

ÉTUDES PRÉLIMINAIRES DES SOLS DES RÉGIONS BANANIÈRES D'ÉQUATEUR

par **F. COLMET-DAAGE**

Office de la Recherche Scientifique et technique outre-mer (O. R. S. T. O. M.)

Au cours de sa mission effectuée en 1959 en Équateur, J. CHAMPION avait signalé le peu de renseignements disponibles sur les sols d'Équateur, permettant de faire des comparaisons entre eux, les méthodes d'analyses étant très diverses et les observations ou résultats analytiques souvent fragmentaires.

Une connaissance plus précise et plus systématique des sols des régions bananières apparaissait comme nécessaire dans la conjoncture actuelle.

L'extension de la culture bananière est en effet très rapide actuellement, surtout au Nord de Guayaquil, dans les régions de Quevedo et Sto Domingo... où la création récente de routes permet la mise en valeur de nouvelles terres, restées vierges, parce que trop éloignées des cours d'eau navigables, nécessaires jusqu'ici au transport des régimes. La plupart des bananeraies de ces régions sont d'implantation récente sur des sols ayant encore conservé beaucoup de leur richesse naturelle.

Le mode d'exploitation est le plus souvent extensif, mais il est certain que, malgré les grandes surfaces de riches sols encore sous forêt susceptibles d'être défrichés, les agriculteurs vont de plus en plus être obligés, durant les années à venir, de s'orienter vers une certaine forme de culture intensive (en choisissant les meilleurs sols de préférence), analogue à celle qui existe dans bien d'autres pays producteurs moins favorisés pour la qualité et l'étendue des sols cultivables.

Les plantations ne peuvent pas en effet trop s'éloigner des ports. Les longs transports par route grèvent lourdement les bénéfices et portent préjudice à la qualité des fruits qui sont presque systématiquement achetés à un cours inférieur.

Le traitement contre le Cercospora, qui se généralise de plus en plus, est effectué depuis quelques années par des dizaines d'avions qui utilisent le procédé mis au point par l'IFAC aux Antilles. Le coût du traitement, proportionnel à la surface, est une charge financière d'autant plus aisément supportée que la productivité à l'hectare est plus forte.

Si les sols paraissent fertiles, certains même exceptionnellement fertiles par rapport à ceux de bien des bananeraies d'Afrique, par exemple (et ce rapport nous le confirmera) il était difficile d'exclure, connaissant la fragilité et la fertilité souvent éphémères des sols tropicaux, et moins dans les régions très arrosées, des risques d'épuisement en potasse, peut-être en phosphore et en d'autres substances. Il est utile de pouvoir mesurer ces risques à l'avance pour déterminer le moment où une fumure plus complète devra remplacer l'absence de fumure, ou le seul apport d'azote, comme c'est le cas jusqu'ici, et éviter ainsi une chute des rendements.

L'expérimentation sur les engrais qui débute avec l'ANBE-IFAC nécessite des connaissances précises sur les sols pour le choix des traitements à appliquer et le choix d'emplacements qui permettent, approximativement au moins au début, l'extrapolation valable des résultats sur de vastes surfaces.

En connaissant parfaitement les caractéristiques des sols, il est possible enfin de bénéficier des travaux effectués dans d'autres régions sur des sols semblables.

La maladie de Panama a déjà fait disparaître complètement les bananeraies de certaines régions (*), d'autres plantations sont menacées, mais dans bien des endroits le mal semble stationnaire, frappant ici et là quelques plants sans qu'une extension sensible n'apparaisse. Existe-t-il une relation entre les propriétés du sol et la facilité avec laquelle cette maladie se propage, il y a là une hypothèse à laquelle il serait bon de pouvoir répondre.

Ce n'est évidemment pas avec une trentaine de profils analysés que l'on peut tirer des conclusions; mais c'est une étape nécessaire pour déterminer les points qui semblent les plus importants et dont l'étude mérite d'être approfondie par des déterminations ultérieures aux champs et au laboratoire.

