type de sol:

PAYS: EQUATEUR

REGION: SAO DOMINGO vers QUININDE

PROFIL N° E 63

Altitude: 230 m

DATE: Nov. 63

Roche Mère: Dépôts aériens de cendres volcaniques -

Pluviométrie: Hazienda Amançay - 3,5 à 4 m.

Modelé local: Zone assez moutonnée - mais ici plutôt en sorbet - sur une pente légère - bien drainé en profondeur par écoulement vertical et oblique -

Drainage externe:

Végétation et cultures: Bananeraie de petit planteur (18 Ha) - défrichée depuis 14 ans - jamais d'engrais - quelques arbres abattus récemment -

Lieu et paysage: de SAO DOMINGO vers QUININDE au Km 49 - Région de petites plantations - Hacienda SAN GREGORIO -

- I 0 - 5 Très humifère sur 5 cms seulement - 10 YR 3/2 - très foncé humide 2/2 - absorbe difficilement l'eau - se mouille mal - feutrage très dense de racines sur 2 cms - grumeleux - très friable - matériau sableux humifère -
- 5 - 65 Beige 2,5 Y 5/4 assez foncé et plus foncé mouillé 4/2 - S'effrite en pseudo-sable mais le limon et le sable fin sont nettement sensibles - un peu cohérent - se taille au couteau - beaucoup de petits pores -
- (0 - 20 Humidité = 55 - C = 6,35 - MO = 10,92 -
20 - 40 Humidité = 52 - C = 2,40 - MO = 4,13 -
- 65 - 80 Beige très clair 2,5 Y 8/4 - blanchâtre frais et humide - cendre très fine peu altérée - avec infiltrations de l'horizon supérieur mais parfois en bancs de 10 cms d'épaisseur - quelques poteries - Beaucoup de racines - (c = éch.)
- II 80-II10 Horizon plus foncé 10 YR 3/3 brun très sombre et humide 2/2 - limoneux et sable fin très humifère, sans structure - poteries abondantes juste au-dessus de cet horizon - nombreuses racines -
- I10-340 Jaune - 10 YR 6/6 - et plus sombre humide 4/4 - pseudo-sable - paraît un peu plus humide vers 320 cms - En profondeur très jaune 10 YR 6/8 frais et 5/6 humide -
Humidité = 175 - MO = 2,5 à 2 -

PLANTATION DE PALMIERS A HUILE DU Km 64 -

Prélèvement de densité apparente dans l'allophane jaune vers 2 m de profondeur dans le talus près de l'usine :

Densité apparente = 0,34 - Eau I76bis - 0,31 - Eau I93 -

Les palmiers sont plantés à 9m x 9m - Ils reçoivent 900 gr par pied de sulfate de potasse depuis 2 ans - Certains régimes pèsent 75 Kg - Rendement moyen : 1 à 2 T d'huile (mauvaises variétés et trop écartés) -

STATION INIAP - Essais en 1ère année d'arachides (sélection Bambey) Ricin, Soja -

Echantil- lon N°	Profond- eur cms	Hori- zon	Humid. nat. % sec	Argile %	Limon %	Sables % 20-50 50-200 200-2000	Na.Or. x172 Z	C g %	N mg %	C/N
E63 a	0 - 20		55			22.6*	10,92	6,35	480	13,3
b	20 - 40		52			16.5*	4,13	2,40	248	10
d	140 - 175		135			14*	2,51	1,46	123	12
e	220 - 250		176			8*	2,17	1,26	116	10
f	260 - 300		180			7	2,00	1,15	91	12
Sables extraits à acide et soude concentrés										
No	Bases échangeables mé.p.100				g.sol	T	V %	P ₂ O ₅ mg %		pH 1/2.5
	Ca	Mg	K	Na	S	Sec. Frais		Total	Truog	
a	12,00	0,60	0,25	0,13	13	29	49	138	0,9	6
b	1,95	1,00	0,09	0,13	3,17	17	19	124	0,2	5,7
c(m)	3,00	0,45	0,11	0,18	3,74	-	-	157	0,2	6,6
d	4,50	0,45	0,15	0,21	5,31	32	17		0,6	6,8
e	3,45	0,15	0,10	0,18	3,9	27:54	14		0,2	6,8
f	4,20	0,15	0,10	0,16	4,61	36	12		0,2	6,6
No	Densité		Porosité		Eau	pF 4,2	Dif.	pF 2,8	Dif.	pF 2,8-4,2
	A	R	Pt	mp		Frais	sec	Frais	sec	frais
a						44,7	32,8	57,4	42,5	12,7
c(m)	0,55				70	70	11,9	42,5	14,9	9,7
d						101	32,8	128	38,9	27,3
e	0,34	2,19	84	50		115	35,2	148	39,6	32,8
g						127	30,2	153	33	25,5

Type de sol:

		<u>ME</u> <u>ST</u> %	% min. lourds transpar.						% minéraux légers				
			Opaq	Hypers -thène	Hornblend Vert	Bzu nne	Aug- -ite	Epil. -ote	<u>ME</u> <u>ST</u>	Quartz	Felds Cal. Sod.	Dimensions	Zéolites
63 c	65-80	8,4	I6	I4	80			6	91,6	I00	0,4 à 0,65 mm	non	
e	220-250	5,3	I2	I6	77	7			94,7	I00	0	0,2 à 0,3 mm	déterminée

du Versant Pacifique - Zone Nord de Santo-Domingo à Quindé

PAYS: EQUATEUR

REGION: QUININDE

PROFIL N° E 62

Altitude: 250 m environ Température : 25° légèrement plus basse en saison sèche.

DATE: Nov. 1963

Roche Mère: Dépôts aériens de cendres volcaniques.

Pluviométrie: Voisine de 25m de Janvier à Mai, surtout - quelques pluies en saison sèche et ensoleillement réduit.

Modelé local: Légère pente, plutôt en escalier.

Drainage externe: rapide

Végétation et cultures: Belle bananeraie défrichée depuis 15 ans environ.

Lieu et paysage: Route de Quindé vers Sao Domingo - à 16 Km de Quindé et 74 de Sao Domingo
Zone moutonnée - pentes peu importantes -

I - 0-10 - Bien humifère - très friable - structure très peu développée - mottes très peu cohérentes - terreau - à peine motteux - racines - couleur 10 YR 3/2 frais - H=52 - MO=6,14

10-40 - Beige - 10 YR 5/4 frais et 3/3 humide - assez foncé - s'effrite bien en pseudosable - limon et sable blanc beige - un peu cohérent - un peu allophanisé - H=50 - MO=3,13.

40-60 - Quelques moiaux de cendre fine grisâtre peu altérée.

II - 60-80 - Plus foncé - humifère - friable - nombreux pores - limonosableux 10 YR 3/2 frais et 2/2 mouillé donc très foncé - H = 55 - MO = 2,84 -

80-300 - Allophane jaune très friable - sans structure - donnant un pseudosable - s'écrase entre les doigts, savonneux - peu de minéraux beiges, petits minéraux noirs - 10 YR 5/8 frais et 5/6 mouillé.

Plus brun à partir de 270 - plus plastique et malléable - paraît un peu argileux - semblerait plus humide ou moins allophanique -

140-160 - H = 160 - MO = 2,13 230-260 - H = 175 - MO = 1,84

300 - H = 118

Sables * tamisage apres attaque HCl bouillant et reprise soude concentrée

Sables 0,3 à 0,5 mm		>50µ terre	ML %ST	Opac. % M.L.	% minéraux lourds transpar.						ML ST	% minéraux légers					
					Hyp. causthère	Argil.	Hornblende Veh	Bz	Epid Zois.	Div.		Quartz	Andé- sine alt.	felds fine	Sani- dine	Zéo- lites	
a	moyens	24,5	23,3	tr	8		90		2			76,7	2	70	25		3
b		26,8	21,3	tr	6		88	2	2	2	78	4	50	39		7	
e	fins	9,1	60	32	12	2	80	4				40	5	50	41		4
f		5,4	55	12	10		86	2	2	2	45	10	55	23		7	

Echantil- lon N°	Profond- -eur cms	Hori- zon	Humid. nat %	Argile %	Limon %	Sables % 20 50 200	Ma.Or. cx172 Z	C %	N mg %	C/N
E 62 a	0-15	I A	52			24*	6,14	3,57	370	9,7
b	20-40	II A	50			28*	3,13	1,82	173	10,7
d	60-80	III A	55	6 ?	40 ?	26 ?	2,84	1,65	145	11,8
e	140-160	IV A	160	6 ?	40 ?	36 ?	2,13	1,24	186	11,5
f	230-260	V B.C.	175				1,84	1,07	80	
g	280-305	VI B.C.	118 (bis)							

No	Bases échangeables mé.p.100				g.sol S	T	V %		p205	p205		pH 1/ eau ²⁵
	Ca	Mg	K	Na					total mg %	trug. mg %		
a	5,55	1,00	0,56	0,13	7,24	21	34		176	2,2		5,5
b	4,20	0,75	0,79	0,13	5,87	20	29		119	0,04		6,2
d	5,40	0,30	0,48	0,19	6,37	21	30		107	0,4		6,0
e	4,65	0,30	0,12	0,16	5,23	28	18			0,2		6,6
f	3,45	0,60	0,09	0,23	4,37	30	15			0,6		6,4

No	Densité		Porosité		pF 4,2			pF 2,8			pF 2,8-4,2			pH 1/2 eau
	A	R	Pt	mp	frais	sec	Dif	frais	sec	Dif	frais	sec	Dif	
a					31,9	21	10,9	52,2	34,5	17,7	20,3	13		
b	0,83	2,53	67	40	28,9	17	11,9	48,5	28,5	20	19,6	11,5		53
d	0,79	2,50	69	43	31,6	19,1	12,5	54,9	38,5	16,4	23,3	19,4		53
e					II3	38	69	I58	37,7	I20	44,3	3,7		
f					I20	32,7	87,5	I72	37,2	I34	50,7	4,5		
g					80,3	24,3	56	II4	28,3	86,3	34,3	4,0		

Type de sol:

Régions Nord et Est de la plaine bananière

a - SOLS PEU EVOLUES - D'ORIGINE NON CLIMATIQUE - D'APPORTS AERIENS

b - SOLS FAIBLEMENT ALLOPHANQUES

c - ? { Umbrandepts C/N = 10
 ou
 (ENTIC-HYDRANDEPTS

d - Humic latosolic régosols (E. FREI)

PAYS : EQUATEUR

REGION : SAO DOMINGO

PROFIL N° E 52

Altitude : 700 m.

Température : moy. 22° - max. 27° - min. 18°

DATE : Nov. 1963

Roche Mère : Dépôts aériens de cendres volcaniques.

Pluviométrie : Sao Domingo 14 ans - mensuel : 476-485-569-462-342-174-121-53-118-93-66-172- 3131
 jours de pluie : 27 - 26 - 27 - 26 - 26 - 20 - 16 - 15 - 19 - 21 - 18 - 23 = 264

Année la plus humide 4460 et la moins arrosée 2530 - Très couvert, sans soleil pendant 6 mois de Juin à Décembre.

Modelé local : Sur un sommet de colline - Petit plateau en légère pente, de 100 m, sur 200 m environ. Presque plat à l'endroit du sondage (50 m).

Drainage externe : Bien drainé en profondeur - ravine à 50 m.

Végétation et cultures : Dans une bananeraie mal entretenue - pas de régimes exportables - Il fait trop froid, les régimes sont déformés. Pas de bananeraie au-delà de Sao Domingo. (Alt. 670)

Lieu et paysage : Au Km 8, vers Quito - après une fazenda d'élevage (Hollandaise) "Grammaloté" bien vert et pâturé - petites fougères blechnum - Collines ondulées - Microrelief important - Rivière à 800 m. Très encaissé, plus de 100 m en bas. Donc sol en place, pas alluvial.

PROFIL : Très humifère en surface sur 10 cms, puis clair en profondeur, changeant peu de couleur mouillé - Profil frais - Dans les régions plus sèches, le sol est plus foncé que celui-ci, en profondeur, bien que ces horizons soient sans doute plus riches en matière organique - Humide sur tout le profil, mais bien ressuyé - Pluies fréquentes toute l'année.

I - 0-15 - Très humifère - terreau fin - sable humifère très organique - pas de structure d'ensemble pas de mottes - très léger - un peu onctueux - poreux, mais particulière organique - très friable - quelques petits sables nus - vers 10 à 15 cms, digitations entre les 2 horizons.
 H = 56 - MO = 8,25.

15-45 - Gris assez clair - 2,5 Y 5/4 frais et mouillé avec quelques digitations - sable grossier assez abondant, disposé irrégulièrement, plus fin par endroits - cendre de 0,5 mm - feldspaths blanchâtres, mais déjà bien allophanisé - s'écrase assez bien - savonneux - microporosité forte structure de limon allophanisé avec des sables plus ou moins grossiers - quelques racines -
 H = 51 - MO = 2,22.

45-50 - Cendre grise très poreuse - pores le 1 mm - souvent peu altérée - feldspaths blancs beiges de 1/2 mm et minéraux noirs - nombreux minéraux brillants dorés, carrés, plats-micas très abondants - quelques taches brunes venant de l'horizon supérieur - assez allophanisé - la cendre s'écrase bien entre les doigts.

II - 50-80 - Transition brutale en quelques millimètres - Brun jaune 10 YR 5/6 frais et mouillé, très allophanisé - très savonneux - nombreux petits minéraux brillants - en écrasant la terre, on ne sent pas les sables - les feldspaths blancs s'écrasent - Microporosité forte - peu de pores supérieurs à 1/2 mm - Racines de bananes abondantes - Très légères marbrures rouilles - très peu nette. H = 73 - MO = 3.

80-100 - Paraît un peu plus grossier après 80 - plus beige - moins jaune - A 90, paraît nettement par endroits, une cendre plus grossière à feldspaths blancs. H = 53 - MO = 1,30.

III - 100-120 - Gris foncé - plus fin - s'écrase entre les doigts - 2,5 YR 4/2 à 3/2 frais et humide porosité moyenne - petits feldspaths allophanisés de 0,5 mm - encore quelques racines.
 H = 52 - MO = 1,3

120-150 - Gris plus clair - assez fin - allophanisé - 5 YR 5/3 frais.

IV - 150-170 - Nettement foncé - transition nette - paraît un peu limo-argileux - assez savonneux au toucher, mais malléable - très légèrement adhérent, peut-être un peu d'argile halloysite - Nettement humifère - H = 55 - MO = 2,32.

170-230 Limon Allo brun jaune - onctueux idem 50-100.

230-250 - Cendre plus grossière, avec poches peu altérées - feldspaths beige jaune clair et minéraux noirs, s'écrasant peu entre les doigts. H = 42.

V - 250-260 Limon allo brun jaune, idem 50-100 et 170-230. Beaucoup de racines de 0 à 15 cms - encore jusqu'à 70 cms - Quelques unes jusqu'à 80 cms - peu, plus en profondeur.

* par tamisage après attaque HCl bouillant et reprise à la soude concentrée.

Echantillon N°	Profondeur cms.	Hum. nat. %	argile %	limon %	20 50	Sables 50 200	% 200	M.O.	C g %	N mg %	C/N
52 a	0 - 15	56				32 *	21 *	8,25	4,79	365	13,1
b	20 - 40	51	6 ?	28 ?	12 ?	20 *	25 *	2,22	1,29	121	10
d	60 - 80	73	6 ?	30 ?	20 ?	25 *	9 *	3,60	1,73	179	10
e	90 - 100	53				28 *	25 *	1,58	0,92	88	10
f	110 - 125	52				28 *	20 *	1,30	0,75	70	10.7
g	150 - 170	-				25 *	11 *	2,32	1,35	112	12
h	180 - 220	55				27 *	28 *				
k	220 - 250	42									

Echant. N°	Bases échangeables mé p. 100 gr				S	T sec	V%	K total me %	p2 05 total Me %	p2 05 trug Me %	pH
	Ca	Mg	K	Na							
a	3.90	0.30	0.11	0.13	4,45	20.2	22	0,9	167	2,4	5,2
b	1.80	0.30	0.05	0.13	2,28	12.5	18	1,4	153	1,6	5,1
d	0.75	0.30	0.04	0.13	1,22	18.7	6.5		203	0,6	5,6
e	1.05	0.45	0.05	0.11	1,66	14	12			0,8	6
f	0.75	0.45	0.04	0.13	1,37	13.5	10		125	0,4	6
g	2.10	0.45	0.09	0.15	2,79	22	13				-
h	-	-	-	-						0,2	6
k	-	-	-	-							-

N°	Densité		Porosité		pF 4,2			pF 2,8			pF 2,8-4,2			eau
	A	R	Pt	mp	frais	sec	Dif	frais	sec	Dif	frais	sec		
a				frais	28,4	20,6	7,8	57,5	24,4	33,1	29,1	3,8		
b	1,1	2,63	58	45	15,6	7,9	7,7	41,5	22,4	19,1	25,9	14,5		42
d	0,82	2,47	67	61	40,7	13,5	27,2	75,2	28,0	47,2	34,5	14,5		73
f	1,03	2,68	61	50	23,5	9,9	13,6	49,1	26,1	23,0	25,5	16,2		70
h					30,4	11,2	19,2	47,7	19	28,7	17,3	7,8		

de la région centrale de Quevedo à Santo-Domingo

PAYS : EQUATEUR REGION : QUEVEDO-SAO DOMINGO PROFIL N° E 49
 Altitude : 300 m environ DATE : Nov. 1963
 Roche Mère : Dépôts aériens de cendres volcaniques

Pluviométrie : Entre 2,0 et 3 mètres, surtout de Janvier à Mai - Pluies fréquentes - "saison sèche" sans soleil pendant 6 mois et largement plus fraîche de Juin à Novembre.

Modelé local : Partie bien plate d'un plateau situé à au moins 50 m au-dessus de la rivière, donc non alluvial.

Drainage externe :

Végétation et cultures : Forêt, avec par endroits, quelques abattis. Quelques taches de bananeraies - Ici encore, forêt primaire - Zone d'extension des cultures.

Lieu et paysage : A 17 Km, à l'Est du Km 46 de la route Quevedo-Sao Domingo et à 13 Km environ à l'Est du Rio Quevedo - à 1 Km 1/2 du Rio Toachi qui coule vers le Nord,

... Zones relativement peu vallonnées - Grands plateaux - peu cultivés : du Km 5 au Km 17 - Route très récente - Zone en pleine extension - De l'autre côté du Rio Toachi il y aurait encore des plateaux avant la Sierra.

I - 0-15 - Très humifère - IO YR 4/3 sec - plus foncé humide - IO YR 2/2 très foncé - grumeleux - cohésion due à la matière organique - Petites mottes - Nombreuses racines, mais pas de chevelu
 Faces à peins subangulaires - arrondies - Cohésion faible - Limon à sable fin, forte macroporosité - faces leg. subangulaires - A partir de 5 cms, ce sol est plus grumeleux de 0 à 5 avec des infiltrations jusqu'à 15 cms. H = 62 - - MO = 7,1 -

15-40 - Beige clair - 2,5 Y 5/4 sec - et un peu plus foncé humide 2,5 Y 4/4 - Limon à sable fin sans structure d'ensemble - avec quelques mottes peu cohérentes - Sous structure particulière de limon avec tendance encore plus marquée à fins pseudosables - Vers 20-25, la structure est nettement plus particulière - Ce sol est frais, à peine allophanisé et s'écrase peu dans les doigts - On sent nettement la texture limono-sableuse - Quelques taches brunes. H=66 - , MO = 2,9.

45-50 - Cendre moins altérée, parfois en noyaux presque pur, très clair - Sable fin - pas de pseudosables - avec quelques infiltrations de l'horizon supérieur - Niveau constant autour de la tranchée, mais un peu ondulé de 40 à 55 cms de profondeur - Cendre très fine avec quelques petits micas.

II - 2ème dépôt -

50-90 - Jaune brun - limite brutale - IO YR 5/6 frais et 4/4 humide - couleur très uniforme - beaucoup plus altérée avec quelques mottes et des pseudosables nets - quelques feldspaths blancs altérés - Porosité importante - Micropores très nombreux inférieurs à 0,5 mm. Le sol s'écrase entre les doigts en devenant nettement savonneux et plus foncé - Les minéraux blancs s'écrasent et on ne sent pas le sable - Des minéraux noirs très petits sont visibles.
 H = 60 - - MO = 2,7.

80-90 - Petit horizon avec des noyaux de cendre plus grossière, très régulier autour de la tranchée - Beaucoup de particules blanches constituent le sable grossier de 1/2 mm peu allophanisé avec parfois des taches de cendre très peu altérée.

III - 3ème dépôt -

90-110 - Limite brutale - Horizon gris foncé - IO YR 4/2 frais et mouillé - Plus fin, plus limoneux, humifère - S'effrite en fin pseudosable - Pas de mottes - Très friable - s'écrase bien dans les doigts, mais on sent les sables - H = 39 - - MO = 2,2.

110-250 - Plus clair - pseudolimon - allophanisé - s'écrase bien - savonneux - devenant jaune à jaune brun en profondeur, vers 180 cms - quelques petits micas. H = 80 - - MO = 1,6

Les trois sols superposés sont bien visibles plus loin, dans un talus de la route, avec le sol à allophane typique en profondeur. fortement allophanique

E 49

N°	Densité		Porosité		pF 4,2			pF 2,8			pF 2,8-4,2		
	A	R	Pt	mp	frais	sec	Dif	frais	sec	Dif	frais	sec	
a					36,6	23,2	13,4	62,2	38,2	24,0	25,6	15	
b					21,5	14,2	7,3	48	28,6	19,4	26,5	14,4	
c					37,5	16,6	20,9	61,2	40,3	20,9	23,7	23,7	
d					28,7	16,1	12,6	58,1	33,3	24,8	29,4	17,2	
e					51,9	21,4	30,5	72,1	28,8	43,3	20,2	7,4	

		>50µ terre	ML ST	Op. q.	% minéraux lourds ¹ transpar.						ML ST	% minéraux légers ²					
					Hyp. calc.	Argile	Vol.	Bz	Epid.	Div.		Quartz	Andés int.	Felds Alt.	Sariss. inc.	Zeolithe	
49 b		35,5	II	0	14	2	74	2	2	6	89	9	57	34			niveau de cendre
c	gross.	33	I5,5	0	50	2	24		10	14	84,5	8	48	42		2	
e		28,4	I3,3	0	38	6	40	6	10		86,7	14	44	34	4	8	

Echantillon N°	Profondeur en cms	Humid. nat %	Argile %	Limon %	Sables %			M.O C x 1,72	C g %	N mg %	C/N
					20	50	200				
E 49 a	0-15	62				25*	3*	7,1	4,11	420	9,8
b	15-40	46	12?	6 ?	39?	33	4	2,92	1,70	190	9
c	55-75	60	12?	11 ?	33 ?	32-27*	4-5*	2,71	1,58	165	9,6
d	90-105	39	10?	36 ?	10 ?	32 - 33*	6 - 4*	2,17	1,26	118	10,7
e	190-240	74				22*	7*	1,61	0,94	78	12 ?

*sablé par tamisage après lavage acide chlorydrique bouillant et soude concentrée.

Echant. Nº	Bases échangeables mé p. 100 gr				S	T	pH	K total me %	P2O5 total Mg %	P2O5 truog Mg %	PH
	Ca	Mg	K	Na							
a	3,15	0,60	0,17	0,13	4,05	28.2	14	1,2	288	7,4	5
b	1,65	0,45	0,11	0,13	2,34	18.2	13	2,0	224	4,8	5,6
c	1,95	0,45	0,09	0,13	2,62	24.7	11	-	-	2,6	6
d	2,25	0,45	0,11	0,13	2,94				158	1,2	6,1
e	5,10	0,45	0,85	0,23	6,63				-	-	6,1

PAYS : EQUATEUR

REGION : LA MANA

PROFIL N° 46

Altitude : environ 450 m

DATE : Nov. 1963

Roche Mère : Dépôts aériens de cendres volcaniques

Pluviométrie : Sup. 3 m avec peu de mois sec - Ensoleillement réduit (moins de 1000 heures) surtout en saison sèche. Température : 23 à 25°.

Modelé local : Plutôt convexe - Légère pente - Ravines à 100 m.

Drainage externe : assez bon et bon drainage en profondeur par suite des ravines.

Végétation et cultures : Belles bananeraies sur défriches de 2 ans - Souches et troncs d'arbres encore visibles - Très bonne production - Plus de 500 régimes/Ha de plus de 35 Kg - jamais d'engrais.

Lieu et paysage : Hacienda Bella Jungla - à 10 km au Nord de la Mana (Route Quevedo-Quito). Ce sont les dernières plantations en bordure des Andes - Plateau - Zone relativement plane - mais coupée de ravines. Les premières collines sont à 1/2 km environ. Elles sont peu cultivées - quelques défrichements en cours.

- I - 0-2 - Litière et racines de bananes - Toutes en surface et extrêmement nombreuses - Très peu de racines en profondeur - peut-être par suite de l'humidité constante de la surface et de la richesse - La répartition des racines est donc très différente de celle des autres profils - Très humifère - 10 YR 3/2 sec et humide - très poreux - grumeleux.
- 2-15 - Encore humifère beige foncé, mais plus clair - 10 YR 4/2 humide et sec - Cohésion faible due à la matière organique, avec de petits agrégats faiblement développés, donnant une consistance un peu graveleuse - facettes subangulaires à arrondies - C'est un limon sableux - Très poreux - macropores - H = 54 - C = 3,9 - MO = 6,7.
- 15-35 - Gris - 2,5 Y 5/4 sec et humide - très poreux - microporosité très forte - absorbe l'eau très vite - pas de structure - aucune cohésion - sableux - s'écrase à peine entre les doigts sans changer de couleur - Quelques feldspaths blancs et petits micas brillants. H = 37 - C = 1,12 MO = 1,92
- 35-40 - Sableux très fin - gris clair avec 4 à 5 petites lignes superposées, presque parallèles de 3 à 4 mm d'épaisseur, rouilles, en bandes subhorizontales - Couleur 2,5 Y 6/2 et veines jaunes rouilles 2,5 Y 6/6 - Quelques petits points blancs et brillants.
- 40-60 - Niveau de cendre nettement plus grossier, 1/2 mm - Couleur grise classique des cendres peu altérées - feldspaths blanc-beige avec minéraux noirs - Pas de veines - Donc cendre très peu altérée. H = 27 - C = 0,42 - MO = 0,72.
- 60 - Limite nette et très régulière tout autour de la tranchée - avec quelques digitations de 2 ou 4 cms en profondeur dus à des anciens trous de racines.
- 55-60 - C = 2,09 - MO = 3,5
- II - 60-II0 - Brun assez foncé - 10 YR 4/2 frais et humide - Très poreux - microporosité - Nombreux petits feldspaths blancs - Pas de structure d'ensemble - sous structure de pseudosable de 1/2 mm assez fins - Ecrasé, le sol est bien savonneux, pas collant - Il devient plus foncé - La matière claire allophanisée s'écrase complètement, laissant voir les petits-minéraux noirs. Donc horizon assez altéré.
- 60-80 - C = 3,9 - MO = 6,7.
- II0-I30 - En 3 ou 4 cms, on passe à un sol paraissant plus humifère - plus foncé et plus riche en sable fin - C'est un limon finement sableux, à sous structure particulière et très peu de pseudosable. Niveau peu altéré - H = 58 - C = 1,12 - MO = 1,93.
- III - 3ème dépôt -
- I30-200 - Plus clair - 10 YR 6/6 et 4/4 mouillé - s'effritant de nouveau en pseudosable - Très savonneux entre les doigts - paraît davantage allophanisé ou humifère - très peu de racines de 15 cms à 2 m.
- I90-210 - H = 91 - C = 0,79 - MO = 1,36.

		NL terre	% ST	% lourds transpar.				% Minéraux légers				L = m. lourds l = m. légers
				Opac	Opere thènes	Hornblende Verte Brun	Agite Epid -ote	Quartz	Felds K	Felds Cal. Sod.	Longueur en mm	
E 46	45-50 cendre	9,7	I3	4	87	9	0	38	8	56	0,25 à 0,5	Niveau de cendre
E 46	180-200	2,6	I6	57	28	2	I3	I6		84	0,45 à 0,5	

Echantil. N°	Profondeur cms	Hori- zon	Humid. nat %	Argile %	Limon %	20-50	Sables % 50-200	200-2000	Ka. Or. cx I, 2, 3	C %	N mg %	C/N
46	0 - 15		54						6,7	3,38	336	11,6
	15 - 35		37	6 ?	6 ?	35-?	43-	10-	1,92	1,12	107	10,5
	50 - 60		27						3,4	2,09	217	9,6
	60 - 80		-						6,7	3,28	364	10,5
	110 - 130		58	8 ?	32 ?	14 ?	36-	48-	1,92	1,12	103	10,9
	190 - 210		91				29*	7*	1,4	0,79	79	11,7

N°	Bases échangeables mé.p.100 g.sol				T sec.	V %	K Total mé %	P ₂ O ₅ Total	Mg % Truec		-H ⁺ / eau
	Ca	Mg	K	Na							
a	3,15	0,60	0,11	0,15	4,01	20.2	20	1,3	140	1,8	5,4
b	1,20	0,60	0,07	0,11	2,00	11.7	17	2,7	340	2,4	5,7
d	-	-	-	-	-	7.				7,2	5,8
e	3,75	1,82	0,38	0,13	6,1	37.	16			0,01	6,1
f	1,50	0,90	0,05	0,11	2,56	22.2	12			0,2	6,3
g	2,10	0,85	0,09	0,15	3,2	29.7	11			0,01	6,2

N°	Densité		Porosité		pF 4,2		Dif.	pF 2,8		Dif.	pF 2,8-4,2		Humid. nat %
	A	R	pt	mp	frais	sec		frais	sec		frais	sec	
a					26,6	15,8	10,8	52,7	25,5	27,2	26,1	9,7	54
b	1,15				13,9	6,8	7,1	34,9	18,3	16,6	21	11,5	77
e	0,68												
f	0,80				28,7	17	11,7	57,2	38,6	18,6	28,5	21,6	58
g					55,3	32,6	22,7	89,9	54,8	35	34,6	22,2	91

Type de sol :

PAYS: EQUATEUR REGION: SAO DOMINGO PROFIL N° 68 et 67
 Altitude: 300 à 400 m Température : 24° avec saison sèche plus fraîche
 Roche Mère: Dépôts aériens de cendres volcaniques DATE: Fin Nov. 63

Pluviométrie: Sao Domingo - 14 ans (Chiffres sans doute un peu plus faibles ici)-
 mensuels - 476-485-569-462-342-174- = 121-53-118-93-66-72 = 3131 - Année la plus humide = 4460
 Jours pluies : 27 26 27 26 26 26 = 11 15 19 21 18 23 = 264 Année la plus sèche = 2530
 Modèle local:

Sur une butte assez longue - pente 2 à 3 % -

Drainage externe:

Végétation et cultures: Belle bananeraie défrichée depuis deux ans - On voit encore les arbres abattus, non brûlés.

E 68 - Lieu et paysage: Fazenda San Antonio au Km 60 de la route Quevedo-Sao Domingo, sur la droite On traverse le rio Quévedo - après la rivière, fazenda d'élevage - encore des bananeraies, récemment défrichées (pâturages clos) - assez accidenté - proximité de la Sierra moutonnaie à l'endroit du prélèvement - Buttes de 0 à 15 m. Litière forestière sur 1 cm - Chevelu important.

I - 0-10 - Foncé, agrégats polyédriques cohérents - sablo-limoneux - humifère mais paraît beige dès 3 ou 4 cm de profondeur, avec infiltrations plus noires supérieures - 10 YR 4/2 sec et humide 3/2 - H = 59 - C = 4,60 - MO = 7,9.

10-30 - Plus beige - 2,5 Y 6/4 sec et frais - limoneux - très poreux, micropores - s'écrase entre les doigts - se taille presque au couteau - nombreux minéraux, mais plus abondants à partir de 30 cms - petits minéraux blancs et brillants - micas - H = 39 - C = 1,41 - MO = 2,42.

35-50 - Riche en petits minéraux - feldspaths beiges, très nombreux micas - sable un peu grossier.

II - 50-100 - Plus foncé, nettement humifère - 10 YR 4/2 limoneux - s'effrite bien - assez homogène - on trouve des poteries, etc.. racines bien développées - peu allophanisé, sableux - paraît plus foncé à partir de 70.

100-110 - Plus cendreaux - plus clair - un peu altéré - H = 51 - C = 1,78 - MO = 3.

110-340 - Beige jaune clair, savonneux, limoneux, bien allophanisé - doux au toucher - très clair comme couleur - 10 YR 7/6 frais ou écrasé ou mouillé. 230 cm - H = 56 - C = 0,91 - MO = 1,5
 300 cm - H = 104 - C = 0,80 - MO = 1,4 340 cm - H = 150

E 67 - A 200 mètres. Dans le thalweg évasé - large de 50 mètres - plat - végétation plus humide.

I - 0-80 - humifère puis beige II - 80-120 - humifère III - 160-210 Très foncé humifère
 120-160 - plus sableux 210-220 - Plus sableux
 220-240 Brun jaune 10YR 4/4
 frais et 3/3 écrasé ou mouillé
 pseudosable.

Sol plus sableux que sur la colline à proximité. Accumulation d'éléments grossiers de la cendre par colluvionnement sans doute - peu allophanisé.

Echantil- -lon N°	Profond- -eur cms	Hori zon	Humid. nat. %	Argile %	Limon %	Sables % 20 50 200 > 200			Ma.Or. C x 172 Z	C g %	N mg %	C/N	
68 a	0-20	I A	59						7,91	4,60	406	11,4	
b	20-40	B ₁	39						2,42	1,41	142	10	
c	100-120	B ₂	51						3,00	1,78	172	10	
d	220-240	B ₂₁	96	14 ?	30 ?	16 ?	29 ?	2 ?	1,56	0,91	88	10	
e	290-300	B ₂₁	104						1,4	0,80	77	10	
No	Bases échangeables mé.p.100				g.sol S	T	V %		p205 total Mg %	p205 trug Mg %	pH Kcl	pH 1/5 eau	
a	Ca	Mg	K	Na									
a	6,30	0,30	0,15	0,13	6,9	18	38		182	2,2	5	5,5	
b	2,40	0,15	0,09	0,13	2,8	10	27		123	4,4	4,8	5,6	
c	-	-	-	-	-	-	-			0,3	5	5,6	
d	5,10	0,15	0,71	0,31	6,3	31	20			0,4	24,9	5,6	
e	5,25	0,60	0,84	0,34	7	32	22			0,4	4,8	5,5	
No	Densité		Porosité		pF 4,2			pF 2,8			pF 2,8-4,2		
	A	R	Pt	mp	frais	sec	Dif	frais	sec	Dif	frais	sec	
a					37	24,3	12,7	58,8	37,6	21,2	21,8	13,3	
b					18,9	12,2	6,8	39,9	28	11,9	21	15,9	
d					70,9	28,4	42,5	96,6	37,4	59,2	25,7	9	
e					73,4	28,4	45	106	38,3	67,7	32,8	9,9	

Type de sol:

Ech. Prof.			D50H Terre	ML ST	% lourds transpar.							% minéraux légers				
					Opaque	Hypers thine	Angite	Hornblende Vert	Bz.	Epidote Zoisite	ML ST	Quartz	Andé- sine	felds alt.	Bani- dine	Zéo- Lithes
68 b	20-40	Moy.	-	I3		I0		68	6	I2	87	9	39	42		I0
d	220-240		I9	I3	28	22	4	70	2	2	87	8	43	36		I3
e	29-300		I9,2	I7	8	30		58	4	8	83	6	6I	28		5

20

Plaine bananière - Centre et Ouest - (Quevedo vers Sto. Domingo et la Mana)

a - SOLS PEU EVOLUES - D'ORIGINE NON CLIMATIQUE - D'APPORTS AERIENS

b-SOLS FAIBLEMENT ALLOPHANIQUES

c - OU (MOLLIC - UMBRANDEPTS (moins lessivés en bases - peu désaturés)
(ENTIC - HYDRANDEPTS

d - Humic latosolic régosols (E. FREI)

PAYS: EQUATEUR

REGION: QUEVEDO

PROFIL N° 40

Altitude: Voisin 100 mètres

DATE: Nov. 1963

Roche Mère: Dépôts aériens successifs de cendres volcaniques fines.

Pluviométrie: Quevedo - 522-467-555-437-188-44- = 8-40-3-18- = 2 297 (6 mois secs)

Température : 23°

Modelé local:

Drainage externe:

Végétation et cultures: Dans une belle bananeraie à peine ondulée - Hacienda Fortaleya Malavita - Défrichée depuis 4 ans - On voit encore les souches - pas d'engrais - 500 régimes de 40 K/Ha

Lieu et paysage: Au km 26 de la route Quevedo Sao Domingo - Sur la droite, après avoir traversé la rivière et sa large vallée, puis être remonté sur le plateau - Légèrement ondulé - à environ 4 Km de la rivière, à peu près à égale distance des deux rivières.

I - 0-15 - Litière de feuilles sèches, puis limon gris noir - couleur 10 YR 3/2 mais plus gris sec Agrégats et petites mottes de 1 à 2 cms plutôt arrondies - tendance nettement grumeleuse - cohésion faible - ciment organique sec - très poreux - macroporosité - chevelu radiculaire de la forêt - Limite irrégulière de 10 à 20 cms. Eau = 36 - C = 2,82 - MO = 4,85.

15-40 - Plus clair, beige gris sec (2,5Y 5/4) - nettement foncé - humide (2,5Y 4/2) encore bien humifère. Bien limoneux avec sable très fin - très légèrement cimenté par la matière organique - structure très faiblement développée. S'écrase entre les doigts en devenant brun et en cédant de l'humidité - Microporosité importante - Pores inf. 1 mm - Peu de pores sup. 1 mm. Limite progressive : 40 à 50 cms. Eau = 24 - C = 1,9 - MO = 3,27. S.G=5 SF.50-200= 42

40-120 - Jaune clair (2,5Y 6/4 à 10 YR 6/6) devenant foncé quand on écrase la terre dans les doigts (10 YR 4/3) ou mouillé - Encore bien humifère - Quelques minéraux blancs feldspaths et petits micas - Quelques taches brunes dues à un peu plus d'humidité, mais pas de marbrures d'hydromorphie - Nombreux petits pores - Friable en petits pseudosables d'allophanes - Légère cohésion - Cet aspect friable dû à de très petits agrégats diffère de celui des limons sableux doux au toucher, des profils 35 - 36 - 37 - Le sol paraît plus humide, plus frais - Eau = 55 - C = 1,5 - MO = 2,5.

II - 120 - Nettement brun - de la couleur de l'horizon ci-dessus, lorsqu'il est mouillé (10 YR 5/4) et écrasé, encore plus foncé (10 YR 4/3) - Structure très faiblement développée, mais légère cohésion nette - Petites mottes donnant des fins pseudosables - Le sol n'a pas la consistance de limon à sable fin. Eau = 36 - C = 0,51 - MO = 0,90.

Beaucoup de racines de bananes dans tout le profil.

*Sables par tamisage après attaque HCl bouillant et sozde concentrée

Sables par tamisage après lavage au bouillan et séchage à l'air													
Echantil- -lon N°	Profond- -eur cms	Hori- zon	Humid. nat. % sec	Argile %	Limon %	Sables			Ma.Or. % 172 z	C g %	N mg %	C/N	
E40	a	0-20	36			20	50	200	2000	4,85	2,82	259	11
	b	20-40	24	3,5	24,5	25,5	37, 27*	1,5 2*	3,27	1,90	171	11	
	c	50-70	55	2	17	20,5	35 21*	15, 5*	2,65	1,54	146	10,6	
	d	70-100	51				31* 28*	4* 6*	2,37	1,38	129	10,7	
	e	120-130	36				22*	4*	0,90	0,51	51	10	
No	Bases échangeables mé. p. 100				G. sol S	T	V %			pH 1/2,5			
	Ca	Mg	K	Na									
a	4,20	0,15	0,27	0,13	4,75	15	32						
b	3,00	0,30	0,21	0,11	3,62	-	-						
c	3,15	0,15	0,17	0,15	3,62	14	26						
d	3,00	0,15	0,16	0,13	3,44	-	-						
e	5,10	0,45	0,98	0,26	6,8	14	49						
No	Densité		Porosité		pF 4,2			pF 2,8			humid. nat. % sec	pF 2,8-4,2	
	A	R	Pt	mp	frais	sec	dif	frais	sec	Dff	frais	sec	
a					35,7	17,7	8	43,8	37,3	6,5	36	18,1	19,6
b					21,1	14,9	6,2	39,5	32,9	6,6	24	18,4	18
c					36,9	21,4	15,5	59,2	40	19,2	55	22,3	18,6
d					31,6	18,4	13,2	52,5	36,9	15,6	51	20,9	18,5

Type de sol:

PAYS: EQUATEUR REGION: QUEVEDO
 Altitude: 100 à 200 mètres
 Roche Mère: Dépôts aériens de cendres volcaniques

PROFIL N° E 4I

DATE:

Pluviométrie: Voisin 2500 mm avec 5 mois secs et peu ensoleillés. Prélèvement après plusieurs mois sans pluie.

Modelé local:

Drainage externe:

Végétation et cultures: Belles bananeraies - Défrichement de 2 ans. Souches et arbres morts encore visibles - Jamais d'engrais.

Lieu et paysage: Hacienda san Esteban. Sur le plateau à l'Est du Km 26 de la route de Quevedo - Sao Domingo - La région est assez ondulée - Plus vers les Andes, elle devient encore plus accidentée.

I - 0-2 - Litière de feuilles.

0-15 - Grumeleux brun très foncé (10 YR 3/2) humide et sec - Petites mottes arrondies à subangulaire - Très poreux - forte macroporosité - Cohésion faible, mais nette - ciment organique - Beaucoup de racines - Limite irrégulière de 10 à 15 cms - H = 45 - C = 3,7 - MO = 6,

15-30 - Plus clair (2,5 Y 6/4 humide) - Nombreux petits pores - pas de gros pores - Pas de structure d'ensemble ni de microstructure - Limonosableux fin - Quelques points blancs.

30-40 - Très clair - gris clair en taches irrégulières sur 10 cms - Limon à sable fin avec feldspaths blancs - Cendre peu altérée - H = 32 - C = 1,34 - MO = 2,3.