(*) — Tenguel — bananeraies de l'United Fruit Company.

GÉOGRAPHIE PHYSIQUE

Les zones bananières sont situées dans la plaine entre le Pacifique et la cordillère des Andes. Le climat des hauts plateaux est trop froid pour la culture du bananier (12° à Quito) et le versant amazonien est à peine exploité.

I. *Au Sud* (3° latitude Sud), la plaine est étroite, basse, resserrée entre la côte marécageuse et les Andes distantes de 20 à 30 km seulement. C'est la région de Machala, avec ses belles plantations sur de riches sols irrigués. Les rivières sont courtes, la cordillère s'élève rapidement à 3 ou 4 000 m et semble constituée, au moins aux abords de la plaine, de roches anciennes, schisteuses ou cristallophylliennes à la différence des autres régions, situées plus au Nord, où ce sont des matériaux d'origine volcanique récente qui dominent.

II. *Au Centre et au Nord*, entre le golfe de Guayaquil (2° latitude Sud) et la Colombie (1° latitude Nord), la plaine est beaucoup plus large. Elle est bordée à l'Est par la cordillère des Andes qui, après une courte zone de piedmont de quelques centaines de mètres d'altitude, s'élève rapidement à 4 ou 5 000 m. Plusieurs volcans, dont certains atteignent 6 000 m d'altitude, ne sont guère éloignés que de quelques dizaines de kilomètres des abords de la plaine.

A l'extrême Nord les rivières descendent directe-

ment vers la mer à peu près perpendiculairement à la côte et à la chaîne andine.

Au centre par contre une cordillère peu élevée (800 m maximum), plutôt une succession de collines, s'étend parallèlement aux Andes, à proximité de la côte et isole un vaste bassin dans lequel les fleuves coulent du Nord au Sud vers le golfe de Guayaquil.

Dominés ainsi par les Andes et ses épais, immenses et si érodibles dépôts des cendres andésitiques qui couvrent les pentes des volcans et les hauts plateaux, on conçoit que les sols alluvionnaires des bananeraies de la plaine basse présentent des caractéristiques relativement uniformes et un certain potentiel de fertilité. Une vaste zone, au Nord de Quevedo, semble avoir été recouverte par des dépôts aériens de cendres que l'on observe reposant en discordance et en épousant les ondulations sur les argiles rouges des sols plus anciens.

Dans cette région, ce sont ces dépôts qui ont donné naissance aux sols actuels, encore très jeunes et très défrichés depuis quelques années. Certains volcans encore en activité envoient encore de temps en temps une nouvelle petite couche de cendre.

Au Sud de Quévedo, ces recouvrements paraissent plus rares et ce sont les sols plus anciens d'argiles rouges ou brunes qui semblent dominer.

CLIMAT

Deux causes importantes agissent sur la pluviométrie.

D'une part le courant froid de Humboldt qui s'écarte de la côte après avoir longtemps longé celle du Pérou, et cesse ainsi progressivement de faire sentir son influence désertique provoquant une augmentation des précipitations du Sud au Nord de l'Équateur.

D'autre part la barrière de 3 à 4 000 m de la cordillère des Andes, génératrice de courants ascendants qui causent des chutes de pluies de plus en plus importantes et fréquentes quand on va d'Ouest en Est, du Pacifique vers les Andes.

Examinons quelques transversales caractéristiques : bien que les chiffres ne portent souvent que sur un nombre d'années insuffisant :

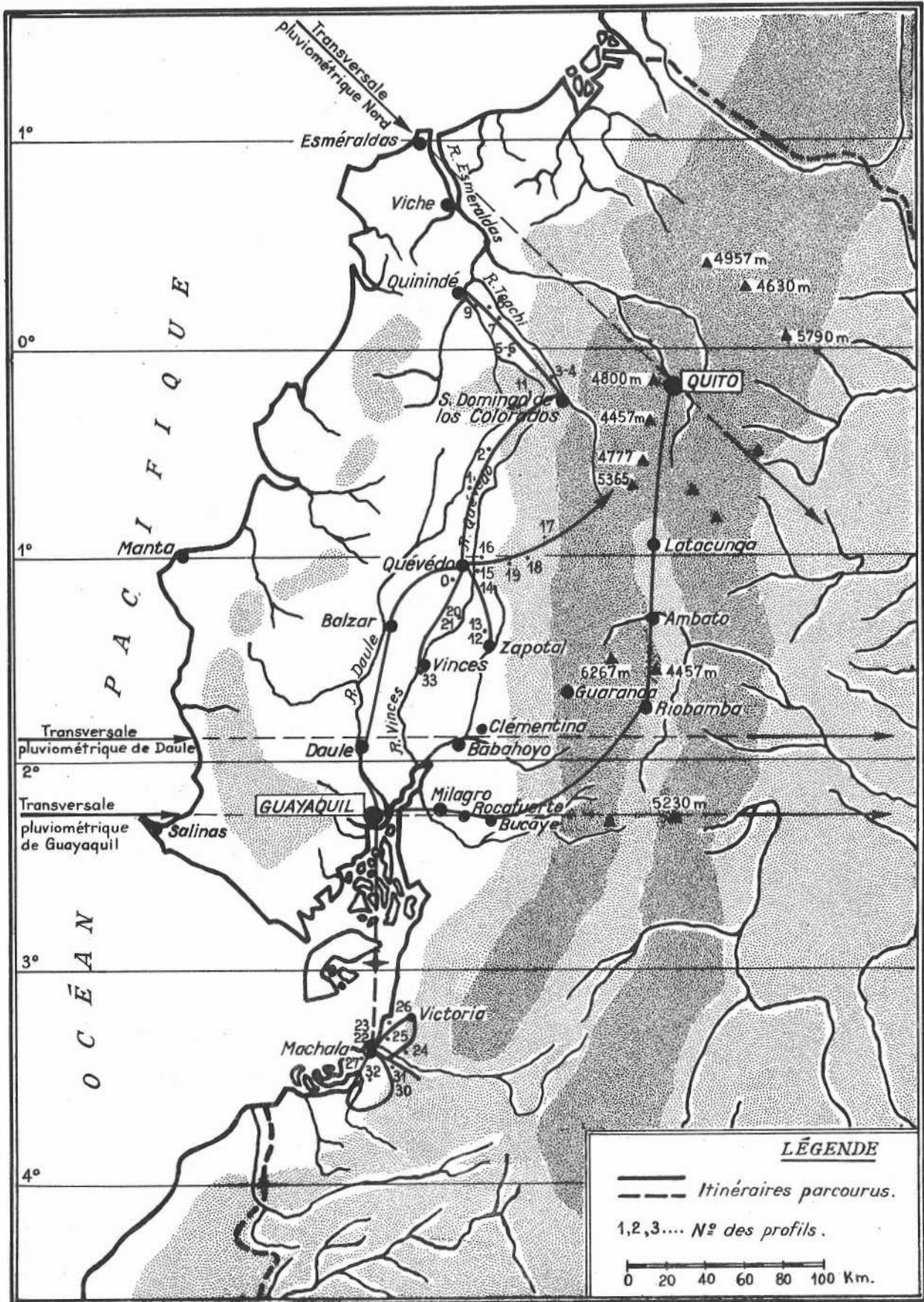
+ au Sud, près de la mer, à *Machala*, les précipi-

tations ne dépassent guère 600 mm et augmentent un peu aux abords de la cordillère (800 m). La saison sèche est très prononcée et seulement 2 à 3 mois reçoivent plus de 100 mm d'eau. Les bananeraies, parmi les plus belles d'Équateur, sont toutes irriguées.

En remontant vers le Nord, la pluviométrie annuelle augmente sensiblement passant à 1 200 et 1 400 mm vers Tenguel et Naranjal avec 5 mois recevant plus de 100 mm.