II - 2ème dépôt de cendre - A 40 cms Sable 50-200 = 42 Sup 200 = 5

40-90 - Jaune assez foncé (10 YR 4/3 humide) et (5/6 sec) - Pas de structure d'ensemble - Légère cohérence donnant un aspect de pseudosable fin et non pas de limon sableux, comme ci-dessus. Ecrasé entre les doigts, le sol devient beaucoup plus foncé et prends la couleur du sol humide. Quelques feldspaths blancs et micas. H = 55 - C = 1,65 - MO = 2,8.

85-90 - Plus fin peut-être après 85 - passant à de la cendre gris clair, peu altérée en taches de quelques centimètres tout autour de la tranchée.

III - 3ème dépôt de cendre -

90-120 - Plus foncé (10 YR 4/2) sec et un peu plus foncé humide - Légère cohésion - Ce n'est pas du limon, doux - s'écrase en devenant plus foncé. Nombreux petits pores. H = 44 - C = 2,6 - MO = 4,

120 - Plus clair - beige clair - assez frais - 10 YR 7/6 frais et plus foncé humide ou écrasé 5/4 - Pseudolimon jusqu'à 180 cms, assez frais encore. H = 67 - C = 0,44 - MO = 0,75.

N.B. - Dans une tranchée de la route, on trouve le même profil jusqu'à 2 m,3, mais à cette profondeur, on passe à un sol à allophane jaune, bien onctueux, typique, renfermant 103 % d'eau - vers 2,5 à 3 m, c'est un dépôt plus ancien fortement allophanisé.

*sables tamisage apres attauq NCl bouillant et soude concentrée

*sables tamisage apres arreau no.1 bouillant et soude concentrees													
Echantil- -lon NO		Profond- -eur cms	Hori- zon	Humid. natur. % sec	Argile %	Limons %	Sables %			Ma.Or. Cx172 Z	C g %	N mg %	C/N
							20	50	200				
E 4I a		0-20	I A	45				27*	3*	6,43	3,74	336	11,1
b		20-40	8c	32				34*	3*	2,3	1,34	140	9,6
c		50-70	II B,C	55	6 ?	34 ?	20 ?	27*-30	7*-8	2,83	1,65	168	10
d		90-110	III A	44				30*	4*	4,5	2,61		
e		200-220	8c	67				19*	2*	0,75	0,44	42	10
NO	Bases échangeables mé.p.100				g.sol	T	V %			P2O5 total mg %	P2O5 truog mg %	PH KCl	pH 1/25 eau
	Ca	Mg	K	Na	S								
a	6,00	0,45	0,65	0,13	7,23	17	42			213	6,8	5,4	6,1
b	2,70	0,60	0,39	0,13	3,8	9	43			169	10,2	4,9	6
c	1,35	0,30	0,27	0,16	2,1	16	13			-	1,0	4,9	5,7
d	3,00	0,45	0,21	0,15	3,8	16	24			161	1,4	4,8	5,9
e	6,15	0,30	1,01	0,28	7,74	20	39			-	0,6	4,8	6
NO	Densité		Porosité		pH 4,2			pH 2,8			pH 2,8-4,2		Humid. nat. % sec
	A	R	Pt	mp	frais	sec	Dif	frais	sec	Dif	frais	sec	
a					27,6	19,6	8	48,7	33,2	15,5	21,1	13,6	45
40cms	0,84	2,80	70										49
c		2,55			35,8	16,9	18,9	55,4	31,2	24,2	19,6	14,4	55
100cms	0,82	2,20	63										45
	0,83												45

Type de sol:

en % de													
cm	ML Terre	minéraux lourds transparents							% minéraux légers			L. Lourds L. légers	
		Opaque	Hypers. Hémi	Augite	Horn. Vete	Horn. Bun	Epi- dote	Biotite	Quartz	Felds K	Felds Cal. Sod		
E4I 40	4,3	II	2	-	78	10	7	I	10	2	88	0,37 à 0,05mm	
90	10,4	20	17	-	70	8	2	-	10	-	90	0,25 mm	

Région de Quevedo - Sud et Ouest -
 Ouest plaine bananière
 Quinindé

- (SOLS PEU EVOLUES -D'ORIGINE NON CLIMATIQUE - D'APPORTS, reposant sur des SOLS BRUNS
 a - (où AERIENS FERRISOLIQUES
 (SOLS BRUNS EUTROPHES TROPICAUX
- b - SOLS DE TRANSITIONS ALLOPHANES HALLOYSITES, reposant sur des sols argileux BRUNS
 FERRISOLIQUES
- c - MOLLIC - UMBRANDEPTS ?
 (trop humifère pour être une entic-ochrandepts)
 (trop foncé pour appartenir aux hapludolls ou aux ochrepts)
 (trop riches en cendres volcaniques (90%) pour être un Umbrepts)
- d - Humic latosolic regosols ou Pichilingue loam (E. Frei) reposant sur un Rubroemic
 latosol

PAYS: EQUATEUR REGION: QUEVEDO SAO DOMINGO PROFIL N° E 50
 Altitude: 200 m environ
 Roche Mère: Dépôt aérien de cendre volcanique - Tranchée et sondage après 120
 DATE: Nov. 1963
 Température : 24 à 25°
 Pluviométrie: 2 m environ de Janvier à Avril, surtout saison sèche prononcée de plusieurs mois
 mais avec fin brouillard et temps couvert - ensoleillement réduit et température légèrement
 plus basse en saison sèche - Juin à Nov.
 Modelé local: Plat ou presque

Drainage externe:

Végétation et cultures: Belle bananeraie, mais écartée - Bananeraie de 4 ans.

Lieu et paysage: Au Km 38 à 10 Km à l'Ouest de la route Quevedo Sao Domingo. A 1 Km du Rio Pelita qui est très encaissé et 100 m plus bas, plateau avec zones planes ou ondulées.

I - 0-10 - Humifère - 10 YR 4/2 sec et 2/2 humide - Très remué par les vers - Petites mottes de déjection - Très très poreux jusqu'à 10, parfois 15. - De 0 à 10 un peu plus beige encore, poreux sec.

15-100 - Beige clair et sec 10 YR 6/3 et plus foncé humide 4/2 - Nombreux tout petits pores - S'effrite très bien - Limon finement sableux, avec tendance pseudosable - S'écraie bien en devenant plus foncé - plus frais peut-être, semble vrai limon pseudosable jusqu'à 40 et davantage de pseudosable plus en profondeur, mais ce n'est pas très net - Racines assez nombreuses, petites et grosses.

95-100 - Quelques petits noyaux de cendre peu altérée - plus clair, mais très altéré - à ce niveau débris de poteries et un caillou roulé transporté par l'homme (pour géologues).

II - 100-120 - Plus foncé, plus humifère - 10 YR 3/3 frais et 2/2 mouillé - Très foncé - pseudolimon très fin - s'écraie un peu, mais peu savonneux - vrai limon -

120-150 - Plus clair - idem - pseudolimon -

III - 150-170 - Argile brune foncée - 10 YR 3/4 frais et mouillé - Assez compact - Un peu gras - Pas adhésive - s'effrite bien en petits agrégats - humide.

170-220 - Argile légèrement plus claire - 7,5 YR 4/4 et légèrement plus rougeâtre - plastique - beaucoup de minéraux brillants s'effrite assez bien -

	Prof. cms	Niveau	Cendre	Terre	ML ST	Opacités %	Minéraux lourds transparents					% minéraux légers					Conglués
							Hypers.	Hornblende	angle	Epote	ML ST	Quartz	Ames	Felds	Sani	Zéolites	
E50	95-100				8,4	6	31	56	9	-	4	91,6	18	82		0	Q7 à Q65
"	100-120	Moyen	26,8	13,5	-	-	6	84	6	-	4	81,5	5		2	2	mm
"	150		15,6	13,3	24	8	8	72	8	2	8	84,7	25	23	40	2	10

Echantillon N°	Profond- eur cms	Hori- zon	Humid. nat. %	Argile		Limon		Sables		Ma.Or. Cx172 Z	C g %	N mg %	C/N
				%	%	%	%	20-50	50-200				
E50 a	0 - 15	I A	40							6,4	3,74	367	10,2
b	30 - 60	8c	41							2,9	1,68	181	9,3
c	100 - 120	II A	41	10 ?	34 ?	18 ?	30 ?	2 eau		2,5	1,48	130	11,4
d	150	III A	50	21 ?	1 ?	14 ?	36-15*	4 (7)		0,8	0,46	44	10

No	Bases échangeables mé.p.100				g. sol	T	V %	pH 1/25
	Ca	Mg	K	Na				
E50 a	2,85	0,45	0,37	0,13	3,80	24,5	15	5,5
b	1,50	0,60	0,26	0,11	2,47	18,5	13	5,9
c	2,10	0,30	0,25	0,13	2,78	22,7	12	6,4
d	8,40	0,30	1,69	0,58	11,00	29,5	49	5,4

No	Densité		Porosité		Eau	pF 4,2		pF 2,8		pF 2,8-4,2	
	A	R	Pt	mp		Frais	sec	Frais	sec	Frais	sec
75 c	0,69				70	26,2	15,3	10,9	47,6	35,8	21,4
d						42,1	28	14,1	50,5	34,9	6,9

Type de sol: Sol d'allophane de transition - sur argile brune

BUREAU des SOLS des ANTILLES O.R.S.T.O.M.

PAYS: EQUATEUR REGION: QUEVEDO
 Altitude: Voisine de 50 m. Température : 25 °
 Roche Mère: Dépôt aériens de cendres fines sur sol ancien.

PROFIL N° 98

DATE: Déc. 63

Pluviométrie: Voisin Pichilingue : 560-463-422-396-II5-33 = 54-4-I4-I8-23-I2I = 2 224 mm.
 Saison sèche peu ensoleillée - 1 000 Heures par an.

Modelé local: Très plat.

Drainage externe:

Végétation et cultures: Belle bananeraie souffrant de la sécheresse, jamais d'engrais.

Lieu et paysage: Hacienda SANTA BEATRIZ - Km 10 de QUEVEDO vers EMPALME, à 2 Km de la route.
 Zone plane irriguée par aspersion, puis vallée où coule la petite rivière servant à l'irrigation, puis nouvelle zone plane non irriguée, avec forêt plus loin dans une bananeraie défrichée depuis 5 à 6 ans.

0-5 - Noir IO YR 3/2 sec et mouillé, 2/I prend mal l'eau, petites mottes peu cohérentes, grumeleuses arrondies.

5-50 - Sable très fin brin beige, IO YR 3/2 sec et IO YR 2/I très foncé humide, très léger - Sable très humifère, très peu cohérent, S'enlève à la main. Très meuble.

50-60 - Légèrement plus brun à partir de 45 - IO YR 4/3 friable - Limon finement sableux et humide, toujours très foncé - IO YR 3/2 peut-être un petit peu d'argile, très meuble - s'enlève à la main.

60-95 - Plus clair, beige IO YR 6/3 et très foncé 4/2 mouillé - change beaucoup de couleur - Très léger, poreux, limoneux, boit très bien l'eau, meuble, légères veines rouilles de 85 à 95 et davantage de pores (Hydromorphie légère).

II - 95-120 - Très dur, argileux, limite régulière autour du trou, dur au marteau, assez sec.

Argile brune foncée, un peu rougeâtre - 7,5 YR 3/2 sec et humide, idem avec des petits recouvrements de limons clairs dans les pores. Très poreux, forte macroporosité.

N.B.- Beaucoup de racines jusqu'à 95 - puis aucune après, uniformément réparties.

A la suite des pluies récentes (3 cm), l'humidité semble être descendue jusqu'à 70 cm.

Profil	Densité A	Porosité P	Humid. nat. %	Argile %	Limon %	Sables %	200 -50	200 -200	200 2000	Ma.Or. C x 172 Z	C g %	N mg %	C/N
0-5	2,5	69	36	25,3	21,5	6,7	47,3	4,1	1,2	18,2	15,2	42	42
5-50	2,64	70	42	23	18,5	4,7	53	54,5	-1,5	30	36,2	22	22
Echantil- lon N°	Profond- eur cms	Hori- zon	Humid. nat. %	Argile %	Limon %	Sables %	200 -50	200 -200	200 2000	Ma.Or. C x 172 Z	C g %	N mg %	C/N
a	0-20		42							11,2	6,50	539	12,1
b	20-40		42	5	22	22	40	1,2	4,0	2,33	217	10,7	10,7
c	60-80		22	4	31	24	30,5	1,8-4	2,25	1,31	118	11,2	11,2
d	110-120			20	34	17	22,5	1,5	0,72	0,42	50	8,5	8,5
No	Bases Ca	échangeables Mg	mé.p.100 K	Na	g.sol S	T	V %	Total mg %	p205 mg %	p205 mg %			pH 1/2 eau
98a	14,10	1,80	1,56	0,15	17,6	29	61	361	19,6				6,5
b	7,95	0,70	0,46	0,19	9,3	18	51	205	5				6,3
c	5,85	0,60	0,69	0,21	7,35	19	38	245	4				6,5
d	4,50	0,60	0,36	0,18	5,64	8	71	-	1				6,7
N°	Prof. en cms	ML ST	% minéraux lourds	Argile %	transparents Hornb.	Epido- te	Divers	ML ST	% minéraux légers	Quartz	Andés.	Felds. altérés	Zéolith
98a	0-20	21	8,9	21	6	50,8	13	2	91,1	15	53	27	5
b	20-40	23	14	34	8	48,2	4	4	86	11	50	37	2
c	60-80	26	10	10	8	66	16	6	90	9	50	40	1

Type de sol: Zone de transition

*Sables extraits après acide et soude peu dilués.

PAYS: EQUATEUR

REGION: QUEVEDO

PROFIL N° 72

Roche Mère: dépôts aériens de cendres.

DATE: fin nov. 63

Pluviométrie: Pichilingue 10 ans. 551-456-437-380-137-34 = 51-48-13-17-27-125 = 2276 mm.

Altitude: 100 m.

Modelé local : Bien plat sur une large étendue.

LIEU: Plantation SANTA FE - 18 km à l'Est de QUEVEDO, au sud de la route de VALENCIA.
Grande forêt, perd un peu ses feuilles. Presque plat, légèrement ondulé. Belle région à café, cacao, bananes, en bordure des zones défrichées.

- I- 0-20 : Très humifère, polyèdres boursoufflés en surface, grumeleux, à peine angulaire, 10 YR 4/2 sec et très foncé 2/2 humide. Sec assez cohérent. A la pelle 20 cm onlève 20 cm de petits polyèdres secs cohérents. La texture paraît sableuse. Feutrage de racines sur 3 cms.
- 20-30 Davantage beige - sec - agrégats plus petits, moins cohérents, encore.
- 30-70 Plus clair beige 10 YR 5/3 sec et humide, très foncé 2/2, bien structuré polyédrique, petites mottes pas très cohérentes, s'effrittent bien dans les mains. Encore poreux - nombreux petits et gros pores - pas de faces anguleuses - assez dure au marteau - sec.
- 70-90 Nettement plus clair 10 YR 7/3 et foncé humide 3/2 - plus clair - poreux - friable assez sec - beaucoup de poteries et de quartz taillés - cendre très altérée. encore sec.
- II- 90 : Argile brune foncée un peu rougeâtre 7,5 YR 3/2 - argileux - un peu limoneux, très poreux - aucune poterie.

Donc sol foncé très profondément et nettement déjà un peu structuré - peu d'allopmane. Sol de transition. Avec un horizon riche en débris de poteries indiennes. Toujours le même horizon.

Echantillon No:	Profondeur en cms	Humidité naturelle %	Argile %	Limon %	Sables %			M.O. C x 1,72	C g %	N mg %	C / N
a	0-20	30	8	23,5	22	33	I	8,8	5,10	434	11,8
b	20-40	31	4	21,5	24	37,5	2-5	4,2	2,42	241	10
c	40-60	30						440	2,33	203	11,5
d	90-100	35									

Echant. No:	Bases échangeables mé p.100 gr				S	T	V %		p205 total mg %	p205 truo mg %	pH eau
	Ca	Mg	K	Na							
72 a	12.45	2.00	0.75	0.15	15,35	26	59		421	8,8	6
b	7.05	0.60	0.41	0.13	8,19	22	37		245	5,6	6.1
c	5.85	0.45	0.33	0.16	6,9	22	31			15,22	6.3
d	-	-	-	-						5,8	-

80,90

No	Densité		Porosité		pF 4,2			pF 2,8			pF 2,8-4,2		
	A	R	pT	mp	frais	sec	Dif	frais	sec	Dif	frais	sec	Dif
b					22,2	17,8	4,4	38,8	36,5	2,3	16,6	17,8	
c					22,1	18,4	3,7	43,8	45	-1,2	21,7	18,4	

TYPE DE SOL :

PAYS: EQUATEUR

REGION: QUEVEDO

PROFIL N° 66

Roche Mère: Dépôts aériens de cendre volcanique sur sol ancien.

DATE: Déc. 1963

Pluviométrie: Inférieure à 2 mètres avec une saison sèche prononcée quoique très nuageuse et peu ensoleillée.

Altitude: 50 mètres.

LIEU: A 2 Km après Empalme vers Porto Viego.- Presque plat - bananeraie et cacaoyer de 5 ans plutôt en légère bosse - bananeraie souffrant beaucoup de la sécheresse - D'autres parties sont irriguées par aspersion.

- I 0 - 20 Très noir - très grumuleux - véritable terreau - très poreux - agrégats légèrement durcis - 10YR 3/2 humide. de 15 à 20 - un peu plus brun. - donne excellente structure légères revêtements.
- 20 - 50 Limoneux - légèrement dur au marteau - se brise en mottes qui s'effritent aisément à la main 10YR 5/4 sec et mouillé très foncé 10YR 2/2 - Structure limono-sableux fin assez poreux - début de structure légèrement polyédrique - s'effrit bien dans la main.
- 50 - 75 Plus clair - très poreux - moins qu'en surface - nombreux micropores et macropores - 10YR 6/4 et mouillé 3/3 - donc encore foncé - marron foncé.
- II 75 Argile brune 5YR 3/3 - sec et humide - un peu limoneux - beaucoup de pores - revêtements suissants - très poreux - limite nette et régulière autour de la tranchée.
- Agrégats à faces anguleuses - luisant - 5YR 3/4.

Echantillon N°:	Profondeur en cms	Terre fine	Argile %	Limon %	Sables % _μ (eau)			M.O. C x 172 %	C g %	N mg %	C / N
					20/50	50/200	200/2000				
66 a	0 - 20							5,6	3,37	332	10
b	20 - 40		6,5	23	I9	4I	0,5(6)	4,1	2,38	235	10
c	60 - 80							2,9	1,68	147	11,5
d	90		39	24	I4	I5,5	0,7(6)	0,7	0,40	40	10

Echant. No:	Bases échangeables mé p.100 gr				S	T	V %		P205 total mg %	P205 truo mg %	PH KCl	pH eau
	Ca	Mg	K	Na								
E66 a	13.50	1.00	3.50	0.15	18,2	28	65		242	6,6		7
b	9.15	0.90	0.81	0.18	II	25	45		198	2,8		6.8
c	5.40	0.90	0.49	0.29	7,1	21	34		153	2,0		6.
d	4.50	0.60	0.20	0.25	5,5	12	46		42	0,4	4,9	5,5

TYPE DE SOL :

PAYS: EQUATEUR REGION: QUEVEDO
 Altitude: Voisine de 50 m
 Roche Mère: Dépôt de cendre volcanique sur sol ancien argileux.

PROFIL N° 102
 DATE: Déc. 1963

Pluviométrie: Un peu inférieure à Pichilingue
 560-463-422-396-II5-33 = 54-4-I4-I8-23-I2I = 2 224
 Modelé local: Bien plat

Drainage externes:

Végétation et cultures: Bananeraie en bon état, bien verte quoique non irriguée.

Lieu et paysage: Hacienda Lilia Maria, à l'Est de la route, à 10 Km d'EMPLAME et 26 Km de QUEVEDO à l'Ouest de la route.

A vendre : 3000 sucres Ha (700 NF Ha)

En face l'hacienda Adriana.

I - 0-60 - Terreau très foncé - 10 YR 3/2 frais - 2/2 humide - limono sableux - bien humifère - très très poreux jusqu'à 30 - très meuble - un peu moins après 30 cm.

60-80 - Limono-sableux - brun - 10 YR 3/2 et mouillé 2/2 - foncé - bien humifère - s'effrite bien - très meuble - beaucoup de racines.

Sec - 10 YR 4/3 et humide 3/3 - très friable - Les mottes s'effritent dans la main - Un peu argileux peut-être, mais limon à sable fin -

Légère structure peu cohérente, mais petites mottes se cassant aisément.

II - 80 - Argile brune - très poreuse - macroporosité - compacte - métahalloysite -

	>50 H	ML	% M.L.					ML	% minéraux légers				
	terre	ST	Opac. pes	Hyp. calage	Argile	Hornb. Vat.	Zoisite	ST	Quartz	Andés. ins.	felds al. pes	Sanid. ins.	Zéolit -pes
I02 b	19,2	I2	0	46	8	40	6	88	6	50	41	0	3

Echantil- -lon N°	Profond- -eur cms	Hori- zon	Humid. nat %	Argile %	Limón %	Sables 20- 50	% H 50- 100	200 2000	Ma.Or. Cx172 Z	C g %	N mg %	C/N
a	0 - 15		47						9	5,24	483	10,7
b	30 - 50		47	9	29,5	26	25,5	0,2(5,4	4	2,32	224	10,4

N°	Bases échangeables mé.p.100				g.sol S	T	V %		p205 total	p205 truog		pH 1/25 eau
	Ca	Mg	K	Na					mg %	mg %		
a	14,25	0,90	1,46	0,13	1,67	31	54		294	12,8		6,5
b	10,20	0,70	1,24	0,18	12,32	21	59		151	3		6,1

N°	Densité		Porosité		pF 4,2			pF 2,8		pF 2,8-4,2		
	A	R	Pt	mp	frais	sec	Dif	frais	sec	Dif	frais	
b					33,4	23,1	10,3	51,4	44,6	6,8	18	21,5

Type de sol:

Sud de Quevedo et sols enterrés de Quevedo: Pluv. 1,5 à 2,2 m

a - INTERGRADES BRUNS - EUTROPHES/ FERRISOLS - ou SOLS BRUNS FERRISOLIQUES
(Sols à évolution ferralitique)

b - SOLS BRUNS - ROUILLES ARGILEUX à HALLOYSITE

* c - ULTIC-OCHRANDEPTS ou RHODOCHEULTS (coloration foncée profonde mais
peu de MO en profondeur)

d - Rubrozemic latosols

PAYS: EQUATEUR

REGION: ZAPOTAL

PROFIL N° 79

Roche Mère: non identifiée mais volcanique - ancien dépôt de cendre ou tuf. DATE: déc. 1963

Pluviométrie: Pichilingue = 522-467-555-437-188-44 = 8-40-3-9-6-18 = 2300 mm

Altitude: température : 25°.

50 à 100 m ?

LIEU:

ZAPOTAL vers VENTANAS - à environ 3km de la rivière - Vaste région plate dans l'ensemble. Parties bien plates et légères éminences longues à faible pente sur lesquelles ce profil a été pris. On voit la Cordillère à 1km. forêt. Peu cultivé dans l'ensemble, défrichement quelques bananeraies dans les parties plates.

Ici talus de route rajourni, broussaille, presque plat.

0-10 très léger, très humifère, très bien agrégé, très finement grumeleux, excellente structure, très meuble, structure de terreau. 10 YR 3/2 frais et mouillé (pluie récente après 5 mois de sécheresse, mouillé en surface.)

10-20 Encore foncé, petites mottes, peu cohérentes, très poreuses, friables, plus sec, faces arrondies.

20-40 Plus sec, petites mottes très poreuses, micro et macropores, petites racines, encore très humifère, faces subangulaires puis angulaires vers 40 cm. Toujours aussi brun foncé, mais légèrement brunâtre 7,5 YR 3/2 sec, et humide même couleur, légères taches ocre. Rares concrétions de Mn bien argileux. Faces très luisantes, un peu gras d'aspect, Cassure terne plus jaune.

40-60 Nettement plus clair progressivement et plus rougeâtre que 7,5 YR 3/2 à 10 YR 3/4. Faces très anguleuses, quelques petits pores. Structure massive (sec) assez compact. Quelques pisalithes, ferromanganiques et taches noires Mn. Légèrement gras au toucher. Luisant (Halloysite). Argileux.

60-150 Plus clair 7,5 YR 4/4 parfois plus ocre, avec petites concrétions de Mn et taches ocre, faces encore luisantes, à cassure plus jaune 5/8. Taches noires manganésifères moins abondantes qu'à 40-60 très angulaire.

NB La pente du talus est formée de fin pseudo sable. Plus loin même profil mais vers 3 m. l'argile brune est mêlée à de l'argile grise 20% environ sur au moins 1 ou 2 m. d'épaisseur. Donc structure angulaire des sols ferrallitiques et aspect luisant de la métahalloysite .../...

Echantillon No:	Profondeur en cms	Humidité naturelle % _{100°C}	Argile %	Limon %	Sables %			M.O. C x 1,72	C g %	N mg %	C / N
					20-50	50-200	200-2000				
a	0-20	31	52,5	16,5	12	8	I (6)	3,1	1,80	172	10,5
b	20-40	30									
c	40-60		80,5	6	2,5	1,5	0,7(6)	0,94	0,55	56	10
d	60-80										
e	100-120		83	5	1,5	I	0,4(6)	0,16			

Echant. No:	Bases échangeables mé p.100 gr				S	T	V %		P205 total mg %	P205 trueog mg %	pH K Cl	pH eau
	Ca	Mg	K	Na								
a	6.75	0.90	0.90	0.18	8,7	19	46		140	0,8	4,8	5,7
b	-	-	-	-						0,5	-	-
c	5.70	1.00	0.54	0.28	7,5	19	40			0,8	4,5	5,7
d	-	-	-	-		17					5,2	5,9
e	5.70	1.10	0.74	0.44	8					1,1	4,5	5,5

.../...

type changy lourd des Antilles.

TYPE DE SOL :

E 36 - SOL DE TRANSITION ALLOPHANE-HALLOYSITE sur SOL ARGILEUX BRUN-ROUILLE à HALLOYSITE
Sol brun eutrophe tropical peu évolué, sur sol brun ou brun ferrisolique
Mollic-Imbrandept ou Tropic-Eutrandept

PAYS : EQUATEUR

REGION : QUEVEDO

PROFIL N° E 36 Tranchée

Altitude : 70 mètres

DATE : Nov. 1963

Roche Mère : Dépôt récent de cendre volcanique sur ancien sol.

Pluviométrie : IO ANS- 560-463-422-396-115-33-54-4-14-18-23-121=2224mm - Année la plus humide 3039 mm.
La moins humide 1342 - Saison sèche de 6 mois avec ciel nuageux et rarement plus d'une heure de soleil
par jour et température plus fraîche : 22° - Température : 25°

Modelé local : Pratiquement plat

Drainage externe : assez lent

Végétation et cultures : Plateau de 800 m sur 300 m séparé par des ravines - Dans une plantation
d'Hévéas -

Lieu et Paysage : Sur le plateau dominant les terrasses alluviales - Station INIAP-Pichilingue - A
1000m du Rio environ - Le manteau de cendre disparaît sur les pentes en bordure de
la ravine où le sol argileux affleure.

I - Dépôt de cendre récent :

- 0 - 2 Litière végétale de feuilles d'Hévéa.
- 2 - 10 Gris noir foncé, humide : 10 YR 3/1 : sec, gris plus clair, structure d'ensemble fon-
due, macroporosité forte, cohésion faible due seulement à la matière organique,
quelques racines.
- 10 - 30 Idem mais structure d'ensemble très peu stable, limon à sable fin paraissant un peu
humide encore.
- 30 - 90 Progressivement plus clair, plus jaune 10 YR 5/6, devenant très clair sec, très li-
moneux avec sable très fin, très doux au toucher, nombreux petits pores inf. à 1 mm
Pas de structure d'ensemble, mottes très légères, beaucoup de racines ; Il semble
que de 60 à 90 cm, le sol soit un peu plus foncé, ancien sol humifère.
- 90 - 100 Plus clair, beige clair, très doux au toucher, pores plus nombreux, cendre moins
altérée.

- II - 100-120 Passage brutal à une argile brun-chocolat foncé ; le sol seffrite relativement bien,
cassure subangulaire, nombreux gros pores, peu luisant, un peu frais.
- 120-140 Nettement compact, un peu gras mais pas adhésif, faces luisantes, plus anguleuses,
plus brun rougeâtre foncé à chocolat, légèrement plus rouge : 5 YR 3/3 à 3/2 : cassure
plus terne et plus claire, difficilement pénétrable au couteau (halloysite).
- 140-160 Un peu plus luisant, encore très foncé, quelques taches manganiques,
- 160-200 Beaucoup plus claire marron : 5 YR 4/4 : très anguleux, compact, faces très très
luisantes, un peu lamellaire, quelques pisolites ferro-manganiques noirs épar-
sés, un peu gras mais pas adhésif, compact mais s'effrite relativement bien et mieux qu'à
140 cm ; moins de revêtements manganiques.
Beaucoup de racines d'hévéa entre 40 et 100. Encore quelques unes dans l'argile en
profondeur.

N°	Profondeur en cms	Humidité naturelle % sol sec	Argile %	Limon %	Sables			I.I.O %	pH
					20 à 50 µ	50 à 200 µ	200 à 2000 µ		
a	0 - 30	31	7.5	25.5	22	33	I	6.7	6.9
b	40 - 60	40						2.1	6.9
c	65 - 85	36						2.8	6.8
d	110 - 135	39	53.5	18	9	11	1.5	6.4	6.7
e	160 - 200								

N°	Bases échangeables mé p.100 g				S %	T mé %	V %	Densité Apparente	P205 mg p.100	
	Ca	Mg	K	Na					total	Truog
a	12.15	0.45	0.71	0.16	13.5	20	67	0.81	235	7.2
b	8.10	0.60	0.47	0.14	9.3	18	52	0.71	205	3.6
c								0.83		2.2
d	5.25	0.45	0.98	0.19	6.9	12	58	1.16	115	1.2

Sols sur roches volcaniques dures

Régions Sud et Ouest de Quevedo (Pichincha) à longue saison sèche
Pluv. 1 à 1,5 m.

b - INTERGRADES FERRISOLS - VERTISOLS ET FERRISOLS à B Compacts

d - Initial rubrozems (E. FREI) définis comme transition entre les argiles noires gonflantes - autochtonic gravinigra - (vertisols lithomorphes) et les latosols rouges (Ferralitiques friables) avec toutes les variations possibles entre les deux extrêmes.

PAYS: EQUATEUR

REGION: EMPALME

PROFIL N° 65

Roche Mère: Volcanisme ancien-coulée.

DATE: Fin Nov. 1963

Pluviométrie: Pichincha 1963: ...-65-333-141-35-2-0 = 0-1-...-... = voisin 600mm.

Temperature: moyenne 26°-moy maxima 31° - moy minima 20°

Altitude: 200 mètres.

LIEU: Route de Empalme à Proto Viejo - au Km. 1 après Pichincha-après le rio Pelita-accidenté collines-de 50m-à sommets arrondis et pentes raides-zone déjà assez sèche-paturages à herbes sèches-forêt avec arbres sans feuilles- et défrichés-surtout en savanes sèches- vestiges de forêts par place seulement-savane en mauvais état- sur une butte, légère pente 5 %-pas de bananes depuis 2 ou 3 km après Empalme donc à 24 km du profil.

- 0 - 30 Compact-fendillé-sec-foncé, uniforme sur 30cms-plus foncé sur 15cms puis tirant sur le brun rouge-peu de pores sauf en surface-mais nombreuses racines- polyedrique
Couleur 0 - 15 - 7.5Yr 4/2 humide et sec-et vers 30cms 5YR 4/2.- Sturcutre massive fissures de 4 cms-délimitant des grands polygones de 60cms.
- 30 - 35 Plus rouge 5YR 5/6-sec ou humide - encore fendillé 1 cm à 2 cm- très compact-faces légèrement anguleuses-peu de pores-nombreuses petites racines-mottes très dures-Qq. minéraux.
- 35 - 50 Rougeâtre-angulaire- très compact-qq. taches ocres légères- revêtements luisants sur les faces-qq. debris altérés petites racines sur les faces-peu de pores.
- 50 - 70 Nombreux minéraux - 30% petits débris de roches altérés blanchâtre à rose.

Echantillon N°:	Profondeur en cms	Humidité naturelle % p.c.	Argile %	Limon %	Sables %			M.O. C+L+Z	C g %	N mg %	C / N
					20 50	50 200	(eau) 200 2000				
65 a	0 - 20		39	21	13,5	15	1,5(4)	5,5	3,12	284	10,9
b	20 - 30	26									
c	35 - 45	34	59	18,5	7,5	5	2,0(5)	1,03	0,60	56	10,7
d	55 - 70	34									

Echant. No:	Bases échangeables mé p.100 gr				S	T	V %	K total mé%	P205 total mg %	P205 trug mg %	pH K Cl	pH eau
	Ca	Mg	K	Na								
a	9.45	1.00	0.56	0.23	II,24	22	52	2,4	143	8,9	5,5	6,4
b	-	-	-	-						0,8		
c	10.05	1.45	0.25	0.16	II,9I	23	52			0,2	5,1	5,8
d	-	-	-	-						0,2	5,1	5,7

TYPE DE SOL : Sols argileux de zones sèches.

Régions d'altitude - 2600 m - ceinture nuageuse très humide du versant
 parcifique.
 $T = 10 \text{ à } 15^{\circ}$

- a - SOLS PEU EVOLUES - D'ORIGINE NON CLIMATIQUE - D'APPORTS AERIENS
- b - SOLS FAIBLEMENT ALLOPHANIQUES - reposant sur des sols FORTEMENT
 ALLOPHANIQUES
- c - ou (UMBRANDEPTS
 (ENTIC HYDRANDEPTS sur HYDRANDEPTS
- d - Latosolic brunizems (E FREI) ??

PAYS: EQUATEUR

REGION: CORDILLERE DES ANDES

PROFIL NO 73

Roche Mère: dépôts aériens de cendres volcaniques.

DATE: déc. 63

Pluviométrie: voisin 12 m. ou davantage, souvent dans les nuages, brouillards très fréquents - humidité constante.

Altitude: 2600 m. Température: 12° - max. 17° - min. 8° (moyennes).

LIEU: Route de QUEVEDO LATACUNGA - à 4 km au delà de PILALO. Pente assez forte 30%. Paturage déboisé avec du trèfle. encore les souches d'arbres. Plutôt en arrête. En général, fortes pentes de montagne souvent boisées. Forêt originale de taille moyenne. Région paraissant très humide, fougères ... peut-être pluviométrie peu élevée mais ennuagement et brouillards fréquents.

- I - 0-5 Très noir, humifère, friable, terrcau, sable très humifère
 5-20 Beige brunâtre encore un peu foncé d'abord puis plus clair sableux avec de nombreux minéraux. Pas de pores bien visibles 7,5 YR 5/4.
 20-50 Plus grossier - à peine savonneux - s'écrase peu entre les doigts avec par endroits quelques petits débris d'altération et de roches blanchâtre de 2 à 5 mm. parfois 1 cm. petits pores 10 YR 4/4 beige humide et 3/3 humide.
- II- 50-120 BRusquement humifère - brunâtre 10 YR 3/3 sable fin s'écrasant bien entre les doigts. Peu de minéraux visibles, peu cohérent mais se taille au couteau donc présence de gels. Assez savonneux.
- 120-220 Jaune un peu foncé 10 YR 5/6 frais s'écrasant bien, savonneux, fin pseudosable. Quelques minéraux beiges noirs et brillants, par endroits taches plus cohérentes, plus brunes mais irrégulières. Allophane typique.
- 220 paraît légèrement argileux.
- N.B - Dans le talus de la route ont voit l'allophane jaune avec des noyaux irréguliers plus bruns un peu cohérents et des parties plus friables, plus clair 10 YR 6/6 frais et 4/4 mouillé. (Idem Bassignac - Martinique)

I échantillon 73X - eau = 150%.

*Sables après tamisage sur ech attaqué à HCl bouillant puis soude concentrée

Echantillon No:	Profondeur en cms	Terre fine	Argile %	Limon %	Sables %			M.O.	C g %	N mg %	C / N
					20-50	50-200	>200-2				
73 a	0-20	49								588	
b	20-40	23	8 ?	28 ?	26?	34*	2*			243	
c	50-70	59	8	25	25!	21*	17*			335	
d	90-120	61				23*	13*			280	
e	140-200	70	4 ?	30 ?	16?	26-24*	19*17			162	
x						8 *	4 *				

Echant. No:	Bases échangeables mé p.100				S	T	V %	T sur éch. frais	P205 total mg %	P205 trug mg %	pH
	Ca	Mg	K	Na							
a	5.85	1.00	0.23	0.15	7,23	26	28		91	3,8	5,1
b	6.75	0.15	0.06	0.11	7,1	12	59		112	4,0	5,3
c	1.05	0.15	0.10	0.13	1,4	19	7		105	0,7	5,3
d	1.95	0.15	0.10	0.11	2,3	20	11				5,9
e	2.10	0.15	0.18	0.13	2,56	19	13			0,4	5,9
x	2,55	0.15	0.07	0.19	3,00	45	7	60		0,3	5,9

No	Densité		Porosité		pF 4,2			pF 2,8			pF 2,8-4,2		
	A	R	Pt	mp	frais	sec	Dif	frais	sec	Dif	frais	sec	Dif
a					37,3	30	7,3	51	40,8	10,2	13,7	10,8	
c					38,1	19,7	18,4	51	32,1	18,9	12,9	12,4	
d					39,1	20	19,1	59,3	31,9	27,4	20,2	11,9	
e					39,4	16	23,4	52,6	25,4	27,2	13,2	9,4	
x					103	31,6	71,8	148	36,3	112	44,7	4,7	

		>50 μ terre	ML ST	% M.L. Opacités	% Minéraux lourds transparents					Min. légers		
					Hypers	Hornblende Vulc	Ande B.	Angite	Epidote	Quartz	Felds Calco.	
73	b	20-40	5,2	30	6	85	6			40	60	e=1,26 à 0,65mm
	c	140-200	3	16	23	59	11			33	67	
	x	400	2,3	10	24	60	7	4	2	6	94	e=0,37 à 0,65mm

Paramon vers 3500 à 4000 m d'altitude, T = 10° Mini. 0° Vents violents

(SOLS PEU EVOLUES D'APPORTS AERIENS
a- (SOLS ISO-HUMIQUES à complexe partiellement désaturé ou BRUNIZEMS
(la MO à cependant un C/N de 12 à 17 ??)

c - CRYANDEPTS

d - Black Equatorial Brunizems (E. FREI)
Suelos negro andino

PAYS: EQUATEUR

REGION: PARAMON DE IPULLI PILALO

PROFIL NO 96

Roche Mère: Cendre andésitique

DATE: Déc. 63

Pluviométrie: - vents violents, nuageux.

Altitude: 3500 m. environ. Température: 8 à 10°. Minimum 0°

LIEU: Vers 3500 m. - près du Rio TOACHI. - paysage accidenté du PARAMON - En dominant la haute vallée du Rio TOACHI - quelques cultures - végétation de paramon - pente assez forte. 0 - 5 très noir - humifère - racines.

6 -30 brunâtre - assez clair - sec. Nombreux minéraux brillants - aspect de tuf. donne des mottes sèches peu cohérentes - 5 YR 4/2 frais et 3/2 humide. Texture mouillée sablo argileuse mais cohésion peut être due à la M.O. Sable de 1/2 mm abondant. Quelques petits quartz semble-t-il - certains de 2 à 3 mm.

30-40 Ponce beige claire.

40-100 Cendres très noire - assez grossière - plus noire qu'en surface - on voit souvent ces sols très noirs enterrés 5 Y 2/1 Encore plus noir - presque bleuté noir - un peu argileux ou cohésion due à la M.O. - sable assez grossier - noir anthracite.

AUTRE PROFIL à peu de distance :

Sous 1 m. de cendre très noire et au dessus de la roche on trouve une zone d'altération un peu fendillée et d'ailleurs plus foncée au contact de la cendre. Un peu argileux quoique de nombreux minéraux soient visibles (voir type d'argile) humide, plastique, un peu adhésif (20% argile) débris de roches. Roche volcanique ancienne altérée recouverte de cendre.

Echantillon No:	Profondeur en cms	Humidité naturelle % sec	Argile %	Limon %	Sables %		M.O. C.N. 1.72	C g %	N mg %	C / N
					50-200	> 200				
96a	5 -30	25			17	40	7,26	4,22	322	13
bb	50-70	38			13 après acide chlorhydrique	34	5,8	3,37	217	16

Echant. No:	Bases échangeables mé p.100 gr				S	T	V %	p205 total mg %	p205 truo mg %	pH eau
	Ca	Mg	K	Na						
96 a	3.90	2.05	0.15	0.16	6,3	13	49	128	5,3	5.9
b	2.10	1.10	0.20	0.19	3,6	13	27	83	1,6	5.4

96 b = Sables très altérés = voisin 93 - surtout hypersthène - argile et épidote feldspaths calcotodiques altérés, arrondis, machurés, couverts de taches noires.

TYPE DE SOL :

PAYS: EQUATEUR

REGION: PARAMON de PILULI PILALO

PROFIL No 95

Roche Mère: Cendre andésitique

DATE: déc. 63

Pluviométrie: voisine de 0.5mm, et uniforme toute l'année. Vents très violents - souvent nuageux. Température moyenne 8 à 10°

Altitude: 3.500 m.

LIEU: à 3.500 m. dans le Paramon - de LATACUNGA vers QUEVEDO - végétation très rase de mousses et herbes en rosettes. Quelques rares touffes d'herbes. Dans toute la région, on voit de grands dépôts de cendres de 1,5 à 2 m. Très noirs quand humide recouvrant uniformément le substratum ancien tuf ou roches, le plus souvent roches altérées. Plutôt en bosse.

0-5 Racines enchevêtrées très noires.

5-25 Brun noir foncé 10 YR 2/2 frais rendu cohérent par la M.O. et les racines. S'effrite bien - aspect de tourbe lié par les racines très nombreuses et fines - peu de pores visibles. Sable fin - quelques minéraux translucides de 0,5 mm. Quartz ?

25-80 Encore humifère mais plus particulière - parfois des lits hétérogènes plus grossiers - 10 YR 3/2 - malléable mouillé mais sable lié par M.O. - pas adhésif. Mottes fraîches peu cohérentes - cohésion organique - peu de racines - peu de pores visibles. Nombreux minéraux brillants de 1/2 mm. (quartz).

Echantillon No: 95	Profondeur en cms	Terre fine	Argile %	Limon %	Sables %		M.O. C.L.L.	C g %	N mg % g	C/N
					50-200	> 200				
a	5-25				20	19.5	13,5	7,9	500	16
b	30-60				20	33	5	2,9	252	11,5

Echant. No	Bases échangeables mé % g.				S	T	V %		P ₂ O ₅ total mg % g	P ₂ O ₅ trug mg % g	pH K cl	pH eau
	Ca	Mg	K	Na								
a	10.80	0.60	0.25	0.15	11,80	24	50		117	3,6	5,6	6
b	-	-	-	-						5,6	5,2	5,7

Densité a 1.3 eau 21
apparente b 1.13 36

TYPE DE SOL:

PAYS: **GUINÉE**

REGION: **HAUTE GUINÉE**

PROFIL N° 93

Roche Mère: **épôt éolien de cendres volcaniques sur ponce.**

DATE: **23. 65**

Pluviométrie: **voisine de 0,5 m. et uniformément répartie, souvent nuageux.**

Altitude: **Température : moyen. inf. 29° - mini. 22° maxi. 32° Température uniforme chaque mois**

LIEU: **A 3500 m. d'altitude entre QUITO et LAMACOUA dans la vallée interannale sur les pentes du Volcan COTOPAXI - 6010m. -**
Végétation de paramon - mousses - lichens - plantes à rosettes - quelques touffes d'herbe. Légèrement ondulée - plutôt en bosse - donc partie drainée.

0-30 Très noir. Très humifère. Beaucoup de racines de 0 à 3 cms. Chevelu. On a retiré du prélèvement des racines arborescentes, des plantules rases. Assez friable sable grossier de 1/2 mm. - cendre très noire - humifère - très peu cohérent, structure presque particulière - s'effrite aisément.

30-35 Nettement plus grossier - cendre plus grossière et petits débris de ponce - cendre noire.

35 - Ponce beige claire pure - on en voit plusieurs mètres en bancs avec de la ponce de texture variable de 0,5 à 2 cm. Parfois on voit des couches noires enterrées.

Echantillon N°:	Profondeur en cms	Terre fine	Argile %	Limon %	Sables %		M.O. c. 1.72	C g %	N mg % g	C/N
					50-200	> 200				
93 A	3 - 25				29 <i>après analyse et soude pour diluer</i>	40	5,28	3,07	140	20

Echant. N°	Bases échangeables mé % g.				S	T	V %		P2O5 total mg % g	P2O5 truo g mg % g	pH
	Ca	Mg	K	Na							
93 a	2.25	0.60	0.09	0.11	3,05	6	50		56	7,6	5.3

Humidité naturelle: 26

N°	Densité		Porosité		pF 4,2			pF 2,8			pF 2,8-4,2		
	A	R	Pt	mp	frais	sec	Dif	frais	sec	Dif	frais	sec	Dif
					7,3	8,9	-1,6	14,8	-	-	7,5	-	

		Sable >50µ terre	% S		% lourds transp.					Minéraux légers		L: lourds l: légers
			ML ST	Opac	Hyp. cristallins	Angit	Epid Zois.	Div.				
93a	très grossier	66,3	12	0	52	18	14	16	Feldspaths calcosodiques très acides			pas d'hornblendes

TYPE DE SOL:

Haute vallée inter andine Alt. 2500 m, Pluv. 600 mm ou moins, T = 15°

a - (SOLS PEU EVOLUES - D'ORIGINE NON CLIMATIQUE - D'APPORTS AERIENS
(Sols iso humiques

c = ANDEPTIC HAPLUDENTS

d - Dark Equatorial Brunizems

PAYS: EQUATEUR REGION: Vallée interandine PROFIL N° I18
Altitude: vers 2800 à 3000 m PILLARO (LATAKUNGA) DATE: Fin Déc. 63
Roche Mère: Cendre andésitique Température moyenne mensuelle I42 (extrêmes 12,6 à 14,7)
Moyenne max. mensuelle 21,2 - Moyenne min. mensuelle 9 -
Pluviométrie: Environ 500mm - 48-39-49-62-51-37-20-26-26-51-42-39 = 490 mm
(à Ambato) Heures de soleil -135-109-112-106-104-102-92-118-121-155-150-153 = 1457
Modelé local: Presque plat en sommet, la pente douce commence à 50 m environ.

Drainage externe: Petit canal d'irrigation au-dessus maintenant la fraîcheur en profondeur.
Végétation et cultures: Grand champ de maïs en courbes de niveau - jeunes maïs de 20 cms -
Jamais d'engrais minéral.

Lieu et paysage: Route de PATATE à LATAKUNGA - Après le village de PILLARO - Larges ondulations - Petites fermes isolées au milieu des champs - Champs de 1/2 Ha irrigués - Zone très cultivée - tout est en culture.

Sur un plateau d'où l'on voit toute la vallée interandine avec le volcan TUNGURAGHUA (5200 m) à l'Est et le CHIMBORAZO (6100 m) à l'Ouest.

0-25 - Labouré mais déjà un peu plaqué en surface - Brun noir à noir humide - 10 YR 3/2 - devenant blanc en séchant 10 YR 6/2 - Mottes très peu cohérentes - Sable limoneux, agrégé par la M.O. - s'effrite bien - très poreux - terreau humide.

25-50 - Très noir - beaucoup plus noir qu'en surface - noir anthracite, luisant - plus noir qu'2,5 YR 2/1 - Plus dur à l'outil (non remué par le labour) - Mottes se brisant en petits agrégats bien anguleux - très noirs et paraissant un peu durcis - plus cohérents - Nombreux pores - En s'écrasant la couleur devient moins noire, perd sa luisance - devient brun noir - Donc revêtements luisants organiques ou manganiques.

Tuf brunâtre - beige, un peu argileux en profondeur avec taches noires de Mn ou M.O quelques noyaux durs peu altérés.

Sables :

a lourds pondéral 10% - hypersthène 71 augide 10 hornblende verte 18 épidote 2
légers 90% - minéraux altérés non déterminables (vraisemblablement plagioclases) rares verres volcaniques - quelques plagioclases non altérés - pas de quartz

b lourds pondéral 11% - hypersthène 41 - augide 18 - hornblende 41
légers 89 minéraux très altérés mais un peu moins qu'en a pas de quartz.

Echantil- -lon NO		Profond- -eur cms		Hori zon	Eau % sec	Argile Limon % %		Sables % 20-50 50-200 200-2000			Ma.Or. Cx172 Z	C g %	N mg %	C/N
II8 a		0-25			3	17	22	19	27	6,7	3,2	1,86	180	0,96
b		25-40				7,3	22	21	32	6,5	3,00	1,76	140	12,6
NO	Bases échangeables : mé.p.100					g.sol	T	V %	Humid nat. % sec	p2,5 total mg %	p2,5 trug mg %	pH K Cl	pH 1/2,5 eau	
a	Ca	Mg	K	Na	S									
a	9,00	1,52	0,57	0,19	11,3	20	57		28- 31	112	15	5,7	6,1-6,4	
b									37- 39		18,1			
NO														

Type de sol:

PAYS: EQUATEUR

REGION: LATACUNGA

PROFIL No 94

Roche Mère: cendre volcanique.

DATE: déc. 63

Pluviométrie: Voisin 600 mm. - Température: 13° max. moyen 20°, mini. moyen 8°
uniforme toute l'année.

Altitude: 2.800 m.

LIEU: Après LATACUNGA vers QUEVEDO (2.800 m.) zone très cultivée, très érodée. Les sols noirs ont souvent disparu laissant apparaître la ponce beige claire. Les pentes sont souvent très fortes. Zones peu accidentées à l'endroit du prélèvement juste avant PILULI. Avant LA SIERRA champs labouré plutôt en partie basse.

PROFIL: Les sols sont limoneux très finement sableux de couleur claire quand sec et labouré, foncé quand humide. Limon très légèrement argileux avec nombreux petits minéraux. Quelques mottes très peu cohérentes 2,5 Y 4/2 et mouillé 10 YR 5/5. Un peu malléable humide, un peu adhésif, mais très limoneux, (voir type d'argile).

Sur les bosses, les cendres sont plus grossières formant presque des petites dunes remuées par les vents.

échantillon 94 0-30

Echantillon No:	Profondeur en cms	Terre fine	Argile %	Limon %	Sables % (eau)			M.O. C x 1,72	C g %	N mg % g	C/N
					20-50	50-200	200-2000				
échant. 94	0-30	100	11,5	33	24,5	17,5	7,5(3)	2,1	1,22	98	12,9

Echant. No	Bases échangeables mé % g.				S	T	V %		P205 total mg % g	P205 truo g mg % g	pH K Cl	pH eau
	Ca	Mg	K	Na								
E 94 a	9.00	1.50	0.70	0.18	11,4	18	63		80	19	5,6	6,3

TYPE DE SOL:

Regions Vines Babaoyo Milagro

a- SOLS PEU EVOLUES D'APPORTS ALLUVIAUX

b- Sols alluviaux des berges

c- ORTHO PSAMMENTS

PAYS: EQUATEUR

REGION: VENTANAS

PROFIL N° 80

Roche Mère: Alluvions issues de cendres volcaniques

DATE: déc. 63

Pluviométrie: BABAJO 7 ans : 343-498-511-398-157-19 = 2-1-1-6-3-61 = 1992mm.

Altitude: Plusieurs mois secs mais un orage léger 48 h. auparavant.

50 m. Température : moyenne 25° max. moyenne mensuel 29°, mini 21,3°

LIEU: Après VENTANAS à 1 km 5 avant PUEBLO VIEJO. Zone très plate, pas très loin de la rivière depuis VENTANAS, larges terrasses alluviales avec souvent des anciens bras séchés, puis on s'écarte un peu du Rio ZAPOTAL.

Bolles bananeraies. Régimes de 50 kg. Presque partout des plantations de cacaoyers en intercalaires. Le plus souvent des vieux cacaoyers, mais ici des jeunes pied de 4 ans sous bananes 100 gr Urée deux fois par an durant les pluies. Jamais K ni P- 1000 pieds de bananes environ donc 100 kg d'Urée - 80 kg N Ha. Les régimes de ces régions font primes sur le marché de GUAYAQUIL et sont acceptés avant ceux des autres régions comme QUEVEDO. Deux raisons : transports moins lointains et par la rivière donc moins de secousse et jamais de pulpe jaune. Meilleure qualité, plus de soleil, bananes plus pleines. Défriché depuis très longtemps certainement au moins 50 ans.

0-5 Très humifère, gris, bien agrégé, très peu cohérent, limon finement sableux. Enormément de racines 10 YR 4/2 sec et mouillé très voisin absorbe mal l'eau, se mouille mal.

5-10 Beige jaune assez clair 10 YR 7/6, limoneux, un peu cohérent, légère structure jusqu'à 10 cm. nombreux pores.

10-30 analogue mais sans structure, nettement sable limoneux fin.

30-120 Sable très fin, beige clair 10 YR 7/4 à 7/6 avec très nombreux minéraux brillants, un peu frais, peu de pores mais perméable.

120-150 Un peu argileux, teinte grisâtre avec veines rouilles d'hydroxydes - pseudogley. Limono argileux brunâtre 10 YR 4/4 avec nombreux micas et petites taches grises, pseudogley, noyaux d'argile grise isolés dans la matrice sableuse.

150-200 Sables très fins avec nombreux minéraux micacés et légères taches rouilles, plus humide, très doux au toucher, sable un peu ferruginisés ou un peu organique. 2° sol ou accumulation?

Echantillon N°:	Profondeur en cms	Humidité naturelle % à 20°	Argile %	Limon %	Sables % μ			M.O. C x 171	C g %	N mg %	C / N
a	0 - 10	20	24	23	20-50	50-200	200-2000	3,5	2,05	213	9,7
b	20 - 40	14	2	7	24	62	0,7	0,6	0,35	39	9
c	50 - 70							0,5	0,28	29	10
d	200							0,8	0,48	32	15 ?

Echant. No:	Bases échangeables mé p.100 gr				S	T	V %		P205 total mg %	P205 truo mg %	pH KCl	pH
	Ca	Mg	K	Na								
80 a	5.70	1.50	1.02	0.15	8,4	17	49		186	14,6		6.2
b	6.30	1.00	0.49	0.11	7,9	10	79		85	3		6.3
c	-	-	-	-		10			74	2,4	4,3	5,8
d	-	-	-	-						15,0	4,4	6

Densité
apparente 50 cm: 1.0

apparente		ML		% lourds transparents				% minéraux légers				
Echant. No:	Prof.	ST 50M	% M.L.	Opacés	Hypers ténés	Horn. Vert.	Epides.	Zoisite	Quartz	Felds K	Felds CaSod.	
80b	20-40	2,1	24	II	74	7	7		60	I	39	Long. 0,08 à 0,2 mm avec micas biolites, et biolites chloritiques

TYPE DE SOL :

PAYS: EQUATEUR REGION: VINCES PROFIL N°32
 Roche Mère: Alluvions issues descendres volcaniques. DATE: décembre 63
 Pluviométrie: 3 ans VINCES : 453-239-265-345-275⁻¹⁵⁻ = 6-0-10-15-61 = 1704
 Altitude: 20 m.

LIEU: Hacienda NUEVA. A 1 km au Nord de VINCES. Madame BERTHIER

Ondulé doucement. Ancienne terrasse avec berges de rivières et parties plus basses. Ancien méandre sans doute. Zone plate. Ayant porté il y a 10 ans de très vieux cacaoyers (50 ans au moins). Broussaillage depuis 10 ans. Jeune plantation de bananes. Jamais d'engrais. Quelques vieux cacaoyers de 60 ans aux alentours.

Pas de pluie depuis février, assez exceptionnel, pourtant cacaoyers bien verts.

0 - 5 Gris assez dur, mottes, se brisant à la main, sec, limon sableux, peut-être un peu argileux, très foncé, humide.

10-15 Beige, très sec, dur mais se casse dans la main, très poreux, taches brunes.

15-30 Beige avec légères taches rouilles, limoneux à sable fin, très poreux, pores de 1 mm. Des quantités de pores, beige blanc avec points rouilles. Structure très faiblement développée. 10 YR 7/4 sec et plus foncé humide 4/4. Bien perméable.

30-50 Taches brunes plus abondantes.

50-100 Cendre, pur, sable fin à 1/2 grossier, gris beige, couleur cendre avec minéraux noirs. Sable uniquement, veines rouilles dans les 10 YR 5/6. Légèrement frais. Poches de sable avec par place des zones plus brunes, plus fines avec nombreux micas. Irrégulier.

100-200 Plus limoneux, humide déjà, sable fin, avec petites veines rouilles et brunes.

Bombreux minéraux brillants.

200-240 Devient très humide, sable grossier de 1 à 2 mm, noir, roulé, petits quartz, etc., mouillé, eau.

240-300 Limon très humide beige avec marbrures rouilles.

300-320 Limon très fin bleu gris acier. Toujours humide.

Echantillon N°:	Profondeur en cms	Humidité naturelle % sec	Argile %	Limon %	Sables %			M.O. C x 1.72	C g %	N mg %	C / N
					20 50	50 200	(eau) 200 2000				
a	0 - 10	20						3,7	2,16	217	10
b	20 - 40	20	5,5	38,5	36	10,5	2,5(4,1)	1,4	0,81	101	8
c	100 - 120	18						0,34	0,20	28	7
d											

Echant. No:	Bases échangeables mé p.100 gr				S	T	V %		P205 total mg %	P205 truog mg %	pH KCl	pH
	Ca	Mg	K	Na								
82 a	8.85	1.05	0.40	0.18	10,5	22	48		158	3,2		5,8
b	6.60	1.00	0.05	0.19	7,84	19	41		85	7,4		6,5
c	6.45	1.80	0.05	0.26	8,6	10	86			13,7	5,1	6,6
d	-	-	-	-								

N°	Densité		Porosité		pF 4,2			pF 2,8			pF 2,8-4,2		
	A	R	Pt	mp	frais	sec	Dif	frais	sec	Dif	frais	sec	Dif
a					25,9	-	-	42,8	-	-	16,9	-	

TYPE DE SOL :

Sols argileux des plaines basses rizicoles Nord et Est de Guayaquil

a - b - VERTISOLS TOPOMORPHES à hydromorphie

d - Alluvial gravinigra (E. FREI)

PAYS: EQUATEUR

REGION: BABAHYO

PROFIL NO 85

Roche Mère: Alluvions de deltas.

DATE: déc. 63

Pluviométrie: 7 ans 343-498-511-398-157-19 = 2-1-1-6-3-61 = 1992 mm.

Altitude: 10 m. Température : moyenne 13° - moyenne maxi mensuelle 29,6, mini 21,3

LIEU:**PAYSAGE** : En bordure de la rivière, sols limoneux avec belles cacaoyères, jeunes plantations. Ces terrasses semblent avoir 100 à 200 m. de largeur, parfois plus.

En arrière, on trouve de vastes étendues plates, labourées pour le riz. Ces vastes surfaces travaillées mécaniquement sont coupées d'îlots boisés.

LIEU : A 3 km de BABAHYO dans les plaines argileuses à riz à 1 km de la route, vaste zone plate de 100 à 200 Ha.

0-10 Blocs de 5 à 6 cm, gris clair en surface 10 YR 7/2 devenant très foncé humide 10 YR 3/2 paille de riz en surface, sec, les mottes ne gonflent pas dans l'eau, se délitent peu, s'effritent bien sur 10 cm. Quelques taches rouilles dans les inter-aces 6/6, quelques petits pores.

10-40 Noir-2,5 Y 3/0 argile un peu limoneuse, malléable, n'adhère pas, s'effrite assez bien. Très légères veines rouilles le long des racines, peu poreux, semble n'avoir jamais séché.

40-70 Plus clair 5 Y 4/1 à 4/2 un peu verdâtre légèrement, argileux nettement plus limoneux, serait un peu perméable, petits pores assez nombreux.

Défrichée il y a 10 ans. En savane jadis, jamais d'engrais, riz : 15 qt Ha.

- BABAHYO- YAGUACHI au km 10. Grande plaine argileuse - idem - plat - légère éminence.

0-10 mottes dures de 2 à 3 cm, gris clair sec, très foncé, humide, ne se délitent pas à l'eau.

10-50 Gris foncé, argileux, un peu limoneux, très poreux, se taille au couteau, taches rouilles légères, pas adhérent. Brun gris à taches brunes.

50 Argile très noire limoneuse idem ci-dessus.

Donc idem mais partie mieux drainée de 40 cm plus haut que les alentours.

Echantillon No:	Profondeur en cms	Humidité naturelle %	Argile %	Limon %	Sables %			M.O.	C g %	N mg %	C / N
					20 50	50 200	200 2000				
a	0 - 20	33	54,5	28,5	7	4,5	0,25,5			280	
b	20 - 40	35	48,5	27	9,5	5	1(6)			180	
c	40 - 50	42								120	

Echant. No:	Bases échangeables mé p.100				S	T	V %		P205 total mg %	P205 trug mg %	pH eau
	Ca	Mg	K	Na							
a	11.25	3.34	0.20	1.04	15,8	25	63		75	1,3	5.5
b	13.35	3.50	0.10	2.70	19,7	28	71		36	1,6	6.7
c	-	-	-	-						3,0	7.3

Argile b = Montmorillonite et métahalloysite ou halloysite

TYPE DE SOL : Alluvions argileuses.

a - SOLS PEU EVOLUES D'APPORTS ALLUVIAUX

b - Sols alluviaux de Machala

PAYS: EQUATEUR REGION: MACHALA PROFIL NO 104
 Roche Mère: alluvions issues de cendres DATE: fin déc. 63
 Pluviométrie: La Esperanza : 7 ans = 94-157-164-86-21-27 = 11-9-31-28-14-16 = 638 mm.
 Altitude: 5 à 10 mètres.

LIEU: Ferme expérimentale à 5kms de MACHALA.

Très plat dans une partie en banane - irrigué il y a un mois, encore très humide.

Un prélèvement d'eau dans le canal d'irrigation 105 venant du Rio JUBONES, eau très sale.

0-40 Limon argileux - brun noir - légèrement argileux, très poreux, macropores. Excellente structure, bien meuble, tendance grumeleuse, faces arrondies 10 YR 4/2.

40-70 Limon finement sableux très légèrement argileux, beige avec veines grises et rouilles 10 YR 6/3 beige, 6/2 gris.

70-80 Sable fin beige avec taches grises et rouilles et minéraux brillants, quelques petits pores, taches rouille autour des racines. Limon très finement sableux.
 Donc un peu hydromorphe.

80 Id. mais un peu plus beige jaune, plus sableux légèrement.

Racines dans tout le profil.

Un échantillon de surface présentant des points blancs, fréquents, en efflorescences sur les agrégats de surface a été ramassé. Bord des limbes foliaires nettement bruns. Ces efflorescences sont très fréquentes.

E 104 0-I

Un autre échantillon dans des cacaoyères avec des feuilles nettement déséchées en partie. Toxicité.

E 105 0-I pH 6,2

Echantillon No:	Profondeur en cms	Terre fine	Argile %	Limon %	Sables %			M.O.	C g %	N mg %	C / N
					20-50	50-200	200-1000				
104 a	0 - 20	100	22,5	33	28	7,5	0,3			230	
b	40-60	100	12,5	34,5	40	6	0,3			130	

Echant. No:	Bases échangeables mé p.100 gr				S	T	V %		P205 total mg %	P205 truoog mg %	pH K Cl	pH eau
	Ca	Mg	K	Na								
a	17.25	1.91	2.92	0.53	22,6	36	63		184	> 22	6,7	7,2
b	20.70	3.34	0.86	0.82	25,7	29	88		92	> 22	6,1	7,1

TYPE DE SOL : Alluvions

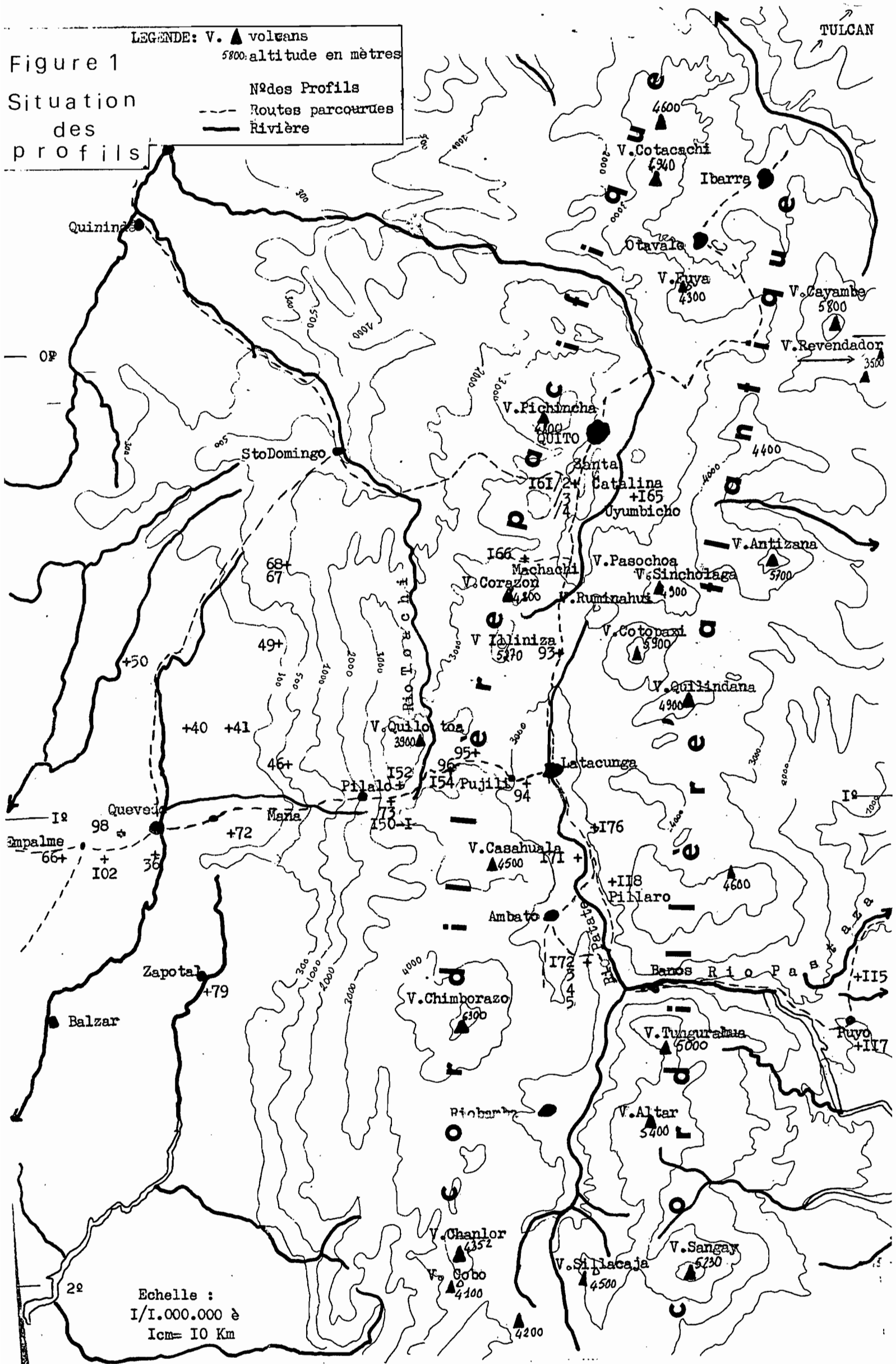
CARACTERISTIQUES DE QUELQUES SOLS D'EQUATEUR DERIVES DE CENDRES VOLCANIQUES

3 ème partie Juin 1968

LEGENDE: V. ▲ volcans
5800: altitude en mètres

Figure 1
Situation
des
profils

N° des Profils
--- Routes parcourues
— Rivière



Echelle :
1/1.000.000 à
1cm= 10 Km

	Pages
I - INTRODUCTION	p. 1
2 - GEOLOGIE	p. 2
2-1 Généralités	
2-2 Variations de la composition des produits rejetés	
2-3 Nature minéralogique des sables	
2-4 Conclusion	
3 - CLIMAT	p. 17
1 Température	
2 Pluviométrie	
4 - SOLS A ALLOPHANES FORTEMENT HYDRATES d'altitudes.	p. 21
5 - LES SOLS DES HAUTES ALTITUDES - PARAMON	p. 29
51 -	
52 -	
53 -	
54-1	
2	
55 -	
56 - Conclusion	
6 - LES SOLS DES REGIONS RELATIVEMENT HUMIDES DE LA HAUTE VALLEE INTERANDINE	p. 40
61 -	
62 -	
63 - Conclusion	
7 - LES SOLS DES REGIONS SECHES DE LA HAUTE VALLEE INTERANDINE	p. 46
71 -	
72 -	
73 -	
74 - Conclusion	
8 - LES SOLS DES REGIONS ARIDES DE LA HAUTE VALLEE INTERANDINE	p. 54
9 - COMPARAISON DES SOLS DE LA HAUTE VALLEE INTERANDINE AVEC CEUX DES REGIONS CHAUDES TROPICALES DE BASSE ALTITUDE	p. 57
10 - CONCLUSION	p. 64

R E S U M E

Cette troisième partie est consacrée à l'étude des sols d'altitude d'EQUATEUR et fait suite à un essai de caractérisation des sols sur cendres des régions tropicales chaudes (1ère partie) et à l'étude des facteurs responsables de la pédogénèse (2ème partie).

L'examen minéralogique des sables précède une tentative d'explication de la mise en place de ces formations avec recherche des lieux d'émissions.

On retrouve à haute altitude, les sols à allophanes fortement hydratés, identiques à ceux des régions chaudes. Les sols du paramon, très organiques et ceux des zones arides n'ont par contre, pas d'équivalents en régions chaudes.

Les sols cultivés des régions relativement humides de la haute vallée interandine, sont très semblables, par l'ensemble de leurs propriétés, à ceux des zones chaudes tropicales qui, température et végétation exceptée, sont soumis à des conditions comparables d'évolution. Le fait que l'hallowaysite dans les sols jeunes d'altitude ne semble pas apparaître sous forme de tubes, comme dans les sols des régions chaudes, n'est pas suffisant pour justifier une distinction pédologique.

Ces études sont étayées par des diffractogrammes de rayons X, des analyses thermiques différentielles, des spectrogrammes d'infrarouge, des clichés de microscopie électronique, les variations de la capacité d'échange de base après divers traitements, les pF, etc...

S U M M A R Y

This third part, concerning the study of soils situated on highlands in Ecuador, is a continuation of an attempt to characterize ash volcanic soils under warm tropical climate (first part) and of the study of the factors governing their pedogenesis (second part).

A mineralogical study of the sandy fraction will precede an attempt to explain the setting of these formations and the distribution of responsible volcanoes.

On highlands are found very hydrated allophanic soils similar to those described in warm tropical areas. But "Paramon" soils, very rich in organic matter, and soils of arid zone have no equivalent in warm areas.

The cultivated soils of the relatively humid andean high valley have all their characteristics similar to those of soils of warm tropical areas. They are subjected to comparable evolutive conditions, except for vegetation and temperature.

Hallowaysite does never appear in the form of tubular particle in the soils on highlands. But this does not seem sufficient to justify a pedological distinction.

These studies are supported with numerous results obtained by means of X-ray diffraction differential thermalanalysis, infra-red analysis, electron microscopy, and physico-chemical tests (variations in the values of base exchange capacity after different treatments, pF values, etc..)

ZUSAMMENFASSUNG

Diese analytische Studie der Hochlandböden von Equator folgt einem Identifizierungsversuch der Aschenböden der warmen Tropengebiete (1. Teil), und einer Studie der hauptsächlichsten bodenbildenden Faktoren dieser Gegenden (2. Teil).

Nach mineralogischen Untersuchungen der Sandfraktionen versuchen man die Bildung der verschiedenen Aschenformationen, nach den respectiven Eruptionszentren zu kennzeichnen.

Die Allophanböden mit starkem Wassergehalt des Hochlandes gleichen sehr denen der tiefergelegenen wärmeren Gebiete. Die Böden der trockenen Zonen und die stark organischen "Paramonböden" finden sich hingegen nur in Höhenlagen.

Die debauten Böden der relativ feuchten Gegenden der interandinen Hochtäler ähneln sehr, durch die Gesamtheit ihrer Eigenschaften, denen der warmen Tropenzonen; Temperatur und Vegetation ausschliessend, sind sie ähnlichen Entwicklungsbedingungen unterworfen.

Die Tatsache, dass das Hallowaysite der Hochlandböden nicht röhrenförmig erscheint, wie in den warmen Gebieten, ist nicht ausreichend, um eine pedologische Unterscheidung zu rechtfertigen.

Diese Studien sind unterstützt durch Röntgenprüfungen, thermische Analysen, Infrarotspektroskopien, Elektronenmikroskopien und physiko-chemische Messungen (Austauschkapazität nach verschiedenen Behandlungen, pF, usw...).

CARACTERISTIQUES DE QUELQUES SOLS D'EQUATEUR DERIVES DE CENDRES VOLCANIQUES

(TROISIEME PARTIE)

COMPARAISON DE L'EVOLUTION DE QUELQUES SOLS DES REGIONS TROPICALES CHAUDS ET TEMPEREES FROIDES D'ALTITUDE

F. COLMET DAAGE (1)
J. et M. GAUTHEYROU

C. de KIMPE (2)
G. SIEFFERMANN (3)

M. DELAUNE (4)
G. FUSIL - M. KOKOUI (5)

I - I N T R O D U C T I O N

Dans une première partie, on a essayé de caractériser certains types de sols des régions tropicales chaudes. Dans une deuxième partie, ces sols ont été replacés dans leur milieu environnant, afin de pouvoir mieux dégager les facteurs qui influent sur leur formation et leur évolution.

Dans la troisième partie, on insistera surtout ^{sur} les sols des hautes altitudes, en établissant quelques comparaisons avec les sols des régions tropicales chaudes qui s'en rapprochent le plus.

Les études de terrain ont été complétées en Août 1966, à l'occasion d'une mission due à l'initiative du Directeur Régional de l'I.F.A.C. et grâce à la collaboration de la Direction Nationale de la Banane, du Ministère de l'Agriculture, de l'Université de Quito et, en particulier, de MM. les Ingénieurs F. CUCALON, F. DIAZ, FAUSTO MALDONADO, CACERES..., dont les conseils sur le terrain nous furent une aide précieuse.

Les analyses chimiques ont été exécutées par J. et M. GAUTHEYROU dans le laboratoire du Centre ORSTOM des Antilles. Les examens des argiles, aux rayons X et à l'analyse thermique différentielle, ont été faits par G. FUSIL et M. KOKOUI au laboratoire de l'ORSTOM en France, sous la direction de M. PINTA. Les sables ont été examinés par M. DELAUNE au laboratoire de géologie de l'O.R.S.T.O.M. Monsieur de KIMPE s'est chargé de la spectrographie infra-rouge et de son interprétation à la Station de Recherches du Ministère de l'Agriculture du Canada à QUEBEC et ^{de} certains examens au microscope électronique à l'Université de Louvain en Belgique. G. SIEFFERMANN a exécuté au laboratoire du Professeur MILLOT, à l'Université de Strasbourg, la plupart des clichés de microscopie électronique.

(1) Centre ORSTOM des Antilles

(2) Université de Louvain. Laboratoire du Professeur FRIPIAT - Belgique
Station de Recherches du Ministère de l'Agriculture - QUEBEC - Canada

(3) Université de Strasbourg- Laboratoire de Géologie.

(4) Laboratoire de géologie), Services scientifiques

(5) Laboratoire des argiles) centraux- ORSTOM

} FRANCE

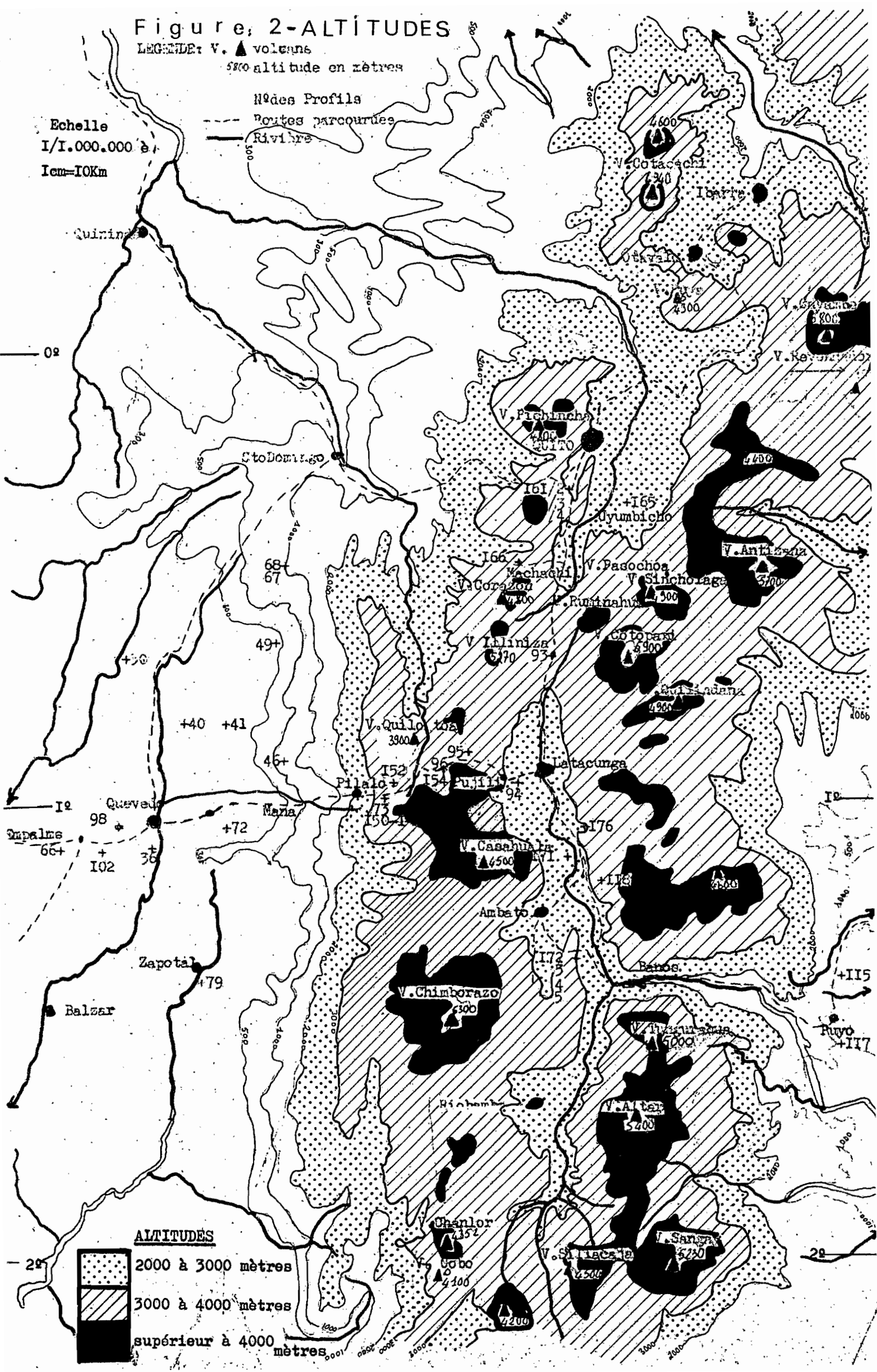
LEGENDE: V. ▲ volcano
5800 altitude en mètres

5800 altitude en mètres

Routes parcourues

Riviere

I/I.000.000'e

$$I_{cm} = I_{Okm}$$


2 - G E O L O G I E

2 -1 - GENERALITES -

Deux chaines parallèles orientées Nord/Sud, jalonnées de nombreux volcans dont plusieurs dépassant 5000 m d'altitude, enserrant la haute vallée interandine d'une largeur de 30 à 40 Kms. Cette haute vallée est séparée par l'accumulation des matériaux volcaniques en "fosses" indépendantes qui débouchent vers l'Atlantique ou le Pacifique.

Ces deux cordillères sont couvertes au Nord du 2ème parallèle de latitude Sud, de cendres et lapillis quaternaires. L'épaisseur des dépôts quaternaires est particulièrement importante dans les vallées où l'érosion et les glaciations anciennes ont creusé, dans ces matériaux peu consolidés, de très profonds ravins. Ces remaniements importants permettent difficilement d'expliquer les processus de sédimentation durant le quaternaire, où l'activité volcanique se déplaça d'ailleurs de la chaîne occidentale vers la chaîne orientale. Seuls, quelques niveaux de tufs durcis, nommés "cangagua" ont été datés, grâce à la présence de boules sphériques attribuées à un scarabée identifié.

2 -2 - VARIATION DE LA COMPOSITION DES PRODUITS REJETES -

Quatre volcans ont donné lieu à des manifestations volcaniques récentes. Ils sont situés le long de la cordillère orientale, deux au Sud : le TUNGURAHUA, le SANGAY, un autre au centre près de Quito : le COTOPAXI, un au Nord : le REVENADOR. Les deux volcans les plus éloignés, le SANGAY et le REVENADOR, bordent la plaine amazonienne. Ils envoient encore, de temps en temps, de petites couches de cendres.

Les émissions les plus récentes de ces volcans ont nettement un caractère basique, alors que les immenses dépôts de cendres volcaniques qui ont recouvert les plaines pacifique chaudes, ainsi qu'une large partie de la vallée interandine, sont dacitoïdes.

Ce passage dans le temps des laves acides à des laves basiques, semble en contradiction avec les observations faites sur les volcans des HAWAII. La première phase connue des volcans hawaïens serait caractérisée par des laves très basiques, basaltes à olivine ou picritiques, qui s'étendent au loin, formant le bouclier classique de ces volcans. A la suite de la différenciation par gravité dans le magma, des éléments les plus lourds, olivine et pyroxène, qui tendent à descendre et des éléments les plus légers, sanidine, etc... qui s'élèvent, les produits rejetés deviennent de plus en plus acides. Cette différenciation étant très lente, peu de volcans hawaïens en sont déjà au stade andésitique. (ROUTHIER-1965)

Certains paramètres caractéristiques des volcans du Pacifique, en dépit de la variation de composition des produits rejetés au cours du temps, ont permis de distinguer la série intrapacifique, où les volcans émettent surtout des produits très basiques, plus rarement andésitiques. Ces produits basiques seraient issus du sima profond des océans. Une série circum-pacifique qui comprend certaines parties des îles indonésiennes et de la chaîne andine de l'Amérique du Sud, correspondrait à des émissions plus acides de type andésitiques.

A l'intérieur d'une ligne dite "andésitique" les volcans seraient donc de type basaltique pour la plupart et à l'extérieur de cette ligne, de type andésitique. Pour RITTMANN (1953) et VERNING MEINESZ (1950), qui ont étudié surtout les volcans de l'Insulinde, une boucle du Sial s'enfoncerait dans le sima profond, tout au long de cette ligne andésitique, nommée encore : ligne "siallitique". Cette ligne se déplacerait du Nord au Sud dans l'axe indonésien, comme une onde d'orogénèse. En s'enfonçant dans le sima profond fluide, le sial est fondu, digéré par palingénèse et assimilé. Ce magma contaminé, enrichi en silice est à l'origine des produits plus acides, andésitiques ou dacitiques rejetés par les volcans. Les volcans situés sur le front d'avance de la ligne siallitique, seraient les plus acides. Par contre, ceux situés plus au Nord, dans des régions déjà dépassées par l'"onde siallitique" redeviendraient plus basiques, la trace de la précédente boucle d'enfoncement du sial se résorbant progressivement et la contamination du sima par le sial diminuant de ce fait, d'importance. (ROUTHIER-1965)

Ces hypothèses sont, en partie, reprises par SAUER pour expliquer le passage dans les andes d'Equateur du volcanisme de type andésitique ou dacitique de la chaîne pacifique au pléistocène, au volcanisme basique récent et actuel de la chaîne atlantique, face à l'Amazonie. La Cordillère Atlantique constituée de roches métamorphiques précambriennes (souvent recouvertes de matériaux volcaniques quaternaires) est beaucoup plus ancienne que la cordillère pacifique, constituée de matériaux volcaniques intercalés dans des sédiments marins crétacés et tertiaires.

Pour SAUER, il y aurait eu, au contact du bouclier continental Sud Américain, par le jeu des frictions de l'écorce terrestre, glissement du sial sous ces masses dures et enfoncement jusqu'à des profondeurs où la fusion peut se produire. La palingénèse qui accompagne cet enfoncement oblique du sial se serait produite sous la cordillère pacifique, expliquant ainsi le caractère de type "siallitique" des produits expulsés : andésites, dacites, par les volcans de cette chaîne et les matériaux plus basiques, moins "contaminés" par le sial, plus directement issus du sima profond, à travers de longues cheminées formées dans des fissures, des volcans de la chaîne Atlantique, plus ancienne et mieux consolidée.

D'autres explications peuvent être données. C'est ainsi que dans l'hypothèse de la différenciation magmatique, il est possible qu'après avoir émis les laves acides, qui surnagent dans le magma, le réservoir se vide de haut en bas, donnant des laves de plus en plus basiques. De même, on explique l'apparition, souvent en discontinuité

de magmas acides par effondrement du sial, qui constitue le toit du réservoir dans le magma basaltique fluide profond avec palingénèse, puis émission de laves acides contaminées.

Il peut arriver aussi qu'après une différenciation magmatique prononcée, la cheminée se bouche et qu'une formidable explosion, ou des cratères latéraux, rejettent dans l'atmosphère, les parois plus acides du cratère. D'énormes cratères béants témoignent que de telles explosions se sont vraisemblablement produites en Equateur. Signalons, au siècle dernier, l'explosion du volcan COSIGUYNE au Nicaragua qui perdit 1000 m d'altitude.

Il semble, cependant, que si ces hypothèses peuvent expliquer certains "accidents" survenant au cours de l'activité d'un volcan, le phénomène plus général constaté en Equateur pour une série de volcans situés à des distances relativement éloignées, est mieux en relation avec les hypothèses de SAUER qui rejoignent celle d'une boucle sialitique dont le déplacement serait ici limité, à la différence de l'Indonésie, par les masses consolidées ou cratons du bouclier Sud Américain.

2 -3 - NATURE MINÉRALOGIQUE DES SABLES -

La fraction des sables supérieure à 35 microns a été étudiée (DELAUNE) selon les méthodes préconisées par S. DUPLAIX (1958). Étant donnée la composition homogène des cendres et le peu d'espèces représentées, seule la fraction 50 à 500 microns a été finalement retenue.

La fraction légère renferme les minéraux de densités inférieures à celle d'une liqueur lourde (bromoforme) de densité 2,89; la fraction lourde comprend les minéraux ayant une densité supérieure.

Si, à notre connaissance très peu d'informations concernent les cendres des volcans d'Equateur, par contre, la composition des laves des divers volcans a fait l'objet d'études antérieures et en particulier, de SAUER (1965)

Est-il possible de rattacher la composition des cendres à celle des laves des volcans environnants? Cendres et laves doivent avoir sensiblement la même composition.

En Martinique, d'après LACROIX, la composition des divers produits rejetés lors d'une éruption par le volcan, sous des formes variées : cendres, ponce, brèches.. est très constante.

Le problème est rendu beaucoup plus complexe en Equateur par le grand nombre des centres d'émission. Les cendres qui recouvrent les piedmonts de certains volcans peuvent avoir, en fait, été rejetées par des volcans voisins, plus récemment actifs. En altitude l'érosion sur les pentes accentuées, recouvertes d'une faible végétation, due au climat relativement sec, a entaillé de profonds ravins. On ne peut souvent savoir si telle succession de dépôts observée correspond bien à telle autre située à quelques distances. Dans les plaines tropicales, la sédimentation des cendres sur les plateaux ou les zones peu accidentées, a lieu sous forêt dense; l'érosion est très faible et la succession des couches, comme nous l'avons vu dans la deuxième partie, est re-

marquablement constante, souvent à des dizaines de kms de distance.

Lorsque les produits émis par divers volcans voisins viennent se superposer la composition doit, en principe, peu varier s'il s'agit d'éruptions sensiblement du même âge. Par contre, un volcan actif récent, peut avoir fort bien rejeté des produits basiques sur les flancs d'un ancien volcan de type andésitique acide ou dacitique.

De nos jours, les cendres des volcans RIVENDADOR ou SANGAY vont jusqu'à Quito et même parfois jusqu'à Guayaquil, mais en épaisseur relativement faible.

En dépit de ces restrictions, il est probable que des examens de sables plus nombreux que ceux que nous présentons ci-dessous, devraient pouvoir délimiter les grands secteurs de nature minéralogique sensiblement constante, sans qu'il soit toujours possible d'en indiquer l'origine.

31 - Région d'Ambato -

Un profil a été observé à 4 kms au Sud d'AMBATO, sur une pente régulière.

On peut en donner la description schématique suivante :

TABLEAU 1 Composition minéralogique des sables au Sud d'Ambato.

Prof. cms	DESCRIPTION	Sables % sol		COMPOSITION MINÉRALOGIQUE			Horn- blende	N° Echant.
		50 200	200 2000	Minéraux légers (pas de quartz)	Minéraux lourds Pondéral % sables	Hyper- sthène	Augite	
0	Cendre	39	36	90 % des sables sont altérés	11,2	87	6	E 172a
30	très fine							
70	humifère	41	19		10,4	76	11	E 172b
100	Ponce beige pure							
105	Cendre très noire et très fine			fins minéraux dont 80% sont altérés. Quel- ques verres volcaniques	10,5	72	15	E 173
150	Limite brutale							
	Cangagua - cendre consolidée brune uniforme, dure au marteau. blocs à tendance subangulaire avec revêtements et taches noires. Gros pores visibles			Altération mo- dérément poussée. 50 % des pla- gioclases sont altérés	10,5	47	9	E 174

D'après SAUER (1965), les amphiboles seraient, en Equateur, les minéraux lourds les plus abondants dans les laves andésitiques les plus acides, tandis que les pyroxènes l'emporteraient dans les séries les plus basiques.

On observerait donc dans ce profil, les manifestations d'un volcanisme récent basique, donnant des matériaux riches en hypersthènes, augite et pauvres en hornblende. Par contre, l'ancien sol enfoui ou tuf durci "cangagua" reflèterait des manifestations anciennes plus acides, avec une proportion de hornblende verte et d'hypersthène très voisine.

La même succession s'observerait sur un vaste plateau en pente douce et intensément cultivé, au Nord d'Ambato et du Rio Patate, près de Pillaro.

TABLEAU 2 -Composition minéralogique des sables au Nord d'Ambato (Pillaro-Profil E II8)

Prof. cms	DESCRIPTION	Sables % sol		COMPOSITION MINÉRALOGIQUE						N° Ech.
		50 200	200 2000	Minéraux légers (pas de quartz)	Pondéral % sables	Minéraux lourds Hypersthène	Augite	Horn- blende	Epidote	
0	Sable limoneux poreux, humifère terreau	27	7	90% sont très altérés et indéterminables, plagioclases rares verres	10	71	10	18	2	E118a
25	Très noir avec blocs de cangagua anguleux et revêtements luisants	32	7	90% sont altérés mais un peu moins qu'en surface	11	41	18	41	0	E118b
50	Cangagua dure brunâtre à taches noires									

Le dépôt supérieur serait nettement plus basique, riche en hypersthène que le niveau sous-jacent qui dérive en grande partie de la cangagua plus ou moins défoncée par les labours ou la désagrégation naturelle.

Est-il possible de savoir d'où proviennent ces dépôts de cendres ?

Le volcan CHIMBORAZO, sur la cordillère Pacifique, le plus haut d'Equateur avec ses 6300 m d'altitude, est un volcan démantelé sur lequel s'est greffé un volcan plus récent. La composition des laves est du type andésite à pyroxènes et amphiboles, avec des termes de passage vers les andésites, plus riches en amphiboles.

Les volcans situés sur la cordillère Atlantique sont plus basiques. Ainsi, le volcan SANGAY (5230 m) a surtout émis des andésites basiques à pyroxènes et olivine. Son activité a été ininterrompue jusqu'au terrible tremblement de terre de 1949. Les produits de ses dernières émissions s'apparentent aux basaltes feldspathiques, avec un contenu en silice dans la lave la plus récente, de seulement 51,4 %. Il est fort possible que les niveaux supérieurs des sols décrits ci-dessus, proviennent ou aient été contaminés par les cendres de ce volcan.

Plus au Nord, le volcan ALTAR (5320 m) est constitué de matériaux andésitiques à pyroxènes, faisant partiellement transition vers les basaltes. Une coulée de basalte vient confirmer cette observation.

Le volcan actif TUNGURAHUA (5020 m), le plus proche des profils observés, a eu de nombreuses éruptions aux époques historiques. Le cône est constitué d'andésite à pyroxènes, avec de très faibles teneurs en olivine. Une coulée est, cependant, l'indice d'une tendance à la transition vers les basaltes. La cheminée de ce volcan se serait formée dans une faille au travers des roches cristallines de la cordillère Atlantique qui ont été directement recouvertes par les produits pyroclastiques.(SAUER).

Un niveau de cendres scoriacées très grossières de 2 à 3 mm, avec des morceaux de 1 cm, a été observé à proximité de ce volcan et d'Ambato. Ces cendres scoriacées renferment surtout des pyroxènes. Le pourcentage des minéraux lourds dans les sables est important : 25 %. Parmi les minéraux lourds, l'hypersthène représente 70 %, l'augite 28 %, la hornblende verte 2 %. Les plagioclases des minéraux légers sont altérées à 50 % et il n'y a pas de quartz. Ces scories témoignent d'éruptions assez violentes et récentes.

Conclusion - Il est possible de penser que la composition minéralogique des cendres de ces deux profils correspond bien à l'évolution observée des volcans environnants. A un tuf ou sol fossilisé durci "cangagua", de nature relativement acide, qui dériverait d'émissions régulières des volcans de la cordillère Pacifique, auraient succédé les formations récentes de type plus basique, des volcans actuels de la cordillère Atlantique.

32 - Région centrale - Latacunga - Quito -

Les observations sont parfois rendues plus délicates par la sécheresse ou l'aridité de certaines régions. Érosion par le vent et le ruissellement sur ces terrains dénudés est extrêmement intense. L'éloignement des volcans actuellement les plus actifs contribue aussi à rendre les successions moins évidentes.

La composition minéralogique des cendres diffère nettement de celle des profils examinés plus au Sud. D'une façon générale, la hornblende est plus abondante, indiquant des matériaux moins basiques, mais les niveaux profonds sont au contraire plus riches en hypersthène.

321 -

A mi-distance entre Ambato et Latacunga, la proportion de hornblende est déjà importante dans les niveaux de cendres très fine, qui recouvrent la cangagua des plateaux (profil E 171 - Tableau 3). Plus au Nord, la proportion de hornblende augmente encore, mais le niveau profond de cangagua renferme davantage d'hypersthène (Profil E 176 - Tableau 3).

TABLEAU 3 Composition minéralogique des sables entre Latacunga et Ambato.

Profond. en cms	DESCRIPTION	Sables		COMPOSITION MINÉRALOGIQUE				
		50	200	Minéraux légers (pas de quartz)	Minéraux lourds			
		200 microns	2000 microns		Pondéral % sable	Hyper- sthène	Augite	Hornblende verte
PROFIL E 171 - Km 19 de Latacunga vers Ambato								
0	Sable sur un peu limoneux -	34	19	Minéraux très fins dont 80%	10	63	3	35
40	Très meuble			sont altérés				
PROFIL E 176 - Km 10 de Latacunga vers Ambato								
0	Sable fin très meuble	44	36	60% de minéraux altérés assez grands	11	50	6	44
50	Cendre brune très très fine	41	13	minéraux de taille moyenne peu altérés	8,4	43	8	49
130	Limite brutale -- avec croutes cal- caires - Cangagua Cendre durcie	--	--	Minéraux fins 80% sont en cours d'alté- ration	10	70	10	20

322 -

Au Nord de Latacunga, sur les pentes du volcan COTOPAXI, vers 3500 m d'alti-
tude, la hornblende disparaît complètement. Sous les touffes d'herbes du paramon ou prai-
ries des hautes altitudes, le profil comporte 30 cms de cendres noires, assez grossières,
puis plusieurs mètres de ponce blanche presque pure, avec des morceaux de 0,5 à 2 cms,
dont certains bancs alternent, par endroits, avec des sols noirs cendreux enterrés.
L'hypersthène et l'augite sont les minéraux lourds les plus abondants dans les cendres
et les matériaux ponceux (Profil E 93 - Tableau 4).

TABLEAU 4 - Composition minéralogique des sables dans le Paramon de Cotopaxi.

Profond. en cms	DESCRIPTION	Sables		COMPOSITION MINÉRALOGIQUE DES SABLES						
		50	200	Minéraux légers (pas de quartz)	Minéraux lourds					
		200 microns	2000 microns		Pondéral % sable	Hyper- sthène	Augite	Horn blende	Epidote	Divers
0	Cendre grossière noire	29	40	feldspaths cal- cosodiques très altérés machures	12	52	18	0	14	16
35	ponce pure			complètement altérés	4	76	24	traces		

Par leur texture et leur composition, ces projections sont très semblables
à celles des pentes de la Montagne Pelée à la Martinique, où l'hypersthène représente
souvent plus de 90% des minéraux lourds.

323 -

Entre le paramon du COTOPAXI et Quito, plus au Nord, on retrouve dans la vallée, des formations plus riches en hornblende.

Près d'Uyumbicho, sur une pente régulière cultivée du centre de la vallée, les sols sont profonds et uniformes, avec une proportion voisine d'hypersthène et de hornblende.

Les feldspaths sont nettement plus altérés en profondeur qu'en surface. S'agit-il de recouvrements par des apports plus récents ou simplement d'une altération plus poussée des minéraux en profondeur sous l'action d'une humidité plus constante dans ces niveaux tout au long de l'année. (Tableau 5)

TABLEAU 5 - Composition minéralogique des sables au Sud de Quito - Uyumbicho- 4 I65

Profond. cm	DESCRIPTION	Sables		COMPOSITION MINÉRALOGIQUE				
		50 200	200 2000	Minéraux légers (pas de quartz)	Minéraux lourds Pondéral % sables	Hypers- sthène	Augite	Horn- blende
0 40	Limono-sableux Meuble			90% des feldspaths sont altérés quelques verres	12	42	11	47
80 120	plus foncé avec déjà un peu d'argile	22 22	18 21	altération plus poussée altération très poussée	11,7 10,8	53 52	7 10	40 38

324 -

Plus en altitude, mais à l'Ouest sur les pentes du volcan CORAZON, la composition minéralogique des sables est sensiblement analogue dans le premier mètre. Vers 1 m de profondeur, la cendre devient beaucoup plus noire et la proportion d'hypersthène augmente très fortement.

Vers 130 cms c'est la ponce grossière, beige clair, dont certains éléments atteignent 2 à 3 cms. Elle semble à peine altérée.

Vers 160 cms, on retrouve un niveau de cendre sableuse, puis un niveau plus noir au-dessus d'une nouvelle couche de ponce pure beige-jaune clair

La succession : cendre humifère - cendre très noire - ponce pure, etc... plusieurs fois répétée, semble la règle sur ces pentes (Profil E I66 - Tableau 6)

TABLEAU 7 - Composition minéralogique des sables du paramon du Corazon - E I66 .

Profond. cm	DESCRIPTION	Sables		COMPOSITION MINÉRALOGIQUE DES SABLES				
		50 200	200 2000	Minéraux légers	Minéraux lourds Pondéral % sables	Hyper- sthène	Augite	Horn- blende
0 50	Cendre Sableuse			Altération très poussée - rares feldspaths non altérés	12	51	3	46
100	Transition rapide cendre très noire	25	16	Altération encore plus poussée	11,5	34	7	59
130 160	Limite brutale Ponce pure grossière			Idem	12	74	12	14

Ce changement de coloration et surtout de composition minéralogique permet de penser à une discontinuité dans la sédimentation ?? Il est certain que la composition du niveau profond au-dessus de la ponce, se rapproche beaucoup des cendres noires du COTOPAXI. Y a t-il eu modification de la composition des cendres en cours d'éruption d'un même volcan ? Y a t-il eu recouvrement aérien par des cendres issues d'autres volcans plus acides et plus récents ? Y a t-il eu seulement recouvrement par des cendres apportées par le ruissellement, ou le vent, à partir de formations plus anciennes, riches en hornblende, situées plus en altitude ? Il n'est pas facile de répondre encore à ces questions.

325 -

Près de Quito, à Santa Catalina, on observe sur plusieurs mètres des alternances de cendres noires et de ponce beige-jaune clair. Ce n'est qu'en profondeur qu'apparaît la cangagua brune foncée, très dure quoique relativement poreuse.

L'examen minéralogique montre l'alternance de niveaux plus ou moins riches en hypersthène - Tableau 7

TABLEAU 7 -Composition minéralogique des sables au Sud de Quito-Santa Catalina

Profond. cms	DESCRIPTION	Sables		COMPOSITION MINÉRALOGIQUE DES SABLES				
		50 200	200 2000	Minéraux légers	Pondéral % sables	Hyper- sthène	Augite	Horn- blende
280	Ponce pure peu altérée							
350	Sableux cendre noire			80% des plagioclases sont altérés Un peu de verre	11,3	67	12	21
380	Ponce pure pourrie							
	Cendre fine onctueux	20	28	Idem mais moins de verre	11,1	40	19	40
480	Limite brutale							
	Cangagua brune foncée très dure			Minéraux très petits 85% sont altérés	9,4	60	14	24

326- Discussion - Relation entre la composition des sables et celle des laves des volcans environnants -

Les successions semblent plus complexes que dans la région d'Ambato. Rappelons que dans cette région, des formations récentes à hypersthène issues des volcans proches, avaient recouvert des sols fossiles ou cangagua, plus riches en hornblende.

Dans les plaines au Sud et au Nord du volcan COTOPAXI, entre Ambato et Quito, les cendres superficielles renferment une proportion sensiblement équivalente de hornblende et d'hypersthène, la cangagua profonde paraissant plus riche, par contre, en hypersthène, contrairement à ce qui fut observé au Sud d'Ambato.

Les cendres et les ponces grossières du paramon du COTOPAXI, qui sépare ces plaines, sont, au contraire, très riches en hypersthène et dépourvues de hornblende, ressemblant, en cela, aux émissions de texture et d'aspect analogue de la Montagne Pelée en Martinique.

Est-il possible, comme dans la région d'Ambato, de comparer la composition minéralogique des sables des profils observés, à celle des laves des principaux volcans environnants d'après SAUER (1965).

326-1 Volcans de la Cordillère Atlantique - (SAUER)

Seul, le volcan COTOPAXI (5900 m) est actif dans cette région. Après une série d'explosions anciennes, sans doute formidables, qui ont rejeté des matériaux andésitiques à amphiboles et pyroxènes, un nouveau cône se serait constitué. Plusieurs éruptions récentes (1854-1877) auraient déposé sur le versant occidental, des énormes masses de laves andésitiques basiques à pyroxènes et olivine. La lave qui borde le flanc Sud-Ouest du cratère, serait une andésite à pyroxène. Les échantillons de laves un peu moins récentes, auraient une composition semblable.

A des projections relativement riches en hornblende, auraient donc succédé dans les époques récentes, des matériaux riches en pyroxènes, ce qui cadre bien avec les examens des sables.

Le volcan QUILINDANA (4900 m) situé au Sud-Est du COTOPAXI, aurait émis surtout des andésites à pyroxènes.

Au Nord du COTOPAXI, toujours sur la Cordillère Atlantique, les volcans PASOCHOA et RUMINAHUI ont rejeté des laves et des cendres basaltiques, renfermant un peu d'olivine, mais l'andésite à pyroxène constitue la masse principale de ces volcans.

Près de ceux-ci, le volcan SINCHOLAGA (4900m) présente des andésites qui, quoique à pyroxènes, renferment des teneurs relativement importantes en silice (59 %). On trouve dans la caldéra, des débris, à la fois dacitiques et basaltiques. Le cône du volcan ANTIZANA (5700m), plus près de l'Amazonie, serait formé d'andésite à pyroxènes basiques avec olivine et hypersthène, tandis que des bouches latérales auraient émis des dacites à amphiboles.

A proximité de l'ancien volcan CAYAMBE (5800 m), où prédominent les andésites à amphiboles et les dacites, le volcan REVENADOR (3500 m), tout en bordure de la plaine amazonienne, est encore très actif. Au cours de ses dernières éruptions de 1926, 1944 et 1960, il a rejeté des basaltes à olivine. Les cendres recueillies à Quito, lors de l'éruption de 1960, ont, d'après REIN cité par SAUER, la composition suivante, en % approximatif du volume :

Matériaux opaques (magnétite ? ou verre)	25 à 35 %
Verre basaltique avec microlites	45 à 55 %
Plagioclases	15 à 25 %
Olivine	3 à 7 %
Hornblende verte	1 %
Hornblende brune	0,1 %

Bien que les matériaux à pyroxènes semblent donc les plus abondamment rejetés par les volcans de cette partie de la Cordillère Atlantique, les andésites à amphiboles et les dacites apparaissent aussi. La composition moins constamment basique que pour les volcans au Sud d'Ambato, peut expliquer les variations observées dans la composition des sables.

326-2 Volcans de la Cordillère Pacifique -

Les quatre anciens volcans de la Cordillère Pacifique seraient surtout constitués d'andésite à pyroxènes. C'est le cas de l'ATACAZO (4500 m) où l'olivine est parfois rencontrée, mais aussi les amphiboles et dans quelques zones, les dacites.

Auprès du CORAZON (4800 m), un petit volcan parasite aurait émis des andésites à pyroxènes, sans que les variétés à amphiboles n'apparaissent. Il ne serait donc guère possible d'y attribuer les horizons du profil E 166, observé sur les pentes même du paramon du CORAZON.

Les aiguilles de l'ILLINIZA seraient les vestiges d'un volcan à andésite à pyroxène, avec des passages vers les andésites à amphiboles. Les phases ultimes auraient été dacitiques.

Le GUAGUAPICHINCHA qui domine Quito de ses 4700 m, serait formé d'andésites à pyroxènes, qui ont été suivies par des andésites à amphiboles et pyroxènes de caractère plus acides.

La plupart de ces volcans de la Cordillère Pacifique sont donc de type plus acide, au moins dans leur phase terminale, que ceux de la Cordillère Atlantique. Ils sont tous éteints, à l'exception du PICHINCHA, d'où sortent quelques fumerolles.

A ces volcans pacifique, il faut ajouter le QUILOTOA (3900m), situé le plus à l'Ouest, à la hauteur de Latacunga, près du Rio Toachi.

Ce volcan se serait édifié à la fin du pléistocène, avec une dominance de laves et de cendres acides dacitiques à amphiboles et biofites. La gigantesque caldéra de 3 kms de diamètre, laisse penser que l'activité finale de ce volcan a consisté en une gigantesque explosion qui projeta dans l'atmosphère la plus grande partie du cône. Les matériaux pyroclastiques rejetés sur les versants de la Cordillère, ne semblent pas très épais. Ils ont, sans doute, été entraînés par l'érosion dans les vallées. Le Rio Toachi coule ainsi au fond d'un impressionnant ravin. Il est aussi permis de penser que les cendres dacitoïdes à hornblende qui ont recouvert, de façon homogène, sur des dizaines de kms de distance, une large partie de la plaine tropicale Pacifique de Quevedo - Sto Domingo - Quinindé, pourraient provenir de ce volcan et de volcans semblables.

C'est ainsi que, face au Pacifique, vers 2800 m d'altitude, au-dessus de Pilalo, le niveau le plus récent d'un profil observé, renferme surtout de la hornblende (91 %), alors que les niveaux profonds sont plus riches en hypersthène. (tableau 8)

C'est aussi la première fois qu'apparaît le quartz en quantité importante.

TABLEAU 8 - Composition minéralogique des sables à 2800m d'altitude sur le versant Pacifique.

Profond.	DESCRIPTION	Sables		COMPOSITION MINÉRALOGIQUE DES SABLES					Nº Echant.
		50 200	200 2000	Minéraux légers Quartz	Minéraux lourds Plagio- clases	Hyper- sthène	Augite	Hornblende Verte&brune	
0	Cendre fine								
20	Cendre grossière								
50				40	60	6	0	91	73 b
120	Cendre fine humifère allophanique	21 23	17 13						
220	Cendre jaune allophanique	24	17	33	67	23	0	70	73 c
300	Allophane hydratée	8	4	6	94	24	4	67	73 x

On peut donc penser qu'à des matériaux riches en hypersthène, qui constituent la cangagua de Latuncaga et de Quito ou de certains niveaux inférieurs du CORAZON, auraient succédé, peut-être à la suite de formidables explosions de volcans de la chaîne Pacifique, comme le QUILOTOA, des formations superficielles plus riches en hornblende ??

33 Comparaison de la nature minéralogique des sables des régions tropicales et tempérées -

On ne peut attribuer à une origine commune les dépôts riches en hornblende de la vallée interandine et ceux de la plaine tropicale Pacifique. Les premiers ne renferment pas de quartz, les seconds en contiennent de façon notable ou importante (cf. 2ème partie). Fort malheureusement, on ne possède pas d'indications sur la composition minéralogique des sables des sols situés au Nord de Quito.

Assez paradoxalement, au premier abord, les sables des sols dérivés de cendres de la plaine tropicale Pacifique seraient souvent très nettement moins altérés, moins machurés, mieux identifiables, surtout en ce qui concerne les minéraux légers, que ceux de la haute vallée interandine. Rappelons aussi les débris anthropologiques très fréquemment rencontrés sur plus de 100 Kms de distance, vers 1 m de profondeur, juste au-dessus de l'horizon humifère d'un ancien sol enterré de la plaine tropicale Pacifique. Les épais dépôts riches en hornblende de la plaine de Quevedo - Ste Domingo - quinindé n'auraient donc que quelques millénaires au plus.

Situés sous un climat bien moins agressif, les dépôts de cendres de la vallée interandine, comprenant les cendres et ponces du COTOPAXI, et les cendres noires qui recouvrent les diverses cangagua, seraient donc beaucoup plus anciens.

L'ancienneté relative des dépôts de la vallée interandine, comparée à ceux des plaines tropicales pacifiques, pourrait s'expliquer de plusieurs façons. On peut imaginer des volcans de la Cordillère Pacifique ayant exclusivement rejeté, peut-être par de fortes explosions, leurs produits riches en amphiboles, vers les plaines tropicales Pacifiques. On peut aussi penser que les cendres déposées dans les régions modérément accidentées, sous forêts tropicales, restent en place. Sur les pentes dénudées de la haute vallée interandine, par contre, les cendres seraient rapidement décapées par les eaux et le vent, qui auraient mis à jour les dépôts beaucoup plus anciens ac-

tuellement observés. Cette dernière hypothèse est certainement applicable aux sols de la vallée interandine, qui reposent sur ce niveau durci ou cangagua, situé à faible profondeur. Elle est plus difficile à concevoir pour les dépôts successifs bien réguliers de cendres et de ponces, comme ceux des pentes du COTOPAXI ou du CORAZON. Même dans ce cas, il n'est pas cependant impossible que les dépôts actuellement les plus superficiels, aient été mis à nu à des époques relativement récentes. Or, dans ces matériaux perméables, l'altération peut se produire simultanément sur une épaisseur considérable. Les niveaux les plus profonds, les plus anciens et souvent les plus humides ont des chances d'être les plus altérés.

La meilleure façon de prouver la plus grande jeunesse des dépôts de la plaine tropicale pacifique, liée à une nature dacitoïde, (avec quartz . hornblende, et parfois sanidine) plus accentuée que dans la vallée interandine, serait de trouver les cendres d'émissions.

Une étude plus serrée de la composition des cendres rejetées sur les flancs du paramon de la cordillère pacifique, par des volcans, comme le QUILOTOA et d'autres aussi, sans doute, devrait aider à résoudre ce problème.

2-4 Conclusion

Quelques lignes générales apparaissent déjà.

Le caractère résolument basique des émissions actuelles des volcans TUNGURAHUA, SANGAY et des anciens volcans du Sud de la cordillère atlantique, expliquerait la richesse en pyroxène des sables, non seulement dans cette région de la haute vallée interandine, mais aussi dans la plaine tropicale amazonienne, où les sols à allophanes hydratés renferment surtout, dans leur fraction sableuse, l'hypersthène et l'augite sans quartz.

De même, dans la plaine tropicale pacifique, sensiblement à la même latitude, les niveaux de cendre noire observés en discordance sur des formations volcaniques sédimentaires anciennes, sont riches en hypersthène (67 %) et en augite (23 %), mais pauvres en hornblende verte (10 %) et sans quartz (Km 75 au Nord de Guayaquil vers Quevedo).

Plus au Nord, vers Latacunga et Quito, la proportion de hornblende est plus importante et voisine de celle de l'hypersthène, dans les sables des sols de la haute vallée interandine. Seuls, les sols dérivés des cendres et ponces sur les pentes du COTOPAXI, ne renferment pas de hornblende.

Une composition similaire est observée, mais avec quelques quartz, pour les sols tropicaux de la région de Quevedo, sur le même parallèle que Latacunga.

Rappelons que ce dépôt à hypersthène hornblende en proportion équivalente, est progressivement recouvert plus au Nord, dans la plaine tropicale vers Sto Domingo, par un dépôt à dominance de hornblende (cf. 2ème partie). Les cendres à amphiboles

semblent avoir exclusivement recouverts, en dépôts successifs, toute la partie Nord de la plaine autour de Sto Domingo, jusqu'à Quinindé.

Cette augmentation très nette de la proportion de hornblende vers le Nord dans la plaine tropicale, peut être mise en parallèle avec le caractère moins basique des volcans de la région correspondante de Latacunga - Quito - Ibarra, dont certains, même sur la chaîne atlantique, auraient émis, à certaines époques, des matériaux andésitiques ou dacitiques riches en amphiboles, à la différence des volcans situés plus au Sud sur cette même cordillère. Même le CAYAMBÉ aurait émis, jadis, des dacites quartzifères, renfermant jusqu'à 75 % de silice.

De plus nombreux examens des sables en divers points de la cordillère et de la haute vallée interandine, devraient permettre de mieux comprendre l'origine de ces dépôts riches en hornblende et souvent quartzifères de la plaine tropicale au Nord de Quevedo.

TABLEAU 9

VARIATIONS DE LA TEMPÉRATURE DE L'AIR -

Stations	Altitude	Nbre années	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Moy.
<u>Température moyenne -</u>															
COTOPAXI	3560	1	8,7	8,6	8,4	7,5	8,1	6,8	6,5	6,8	7,1	7,1	7,1	7,3	6,9
TULCAN	3000	20	10,9	11	11,2	11,4	11,3	10,7	10,1	10,1	10,6	11,2	11,3	11,3	10,9
QUITO	2870	70	13	13	12,9	13,0	13,1	13,0	12,9	13,1	13,2	12,9	12,8	13	13
AMBATO	2540	22	14,2	14,5	14,6	14,4	14,2	13,3	12,6	12,8	13,4	14,4	14,7	14,7	14
BANOS	1830	27	16,2	16,9	16,9	16,8	16,6	15,8	15,3	15,5	16,2	16,9	17,3	17,2	16,5
Sto DOMINGO	500	14	22,1	22,5	22,8	22,9	22,7	22,0	21,5	21,6	21,6	21,3	21,1	21,4	22,0
GUAYAQUIL	6	17	26,2	26,2	26,6	26,7	26,1	24,9	24,1	24,2	24,5	24,6	25,1	26,2	25,4
SALINAS (Océan Pacif)	7	18	25,1	26,0	26,1	25,2	25,2	22,3	21,2	20,7	20,9	21,4	22,1	23,1	23,3
<u>Température minimum moyenne -</u>															
TULCAN	3000	20	6,5	6,7	7,1	7,2	7,2	6,3	5,6	5,5	5,4	6,8	6,8	6,7	6,5
QUITO	2870	70	7,9	8,2	8,4	8,4	8,1	7,4	6,6	6,7	7,1	8,3	7,6	7,9	7,7
AMBATO	2540	22	9,2	9,7	10	10,1	9,8	8,8	8,0	7,8	8,1	8,8	8,6	9,2	9,0
BANOS	1830	27	13,2	13,3	13,5	13,5	13,3	12,6	12,0	11,9	12,0	11,7	12,9	13,1	12,8
Sto DOMINGO	500	14	18,9	19,0	19,4	19,3	19,3	18,8	18,1	17,9	18,1	18,3	18,1	18,6	18,6
GUAYAQUIL	6	17	22,1	22,1	22,4	22,3	21,6	20,7	20,0	19,3	19,7	20,0	20,1	21,5	21,0
<u>Température minimum absolue -</u>															
COTOPAXI	3560	1	en 1964 = 02												
TULCAN	3000	20	0,2	0,1	1,2	2,0	1,0	-0,3	0,0	-1,9	-0,8	0,5	-0,2	-3,6	
QUITO	2870	70	-0,2	1,2	1,1	3,2	1,5	1,9	0,0	1,1	1,5	-0,1	-0,2	0,6	
AMBATO	2540	22	0,1	2,5	4,2	1,8	0,6	0,0	-2,0	-2,0	0,4	1,0	-1,0	-0,6	
BANOS	1830	27	7,0	9,0	7,8	9,0	8,7	5,0	5,2	6,0	7,9	8,5	8,9	8,0	
Sto DOMINGO	500	14	16,5	15,5	16,5	15,0	14,4	15,0	14,0	13,0	13,0	14,0	14,0	15,3	
GUAYAQUIL	6	17	17,5	17,0	16,8	17,0	14,5	17,4	16,8	16,5	14,0	16,5	18,3	17,8	

TABLEAU 10

VARIATIONS DE LA TEMPÉRATURE DU SOL -

Stations	Altitude en mètres	Profond. en cms	Tempér. moy.an.	Temp. moy. du mois qui est la + faible +forte *	
IZOBAMBA	3060	15	13,7	12,0	15,9
		30	14,3	13,1	15,8
		50	14,4	13,4	16,0
QUITO	2870	30	16,2	15,4	17,6
		50	16,7	15,8	18,0
AMBATO	2540	30	17,6	14,8	20,1
		50	18,2	15,7	20,5
PICHILINGUE QUEVEDO	73	15	26,5	24,3	28,5
		30	26,6	25,1	27,5
		50	26,7	25,3	27,5

* Les relevés étant effectués 3 fois par jour : 7 H, 13 H, 19 H, on a pris les chiffres pour l'ensemble de ces relevés moyens mensuels des valeurs les plus faibles ou des plus fortes.

II - C L I M A T

I - TEMPERATURE -

Les variations de la température entre la Sierra et les versants Pacifique ou amazoniens sont considérables. L'évapotranspiration présente donc de grandes différences de sorte que la somme mensuelle ou annuelle des précipitations ne peut être valablement comparée que pour des altitudes similaires.

A chaque altitude, la température demeure pratiquement constante tout au long de l'année, comme le montre le tableau 9 . C'est là une caractéristique des climats tropicaux d'altitude, dont il est tenu compte dans la 7ème approximation, pour la classification des sols. Cette constance est particulièrement nette dans les régions tempérées froides d'altitude.

La température moyenne passe de 6 à 8° vers 3500 m d'altitude, à 11° vers 3000 m et 13-14° vers 2500-2800 m, c'est-à-dire, la majeure partie de la haute vallée interandine. Vers 1800 m, la température est tempérée : 16° et devient tropicale chaude à 500 m (22°) et au niveau de la mer (25°).

A noter dans la plaine tropicale pacifique, une période plus fraîche de Juin à Novembre, surtout sensible en bordure de l'océan (Salinas), provoquée par le rapprochement de la côte en cette période de l'année, du courant froid de Humbolt. L'océan ne joue donc pas ici le rôle modérateur classique.

Plus importante encore que la température de l'air, mais liée à celle-ci, la température du sous-sol, à différentes profondeurs, est connue pour quelques stations d'altitudes ou tropicales. (Tableau 10)

A 2870 m d'altitude (Quito), la température dans la couche humifère superficielle à 5 cms de profondeur, varie de 12°4 le matin à 7 H, à 19°2 vers 13 H et 18°2 le soir à 19 H. A 30 cms de profondeur, la température varie très peu : de 16°1 à 16°4 et à 50 cms de 16°7 à 16°9, pour une température moyenne de l'air de 13°.

Dans la plaine tropicale, la température du sol à 15, 30 et 50 cms, reste comprise entre 26 et 28°, pour des températures moyennes de l'air de 25°.

D'un mois à l'autre, les variations ne dépassent pas 2°C.

Ces importantes différences de la température des sols suivant l'altitude, influent sur leur évolution, mais, aussi bien en altitude que dans la zone chaude tropicale, il n'y a pas ces périodes de repos, de latence, des sols des climats tempérés ou froids, hors des tropiques, dues à des températures très basses.

2 - PLUVIOMETRIE -

Les variations de la pluviométrie sont très importantes. Il est, cependant, difficile, du fait de la diminution de l'évapotranspiration en altitude, d'établir des comparaisons basées sur un total de précipitations mensuelles ou annuelles.

Les principales isohyètes sont indiquées sur la figure 3.

LEGENDA: V. ▲ volume
m. m. altitude en metres

NGOs Profiles

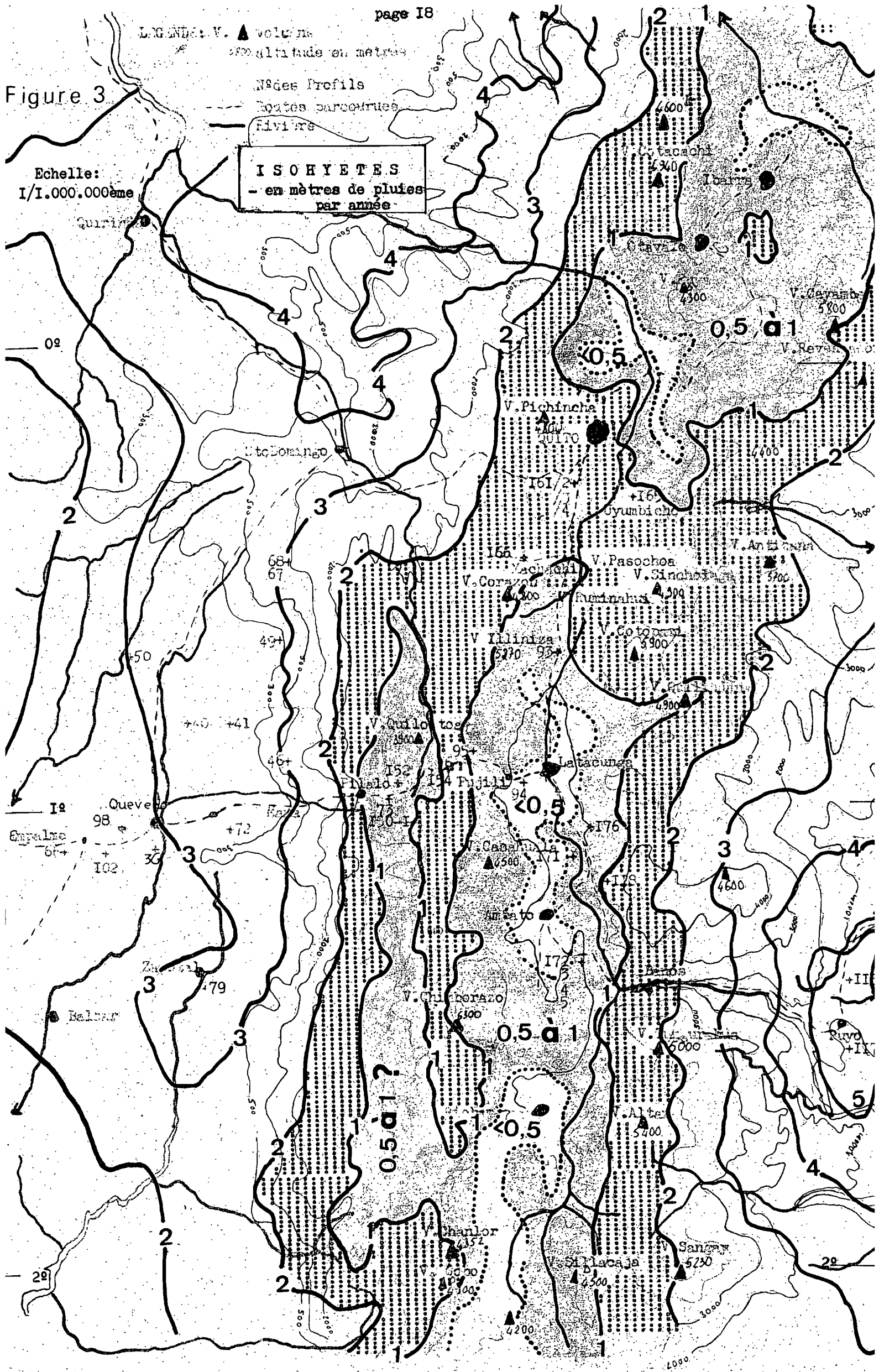
Top sea parachute

Elvire

ISOHYETES
- en mètres de pluies
par année

Echelle:

I/I.000.000ème



21 - Zone Pacifique chaude tropicale -

La pluviométrie augmente nettement du Sud vers le Nord, passant à 4 m par an au Nord de Sto Domingo. On doit, cependant, faire remarquer que dans toutes ces régions, l'ennuage est pratiquement constant durant toute la saison sèche, ce qui, lié à une température un peu plus fraîche, contribue à diminuer l'évapotranspiration. De plus, des précipitations occultes non mesurables, véritables petites pluies fines qui peuvent se prolonger tardivement dans la matinée, contribuent au maintien d'une végétation et de cultures tropicales, là où en d'autres régions de précipitations enregistrées, analogues, des irrigations seraient nécessaires. (figure 3)

22 - Versant Pacifique des Andes -

La pluviométrie semble augmenter fortement jusque vers 2000 m, où la nébulosité est constante. Plus en altitude, les relevés pluviométriques indiquent une nette diminution (Pillalo = 1100 mm), mais l'ennuage est très important, fausse sensiblement les indications qui peuvent être tirées sur le plan agronomique. De fait, la végétation de ces régions est de type tropical super-humide, ce que confirme, comme nous le verrons, l'évolution du sol. Ce n'est bien souvent que vers 3000 m, là où le relief s'adoucit, et où les nuages en s'élevant sur le flanc de la montagne viennent à se dissiper dans l'atmosphère, que la végétation change brusquement, par suite du froid plus vif et d'une sécheresse plus accentuée, comme en témoignent les lambeaux de forêts humides qui subsistent encore dans les thalwegs en fortes pentes, face au Pacifique, où les nuages persistent davantage.

23 - Paramon -

Ce sont les prairies jaunies sur les sols très noirs des hautes altitudes.

Bien qu'aucun relevé pluviométrique ne soit disponible dans ces régions, on peut penser que la pluviométrie annuelle ne dépasse guère 1,0 m à 1,5 m, ce qui, pour des régions froides de température moyenne mensuelle de l'ordre de 6 à 8° vers 3500 m, est important. Les vents sont très violents, les gelées nocturnes fréquentes, mais l'ensoleillement semble beaucoup plus important que sur le versant Pacifique.

24 - Haute vallée interandine (2200 à 3000 m d'altitude) -

Il faut distinguer des régions relativement arrosées où la pluviométrie dépasse 1 m par an et est assez bien répartie. C'est le cas, par exemple, pour la région de Quito. La campagne est, en général, verdoyante, mais les irrigations sont souvent utilisées pour les riches pâturages à luzerne ou trèfle et diverses cultures.

D'autres régions sont, au contraire, plus sèches. Les sols restent dénudés une partie de l'année et l'érosion éolienne est déjà active. L'irrigation est nécessaire pour beaucoup de cultures. La haie de cactus est déjà répandue. Il s'agirait schématiquement des régions comprises entre les isohyètes 0,5 et 1 m (figure 3).

Certaines régions ont un aspect aride marqué. La pluviométrie est inférieure à 0,5 m et les cultures non irriguées ne sont possible qu'à certaines époques de l'année. L'érosion éolienne et par ruissellement est très importante. On observe parfois des accumulations importantes de cendres fines le long des lignes de cactus bordant les champs, certaines pouvant même être recouvertes par de véritables dunes. Certains caractères des sols des régions arides, comme le concrétionnement calcaire ou des manifestations salines apparaissent déjà.

VARIATIONS DE LA PLUVIOMETRIE - TABLEAU 11

Stations	Altitude	Nb années	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	TOTAL
<u>Régions d'altitude modérément arrosées -</u>															
QUITO	2870	70	124 (17)	135 (17)	159 (20)	180 (22)	130 (19)	49 (11)	18 (6)	22 (6)	83 (13)	133 (19)	110 (16)	107 (16)	1250 mm (182)Jrs
TULCAN	2977	21	69 (15)	71 (12)	84 (16)	100 (15)	83 (16)	44 (13)	20 (10)	26 (9)	34 (9)	100 (16)	99 (14)	83 (13)	813 mm (158)Jrs
<u>Régions sèches d'altitude -</u>															
AMBATO	2540	22	48 (14)	39 (12)	49 (15)	62 (15)	51 (14)	37 (13)	20 (11)	26 (11)	26 (10)	51 (12)	42 (11)	39 (12)	490 mm (150)Jrs
RIOBAMBA	2750	17	25 (9)	39 (11)	48 (13)	56 (14)	34 (12)	28 (9)	9 (6)	15 (7)	23 (8)	48 (10)	30 (9)	26 (8)	381 mm (116)Jrs
<u>Versant atlantique -</u>															
SANOS	1830	27	77 (15)	69 (14)	95 (17)	145 (20)	168 (19)	218 (22)	187 (21)	182 (21)	145 (19)	109 (16)	68 (13)	70 (14)	1533 mm (211)Jrs
<u>Versant Pacifique des Andes -</u>															
PILALO	2500	3	195	141	196	195	86	43	10	12	37	61	73	121	1168 mm
<u>Plaine tropicale Pacifique -</u>															
<u>- Régions arides de la côte Pacifique - EST -</u>															
SALINAS	7	18	19 (5)	49 (5)	54 (6)	19 (5)	1 (1)	2 (3)	1 (3)	1 (3)	2 (4)	3 (6)	1 (2)	2	154 mm (44)Jrs
<u>- Régions sèches de la côte Pacifique - SUD -</u>															
GUAYAQUIL	6	17	201 (18)	276 (21)	240 (20)	168 (14)	32 (6)	6 (2)	6 (1)	1 (1)	0 (0)	2 (2)	1 (2)	22 (6)	955 mm (93)Jrs
<u>- Régions centrales à saison sèche marquée - (Constamment nuageux avec précipitations occultes de Juin à Décembre)</u>															
QUEVEDO PICHILINGUE	70	17	513	482	421	399	128	43	36	7	11	23	22	113	2200 mm
<u>- Régions Nord à saison sèche peu marquée -</u>															
STO DOMINGO	500	10	508	494	508	531	357	193	143	51	131	109	71	165	3260 mm
<u>Plaine Amazonienne -</u>															
PUYO	500	2	356	238	423	425	423	487	354	320	410	350	454	390	4630 mm
TENA	527	11	227	256	397	375	417	509	359	333	333	315	282	290	4092 mm

4 - SOLS A ALLOPHANES FORTEMENT HYDRATES - HYDRANDEPTS - d'altitudes

Vers 3.000 à 3.500 mètres d'altitude, face au Pacifique, à la limite de la forêt humide et des savanes herbacées du paramon, là où la pente s'atténuant, les nuages s'effilochent et disparaissent, on observe, sous plusieurs dépôts de cendres et ponces, des horizons qui présentent tous les caractères des sols allophaniques fortement hydratés. Le sol est beige, jaunâtre, onctueux, savonneux entre les doigts, sur parfois, semble t-il, plusieurs dizaines de centimètres à plusieurs mètres d'épaisseur. L'humidité du sol en place atteint 100 d'eau pour 100 de sol séché étuvé et est voisine de celle correspondant au pF 2,5 mesuré sur échantillon conservé frais (90).

Il s'agit de niveaux enterrés sous des formations de cendres et ponces plus récentes, encore peu altérées, et où l'allophanisation n'est que modérée.

De tels sols sont très fréquemment rencontrés sur les cendres volcaniques des régions tropicales chaudes humides d'Equateur et des Antilles françaises. Ils se développent là où l'humidité constante du climat empêche toute dessiccation importante du sol. Ils disparaissent ainsi rapidement plus en altitude, lorsque la sécheresse s'accroissant, la forêt à fougères et épiphytes de type super-humide, fait place aux savanes du paramon. vers 3.500 mètres d'altitude.

A un peu plus basse altitude, vers 2800 m, sur les fortes pentes ennuagées couvertes de forêt à épiphytes et fougères de type super-humide, on observe très bien la succession des niveaux de cendres relativement récentes, mais déjà nettement allophanisées, venant recouvrir un horizon allophanique fortement hydraté, identique à celui que nous avons signalé plus en altitude. La différence entre les pF mesurés sur échantillons conservés frais ou séchés à l'air est déjà sensible dans les niveaux de recouvrements plus récents et devient très importante dans les niveaux fortement hydratés de profondeur (tableau 12).

TABLEAU 12 -pF du profil E 73 sur le versant Pacifique à 2800 m d'altitude.

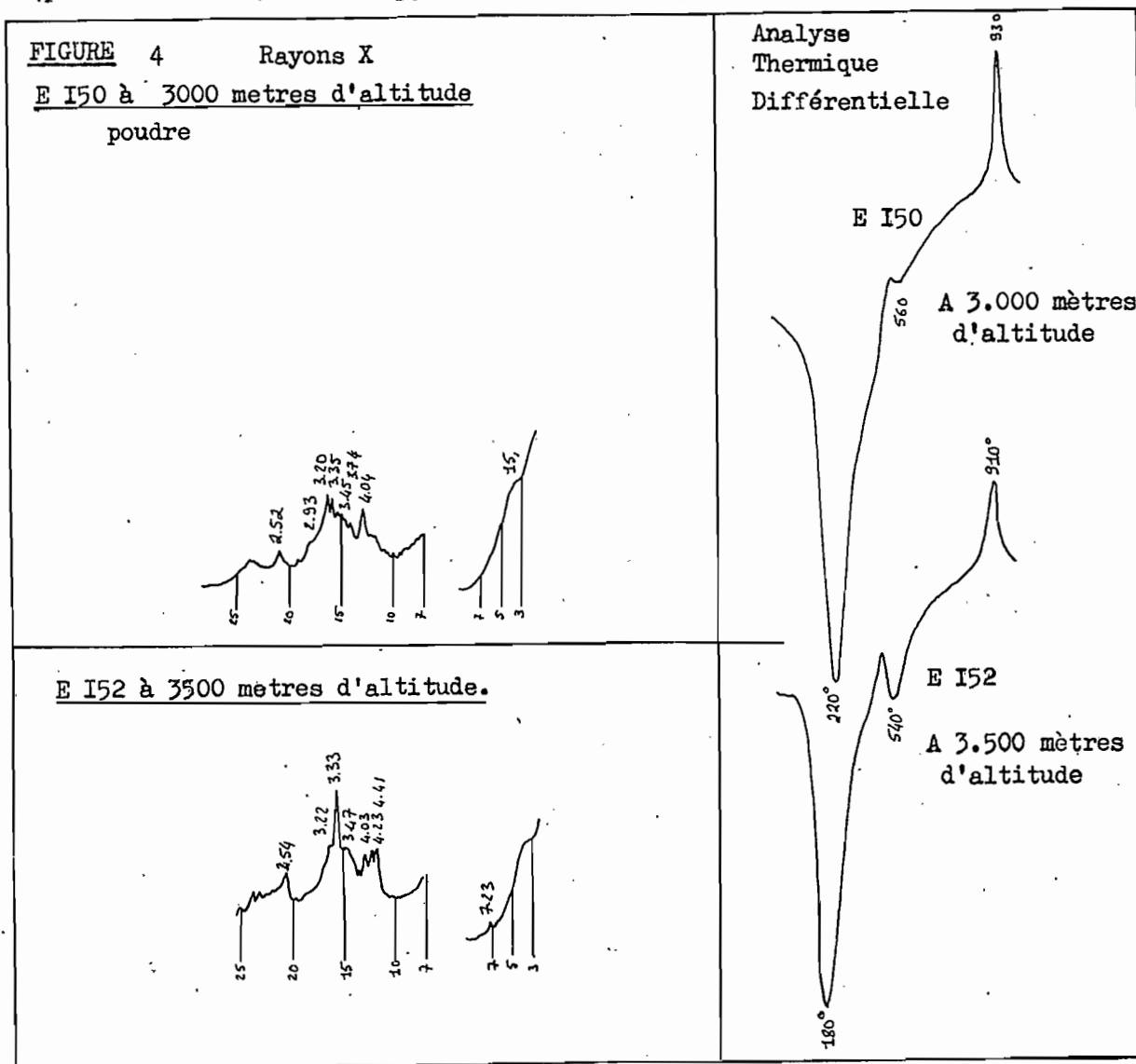
Profondeur cm	DESCRIPTION	Sables		N %	pF 2,5 s/éch. conservés		pF 4,2 s/éch. conservés		
		50 200	200 2000		frais	sec	frais	sec	
5									
20	Cendre sableuse fine			588	51	41	37	30	Niveaux faiblement allophaniques relativement récents
50	Cendres sableuses plus grossières	34	2	243					
	Limite brutale								
70	brun assez foncé	21	17	336	51	32	38	20	
90	Assez onctueux minéraux noirs bien visibles	23	13	280	59	32	39	20	
120	Jaune, onctueux s'effritant bien	25	18	162	53	25	39	16	
240									
300	Minéraux noirs								
	Jaune bien savonneux 8 allophane		4		148	36	103	32	Niveau allophanique fortement hydraté

Avec l'altitude, l'humidité du niveau allophanique enfoui, fortement hydraté, diminue donc légèrement

TABLEAU 13 - Les pF -

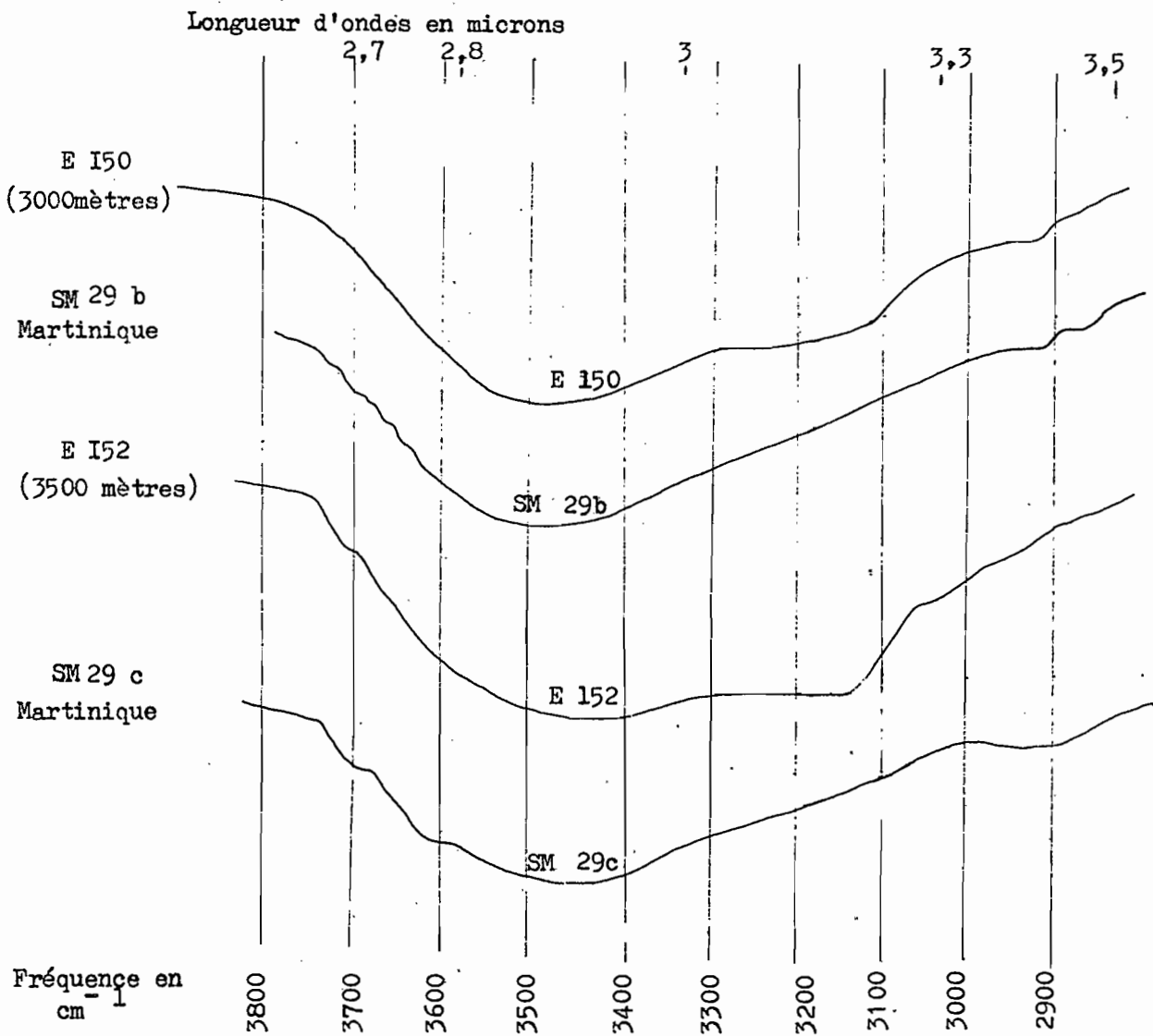
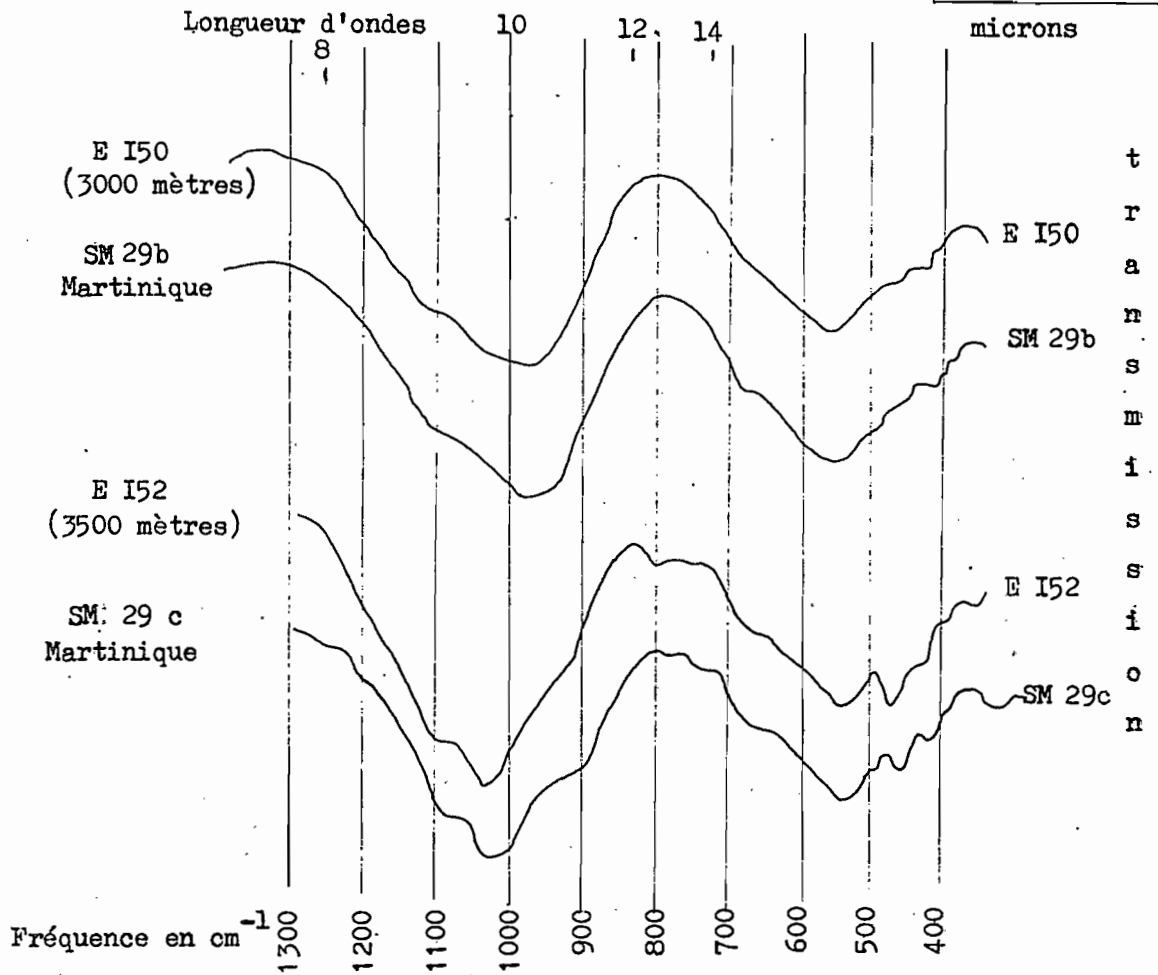
Humidité du niveau allophanique fortement hydraté de profondeur eau p.100 de sol séché étuve			
Altitude en mètres	Eau Naturelle	pF 2,5 Détermination	pF 3 s/sol conservé frais
Vers 2800 m	I50	I48	
Vers 3000 m	II4	99	95
	IO9	96	83
Vers 3500 m	IOI	90	79

La comparaison des diagrammes de rayons X indique qu'en plus des substances amorphes qui sont les constituants essentiels de la fraction fine de l'horizon à 3000 m d'altitude, apparaît dans l'échantillon situé à 3500 m, un peu d'argile cristalline (petite raie à 4,40 et soupçon de raie à 7,2 Å)



SPECTROGRAPHIE INFRA - ROUGE (Perkins-Elmer)

FIGURE: 5



L'analyse thermique différentielle indique aussi un crochet endothermique à 540°, nettement plus marqué vers 3500 mètres que vers 3000 mètres.

L'examen par spectrographie aux infra-rouge confirme le meilleur degré d'organisation dans le niveau à 3500 m d'altitude que dans le niveau à 3000 m qui est manifestement encore très amorphe.

Le spectre correspondant à l'échantillon E 150, situé à 3000 mètres d'altitude est très peu développé et le point le plus remarquable est le maximum d'absorption à 950 cm^{-1} observé pour la bande de valence SiO. Cette fréquence assez basse traduit la forte perturbation engendrée dans le réseau silicique par la présence des atomes d'aluminium tétracoordonnés qui y sont inclus.

Par contre, le spectre correspondant à l'échantillon E 152 (prélevé à 3500 m d'altitude) traduit une évolution beaucoup plus accentuée. Le maximum d'absorption de la bande SiO s'est déplacé vers 1030 cm^{-1} , reflétant la présence d'atomes d'aluminium hexacoordonnés et donc aussi la différenciation vers une couche actaédrique.

Cette définition en deux couches serait bien illustrée dans l'échantillon à 3500 m d'altitude (E 152):

- pour la couche silicique par le développement déjà important de la composante à 1100 cm^{-1} de la bande de valence et par la présence bien marquée du doublet 470-440 attribué au réseau silicique.

- pour la couche aluminique par la présence vers 910 cm^{-1} de la bande $\text{Al}^{\text{VI}}\text{-O-H}$ et d'une bande à 540 cm^{-1} attribuée à la vibration Si-O-Al (Al hexacoordonné) donc Al octaédrique.

Enfin, le complexe des bandes du réseau entre 750 et 550 cm^{-1} est mieux développé dans l'échantillon à 3500 mètres d'altitude que dans l'échantillon plus amorphe à 3000 mètres d'altitude.

Pour les bandes d'absorption dues aux groupes hydroxyles, on note à 3500 m d'altitude, un faible épaulement vers 3700 cm^{-1} , indiquant la formation de l'halloysite. Cet épaulement ne s'observe pas à 3000 m d'altitude. Dans les deux échantillons, la bande d'absorption est très large de 3000 à 3600 cm^{-1} et traduit l'abondance du matériel allophanique.

Pour faciliter des comparaisons, on a figuré à côté de ces diagrammes, ceux d'échantillons de Martinique, concernant deux horizons du même profil sur cendre, en région tropicale humide. L'échantillon du niveau supérieur (29 b) est encore très amorphe, mais celui de profondeur semble un peu mieux organisé (29 c).

Le microscope électronique montre pour ces échantillons des images assez analogues d'amas étirés sans structures, mais où l'aspect en filaments est moins net que dans d'autres échantillons d'allophanes hydratés de basses altitudes d'Equateur ou des Antilles. On ne peut guère parler d'organisation en plaques ou en tubes d'halloysite.

PLANCHE 1 -

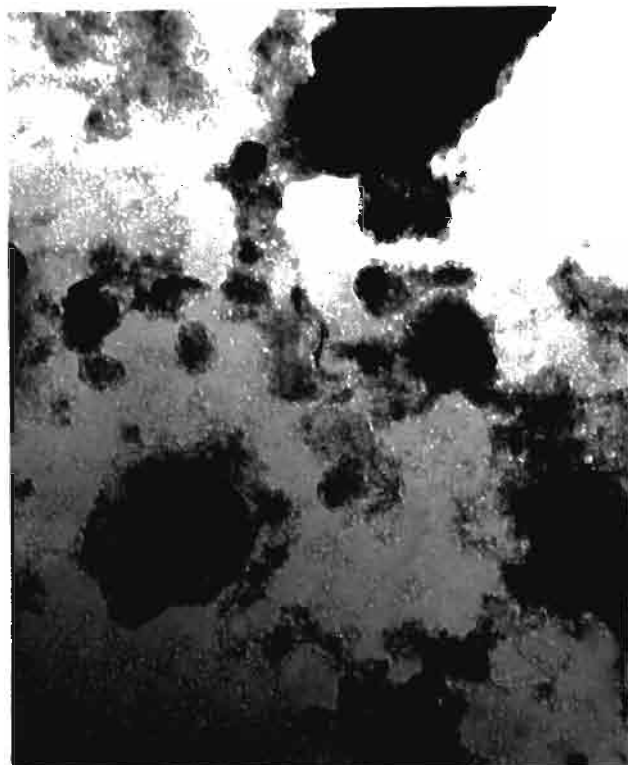
MICROSCOPIE ELECTRONIQUE

Echantillons E I50-1
(3000m d'altitude)

Amas déchiquetés de fins glomérules avec quelques
rares fibres courtes.

E I51 -(5)

E I51- (2)



E I51-5

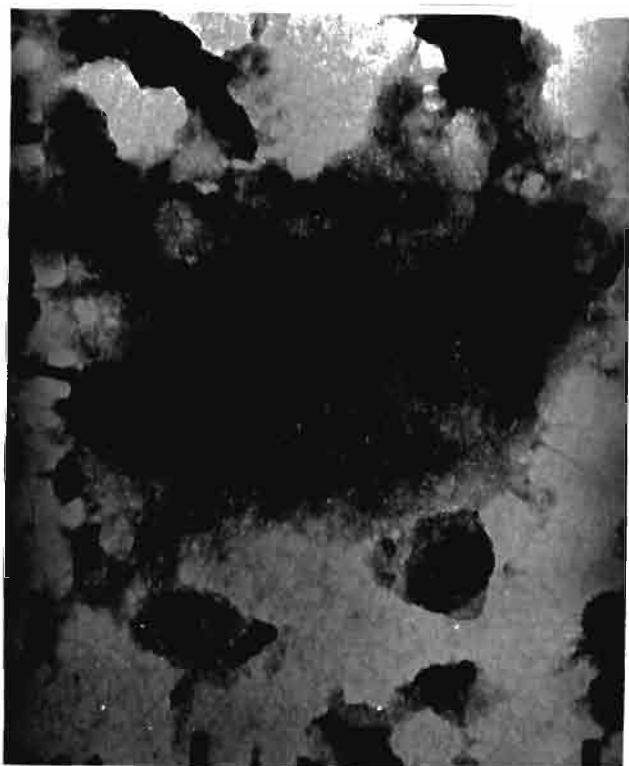
1 micron

E I52 (3500m d'altitude)

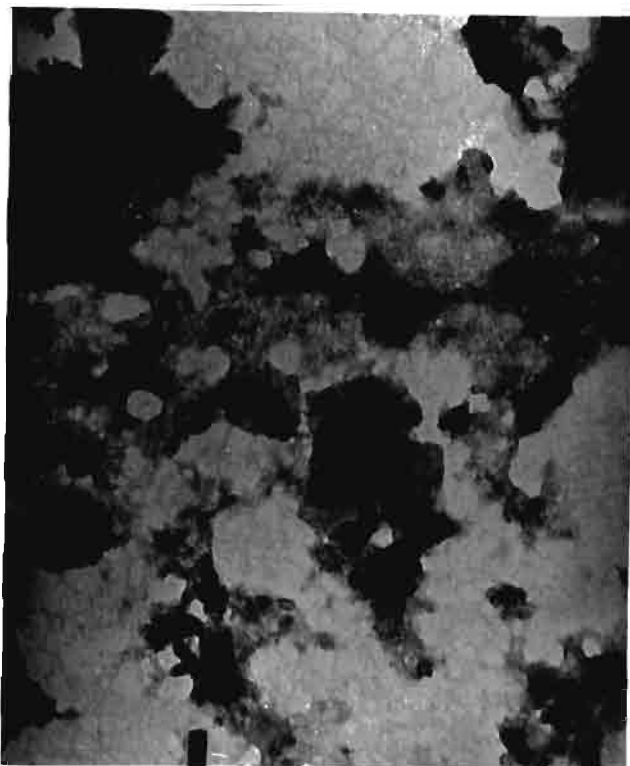
Amas déchiquetés de fins glomérules avec des fibrilles
plus nettes.

E I52 (6)

E I52 (3)



E I52.6

1 μ

E I52-3

1 micron

La capacité d'échange déterminée sur échantillon conservé frais est élevée et augmente nettement si la détermination, toujours avec l'acétate d'ammonium, est effectuée à pH 9, au lieu de pH 7. A pH 4, elle paraît un peu plus faible. Rappelons que pour la plupart des sols à kaolinite ou montmorillonite, il y a peu de variations entre des mesures faites à divers pH (Tableau 14).

Lorsque les sols conservés humides sans séchage sont "déférisés" à l'hydro-sulfite par la technique de JAKSON (1958), la capacité d'échange déterminée à pH 7 est nettement augmentée.

Par contre, si le sol toujours conservé frais, est soumis à trois traitements successifs : acide/basique par la technique préconisée par SEGALIN (1966) pour la dissolution des amorphes, la capacité d'échange devient négligeable. Rappelons que dans cette technique, le sol est attaqué à froid par de l'acide chlorhydrique 4 fois normal, suivi de soude normale, l'opération ayant été reprise ici trois fois de suite.

En rapportant tout au sol séché à 105°, le résidu sur le sol entier, après ce traitement acide/base, représente seulement 44 % du sol initial pour le niveau situé à 3000 mètres, le plus riche en amorphe, et 66 % pour le niveau à 3500 mètres, un peu mieux organisé.

TABLEAU 14 - VARIATIONS DE LA CAPACITE D'ECHANGE DE BASE -

(Déterminations effectuées sur le sol conservé humide) Résultats en % de sol séché étuve -

Déterminations sur sol tamisé à 2 mm.

Echant.	Altitude en mètres	T en mé p.100 de sol sec			T en mé % sol sec après trait ^t par les méthodes		Résidu après traitement SEGALIN	Eau de l'échant	pH eau
		pH 4 (1)	pH 7 (2)	pH 9 (3)	JAKSON 4	SEGALIN (5)			
E 151	3000 m	46 50	58 60	76 79	70 71	3 3	44 47	environ 100 % du sol sec	6,0 5,8
E 152	3500 m	47 48	53 55	71 71	59 62	5 5	66 66		

Comparaison avec les sols analogues de Martinique en zones tropicales chaudes

	T en mé p.100 de sol sec			T en mé % sol sec après trait ^t par les méthodes	
	pH 4 (1)	pH 7 (2)	pH 9 (3)	JAKSON (4)	SEGALIN (5)
Allophane 150 m	70 71	79 80	97 97	84 84	4 4
Sol rouge à montmorillonite		44 45	47 47	49 48	44 47
Vertisol	47 46	51 50	54 62	67 70	70 70
Sol ferrallitique		24 24	24 22	30 32	21 20

- (1) avec l'acétate d'ammonium à pH 4 (4) après la technique JAKSON à l'hydr.sulfite
 (2) idem à pH 7 (5) après 3 attaques successives avec HCl6N
 (3) idem à pH 9 à froid puis la soude 0,5N.

Pour les allophanes les examens ont été effectués sur des échantillons conservés dans leur humidité naturelle. Résultats en p 100 de sol séché à 105°.

L'élévation du pH ou le traitement par la méthode JAKSON à l'hydrosulfite de sodium, provoquent, vraisemblablement, de légères dissolutions du réseau, libérant des positions d'échanges et provoquant une augmentation sensible de la capacité d'échange de base.

Le traitement à froid par l'acide concentré et la soude est plus brutal et entraîne une dissolution presque totale des substances amorphes. La capacité totale d'échange de base devient alors presque nulle dans ces sols riches en substances amorphes et ne renfermant que des traces d'argiles cristallines.

Par contre, dans les sols renfermant surtout de la montmorillonite bien cristallisée, comme les vertisols dérivés de matériaux volcaniques ou calcaires, ou certains sols rouges, le traitement acide base ne paraît pas entraîner de dissolution sensible. Pour certains de ces échantillons, la capacité d'échange de base peut être nettement plus élevée après le traitement, qui libère donc, cependant, des positions d'échange ou modifie l'écartement des feuillets.

Conclusion -

Les sols allophaniques fortement hydratés, qu'ils soient formés en régions d'altitudes tempérées froides ou dans les basses plaines tropicales chaudes, sont donc très similaires. Une température de 6 à 8° C n'est donc nullement un obstacle à la formation de ce type de sol et ce processus d'évolution n'est pas spécifique des régions tropicales chaudes humides.

L'humidité constante demeure le facteur essentiel de cette évolution. Une légère diminution de celle-ci plus en altitude, entraîne aussitôt un début d'organisation.

Une évolution semblable peut-elle se produire en régions tempérées froides hors des tropiques ? Cela semble à priori possible, mais l'effet du gel sur ces substances très hydratées est inconnu.

5 - LES SOLS DES HAUTES ALTITUDES - PRAIRIES DU PARAMON

Il s'agit de longues croupes ondulées ou des pentes régulières des volcans, vers 3500 à 4500 m d'altitude. La prairie à herbes jaunies est caractéristique du paramon (Photolet3). La température moyenne varie suivant l'altitude de 6 à 10° C et est constante tout au long de l'année. Des vents violents entraînent une importante érosion éolienne dans les quelques zones encore cultivées.

Peu d'indications précises sont disponibles sur ces régions déshéritées. La pluviométrie ne serait pas très élevée. Les sols se dessèchent en surface, mais sur une épaisseur modérée et très variable, certainement suivant les régions.

Des horizons superficiels très noirs, d'apparence presque tourbeuse, sont fréquemment observés en surface. En profondeur des niveaux beaucoup plus noirs, d'apparence "spodiques", apparaissent presque systématiquement dans certaines régions.

Sur les pentes des volcans, l'épaisseur des cendres et ponces peut être considérable. Par contre, sur les croupes ondulées des cordillères, les dépôts aériens, en bandes très uniformes sur toutes les ondulations du terrain (photo 3) peuvent n'avoir que 2 à 3 m d'épaisseur sur les matériaux sédimentaires ou volcaniques durs anciens. Une "contamination" sur les pentes par ces matériaux très anciens, est donc parfois possible.

51 -

Sur les pentes du CORAZON, près de Quito, on observe vers 3500 m d'altitude, à la limite des cultures de pommes de terre et des prairies jaunies du paramon, une succession de niveaux de cendres séparés par des couches de ponces beiges grossières, peu ou pas altérées. Ces dépôts pourraient provenir soit du COTOPAXI, situé en face, soit plutôt d'un petit volcan plus récent que le CORAZON, qui a surgi sur les flancs de celui-ci.

Les niveaux de cendres ont 0,5 à 1 m d'épaisseur. La texture est sableuse mais avec une certaine cohésion cependant. Sèche, la cendre est assez dure. La base de chaque niveau de cendre, juste au-dessus de la ponce, est très noire sur 20 cms d'épaisseur. S'agit-il d'un niveau enterré ? Le changement de constitution des sables permettrait de le penser (cf. Paragraphe 324)

Le sol est acide et désaturé en bases. Il est bien pourvu en matières organiques à C/N modéré (13), nettement mieux humifiée en profondeur qu'en surface. La proportion d'acides humiques et fulviques est voisine en surface, mais les acides humiques l'emportent nettement en profondeur. Par rapport aux teneurs en matières organiques totales, l'ensemble des acides humiques et fulviques est beaucoup plus important en profondeur qu'en surface.

Photo: 2

Limites de la forêt tropicale et
des prairies du paramon-
Versant pacifique vers 3500m
d'altitude.



Photo: 3

Niveaux de cendres superposés et sols
enfouis dans les prairies du paramon vers
3500m d'altitude ,en recouvrement sur des
formations volcaniques dures.



Photo:4

Quelques aspects de la haute vallée
interandine avec au fond la cordillère
atlantique ou orientale.

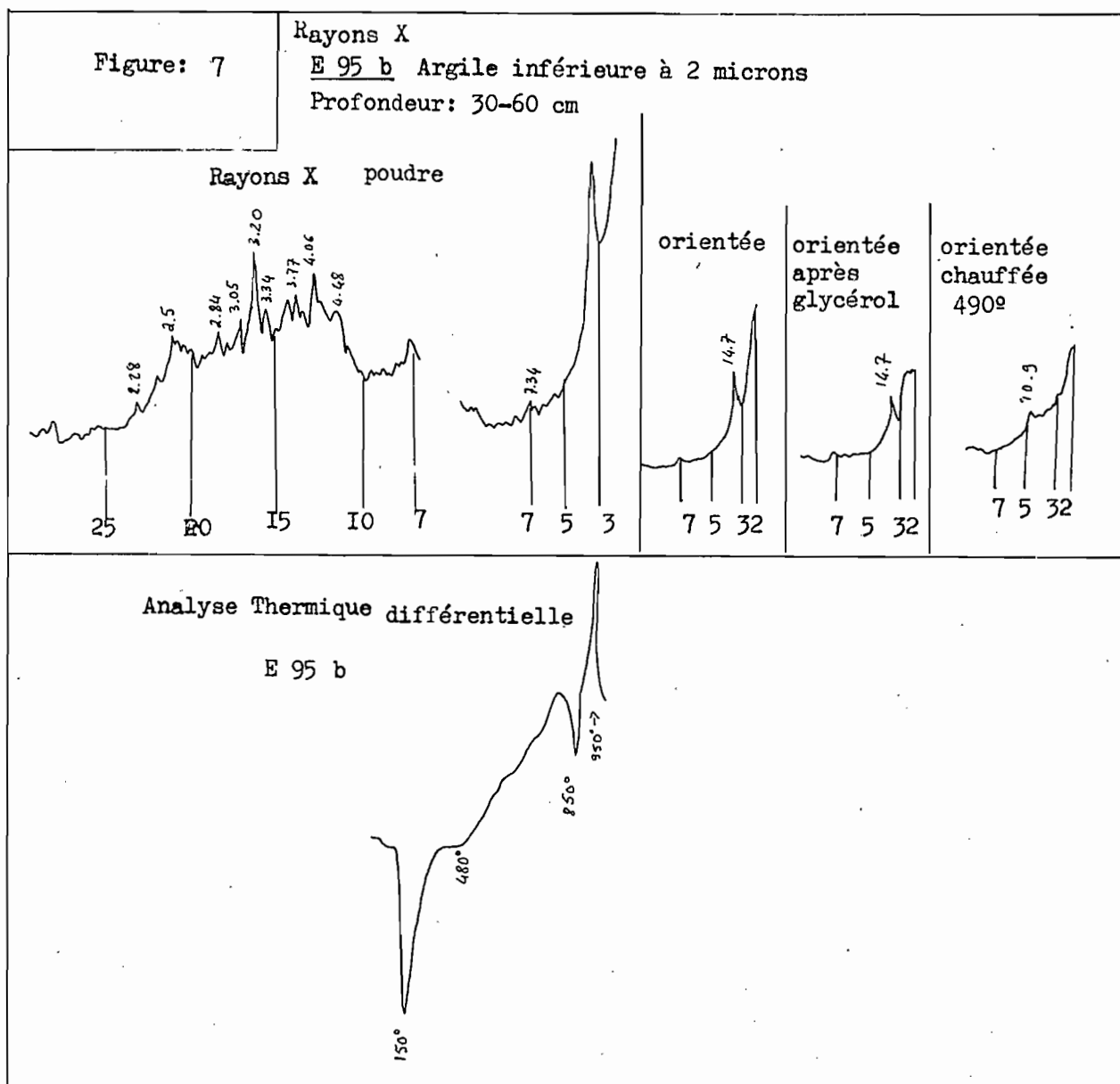


Photo:5

Ravines d'érosion dans les cendres
et les ponces



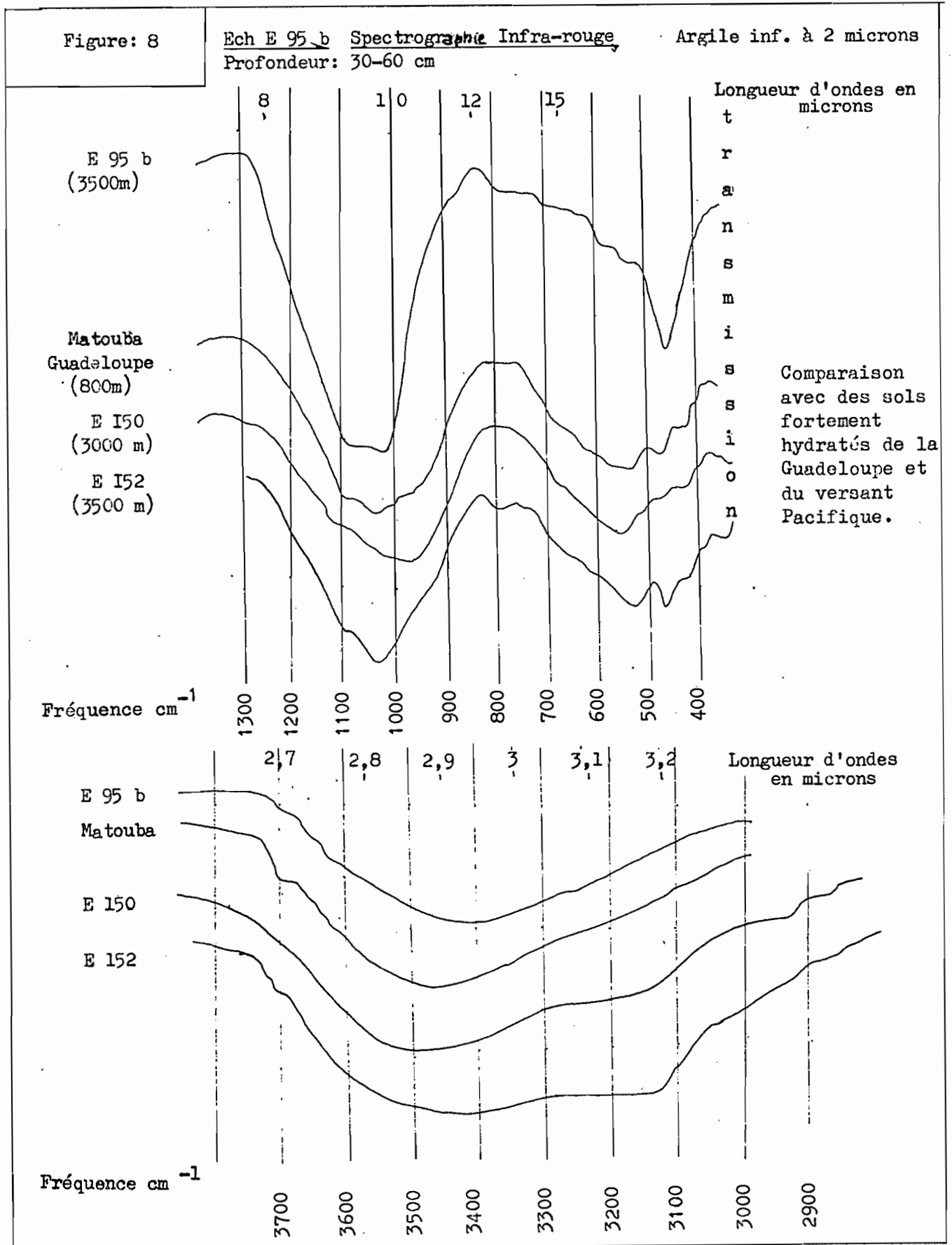
Les rayons X indiquent, outre des amorphes et des minéraux primaires ($3,20 \text{ \AA}$ - $4,06 \text{ \AA}$ = plagioclases), une importante raie à $14 \text{ \AA}$, qui demeure inchangée après traitement au glycérol, et passe à $10 \text{ \AA}$, mais plus faible par chauffage à 490° . Il pourrait s'agir d'une vermiculite ou d'une montmorillonite alumineuse. La présence d'un crochet exothermique marqué à 850° à l'analyse thermique différentielle vient appuyer ces hypothèses. Une petite raie à $7,34 \text{ \AA}$ est probablement due à la métahalloysite. (figure 7)



Dans le diagramme d'infra-rouge une large bande de $3000 \text{ à } 3700 \text{ cm}^{-1}$ est due à l'absorption par les OH du matériel allophanique et indique surtout la présence d'amorphes. Un léger épaulement à 3700 cm^{-1} , serait l'indice d'un début d'organisation. Cette partie du diagramme est donc très semblable à celle de l'échantillon fortement allophanique, avec un début d'organisation, observé à 3500 mètres d'altitude sur le versant pacifique, à la limite du paramon et à la même latitude.

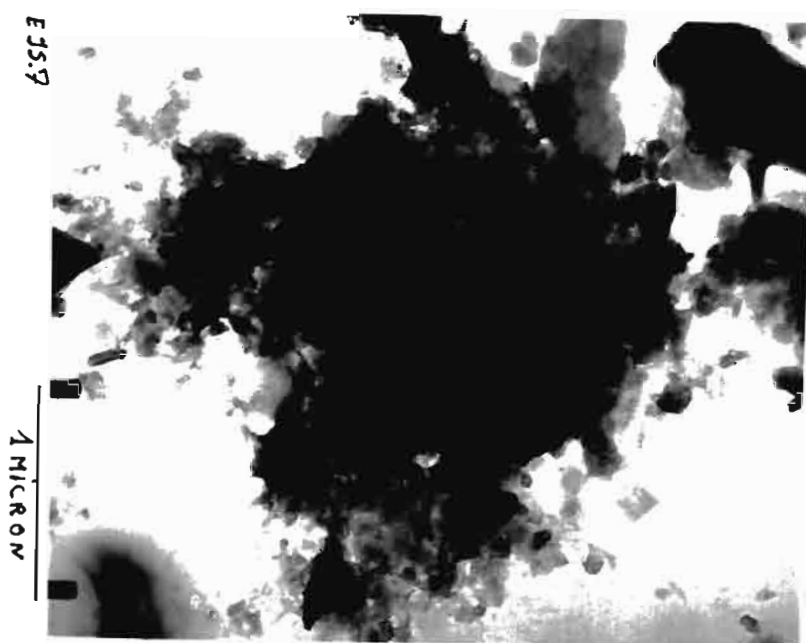
Cette similitude est confirmée par la partie du diagramme correspondant aux vibrations de valence et du réseau. Le maximum d'absorption de la bande de valence SiO est centré sur une fréquence supérieure à 1000cm^{-1} et indiquerait la présence d'Al. hexacoordonnés, bien que la bande Al-O-H à 920cm^{-1} ne soit pas visible. La bande due à la structure en anneaux des tétraèdres de silice est peu intense et simultanément le doublet $470\text{--}440\text{cm}^{-1}$ du réseau silicique est absent.

Les amorphes avec un début d'organisation, probablement de type montmorillonitique, comme dans le précédent profil, représentent donc l'ensemble de la fraction fine.

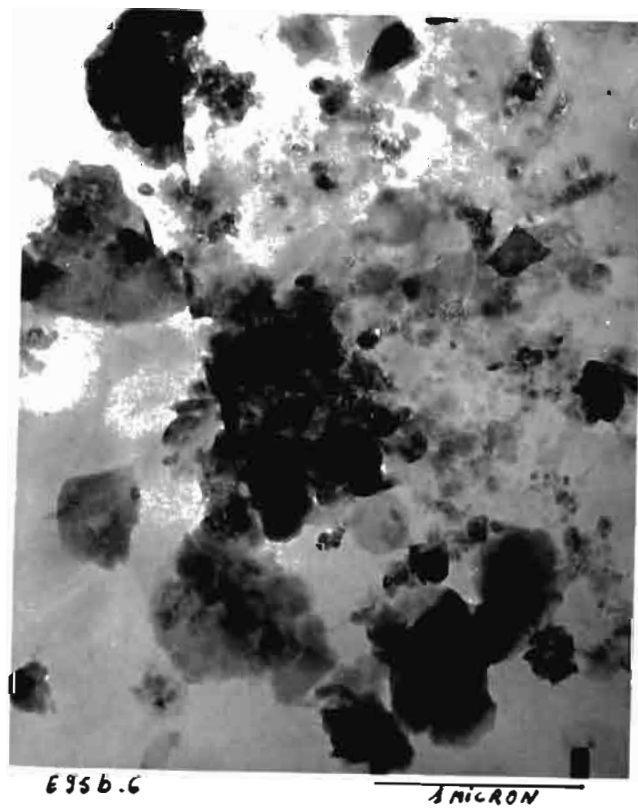


Le microscope électronique révèle quelques plaquettes aux contours irréguliers et mal définis. - Planche 3 -

Planche 3 - Cliché 1 - E 95 (7)



et l'aspect filamentaire des échantillons fortement hydratés a disparu.
Cliché 2 - E 95 (8)



52 -

Dans la même région, certains profils présentent sous un premier niveau de cendres et ponces, un horizon de cendre très noire, beaucoup plus noire qu'en surface. Il s'agirait d'un ancien sol enfoui. Dans ce niveau plus noir profond, le C/N est plus élevé qu'en surface et les acides humiques l'emportent nettement sur les acides fulviques. Les autres résultats analytiques sont voisins de ceux des autres sols déjà examinés.

- 0 - 5 cms Très noir - très humifère - feutrage dense des racines
- 5 - 30 Cendre brunâtre - 5 YR 4/2, devenant plus claire en séchant - mottes peu cohérentes - les sables de 0,5 mm sont abondants avec quelques graviers de 2 à 3 mm.
- 30 - 40 Ponce beige clair, peu altérée grossière - graviers -
- 40 - 100 Limite brutale. La cendre est beaucoup plus noire qu'en surface, noir anthracite, plus noire que 5 Y 2/1, avec reflets bleutés. Le sable est plus grossier et rendu un peu cohérent par la matière organique ou des amorphes. Les feldspaths calcosodiques sont très altérés, arrondis, machurés, couverts de taches noires.

TABEAU 17

Profond. cms	Sables		M.C. %	C / N	Matières humiques C %			Bases échangeables mé %					T	pH eau
	50 200	200 2000			Totales	acide humique	acide fulvique	Ca	Mg	K	Na	S		
5 - 30	17	40	7,3	13				3,9	2	0,15	0,16	6,3	13	5,9
Ponce														
50 - 70	19	34	5,8	16	1,11	0,74	0,38	2,1	1,1	0,2	0,19	3,6	13	5,4

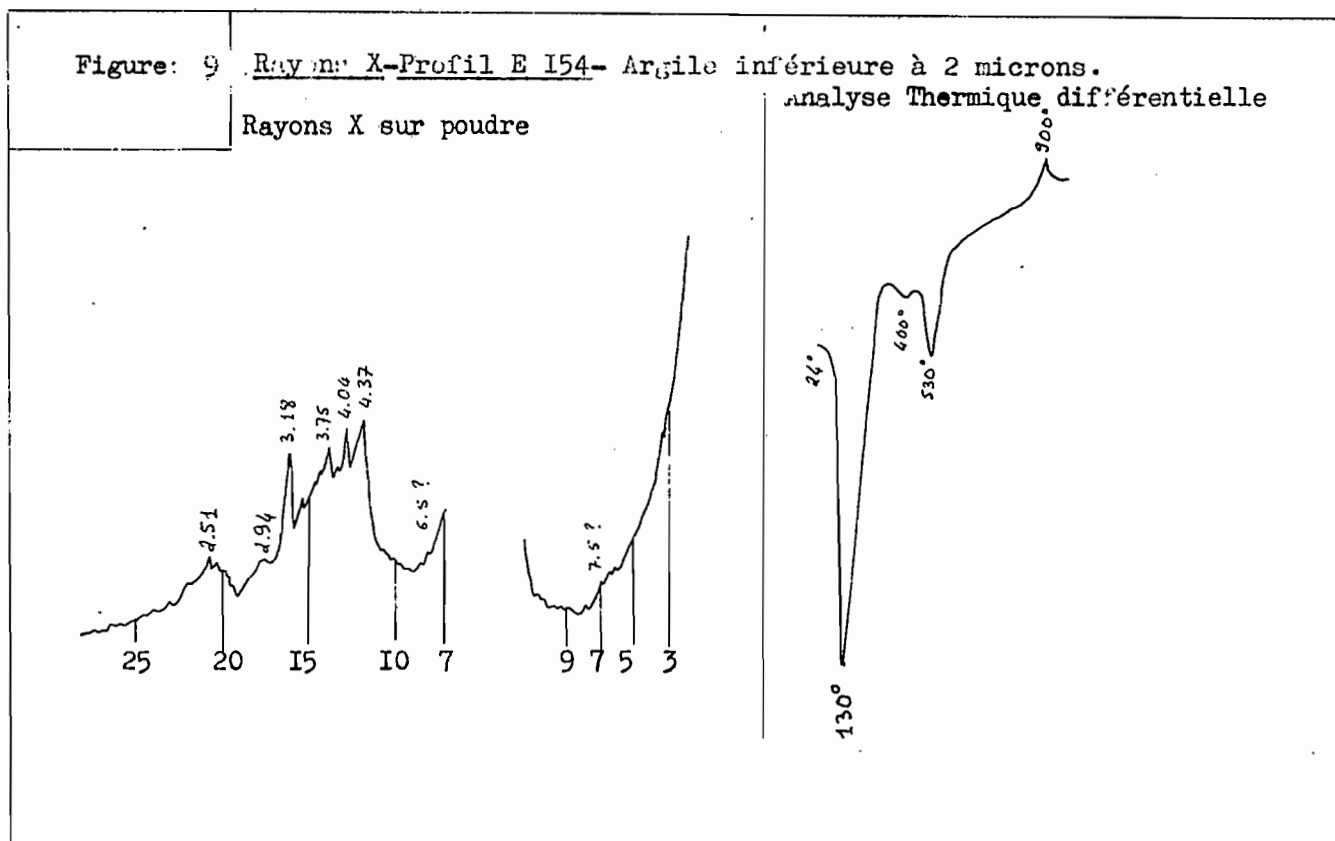
54 -

Les dépôts de cendres et ponces n'ont souvent qu'une épaisseur relativement modérée, 1,5 à 3 m, en recouvrement sur des formations plus anciennes, sédimentaires ou volcaniques dures, crétacées ou tertiaires. Il est donc possible, sur les pentes, dans les parties basses, que des mélanges puissent se produire et il est intéressant de comparer la nature des deux formations superposées.

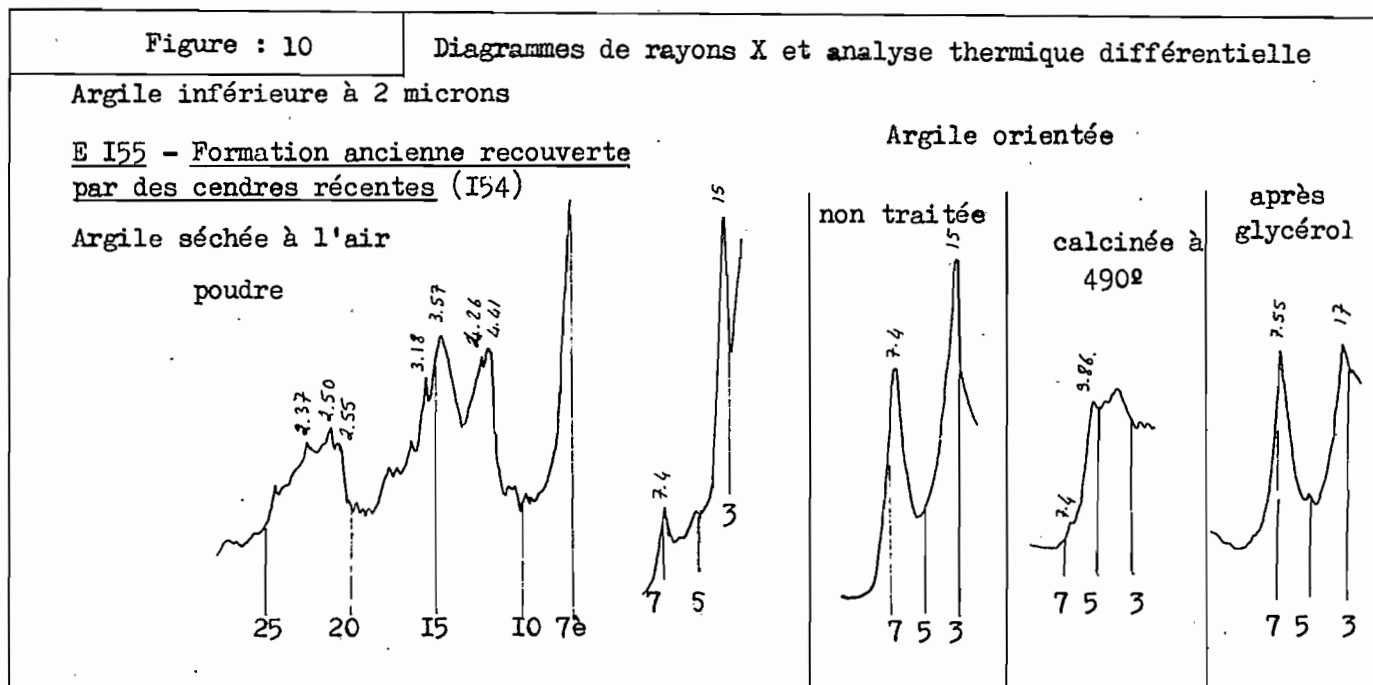
541 - Un échantillon a donc été prélevé à la partie supérieure du recouvrement de cendres et ponces, à proximité d'un petit thalweg. La cendre était sèche, labourée avec une texture très particulière. La teneur en matière organique de 4 %, avec un C/N de 10, indiquerait qu'il s'agit probablement d'un sol déjà fortement érodé. La capacité d'échange passe de 16 mé % mesurée, à pH 7, à 20 à pH 9., le pH est voisin de 6. A noter que ce sol qui n'a jamais reçu d'engrais, est bien pourvu en P^{205} Truog (10 mg %).

Les rayons X révèlent surtout dans la fraction fine, des amorphes et des minéraux primaires (3,18 - 4,04). L'importance de la raie à 4,37 Å, et un léger renflement vers 7,6 - 7,8, seraient l'indice probable d'un peu de métahalloysite.

C'est donc un niveau bien classique du paramon.



542 - La formation ancienne que recouvrent les cendres et ponces, ressemble fortement aux argiles ou tufs argileux montmorillonitiques volcaniques des Antilles. Le matériau est encore dur. Ecrasé finement, il devient franchement adhérent.



Les rayons X montrent une raie à $14,7 \text{ \AA}$ qui passe à $17 \text{ \AA}$, après traitement au glycérol et à $10 \text{ \AA}$ par chauffage à 490° , avec cependant persistance d'une raie vers $13 \text{ \AA}$. Outre la montmorillonite, il y aurait donc un minéral à 14 , qui peut être une chlorite ou une montmorillonite alumineuse. Il est difficile de dire si la raie à $7,3 \text{ \AA}$ doit être attribuée au minéral à 14 ou, ce qui est plus probable, à de la métahalloysite.

Cette argile est-elle héritée de matériaux sédimentaires crétacés surélevés, ou est-elle néoformée sur des roches volcaniques dures ou des tufs? Sous ce climat relativement sec, ce serait une évolution très vraisemblable sur des matériaux peu perméables.

55 - Sur les contreforts du COTOPAXI, toujours vers la même altitude (3500 m), les couches de cendres et surtout de ponces, semblent avoir une épaisseur considérable. La région est peu accidentée, les pentes douces et régulières.

Sous un chevelu de 3 cms de racines enchevêtrées, qui a été éliminé du prélèvement, la cendre est noire, très peu cohérente, particulaire, assez grossière - s'effritant aisément.

A 30 cms , on passe en quelques cms, à la ponce pure beige claire, dont les éléments ont souvent $0,5$ à 2 cms . Ce niveau ponceux aurait plusieurs mètres d'épaisseur.

Il s'agit donc d'un sol très court. La fraction fine est encore très peu importante et la matière organique constitue l'élément de rétention essentiel du sol. Bien que la teneur en matière organique soit élevée (5%), la capacité d'échange demeure très faible, ainsi que la capacité pour l'eau. Cela montre bien que les matériaux amorphes minéraux sont les principaux responsables de la capacité d'échange et de la rétention pour l'eau élevée des sols sur cendres d'altitude. En ce qui concerne la rétention pour l'eau, la finesse des particules joue aussi un rôle très important.

Le C/N est élevé (20) et les acides fulviques l'emportent sur les acides humiques.

TABEAU 18 Profil E 93 - Déterminations analytiques -

Profond. cms	Sables		Bases échangeables mé %					T	pH eau	M.O %	C/ N	Matières humiques C%			pF *	
	50 200	200 2000	Ca	Mg	K	Na	S					Totales	acide humiq.	acide fulv.	2,8	4,2
3 - 25	29	40	2,3	0,6	0,09	0,11	3,1	6	5,3	5,3	20	0,42	0,19	0,23	15	8

* idem sur échantillon frais.

56 - Conclusion -

Les sols des hautes altitudes formés sous les prairies herbacées du paramon diffèrent donc considérablement des sols fortement allophaniques précédemment étudiés sur le versant pacifique. Bien que mieux pourvus en matières organiques en surface, comme en profondeur, ils ne présentent ni la capacité en eau considérable, ni la capacité d'échange de base très élevée de ceux-ci, qui semblent spécifiques des substances amorphes très hydratées.

C'est la richesse en matière organique qui caractérise essentiellement ces sols comme dans toutes les régions d'altitude. La fraction fine inférieure à 2 microns, demeure, en général, très faible et semble encore surtout à l'état amorphe, comme l'indiquent les examens aux rayons X, à l'infra-rouge, et les chutes brutales de la capacité d'échange après traitements aux acides.

Ces substances amorphes étant soumises à des périodes de dessiccation temporaire, ne présentent pas le caractère fortement hydraté des sols sur cendres ou des tourbes des régions très humides. La capacité d'échange de base est modérée et les sols souvent assez fortement désaturés.

Dans quelques sols, cependant, un minéral à 14 Å, probablement une montmorillonite alumineuse, serait nettement visible aux rayons X.

Acides humiques et fulviques sont généralement présents en altitude, en proportion voisine dans le niveau de surface. La proportion d'acides humiques peut l'emporter nettement plus en profondeur. Le C/N est généralement loin encore des valeurs signalées dans la 7ème approximation pour certains sols sur cendres. L'uniformité de la température tout au long de l'année, et l'absence de périodes de gel et d'engorgement prononcé par l'eau, sur des niveaux gelés, en est peut-être la cause.

Le tableau 19 compare les résultats obtenus pour les sols d'altitude d'Equateur, d'ceux des plaines basses tropicales chaudes.

TABEAU 19 Matières organiques et humiques.

Profondeur cms	M.O %	C/N	Matières humiques C %		
			totales	acides humiques	acides fulviques
<u>Sols des hautes altitudes sous prairies du paramon -</u>					
3 - 25	5,3	20	0,42	0,19	0,23
5 - 25	13,5	16	1,52	0,57	0,94
30 - 60	5,0	11,5	0,67	0,29	0,39
0 - 10	9,5	13,5	1,55	0,75	0,80
60 - 80	5,4	13,2	1,46	0,87	0,59
50 - 70	5,8	16	1,11	0,74	0,38
niveau enfoui					
<u>Sols des régions tropicales chaudes humides d'Equateur -</u>					
0 - 15	7,1	9,8	1,02	0,34	0,68
90 - 105	2,2	10,7	0,13	0,015	0,120
0 - 15	6,7	11,6	1,08	0,30	0,78
0 - 20	4,9	11	0,64	0,22	0,42
0 - 15	8,3	13	1,09	0,35	0,74
<u>Sols des régions tropicales humides des Antilles -</u>					
CA 4a	13,2	13	3,39	1,20	2,20
b	3,2		0,32	0,02	0,30
CA 17a	10,1	10	0,72	0,24	0,48
b			0,31	0,12	0,18

Les acides fulviques et humiques sont en proportion voisine en surface. Les acides humiques dominent en profondeur.

Les acides fulviques sont nettement plus importants que les acides humiques.

Les acides fulviques sont largement dominants.

La proportion d'acides humiques est plus importante dans les sols d'altitude tandis que les acides fulviques dominent largement dans les régions basses chaudes et surtout dans les plus humides.

6 - SOLS DES REGIONS RELATIVEMENT HUMIDES DE LA HAUTE VALLEE INTERANDINE

(2200 à 3000 m d'altitude)

Il est possible de faire une distinction entre les sols des régions relativement bien arrosées, qui peuvent recevoir jusqu'à 1m ou 1,5m de pluviométrie annuelle, assez bien répartie et ceux des régions très sèches ou arides, où la pluviométrie demeure inférieure à 500 mm et est mal répartie au cours de l'année.

Par suite de l'érosion très active, décapant les pentes et accumulant les matériaux sur les replats, il est plus difficile de savoir si, même à peu de distance, les sols sont formés sur des dépôts de cendres et de ponces, d'aspect certes analogue, mais dont l'âge peut être voisin ou très différent. A priori, cependant, les sols qui dérivent de la désagrégation de la cangagua ou tuf durci, seraient plus anciens que ceux formés sur les cendres et ponces qui viennent généralement en recouvrement sur ces tufs, autant qu'on puisse l'observer.

61 - Dans la région Sud de Quito, de larges zones sont peu accidentées et cultivées. Les prairies à luzerne et trèfle irriguées, les cultures de blé avec deux récoltes annuelles, les pommes de terre, etc... donnent des rendements satisfaisants. La pluviométrie dépasserait 1m par an, assez bien répartie.

Le profil suivant, relevé près de Uyumbicho, serait très caractéristique des sols de ces régions.

0 - 50 Lesol est limono-sableux avec une structure peu stable meuble, quoiqu'il y ait cependant une nette cohésion. Les petites mottes subangulaires éclatent aisément dans les doigts, en passant du noir 10 YR 3/2 au brun foncé (10 YR 3/3) Il y aurait donc des revêtements.
Un peu d'argile paraît sensible dès 30 cms.

50 - 120 Le sol devient progressivement plus foncé, la limite étant très diffuse, 10 YR 3/1. La couleur ne change pas sur le sol écrasé. Le sable paraît légèrement argileux, un peu onctueux, très légèrement adhérent, un peu malléable, quoique la cohésion soit très faible.

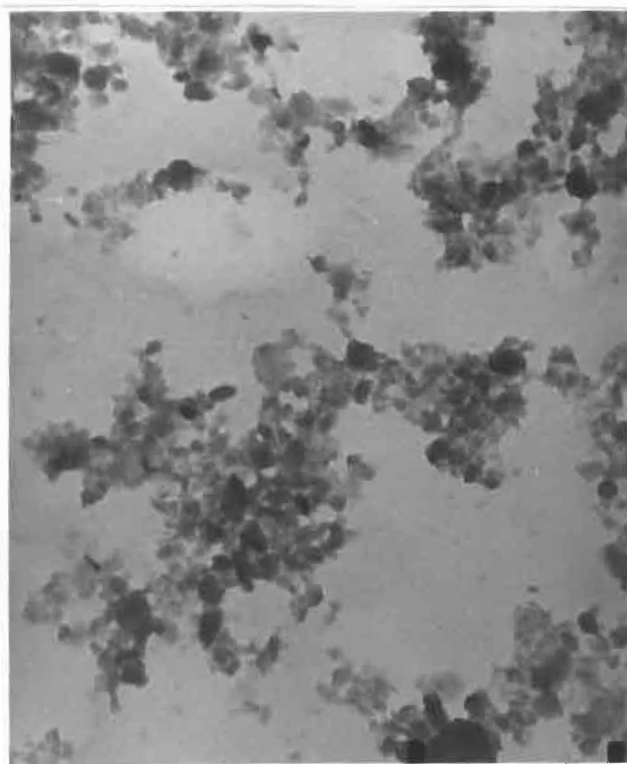
Plus en profondeur, on rencontre très probablement la cangagua ou tuf durci brunâtre, qui affleure fréquemment sur les parties convexes du voisinage.

Le sol se desséchant durant certaines périodes de l'année, il n'a pas paru utile d'effectuer les analyses sur des échantillons frais et la terre séchée à l'air a été utilisée. Le fait, cependant, que les plagioclases des sables soient plus altérés en profondeur qu'en surface, peut être attribué soit, à une altération plus poussée en profondeur, conséquence d'une humidité plus constante, soit à des dépôts aériens plus jeunes venus en recouvrement.

L'état de saturation en bases est satisfaisant et le pH supérieur à 6,0.

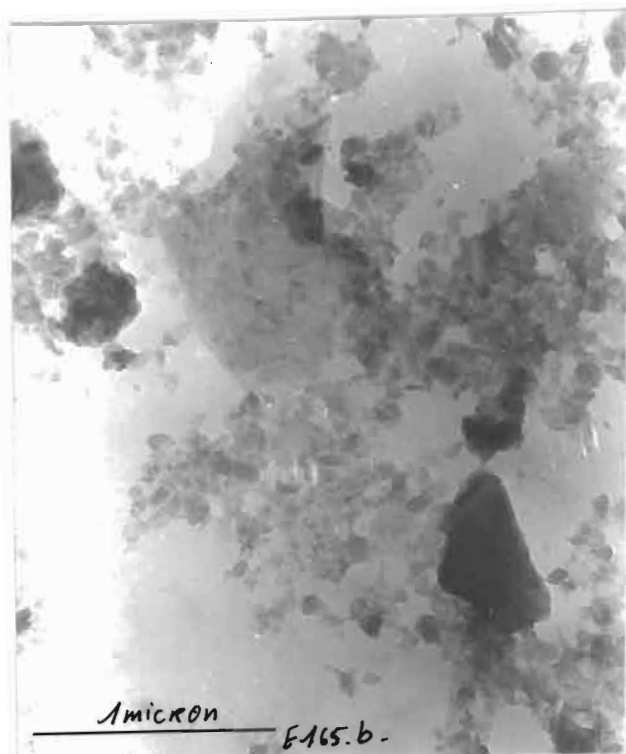
Les acides humiques et fulviques sont en proportion voisine en surface, mais les acides humiques l'emportent nettement en profondeur, tout comme dans les sols du paramon plus en altitude (Tableau 20). La proportion de matières humiques par rapport à la matière organique totale est très faible en profondeur.

La capacité d'échange est la même à pH 7, à pH 9 et après destruction de la matière organique par l'eau oxygénée, sauf dans le niveau de surface, pour ce dernier traitement. Par contre, après traitement acide-soude, elle devient très faible, soulignant l'importance des amorphes ou d'argiles aisément solubles.



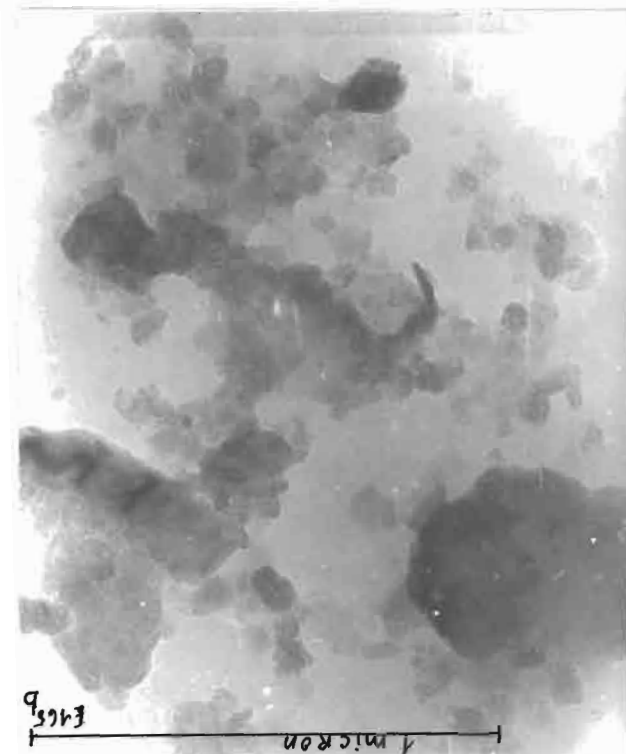
E 165 G-13

1 micron



1 micron

E 165 b-



E 165 b

1 micron

TABEAU 20 Analyses Profil E I65 .

Prof. cms	Argile 2	Limon 2-20	S a b l e s			Bases échangeables mé %						V%	pH eau	p205 Truog mg %	M.O %	C/ N
			20 50	50 200	200 2000	Ca	Mg	K	Na	S	T					
0-30						9,1	5,8	0,56	0,19	15,7	22	71	6,1	11	5,8	10
40-60	12	27,5	16	22	18	5,5	3,4	0,30	0,34	9,6	17	56	6,4	18	1,9	10,6
80-120	11,2	25	15,3	22	20,6	7,4	3,6	0,45	0,47	11,9	17	70	6,8	18		

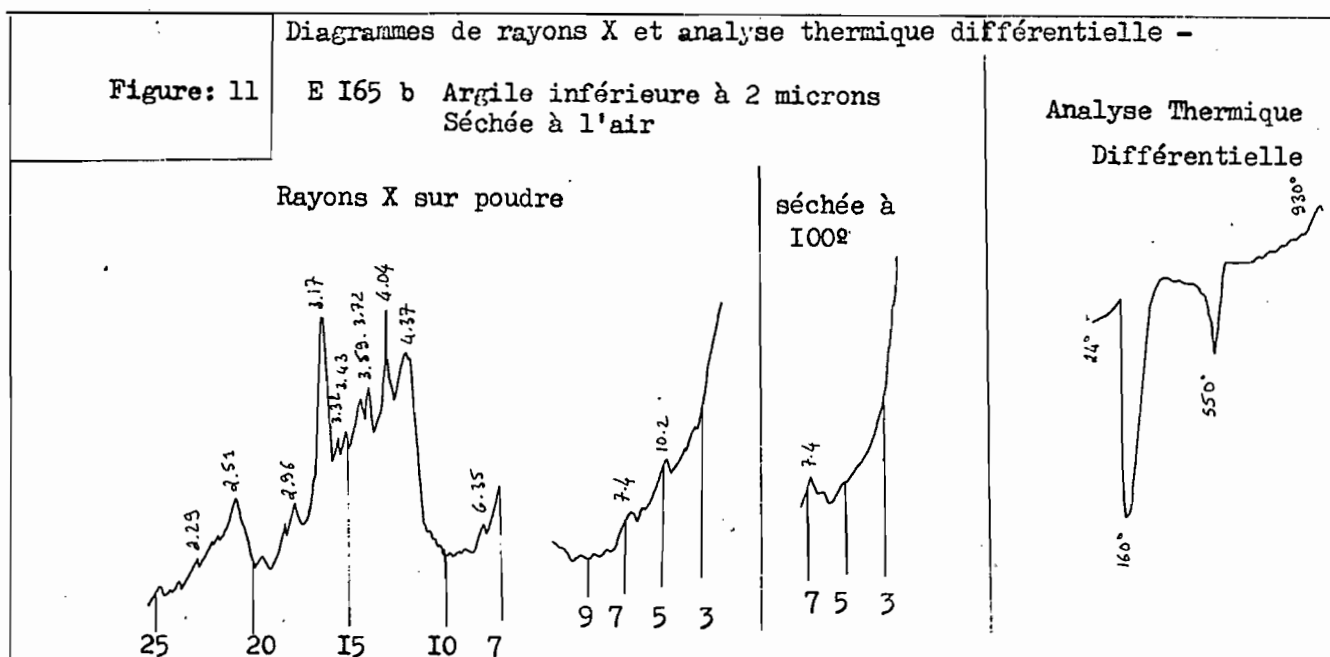
	Matières humiques C %			T	T	T après	T après
	Totales	Ac.humique	Ac.fulvique	pH 7	pH 9	H ₂ O ₂	SEGALEN
0-30	0,43	0,21	0,21	22	25	19	3
40-60	0,25	0,15	0,10	17	17	17	3

Dans l'horizon 40-60 cms, la fraction fine inférieure à 2 microns, renferme, outre des amorphes, et en quantité notable, de l'halloysite (raie à 10 Å passant à 7,4 Å par chauffage à 100 °) et de la métahalloysite (raie à 7,4 - 4,37 - 2,51).

La raie à 4,37 Å est bien développée, mais celle à 3,59 Å est faible. La présence d'une raie unique et large à 2,51 Å et l'absence des doublets de la kaolinite, montre bien qu'il s'agit d'halloysite.

Les raies à 3,17 et 4,04 Å bien marquées sont attribuables à des minéraux primaires, plagioclases, etc... La petite raie à 6,35 est-elle due à la boehmite ? Cette raie est souvent rencontrée en altitude, mais il est difficile d'affirmer à quoi elle correspond exactement (figure 11), probablement à des plagioclases ?

L'altération des cendres donnerait donc des amorphes, avec début d'organisation de l'halloysite. Puisque le profil se dessèche certains mois de l'année, au moins à cette profondeur, il semble normal que la métahalloysite soit aussi observée.



L'examen au microscope électronique montre de toutes petites particules arrondies dont certaines paraissent nettement constituées d'éléments concentriques. Il ne s'agit donc pas des tubes plus ou moins bien formés, habituellement rencontrés pour les sols des régions chaudes tropicales qui présentent des diagrammes de rayons X similaires.

Un profil comportant plusieurs niveaux de cendres et ponces superposées en recouvrement sur un tuf durci ou cangagua, a été observé dans la même région. La régularité des couches de cendres de 0,5 à 1 m d'épaisseur, séparées par des niveaux ponceux, peu épais, mais souvent peu altérés, permet de penser qu'il s'agit de dépôts aériens successifs non remaniés.

Chaque couche de cendre noire est encore très sableuse, mais une structure à tendance angulaire peu développée et peu stable, se manifeste déjà. La cohésion demeure faible mais nette. Ecrasé entre les doigts, le sol paraît renfermer un peu d'argile. Il devient moins noir et davantage brunâtre-rouille, ce qui serait l'indice de revêtements sur les faces des éléments de la structure. Ce changement de couleur est peu sensible dans le niveau le plus profond.

Les premiers niveaux de ponces sont peu altérés et les morceaux encore durs. Le plus profond est déjà très pourri et les ponces beiges s'écrasent entre les doigts. S'agit-il d'un niveau beaucoup plus ancien ou plus humide ? et pour cette raison plus altéré ?

Vers 5 m de profondeur, on passe brutalement à la cangagua ou tuf durci, qui semble très homogène sur plusieurs mètres d'épaisseur. La coloration brun-rouille foncé - IO YR 3/2 - devient nettement plus claire 5/4 par dessiccation. De nombreux petits pores sont visibles. Même humide, les talus sont difficiles à attaquer au marteau. Mouillé, écrasé et pétri entre les doigts, le tuf semble nettement renfermer de l'argile.

Dans les niveaux de cendres les plus profonds et dans la cangagua, les teneurs en bases échangeables sont de l'ordre de 10 à 15 mé % et les pH voisins de 6. Les teneurs importantes en matières organiques des niveaux cendreux, indiquent bien qu'il s'agit d'anciens sols qui ont été successivement recouverts.

TABLEAU 21

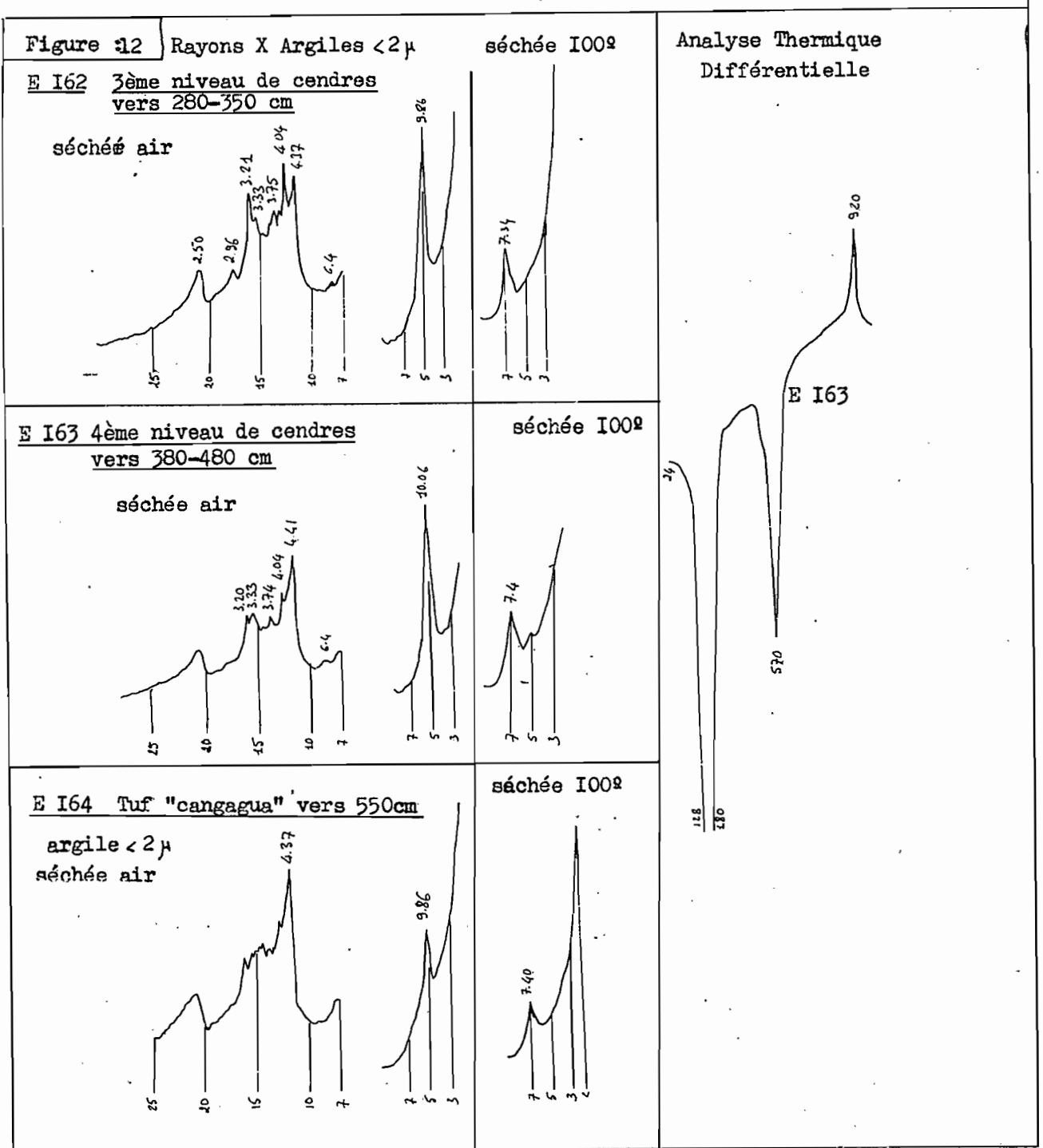
	Profondeur cm	Bases échangeables mé %						%	pH	%	C/N	Argile
		Ca	Mg	K	Na	S	T					
3ème niveau de cendre	280-350	8,9	1,9	1,15	0,26	12,2	34	36	5,8	7	16	4
4ème " "	380-480	5,8	2,1	0,84	0,36	9,1	22	41	5,8	2,1	14	
Cangagua	550	6,5	6,6	1,6	0,96	15,5	24	64	6,1	1		

Pour ces mêmes niveaux, l'examen aux rayons X de la fraction inférieure à 2 microns, extraite sans chauffage, montre la présence d'une belle halloysite. La raie à 10 Å est importante et passe à 7,4 par chauffage à 100°, en restant très inférieure à la raie à 4,37, bien développée. Une raie unique et large existe à 2,51, sans qu'aucune trace des doublets de la kaolinite n'apparaisse. La raie à 3,55, généralement bien développée dans la kaolinite, est absente. L'halloysite serait mieux cristallisée dans les niveaux cendreux que dans la cangagua.

Les raies de minéraux primaires 3,21, 4,04 et 3,33 s'atténuent nettement en profondeur et deviennent peu sensibles dans la cangagua. Cela confirme l'altération plus poussée des niveaux profonds ou peu de particules fines primaires demeurent identifiables.

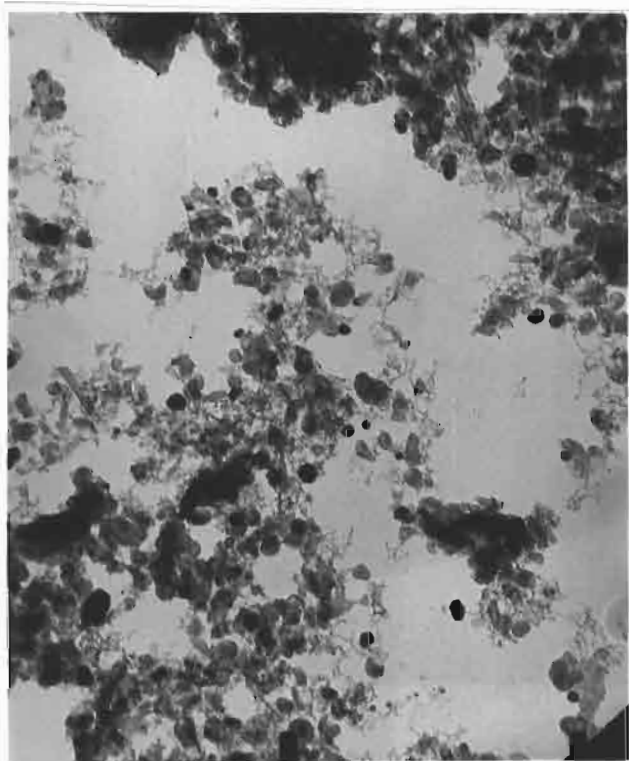
Signalons un soupçon de raie à 6,4 qui pourrait être attribuable à la boehmite

L'analyse thermique différentielle montre un départ d'eau ^{encl} exothermique vers 150°, suivi du crochet endothermique à 570° de l'halloysite, qui semble déjà s'amorcer lentement à plus basse température.



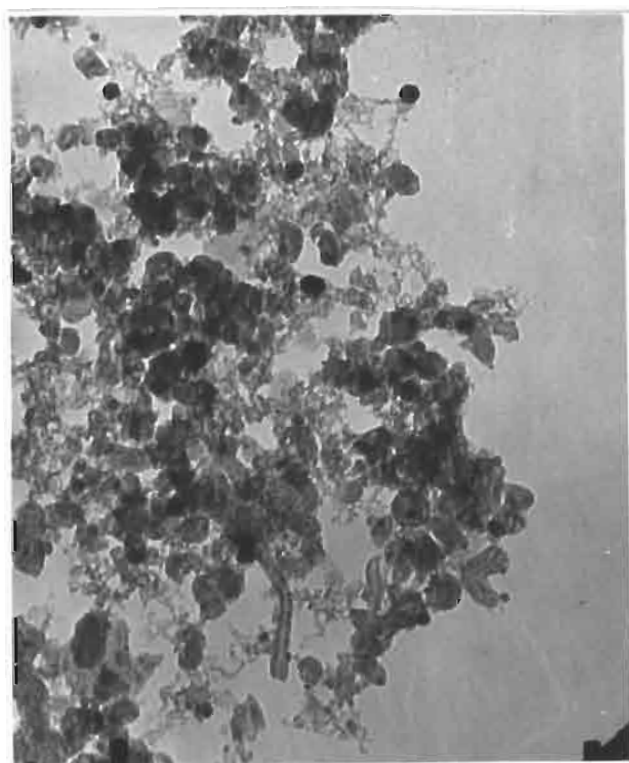
Les diagrammes de spectrographie par infra-rouge indiquent nettement la présence de l'halloysite et confirment la meilleure cristallinité de l'halloysite dans le niveau de cendre que dans la cangagua.

Les deux bandes d'absorption des OH de l'halloysite vers 3700 et 3620 cm^{-1} sont bien nettes sans être cependant, très prononcées. Les deux échantillons présentent une importante bande d'absorption SiO avec des composantes nettes et fines à des fréquences supérieures à 1000 cm^{-1} . La bande de déformation $\text{Al}^{\text{VI}}\text{OH}$ est bien développée vers 910 cm^{-1} . La bande vers 800 cm^{-1} , attribuée à la structure en anneau des tétraèdres de silice est mieux visible, plus fine dans le 3ème niveau de cendre que dans la cangagua ce qui confirme la meilleure organisation du réseau de ce niveau. Le doublet SiO à 470 et 440 cm^{-1} est bien découpé, indiquant une bonne séparation des couches tétraédriques



E162.11

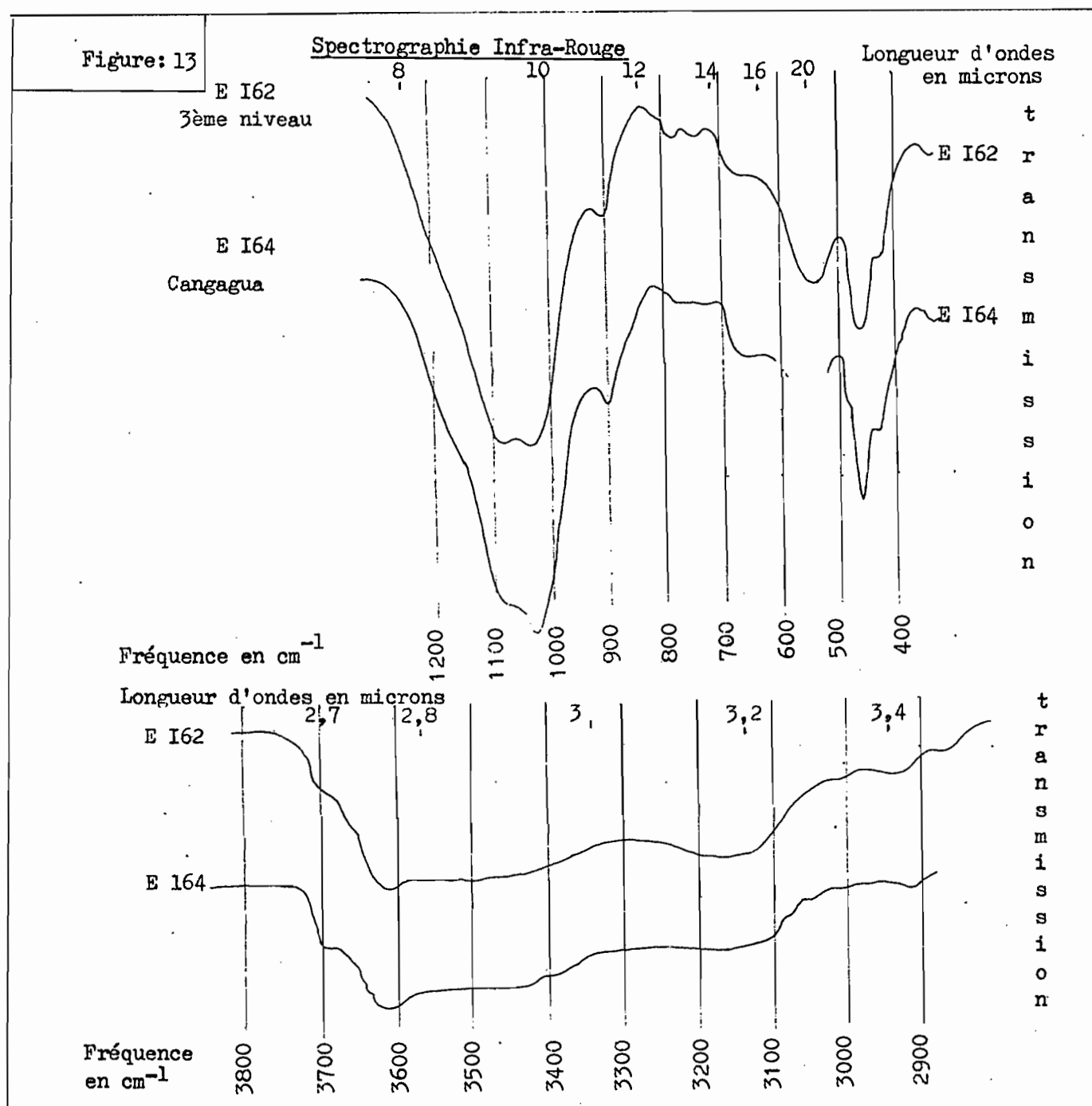
1 micron



E162.15

1 MICRON

et octaédriques. Ces divers éléments reflètent donc exactement le stade fortement évolué dans la cristallisation de ce matériau.



L'examen au microscope électronique révèle de petites particules sphériques souvent concentriques de 0,1 micron. Ce ne sont pas les tubes de l'hallowaysite habituellement trouvés dans les sols des régions chaudes tropicales, présentant des diagrammes de rayons X, d'infrarouge, ou d'analyse thermique différentielle similaires.

PLANCHE 5 -

L'importance des amorphes ou d'argiles encore mal cristallisées aisément dissoutes est mise en évidence par la forte diminution de la capacité d'échange après traitements acide-soude. La légère augmentation de la capacité d'échange mesurée à pH 9, par rapport aux résultats observés à pH 7, suggère des substances encore relativement hydratées. Une évolution en milieu plus constamment humide que dans le précédent profil, est vraisemblable puisqu'il s'agit d'échantillons prélevés à plus de 2 m de profondeur et que la dessiccation est certainement moins accentuée à ce niveau que dans les deux échantillons de surface examinés précédemment (165)

TABLEAU 22

VARIATIONS DE LA CAPACITE D'ECHANGE DE BASE

Ech. sol	(1) T pH 7	(2) T pH 9	T à pH 7 (3) après H ₂ O ₂	T à pH 7 (4) après SEGALIN
162	34	42	27	3
163	22	25	24	4
164	24	28	30	5

63 - Conclusion -

L'examen de ces deux profils indique donc que l'altération des cendres donne naissance dans ces régions relativement arrosées, à des amorphes et de l'halloysite, exactement comme dans toutes les régions tropicales chaudes, où le sol subi une certaine dessiccation pendant une période de l'année. La dessiccation plus importante et plus complète dans les niveaux de surface, au moins certaines années, expliquerait la présence d'un peu de métahalloysite et le maintien, au contraire de l'halloysite hydratée 4 H₂O sans traces de raie à 7 Å dans les niveaux profonds.

Le fait que l'halloysite semble mieux cristallisée (RX et IR) dans les niveaux cendreaux que dans la cangagua profonde, plus argileuse et plus ancienne, montre que les conditions de formation de cette argile y sont particulièrement favorables.

Légende du tableau 22

- (1) avec l'acétate d'ammonium à pH 7
- (2) idem à pH 9
- (3) destruction de la matière organique par l'eau oxygénée puis détermination de T à pH 7 comme pour (1)
- (4) trois attaques successives avec HCl 6N puis la soude 0,5 N à froid puis détermination de T comme dans (1)

7 - SOLS DES REGIONS SECHES DE LA HAUTE VALLEE INTERANDINE

Dans la plupart de ces régions, l'érosion est très active et le tuf ou canga-gua apparaît souvent à faible profondeur. Il est probable que, sauf sur certains plateaux, les cendres et les ponces venues se déposer sur le tuf ont été balayées par le vent et les eaux. Il semble que bien des sols soient directement issus du tuf désagrégé en fine cendre en surface, par les agents atmosphériques et les labours. Le profil a, dans certaines régions, été transformé par les irrigations qui permettent localement de prolonger les cultures durant une grande partie de l'année.

71 -

Sur un vaste plateau irrigué en pente douce et très cultivé (Pillaro), on observe le profil suivant, vers 2800 à 3000 m d'altitude (E 118)

- 0 - 25 Niveau labouré, brun noir à noir 10 YR 3/2 humide, devenant presque blanc en séchant 6/2. Le sol est très poreux. Les mottes ont une faible cohésion, s'émiettant en sable fin un peu agrégé par la matière organique.
- 25 - 50 Le sol est beaucoup plus noir qu'en surface, plus noir que 2,5 YR 2/1. Les mottes sont luisantes, plus cohérentes et se brisent en éléments anguleux paraissant un peu durcis. Ecrasé, le sol est moins noir, plus terne, brun noir. Il y aurait donc des revêtements.
- 50 On passe au tuf dur, fragmenté, brisé en morceaux, beige brunâtre avec des taches noires. Ce tuf paraît un peu argileux.

Le sol semblerait dériver en partie de ce tuf durci. La présence dans le niveau de surface d'une proportion importante d'hypersthène, à la différence du niveau inférieur riche en hornblende, indiquerait un mince recouvrement de cendres (cf. Par. 31)

Un autre profil (E 94) a été aussi examiné près de Latacunga, dans une région intensément soumise à l'érosion éolienne, comme l'indiquent les accumulations dunaires sur les haies de cactus en bordure des champs. Les sols sont finement limono-sableux, très foncé à l'état humide, très clair à l'état sec, paraissant renfermer un peu d'argile (photo 6).

Les résultats analytiques concernant ces deux profils sont analogues. La capacité d'échange est voisine de 20 mé% et le pH supérieur à 6. - Tableau 23-

TABLEAU 23

Profil	Prof. cms	Argile <2μ	Limon 2-20	S a b l e s			Bases échangeables mé %						V %	pH		M.O %	C/N
				20 50	50 200	200 2000	Ca	Mg	K	Na	S	T		Kcl	eau		
E 118	0-25	17	22	19	27	7	9	1,5	0,6	0,2	11	20	57	5,7	6,4	3,2	9,6
	25-50	7	22	21	32	7										3	10
E 94	0-30	12	33	25	17	7	9	1,5	0,7	0,2	11	18	63	5,6	6,3	2,1	

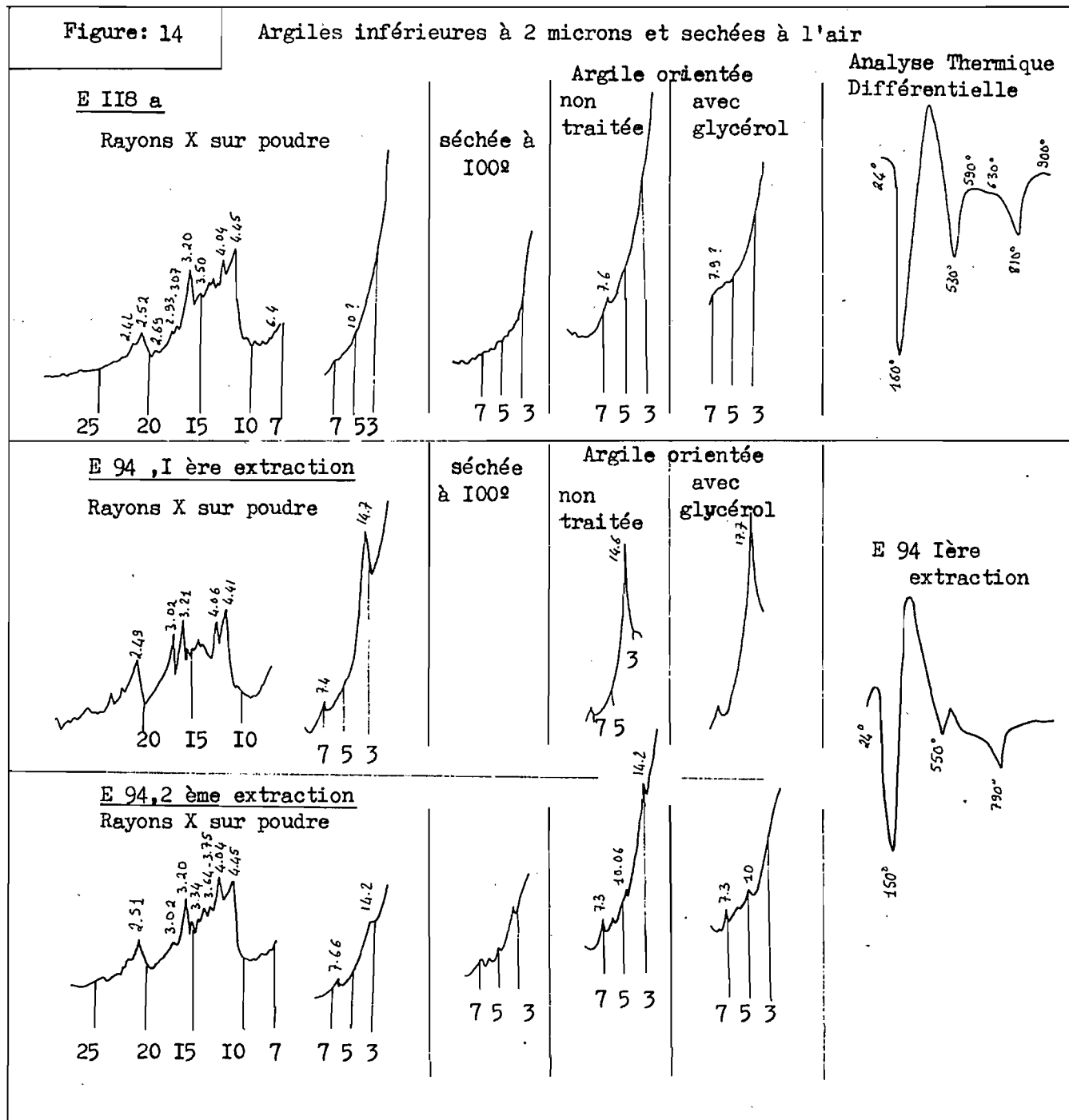
Notons de plus, que ces sols non fertilisés renferment d'appréciables quantités de phosphore Truog (18 à 20 mg P₂O₅ %)

Les rayons X et l'analyse thermique semblent indiquer la présence d'un peu de montmorillonite. Dans les deux échantillons, la raie à 4,45 est bien développée,

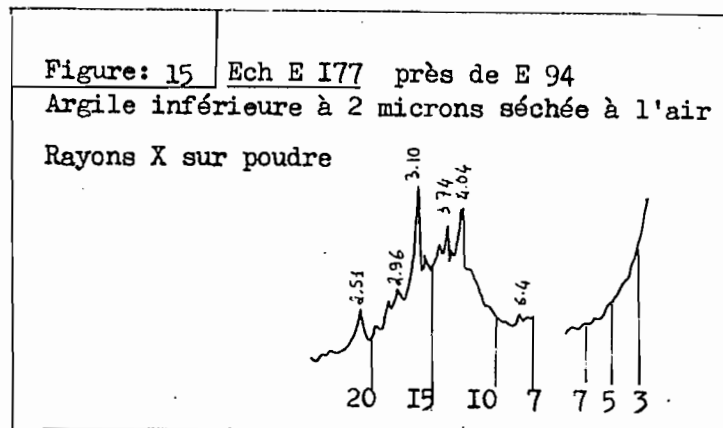
ainsi d'ailleurs que les raies à 3,20 et 4,04 des plagioclases (andésine). La raie à 15 16 Å est faible dans E 94 et passe à 17,7 Å par traitement au glycérol. Dans l'échantillon E 118, ces raies sont très faibles et peuvent, même dans certaines extractions, demeurer insignifiantes.

Notons que d'une extraction à l'autre, des variations sensibles peuvent être observées. Les raies de la montmorillonite et le gonflement au glycérol peuvent être sensibles, quoique faibles, ou insignifiantes. La figure 14 montre ainsi les diagrammes obtenus sur deux extractions différentes du même échantillon E 94.

(Analyse thermique différentielle et rayons X).



Un échantillon prélevé à proximité de E 94, mais sur les pentes remaniées par le vent et non dans le replat de la vallée, ne révèle aux rayons X que des amorphes et des minéraux primaires. - E 177 - Le microscope électronique révèle des amas diffus.



Les spectres infra-rouge indiquent, cependant, un état d'organisation relativement élevé. Les bandes d'absorption des hydroxydes à 3700 et 3620cm^{-1} sont peu accentuées mais bien visibles, plus faibles dans E 118 que dans E 94.

Les bandes de valence SiO entre 1000 et 1100cm^{-1} sont analogues avec des composantes nettes. La bande AlOH (Al hexacoordonnée) à 910cm^{-1} est bien développée ainsi que les bandes $780-800\text{cm}^{-1}$, plus accentuées dans E 94. La bande Si-O-Al à 540cm^{-1} est très bien définie.

A part le doublet $440-470\text{cm}^{-1}$, SiO, moins prononcé, toute cette partie du diagramme est donc très comparable à celle des sols à halloysite des régions plus humides.

L'organisation du réseau serait nettement meilleure que dans les sols du paramon.

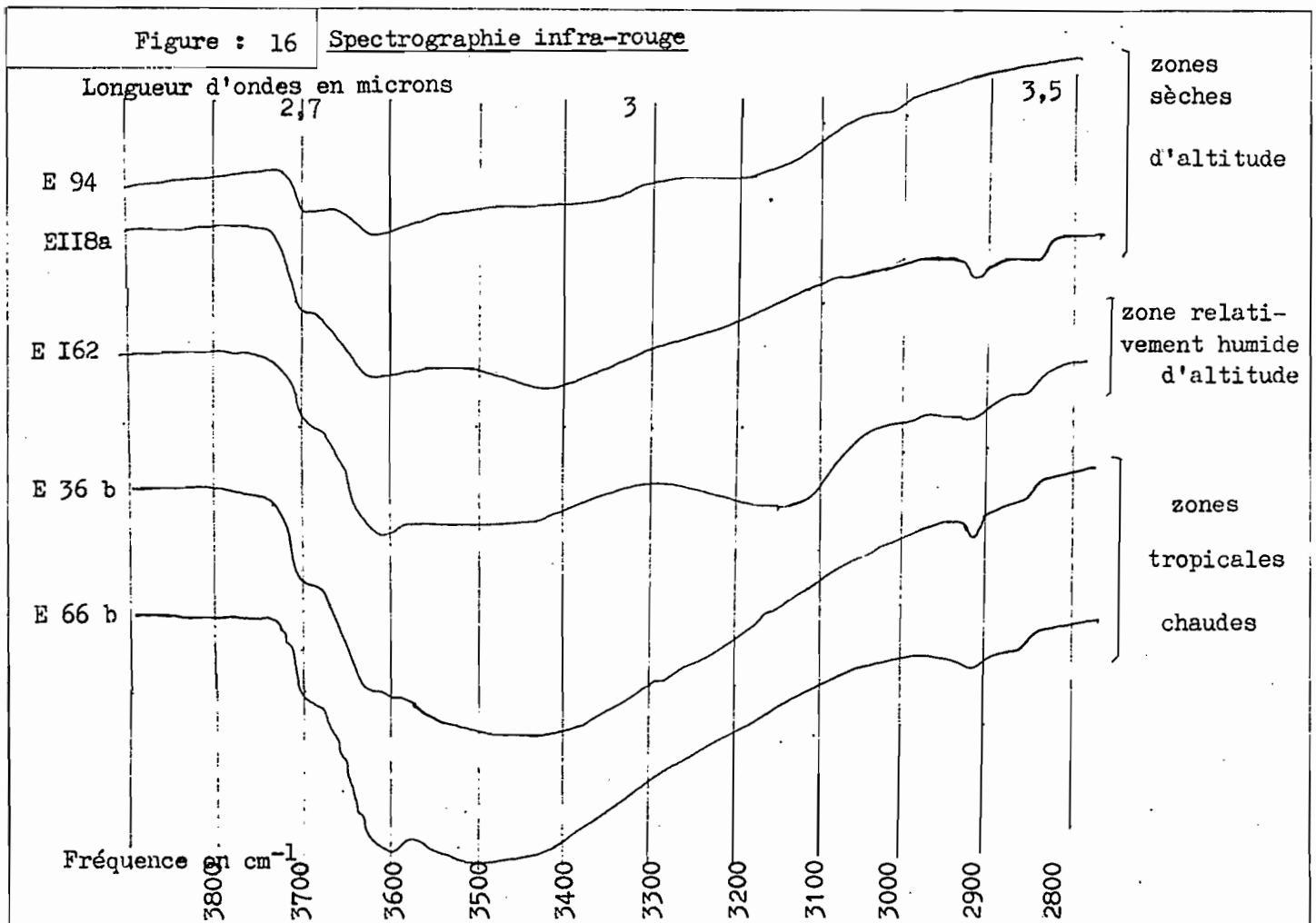
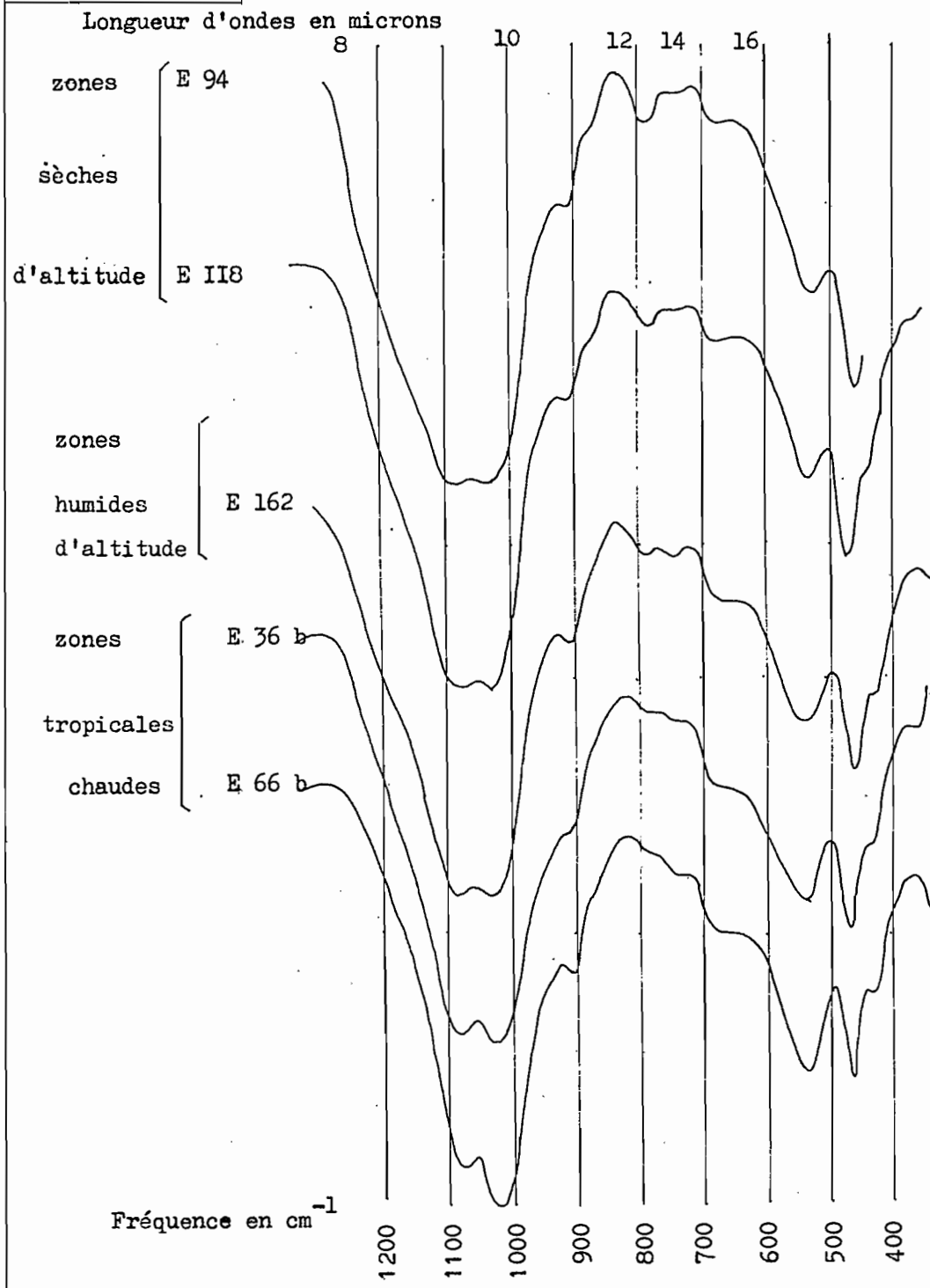


Figure : 17 Spectrographie Infra-rouge (Suite)



Il semblerait donc qu'en présence d'amorphes, il y ait quelques difficultés avec les rayons X pour apprécier les débuts d'organisation d'un réseau cristallin, qu'il s'agisse de montmorillonite ou de l'halloysite. Nous avons vu que d'une extraction à l'autre, l'importance des raies de la montmorillonite à 14-15 Å et leur passage à 17 au glycérol, pouvaient varier très sensiblement.

L'infra-rouge traduirait avec plus de sensibilité cette tendance à l'organisation sans qu'il soit aisé d'indiquer avec précision le type d'argile qui se forme. En effet, la seule région du spectre où il semble possible de trouver une différence pour identifier, soit la montmorillonite, soit l'halloysite, serait la bande des OH. Ce n'est cependant pas certain puisque la bande principale de la montmorillonite est située vers

3620^{cm-1} à un emplacement où l'halloysite montre aussi une bande d'absorption. Les spectres correspondant aux bandes de valence et du réseau sont assez comparables pour les kaolins et la montmorillonite, ce qui ne peut surprendre, puisque les mêmes types structuraux s'y retrouvent.

Dans le cas présent, il semble que l'on ait affaire à de l'halloysite et de la montmorillonite, sans qu'il soit possible d'indiquer si l'apparition de ces deux types d'argile est simultanée ou si la montmorillonite précède l'halloysite.

Le maintien d'une certaine valeur de la capacité d'échange après traitements acide-base, viendrait confirmer la présence d'un peu d'argiles cristallines, parmi les substances amorphes.

Variations de la capacité d'échange de base

TABLEAU 24	Ech.	TNH ⁴ pH 7 (1) à pH 9 (2) après H ² O ₂ (3) après SEGALEN (4)			
	118 a	21	22	20	5
	b	35	35	31	10

72 -

Deux autres profils ont été examinés près d'AMBATO, au Nord et au Sud, à une vingtaine de Kms de distance l'un de l'autre, sur des plateaux de pentes modérées. Il s'agit de cendres probablement assez récentes ou alors remaniées par le vent. Le sol est sableux, très fin, homogène sur environ un mètre, de coloration très foncée humide : 10 YR 3/2 à 3/1, devenant très clair sec : 5 Y 5/3 à 6/1. Il n'y a pas de cohésion et le sol sec s'éboule dans les trous de sondages ou les tranchées.

Les propriétés physico-chimiques sont très analogues. Ces régosols renfermeraient très peu d'argile et moins de 1% de matière organique. Ils sont relativement bien saturés en bases et les pH voisins de 7. La capacité d'échange est faible. Les acides humiques l'emportent très nettement sur les acides fulviques (Tableau 25).

TABLEAU 25

Profil	Profondeur cms	Argile < 2 μ	Limon 2-20	S a b l e s μ			Bases échangeables méq					T	V%	pH eau
				20 50	50 200	200 2000	Ca	Mg	K	Na	S			
172	0 - 30	2	6,3	14,2	39	37	2,3	1,7	0,45	0,14	4	5	80	7,0
	70 - 100	2,7	15,3	19	42	19	4,1	2,1	0,60	0,36	7,1	9	80	7,6
171	0 - 30	5	18	21	34	19	5	1,7	0,54	0,38	7,6	10	76	7,4

Profil	Profondeur cms	M.O %	C/ N	Matières humiques C %			p ² O ₅ Truog
				Totales	Ac.humiques	Ac.fulviques	
172	0 - 30	0,62	8,1	0,069	0,056	0,013	6,5
	70 - 100	0,58	10				6,1
171	0 - 30	0,56	11	0,078	0,051	0,027	7,1

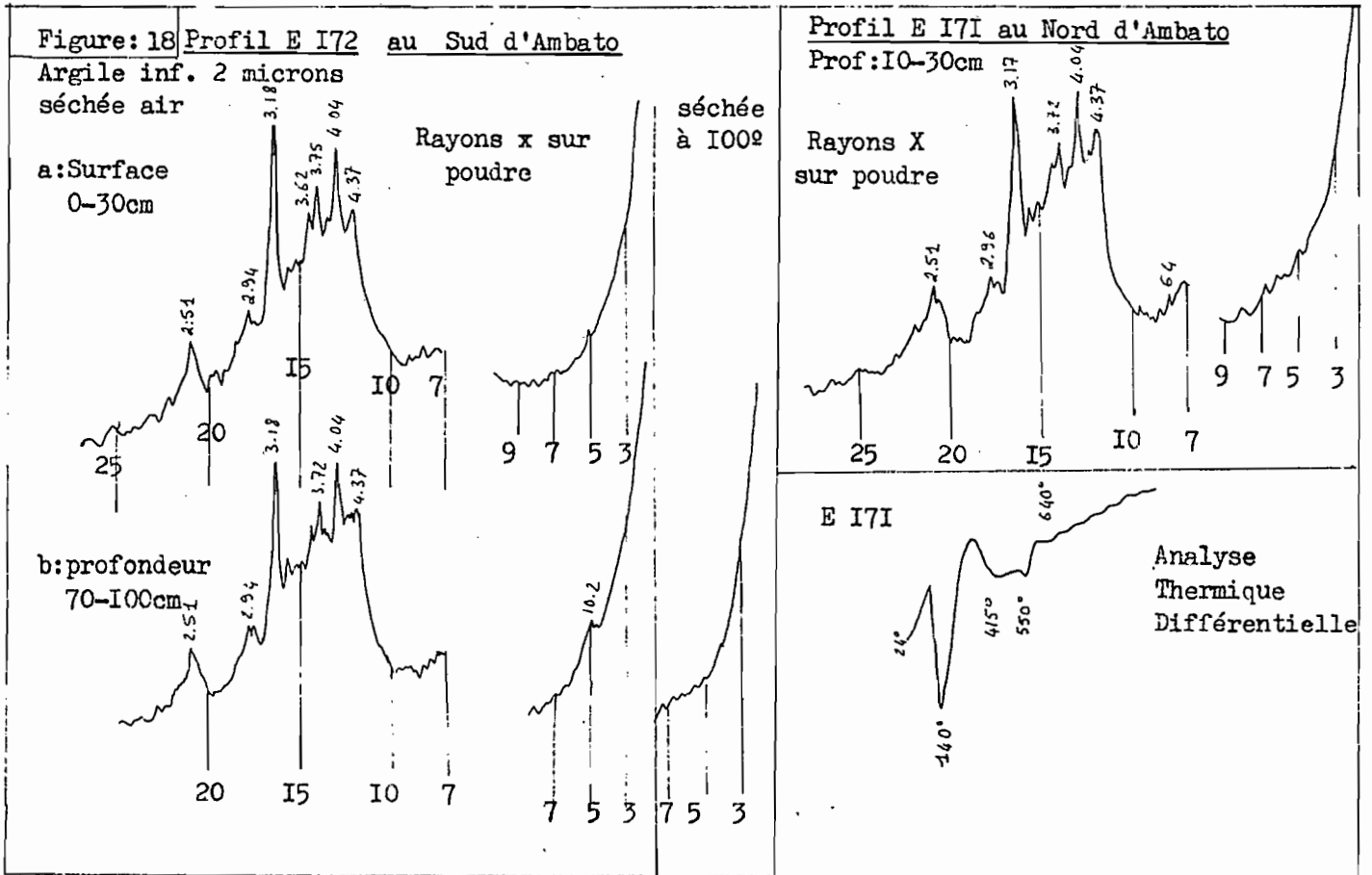
Légende du tableau 24

- (1) avec l'acétate d'ammonium à pH 7
- (2) idem à pH 9
- (3) Destruction de la matière organique par l'eau oxygénée puis détermination de T à pH 7 comme pour (1).
- (4) Trois attaques successives avec HCl 6N et la soude 0,5N à froid puis détermination de T à pH 7.

Dans le profil 172, les rayons X indiquent un accroissement de l'halloysite de la surface vers la profondeur. A peine sensible en surface, la raie à 10 Å apparaît nettement en profondeur et disparaît par séchage à 100°. La raie à 4,37 est également plus accentuée en profondeur qu'en surface, alors que les autres raies dues aux minéraux primaires d'intensités identiques sont l'indice d'extractions comparables (raies à 3,18 et 4,04 des plagioclases). Notons encore une petite raie à 6,4 Å ?

Dans l'échantillon prélevé au Nord d'AMBATO (E 171), la raie à 4,37 est bien développée, mais les raies à 7 et 10 Å ne sont pratiquement pas décelables. Il s'agirait donc d'amorphes encore très peu organisés.

L'halloysite apparaît donc d'abord en profondeur dans les niveaux où l'humidité persiste davantage. La dessiccation complète des niveaux de surface durant plusieurs mois de l'année, ferait obstacle à l'apparition de l'argile. Il est également possible qu'il y ait entraînement en profondeur des produits formés.



La détermination de la capacité d'échange de bases après divers traitements indiquerait que si l'halloysite est manifestement bien présente, en petites quantités, les substances amorphes sont aussi présentes et en quantité peut-être plus importante.

Aucune variation n'est observée dans les niveaux de surface, si la détermination est effectuée à pH 7 ou pH 9. Une très légère augmentation résulterait du traitement après l'eau oxygénée, mais par contre, le traitement acide-base provoque une très forte diminution, bien que la dissolution du sol soit difficilement décelable.

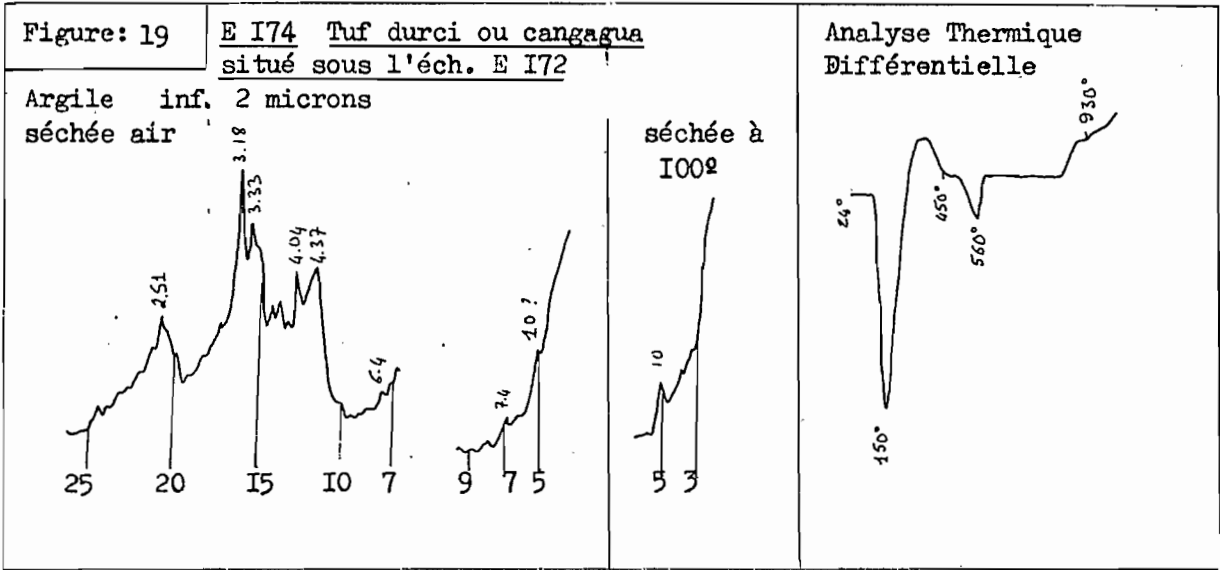
TABLEAU 26 - Variations de la capacité d'échange de base -

Ech. séché air	Capacité d'échange de base en mé %				(3) après destruc- tion de la mat- ière organique par H2O2 - idem (1) (4) après trois attaques HCl 6N et soude 0,5N à froid puis idem (1)
	à pH 7 5 (1)	à pH 9 (2)	après H2O2 à pH 7 (3)	après trait. acide à pH 7 (4)	
E 171	10	10	12	2,5	
E 172	6	6	8	1,5	

72 -

Au Sud d'Ambato, sous le niveau de cendre de plus de 1m d'épaisseur, on rencontre une mince couche de ponces et un autre niveau de cendre noire de 0,5 m d'épaisseur avant de passer brutalement à une cendre durcie brune d'au moins deux mètres d'épaisseur, très uniforme. Ce matériau se brise assez difficilement en éléments de tendance subangulaire. De nombreux petits pores sont visibles. Il n'y a pas traces d'accumulation calcaire. Quelques taches noires font penser à des revêtements. On peut penser à une cangagua, mais de dureté relativement modérée.

Les rayons X révèlent la présence d'amorphes, d'un peu de métahalloysite (faible raie à 7,4) et de minéraux primaires (3,18 - 4,04 = plagioclases). Une petite raie à 10 Å persistant après chauffage à 100°, correspondrait à de l'illite ou à de fins micas. S'agit-il d'illite néoforme ou de fins micas résiduels préexistants dans la cendre ?



La constitution de ce minéral durci est donc très semblable à celle des niveaux supérieurs plus récents. Des conditions climatiques analogues ont donc régné durant sa formation.

74 - Conclusion -

Les processus qui conduisent à l'apparition de l'halloysite sont donc loin d'être aussi nets que dans les sols des régions plus humides de la haute vallée interandine. La fraction fine est souvent très peu représentée et l'étude de ses constituants en est rendue plus difficile. Les substances amorphes semblent s'organiser avec des intermédiaires montmorillonitiques qu'il n'est pas toujours facile de déceler aux rayons X bien que la spectrographie infra-rouge indique nettement une organisation déjà avancée du réseau.

Les profils sont souvent peu épais au-dessus de la cangagua. Ils sèchent rapidement et sont plus ou moins remaniés par les vents en surface, conditions peu propices à l'altération des minéraux primaires et à la formation et au maintien des fractions très fines. Lorsque les sols sont suffisamment profonds pour qu'une certaine humidité puisse se maintenir une bonne partie de l'année, l'halloysite hydratée semble nettement apparaître. On retrouve alors des conditions qui se rapprochent un peu de celles observées dans les régions plus humides d'altitude.

Il pourrait donc y avoir, dans les niveaux très sableux, organisation de l'halloysite au sein des substances amorphes, sans phase intermédiaire perceptible, comme dans les régions plus humides. Il peut y avoir apparition aussi de montmorillonite et il est alors difficile de savoir si l'halloysite s'organise indépendamment ou dérive de cet intermédiaire montmorillonitique. L'halloysite ne semble pas présenter l'aspect en battonnets classique des régions chaudes tropicales.

8 - LES SOLS DES REGIONS ARIDES DE LA HAUTE VALLEE INTERANDINE

En l'absence de données pluviométriques précises pour chaque localité, il semble possible de faire rentrer dans cette catégorie, tous les sols dans lesquels apparaît une accumulation calcaire. Les croutes calcaires se forment généralement en profondeur dans le profil, à la limite des cendres et de la canguaga, ou tuf durci, peu perméable, là où les eaux résiduelles enrichies par la dissolution du calcium provenant des minéraux volcaniques, finissent par disparaître, laissant ainsi le sol complètement sec pour plusieurs mois.

On conçoit dans ces conditions d'extrême sécheresse que les synthèses des argiles soient lentes.

Près de Latacunga, on observe ainsi sous 1,3 m de cendre fine, le niveau de canguaga très dur, dont la partie supérieure sur 30 cms, est sillonnée de croutes blanches plus ou moins continues subhorizontales, de quelques millimètres d'épaisseur, faisant fortement effervescence à l'acide. Le fait que ces croutes ne soient rencontrées qu'en surface du tuf, indique qu'elles résultent d'un processus pédologique récent, postérieur à la formation même de la canguaga.

L'examen aux rayons X de cette canguaga broyée, ne révèle que des amorphes et les diverses raies des feldspaths. La raie à 4,41 est marquée. Elle indiquerait un début d'organisation, mais aucune raie n'apparaît ni à 7 Å, ni à 10 Å. Un léger renflement à 14 Å ne semble rien donner avec le glycérol.

L'organisation du réseau serait encore confuse. Le tuf aurait peu évolué depuis sa formation. Ces résultats donnent à penser qu'il s'agit plutôt d'un tuf en place que d'un sol fossile.

Les niveaux de cendres meubles qui recouvrent ce tuf durci, ont une composition minéralogique des sables fort différente. La hornblende et l'hypersthène sont en proportion voisine, tandis que l'hypersthène domine largement dans la canguaga.

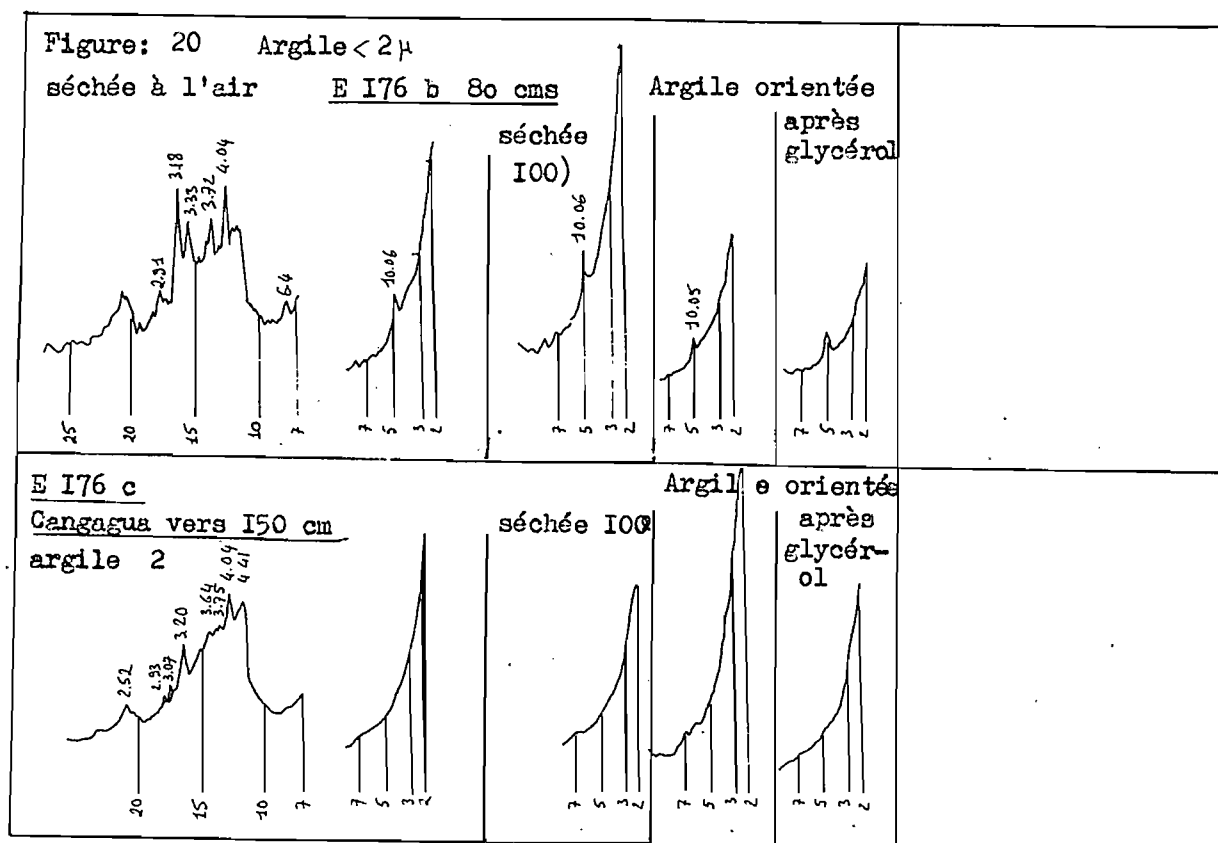
Le niveau superficiel est assez grossier, mais le niveau 50-130 est constitué de sables fins brunâtres 2,5 Y 5/4 frais, devenant très clair en séchant 7/2. Le niveau paraît un peu durci. Si la composition minéralogique des sables avait été la même, on aurait pu penser qu'il s'agit de la canguaga ameublie.

Dans la fraction inférieure à 2 microns de ce niveau de cendre fine, les rayons X révèlent la présence de produits amorphes, de minéraux primaires (3,18-4,04 = plagioclases) et d'un peu d'illite ou mica. Une petite raie effilée à 10 Å demeure inchangée par traitement au glycérol ou chauffage à 490°. Signalons aussi une petite raie à 6,4 Å.

Ce niveau est déjà calcaire. Le chiffre de calcium extrait par l'acétate d'ammonium, supérieur à la valeur de la capacité d'échange, indiquerait un calcaire facilement soluble. Le pH est voisin de 8,3.

La présence de substances amorphes est confirmée par la diminution importante de la capacité d'échange de base après le traitement acide-base, alors qu'elle demeure constante à pH 9 ou après traitement H₂O₂. Elle passe ainsi de 18 mé à 4 mé, cette valeur non négligeable indiquant encore la présence d'un peu d'argile cristalline

Profil	Profondeur c.m.s	Argile <2	Limon 2-20	S a b l e s			Bases échangeables mé %						pH eau	P2O5 Truog mg%	M.O %	C/ N
				20 50	50 200	200 2000	Ca	Mg	K	Na	S	T				
I76	0 - 30	3	5,8	9	44	36	3,3	2,0	0,45	0,26	6	9	7,1	14	1,2	8,9
	80	3,3	20	21	40	13	(18)	3,7	1,04	0,5		10	8,3	13	0,3	6,5



Conclusion

La présence de minéraux micacés peut surprendre bien qu'elle ait été souvent signalée par divers auteurs, dans les sols sur cendres des volcans du Mexique. S'agit-il vraiment d'illite ou de très fins micas, résultant de la fragmentation des biotites qui entrent fréquemment dans la composition des cendres rejetées par les volcans. SAUER (1965) signale ainsi des formations de laves riches en biotites.

L'hypothèse d'une néoformation d'illite dans ces sols perméables en zone très sèche est-elle possible ? L'illite est très rarement observée sur les formations volcaniques.

Rappelons qu'une petite quantité d'illite avait été observée dans un niveau de cendre un peu durcie, rappelant une cangagua, au Sud d'Ambato. S'agirait-il d'un niveau analogue. C'est possible, car la composition minéralogique des sables est identique.

Contrairement aux cendres consolidées des régions plus humides qui ne renferment que de l'halloysite, les dépôts de cendres brunâtres des régions sèches, peuvent donc contenir un peu d'illite ou fins micas dont l'origine reste à préciser. On peut penser pour le moment, à un héritage de la cendre originelle, plutôt qu'à une néoformation.

La cangagua dure et cimentée en surface par les croutes calcaires aurait fort peu évolué depuis son dépôt et ne renfermerait que peu ou pas d'argiles cristallisées.

9 - COMPARAISON DES SOLS DE LA HAUTE VALLEE INTERANDINE AVEC CEUX DES REGIONS

CHAUDES TROPICALES DE BASSE ALTITUDE

On a déjà montré que des niveaux allophaniques fortement hydratés, tout à fait semblables à ceux des régions chaudes tropicales, pouvaient se former dans les climats tempérés froids d'altitude sous des températures moyennes de 6 à 8° C.

La comparaison des sols de la haute vallée interandine, presque tous soumis à une saison sèche importante, entraînant une dessiccation assez profonde du sol, ne pourra donc être faite valablement qu'avec les sols des régions chaudes qui subissent aussi une certaine dessiccation. On laissera de côté les sols des régions très humides où le caractère évolutif consiste en une hydratation de plus en plus marquée du sol qui accompagne, suite à l'altération des minéraux primaires, l'augmentation progressive des amorphes et, on s'attachera surtout aux sols dits de "transition allophanes-halloysite" où les amorphes subissent une certaine dessiccation et évoluent nettement vers l'halloysite.

On ne rencontre pas dans la zone tropicale chaude des sols sur cendres soumis à une sécheresse aussi accentuée que dans certaines des régions d'altitude. Les comparaisons concerneraient donc essentiellement les sols cultivés des régions modérément humides de la haute vallée recevant parfois 1 à 1,5 m de pluviométrie annuelle assez bien répartie. On a vu que dans ces sols, les conditions semblaient très favorables à la formation de l'halloysite.

L'aspect des sols des régions chaudes est assez voisin de celui des régions d'altitude modérément humide. Sur 1m environ, le sol est sableux, bien humifère, agrégé par la matière organique dans les 30 premiers centimètres, finement grumeleux. La structure devient plus particulière en profondeur et de nombreux pores sont visibles. La coloration très foncée sur le sol humide 10 YR 2/2 devient très claire sur le sol sec.

Ces profils reposent vers 1m ou 1m,5 sur un ancien sol argileux brun-rouille à halloysite, dont l'argilisation poussée, l'évolution à tendance ferrallitique est bien caractéristique des régions tropicales. Ce sol enfoui n'est pas comparable aux canchagwas des hautes altitudes. C'est un terme d'évolution qui ne semble pas exister en altitude et qu'on laissera donc de côté.

Les propriétés physico-chimiques de ces sols des régions chaudes, sont très voisines de celles des sols d'altitude : teneurs en bases échangeables, capacité d'échange pH. Aucune différence sensible n'apparaît entre les mesures de pH sur échantillons conservés frais ou séchés à l'air. (Tableau 29).

Trois profils seront comparés. Ils ont été choisis à quelques dizaines de kilomètres de distance, l'un dans une région à saison sèche encore peu marquée (E 72), un autre dans une région où la dessiccation du sol est plus accentuée (E 36) et enfin le dernier, dans une région où le sol se dessèche fortement certains mois de l'année, rendant l'irrigation nécessaire (Est Quevedo - Finca Santa Fé, à mi-distance de Quevedo et d'Empalme - au-delà d'Empalme).

Les rayons X montrent très bien dans le niveau situé vers 40 cms, l'augmentation régulière de l'halloysite. A peine marquée dans l'échantillon E 72, la raie à $10 \text{ \AA}$ est déjà plus nette dans E 36, passant à 7,4 par séchage à 100° , et bien découpée dans E 66, dans la zone la plus sèche passant aussi à 7,4 par chauffage à 100° . La raie à 4,37 augmente régulièrement d'intensité. Diverses raies de minéraux primaires sont également visibles. Un renflement vers $7,5 \text{ \AA}$ dans E 36 et E 66, indiquerait déjà la présence d'un peu de métahalloysite. En zone relativement arrosée, les amorphes sont donc encore très importants, tandis qu'en zone plus sèche, l'halloysite semble s'organiser davantage.

Les spectres d'infra-rouge sont également très suggestifs. Dans la bande des OH, l'absorption importante entre 3300 et 3700 cm^{-1} , révèle la présence d'amorphes. Les deux bandes d'absorption de l'halloysite vers 3700 et 3620 sont très peu marquées pour E 72 en zone humide, mais deviennent nettement plus prononcées en zone plus sèche dans E 36 et surtout E 66.

On observe d'autre part, que la bande de déformation de la molécule d'eau vers 1600 cm^{-1} tend à diminuer d'intensité avec l'augmentation de la cristallinité. Il est possible d'en déduire que la condensation qui l'accompagne va de pair avec l'expulsion d'une quantité de plus en plus considérable de l'eau intersticielle habituellement retenue par les matériaux amorphes.

Dans la zone d'absorption de 1000 - 1100 , on voit très nettement la différenciation et l'affinement des bandes d'absorption SiO. La bande Al OH (Al hexacoordonné) à 900 cm^{-1} est à peine discernable dans E 72 et s'accroît nettement dans E 36 et surtout E 66, signe d'une assez bonne organisation tétraédrique et octaédrique. L'épaulement SiO Al à 800 cm^{-1} est moins sensible que dans les sols d'altitude; peut-être tout simplement parce que le meilleur développement de la bande de réseau SiO-Al dans la région voisine, la masque en partie. Les bandes SiO-Al entre 500 et 750 cm^{-1} s'affinent davantage ainsi que les doublets SiO à 540 - 570 cm^{-1} , signe d'une bonne séparation des couches tétraédriques et octaédriques.

Ces spectres indiquent donc une évolution de plus en plus nette vers l'halloysite quand la sécheresse s'accroît. Ils sont similaires à ceux obtenus pour les sols d'altitude placés dans des conditions de sécheresse et d'humidité voisines.

Le fait que la bande à 800 cm^{-1} SiO-Al soit bien marquée dans les sols des hautes altitudes et à peine sensible dans les régions chaudes, peut-il être interprété comme un excès de silice libre (FELDES) à ne pas confondre avec de la silice amorphe. Cette bande est la mieux marquée dans E 94, profil des régions les plus sèches d'altitude. Elle n'existe pas dans les sols sur cendres des régions tropicales chaudes des Antilles. L'absence de cette bande peut-elle, dans certains cas au moins, être considérée comme l'indice d'un début de ferrallitisation, processus de dégradation d'un réseau cristallin avec élimination active de la silice.

Figure 21 - Rayons X -

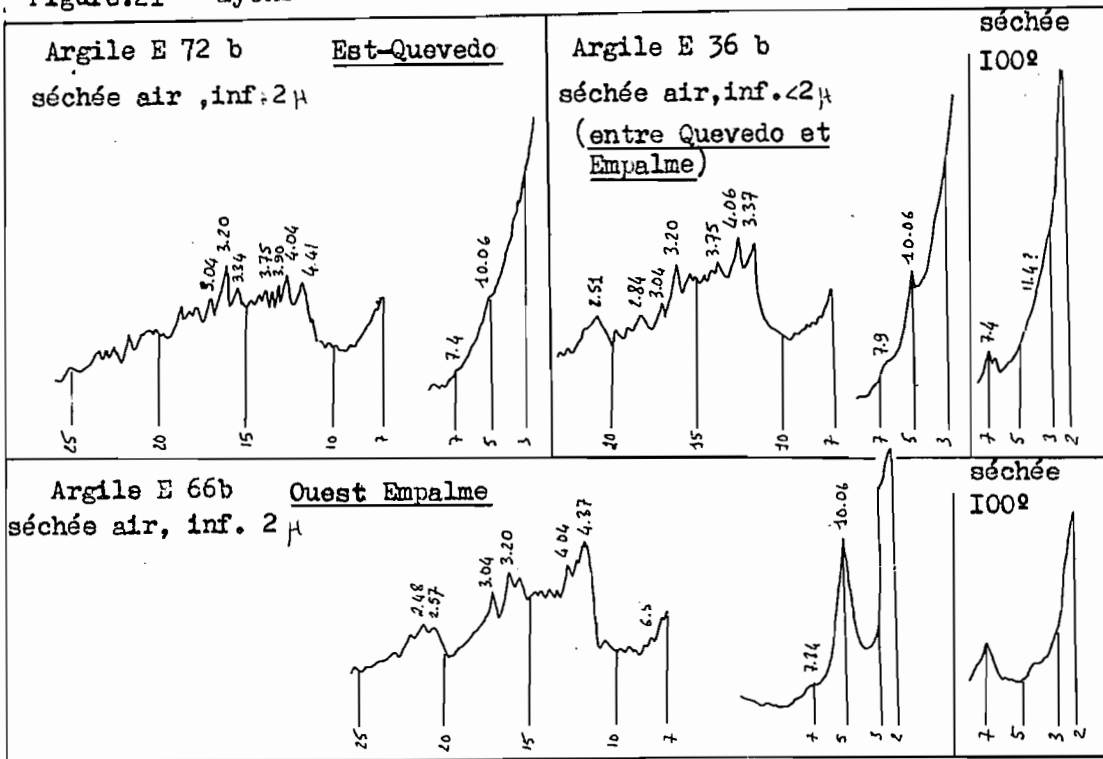
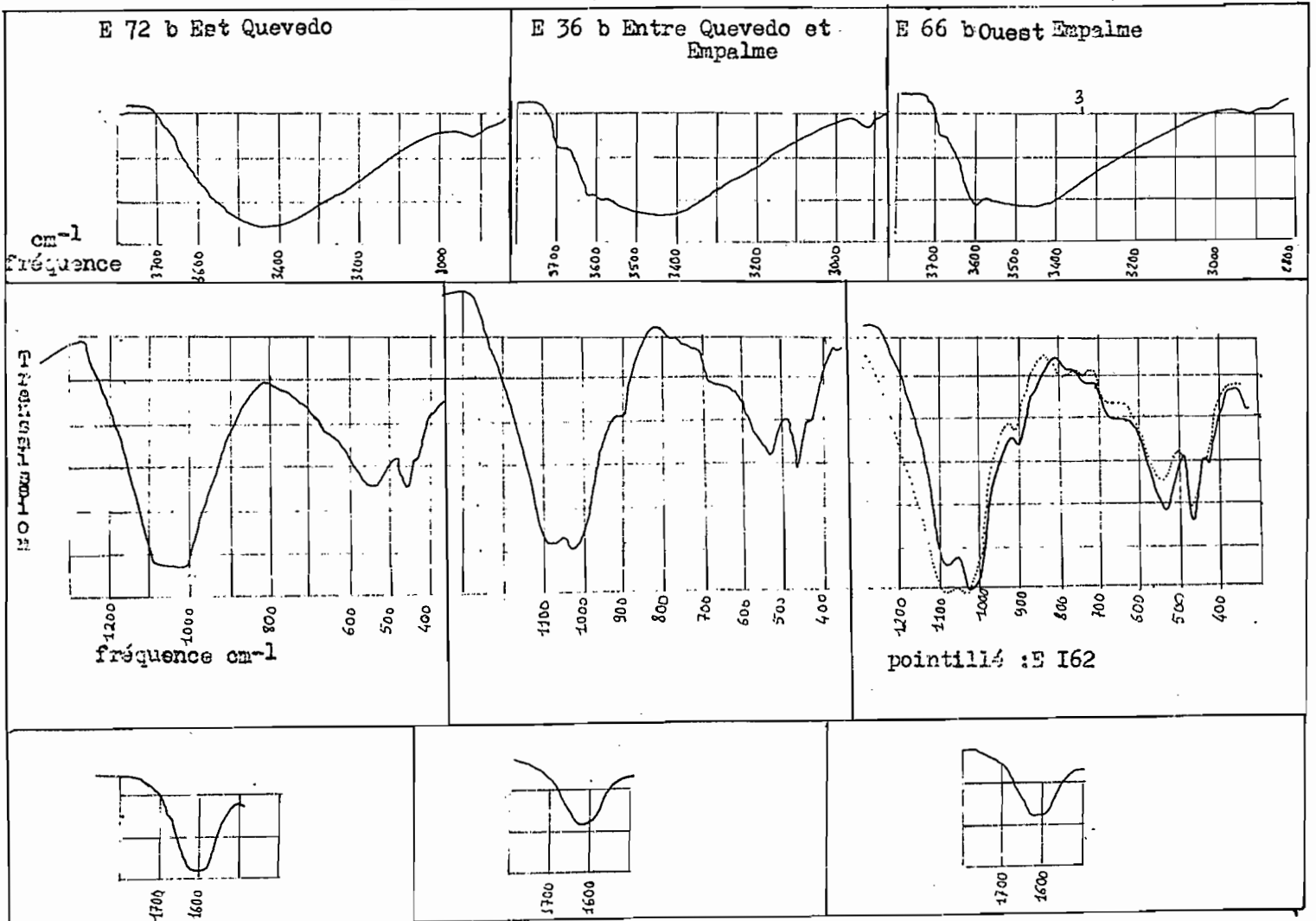


Figure 22

Diagrammes infra-rouge des argiles - (vers les régions de plus en plus sèches)

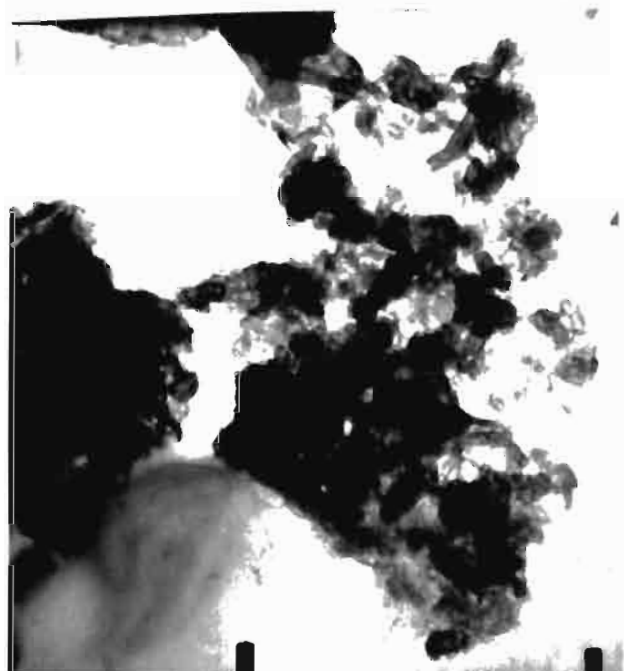


Le microscope électronique confirme très bien ces observations.

L'échantillon E 72 situé en région à saison sèche encore peu marquée, présente des amas encore diffus parmi lesquels quelques ébauches de tubes apparaissent.

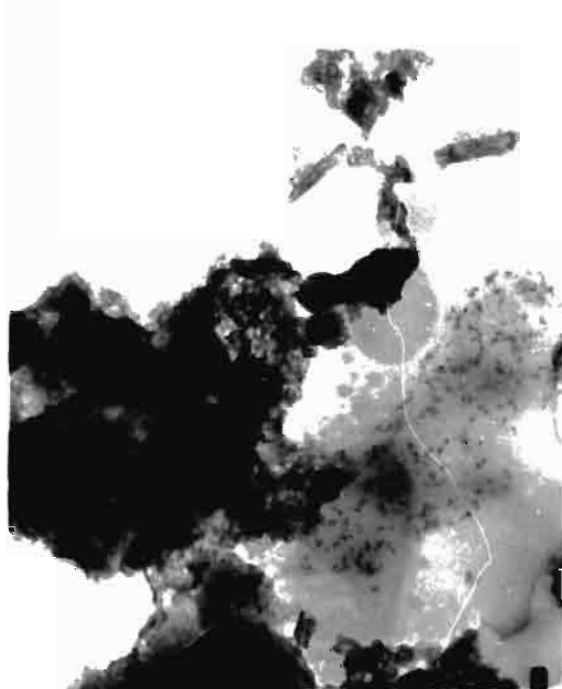
PLANCHÉ 6 -

Clichés: Echantillon E 72 b₁ et b₆ - Amas diffus et quelques rares ébauches de tubes.



E72-b1

1 MICRON



E72-b.6

1 micron

Par contre, les échantillons situés en régions plus sèches montrent très distinctement les battonnets de l'hallöysite.

Cliché 2

Echantillon E 36 (3)

Cliché 3

Echantillon E 36 (8)

Tubes d'hallöysite déjà bien formés



E36.3

1 MICRON



E36.8

1 MICRON

PLANCHE 6 (suite)

Cliché 4
Echantillon E 66 (4)

Tubes d'halloysite et glomérules concentriques

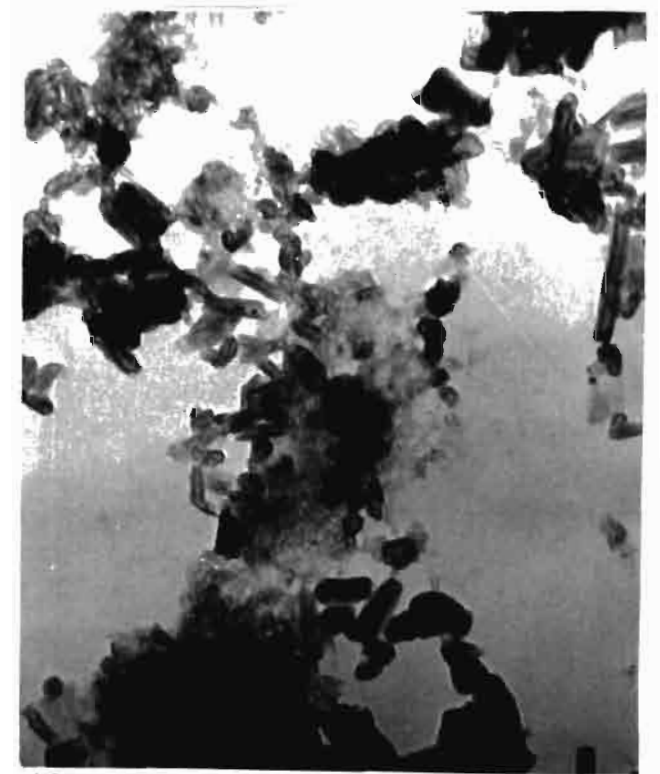


E66b-4

1 MICRON

Cliché 5

Echantillon E 66 (3)



E66.3

1 micron

En dépit de la présence de tubes d'halloysite relativement bien formée, on constate une chute importante de la capacité totale d'échange après traitement acide-base. S'agit-il d'amorphes ou d'une halloysite encore relativement mal cristallisée, à capacité d'échange élevée, dont le réseau peut aisément être détruit ? La netteté des tubes le laisserait supposer.

La capacité d'échange de base dans ces sols, demeure inchangée si elle est déterminée à pH 9 au lieu du pH 7. Après attaque à l'eau oxygénée, on n'observe de diminution que dans les niveaux de surface riches en matières organiques fraîches. Des résultats semblables sont obtenus sur les sols d'altitudes.

Sur les mêmes formations, mais en régions à saison sèche peu marquée, la capacité d'échange semble nettement augmenter à pH 9, mais demeure inchangée après traitement à l'eau oxygénée. Ces variations doivent être attribuées à la présence d'amorphes hydratées, bien que les déterminations aient été exécutées sur échantillons séchés à l'air. (Tableau 30)

TABLEAU 29 — Variations de la capacité d'échange de base —

Echantillon		pH 7 (1)	(2) pH 9	(3) après H ² O ₂	après SEGALIN (4)
<u>Sols des régions basses tropicales à saison sèche marquée</u>					
E 98	Surface	41	42	26	5
	Profondeur	28	32	34	4
E 102	Profondeur	35	37	34	3
<u>Sols des régions basses tropicales à saison sèche très peu marquée</u>					
46 b		9	12	14	2
49 b		16	21	18	3
41 c		25	33	31	2
40 c		23	30	28	4
<u>Sols d'altitudes - vallée interandine -</u>					
118 a	Surface	22	22	20	5
	Profondeur	36	36	32	10
162		38	42	27	4
115 a		22	25	24	4

Matières humiques -

On a montré qu'en altitude dans les horizons supérieurs des sols, les acides humiques et fulviques existent en quantité équivalente et qu'il y a une nette tendance à l'augmentation de la proportion des acides humiques dans les horizons profonds.

Par contre, dans les sols des basses plaines tropicales chaudes humides, les acides fulviques l'emportent largement (sols faiblement allophaniques). Lorsque dans ces plaines basses, la saison sèche est mieux marquée et la pluviométrie totale moins importante, la proportion des acides humiques s'élève à nouveau et les teneurs peuvent atteindre celles des acides fulviques. Cet accroissement s'observe très bien sur le terrain.

Légende du tableau 29

(1) avec l'acétate d'ammonium à pH 7
(2) idem pH 9

(3) destruction de la matière organique à l'eau oxygénée puis détermination de T à PH 7 comme pour (1).
(4) trois attaques successives avec HCl 6N et la soude 0,5N à froid puis détermination de T à pH 7

TABLEAU 30 Matières organiques et humiques.

Profond.	M.O	C/N	Matières humiques C %			
			Totales	Ac.humiques	Ac.fulviques	
<u>Sols des régions humides - Sols faiblement allophaniques</u>						
0 - 15	8,3	13	1,09	0,35	0,74	Sto Domingo
0 - 15	7,1	9,8	1,02	0,34	0,68	Quevedo- Sto Domingo
0 - 15	6,7	11,6	1,08	0,30	0,78	Nord la Mana
0 - 15	4,9	11,0	0,64	0,21	0,42	
<u>Sols de transition vers les zones sèches</u>						
0 - 20	8,8	11,8	0,6	0,25	0,35	Sud-Est Quevedo E 72
<u>Sols soumis à dessiccation - Sols de transition allophanes-halloysite</u>						
0 - 15	9	10,7	0,44	0,24	0,20	Quevedo-Empalme E 102
0 - 20	5,6	10	0,39	0,21	0,18	Ouest Empalme E 66
<u>Sols d'altitude de la haute vallée - zone modérément humide</u>						
0 - 30	5,8	10	0,43	0,22	0,20	Uyumbicho E 165
<u>zones sèches</u>						
0 - 30	1,0	11,5	0,08	0,051	0,027	Ambato
0 - 30	0,6	8,1	0,07	0,056	0,013	

On retrouve donc les caractéristiques des sols des régions d'altitudes, soumis eux aussi à une période sèche marquée et à une dessiccation relative; et le fait que la température soit nettement inférieure, n'est peut-être qu'un facteur secondaire.

Conclusion -

Qu'il s'agisse des sols fortement allophaniques ou des sols de transition allophanes-halloysite, c'est donc essentiellement le facteur humidité du sol qui, dans les premiers stades influe sur l'évolution des sols sur cendres. La température elle même, n'a semble-t-il pas d'influence directe, mais seulement une action indirecte par diminution de l'évapotranspiration, sur la nature des constituants colloïdaux minéraux^{ou}/organiques formés, les propriétés physico-chimiques des sols.

Le maintien d'une certaine humidité dans le sol est sous la dépendance de la pluviométrie et de l'évapotranspiration. Dans ces régions tropicales chaudes, un calcul précis du bilan d'eau serait tout à fait illusoire du fait de l'abondance des fines pluies matinales ou "garua", durant la saison sèche, qui ne sont pas mesurables. Le degré de la finesse des particules de certains niveaux de cendres joue un rôle important également dans la rétention en eau du sol.

Bien que les diagrammes de rayons X, d'infra-rouge et d'analyse Thermique différentielle indiquent de façon très analogue la formation de l'halloysite, l'aspect en tubes n'a, jusqu'ici été observé que dans les régions chaudes tropicales de basses altitudes.

10 - C O N C L U S I O N

Tous les sols étudiés sont encore jeunes et relativement peu évolués, riches en minéraux primaires qui constituent l'essentiel du sol. Ils renferment dans leur fraction fine une importante proportion de substances amorphes ou mal cristallisées, difficiles d'ailleurs à bien caractériser.

Les sols à substances amorphes hydratées en régions constamment humides, présentent, outre ce caractère très significatif d'hydratation, une élévation sensible de la capacité d'échange, déjà importante à pH 7, lorsqu'elle est mesurée à pH 9 sur échantillons conservés humides. Après traitement acide, les valeurs de T deviennent négligeables. La spectrographie infra-rouge, les rayons X, l'analyse thermique différentielle, le microscope électronique, confirment l'absence d'organisation.

La fraction fine des sols soumis à un dessèchement temporaire présente déjà en général, un début d'organisation. La capacité d'échange n'est pas sensiblement modifiée à pH 9, mais elle décroît beaucoup après le traitement acide-base, montrant ainsi l'importance des substances amorphes ou aisément solubles.

Certaines échantillons paraissent encore, surtout à l'état amorphes. Dans d'autres, la spectrographie infra-rouge, plus sensible que les rayons X révèle déjà une organisation assez poussée. D'autres encore présentent déjà les raies de l'halloysite aux rayons X, les crochets à l'analyse thermique différentielle, et les tubes au microscope électronique. Même dans les échantillons où les tubes sont relativement bien formés, on constate une chute de la capacité d'échange après les traitements acides. Existe-t-il des amorphes difficiles à mettre en évidence en présence des tubes de l'halloysite. Ces tubes, plus ou moins bien formés correspondent à une forme d'halloysite facilement détruite par les acides. Les battonnets de l'halloysite ne semblent pas exister en altitudes en zone tempérée.

Dans les régions sèches d'altitude, le faible développement du profil, les remaniements par les vents, etc... rendent les études plus difficiles. La montmorillonite semble apparaître en même temps que l'halloysite, mais son existence même est difficile à établir. Les interprétations peuvent varier d'une extraction à l'autre sans doute par suite des modifications apportées par les agents chimiques à ces argiles encore mal cristallisées. La spectrographie infra-rouge indique cependant une organisation déjà poussée qui est loin d'être aussi sensible avec les autres techniques utilisées.

Les méthodes utilisées confirment donc la similitude de beaucoup de sols des régions d'altitudes tempérées fraîches avec ceux des régions chaudes tropicales.

- C'est le cas des sols à allophanes hydratés où l'humidité est le facteur essentiel de formation, la température n'ayant pas d'influence sensible.

- La formation de l'halloysite $10 \text{ \AA}$ en masses globulaires ou tubes est donc la règle dans tous les sols perméables sur cendres situés en climat humide, mais subissant une certaine dessiccation. Cette halloysite "jeune" pourrait être facilement attaquée par les acides, mais des études complémentaires sont sur ce point nécessaires. Jusqu'où peut-on

parler d'amorphes? Quand faut-il parler d'halloysite ? Il semble que différentes formes transitoires ou des mélanges soient encore à distinguer.

- La montmorillonite apparaît dans les sols soumis à des dessications prolongées. On est encore, cependant, très loin en altitude, des vertisols des régions chaudes tropicales sèches. L'identification de la montmorillonite en présence d'halloysite et d'amorphes est délicate et la spectrographie infra-rouge ne peut guère, sur ce point, être vraiment utile.

Il y a donc en altitude, comme en zone tropicale chaude, suivant les conditions climatiques agissant sur l'humidité des sols, maintien des substances hydratées, formation d'halloysite, ou formation d'halloysite et de montmorillonite.

L'halloysite apparaît-elle directement au sein des amorphes, ou dérive-t-elle d'un intermédiaire montmorillonitique, cette étape pouvant être très fugace dans les sols perméables des régions relativement humides.

Le passage de la montmorillonite à l'halloysite présente deux possibilités. Qu'il en soit ainsi dans la nature, demeure encore une supposition.

a) Il peut y avoir élimination d'une couche tétraédrique avec formation ainsi de kaolin à deux couches : tétraédriques et octaédriques. De la silice libre pourrait, en ce cas, apparaître et son identification par spectrographie infra-rouge serait possible. C'est peut-être le processus des régions sèches.

b) Il peut aussi se former une couche de type gibbsitique qui s'intercale entre les feuillets de la montmorillonite. On obtient un édifice avec deux couches tétraédriques et octaédriques, c'est-à-dire un kaolin. Il n'y aurait pas alors apparition de silice libre. Une variante serait l'auto-aluminisation entre les feuillets avec probablement alors apparition de silice libre, pouvant être rapidement entraînée. C'est peut-être le processus des régions humides à climat ferralitisant. Dans ces régions, en effet, les bandes d'absorption IR qui peuvent être attribuées à la silice libre (mais non amorphe) sont très faibles ou absentes, alors que dans les régions d'altitude à climat plus froid, elles sont souvent bien marquées. Cette bande à 800 cm^{-1} est spécifique de la silice, mais il est difficile de savoir le pourcentage qu'il faut attribuer à de la silice libre éventuelle et à celle du réseau argileux. D'autres méthodes doivent venir en aide à la spectrographie infra-rouge pour établir ces distinctions.

L'auto-aluminisation exige des pH très bas pour désaturer et acidifier la montmorillonite qui s'aluminise alors spontanément. Après l'intercalation de feuillets gibbsitiques dans les couches de la montmorillonite, la transformation serait plus facile et a été réalisée au laboratoire, en milieu acide, en un temps mesurable à la température de 175° (PONCELET et BRINDLEY - 1967). Les facteurs requis peuvent naturellement différer à l'échelle des temps pédologiques.

La notion de pH et d'état de saturation en bases est totalement perturbée avec les substances amorphes hydratées. Celles-ci peuvent présenter des pH élevés, compris entre 6 et 7, pour des taux de saturation insignifiants. De même, certains niveaux montmorillonitiques dérivés de formations volcaniques ont des pH extrêmement bas (3,5-4)

pour des teneurs en bases échangeables considérables (40 à 60 mé %).

Il est donc aussi possible que l'halloysite puisse s'élaborer directement au sein des amorphes et que la montmorillonite ne soit alors qu'une phase parallèle, apparaissant là où il y a des points plus riches en bases, permettant sa cristallisation, puis se dégradant là où l'acidité se développe et rend, par exemple, l'auto-aluminisation possible.

L'analogie des minéraux argileux formés en régions tropicales chaudes ou tempérées froides d'altitude, pour des conditions d'humidité analogues, semble pouvoir être étendue aux substances humiques. Si, en effet, les acides fulviques l'emportent largement sur les acides humiques dans les régions chaudes humides (à climat ferrallitisant), par contre, dans les sols soumis à dessiccation, les acides humiques et fulviques se retrouvent en proportion voisine, en altitude, comme en zone chaude.

Ce n'est vraiment que dans les très hautes altitudes que des niveaux noirs très foncés, riches en substances humiques, apparaissent en profondeur. De tels niveaux moins foncés cependant, apparaissent aussi à basse altitude, mais leur étude n'a pas encore été entreprise.

Les processus qui conduisent à la formation de sols analogues en altitude, en zone fraîche et en zones basses chaudes, sont-ils identiques ou diffèrent-ils ? Les produits finaux élaborés paraissent les mêmes, la seule différence constatée étant l'aspect au microscope électronique de l'halloysite qui se présente sous forme de tubes en régions tropicales chaudes et de fins glomérules en zones d'altitude tempérées. L'observation des stades intermédiaires de l'évolution est délicate, mais la spectrographie infra-rouge, le microscope électronique et certaines techniques chimiques peuvent aider à les préciser.

Dans l'état actuel, il semble peu raisonnable de distinguer dans la classification, les sols d'altitude et des régions basses qui se ressemblent étroitement.

Etablir une distinction sur le plan agronomique semble, cependant, utile car la vocation agricole de ces sols est fort différente, les uns ne convenant qu'aux cultures tropicales, les autres aux productions des régions tempérées ou froides. A défaut de critères pédologiques concernant le sol lui-même, il est toutefois possible de retenir la distinction "différence de température", indépendamment de ses effets, peu sensibles sur les sols et prise dans une optique essentiellement agronomique, comme c'est le cas dans la 7ème approximation USDA. Se baser sur des hypothèses d'évolution ultérieure à long terme, jusqu'à des stades qui ont peu de chances d'être jamais atteints ouvre la porte à trop de concessions et de facilités.

JUIN 1968

B I B L I O G R A P H I E

- AOMINE (S.), MIYAUCHI (N.) - 1965 - Imogolite of imogo-layers in Kyushu, Soil Sc. and Plant Nutr. Vol 11, N° 5, pp : 28-35
- Anuario hidrologico - 1964 - Servicio Nacional de Meteorología e hidrologia, N° 2, Quito Ecuador, 109 p.
- Anuario Meteorológico - 1964 - Servicio Nacional de Meteorología e hidrologia, N° 4, Quito Ecuador, 171 p.
- BROWN (G.) - 1961 - The X ray identification and crystal structures of clay minerals, Mineralogical Society, London, 544 p.
- CAILLERE (S.), HENIN (S.) - 1963 - Minéralogie des argiles, Masson, Paris, 354 p.
- COLMET-DAAGE (F.), GAUTHEYROU (J. et M.), LAGACHE (P.) - 1965 - Caractéristiques de quelques groupes de sols dérivés de roches volcaniques aux Antilles Françaises. Cah. ORSTOM sér. Pédol., vol. 111, fasc. 2, pp. 91-121.
- COLMET-DAAGE (F.), GAUTHEYROU (J. et M.), DELAUNE (M.), CUCALON (F.) et Al. - 1967 - Caractéristiques de quelques sols d'Equateur dérivés de cendres volcaniques. Cah. ORSTOM sér. Pédol. vol. V, fasc. 1, p. 3 à 37 et fasc. 2, p.
- DUPLAIX (S.) - 1958 - Détermination microscopique des minéraux des sables, Ed. Lib. Polytech. Ch. Béranger, Paris, Liege, VIII, 96 p.
- FARMER (V.C.), RUSSEL (J.D.) - 1966 - Infra-red absorption spectrometry in clays studies, Nat. Conf. clays and clay minerals, 15, pp : 121 - 141.
- FIELDS (M.) - 1955 - Clay mineralogy of new zealand soils, Part II, Allophane and related mineral colloids, N.Z. Jour. of Sc. and Technology, pp : 336-350.
- FIELDS (M.), WALKER (I.K.), WILLIAMS (P.P.) - 1956 - Clay Mineralogy of New zealand soils, part 3, Infra-red absorption spectra of soil clays, N.Z. journ. of Sc. and Technology, pp : 31-43.
- FISCHESSER (R.) - 1959 - Données des principales espèces minérales, J. et R. Sennac, Paris, 683 p.
- GRIM (E.R.) - 1953 - Clay mineralogy. Mc. Graw Hill, London, 384 p.
- HENDRICKS (D.M.), WHITTIG (L.D.) - 1965 - Clay mineralogy of andesite saprolite, Nat. Conf. clays and clay minerals, 15, pp : 395-407.
- HERRERA (P.) - 1963 - Estudio de suelos de la zonas trigueros del ecuador y su fertilidad, Bol. Informativo. Fac. Agrono, Quito, Vol.I, N° 2, pp : 17-32.
- JAKSON (M.L.) - 1962 - Interlayering of expansible layer silicates in soils by chemical weathering. Clays and clay minerals, 13, 29-46.
- KANNO (I.), ARINURA (S.) - 1967 - Dispersion of humic allophane soils with supersonic vibration, Soil Sc. and Plant Nutri., Vol. 13, Nov. 67, N° 6, p. : 165-170.
- LOMBANA (Abdon Cortes) - 1966 - Estudio pedologico de la zona oriental del Iztaccihualt en suelos derivadas de rocas y cenizas volcanicas andesiticas, Chapingo, Mexico, multigr., 128 p.
- MERA (C.P.), JACKSON (M.L.) - 1958 - Iron oxyde removal from soils and clays by a dithionite, citrate system buffered with sodium bicarbonate, 7th Conf. clays and clay minerals, pp : 317-327.
- MILLOT (G.) - 1964 - Géologie des argiles, Masson, Paris, 464 p.
- PONCELET (G.M.), BRINDLEY (G.W.) - 1967 - Experimental formation of kaolinite from montmorillonite at low temperature. Am.Min., 52, pp : 1161-1173.
- ROUTHIER (P.) - 1965 - La formation des matériaux de l'écorce, Encyclopédie Française, Le Ciel et la Terre, Tome III, 2ème partie, Section B; Chap. III, pp : 3-38-9 à 3-44-11.

- SAUER (W.) - 1957 - El mapa geologico del ecuador, Ed. Univer. Quito, Ecuador, 70 p.
- SAUER (W.) - 1965 - Géologie del Ecuador, Ed. del Ministerio de Educacion, QUITO, 383 p.
- SEGALEN (P.) - 1965 - Les produits alumineux dans les sols de la zone tropicale humide. Cah. ORSTOM, sér. Pédol., vol. 3, fasc. 2, pp. 149-175 et fasc. 3, pp. 179-205.
- SEGALEN (P.) - 1968 - Note sur une méthode de détermination des produits minéraux amorphes dans certains sols à hydroxydes tropicaux. Cah. ORSTOM, sér. Pédol., vol. VI, n° 1.
- SIEFFERMANN (G.), MILLOT (G.) - 1968 - L'halloysite des sols jeunes sur basaltes anciens du centre Cameroun, Bull. Soc. Als. Lorraine, pp : 25-38.
- SUDO (T.), TAKAHASI (H.) - 1955 - Shapes of halloysite particles in japanes clays, Nat. Conf. clays and clay minerals, 4, pp : 67-79.
- U.S.D.A. Soil Survey Staf - 1960 - Soil Classification. A comprehensive system, 7 th approximation, USDA, Washington, 265 p.
- VENING-MEINESZ (F.A.) - 1950 - Earth's crust deformations in geosynclines. Konink. Nederl. Akad. van Wetenschappen Proc., vol. 53, 27.
- YOSHINAGA (N.), YOTSUMOTO (H.), IBE (K.) - 1968 - An electron microscopic study of soil allophane with an ordered structure, The american mineralogist, Vol. 53, pp: 319-323.