+ à *Guayaquil*, les précipitations annuelles atteignent 1 400 mm avec 4 mois à plus de 100 mm et 5 presque sans pluies mais l'humidité de l'air est élevée.

Vers l'Ouest les précipitations diminuent rapidement et la côte Pacifique à Salinas a un aspect quasi désertique.



PRECIPITATIONS		TOTAL	m/m par MOIS												NOMBRE ANNEES
ZONE SUD			J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	
de la mer vers les Andes	MACHALA	627	112	150	167	57	55	16	15	14	10	17	6	9	5
	PASAJE	800	73	274	114	91	29	44	27	28	26	33	31	30	3
vers le nord	TENGUEL	1263	190	296	263	135	101	53	41	34	39	40	34	37	7
	NARANJAL	1404	193	268	364	314	120	26	18	14	23	28	18	18	3
ZONE CENTRALE															
Transversale de Guayaquil vers les Andes	GUAYAQUIL	1139	222	303	298	217	53	12	2	1	1	2	3	27	46
	MILAGRO	1379	330	371	296	204	76	27	15	5	6	9	2	59	15
	ROCAFUERTE	2145	303	451	523	534	167	45	13	14	16	15	21	43	3
	BUCAY	2824	520	416	643	355	190	181	185	175	79	41	5	34	3
40 KM PLUS AU NORD															
Transversale de Daule vers les Andes	DAULE	1070	307	260	200	112	46	19	42	0	0	1	1	80	4
	BABAYOYO	1992	343	498	511	398	157	13	2	1	1	6	3	61	7
	CLEMENTINA	2680	470	589	653	526	247	34	16	6	10	14	18	97	7
PLUS AU NORD															
	BALZAR	1692	356	395	359	287	66	64	64	1	15	14	8	63	5
	VINGES	1704	459	239	265	325	275	14	6	0	10	15	15	61	3
	C. ROBUSTA	1790	332	348	475	353	142	22	13	9	2	3	22	68	3
PLUS AU NORD, PLUS PRES DES ANDES															
	PICHLINGUE	2362	489	493	516	284	166	45	18	11	9	18	27	87	7
	S. DOMINGO	3260	508	494	508	531	357	193	143	51	131	109	71	165	11
ZONE NORD															
Transversale de la mer vers les Andes	ESMERALDAS	844	111	184	86	150	59	81	53	32	32	12	14	31	14
	VICHE	2036	253	306	235	375	195	187	114	125	98	40	43	66	3
	S. DOMINGO	3260	508	494	508	531	357	293	143	51	131	109	71	165	11
extrême nord près la côte	S. LORENZO	2364	242	256	223	290	248	365	237	106	112	126	64	94	8

--- de 0 à 50 mm. ————— plus de 50 mm.

Vers l'Est en se rapprochant des Andes, la pluviométrie augmente et est mieux répartie au cours de l'année. La durée de la saison sèche diminue.

On passe ainsi : à 1 380 mm à Milagro avec seulement 4 mois recevant plus de 100 mm,

à 2 140 mm à Rocafuerte avec 5 mois à plus de 100 mm,

2 820 mm à Bucay au pied des Andes avec 8 mois recevant plus de 100 mm.

+ au Nord de Guayaquil, à la latitude de Daule, on retrouve, dans la dépression située entre la cordillère côtière et les Andes, le même gradient :

1 070 mm à Daule à l'Ouest de la plaine avec 4 mois recevant plus de 100 mm et 4 mois presque sans pluies,

1 992 mm à Bobaoyo avec 5 mois recevant plus de 100 mm,

2 679 mm à Clémentin avec 6 mois recevant plus de 100 mm,

et en remontant vers le Nord :

1 700 à 1 800 mm à Balzar, Vincès, Cofféa Robusta avec 4 à 5 mois recevant plus de 100 mm.

encore plus au Nord et en se rapprochant un peu des Andes, la pluviométrie augmente ainsi que la durée de la saison des pluies :

2 362 mm à Pichilingue-Quévêdo (1° latitude Sud) avec 5 à 6 mois à plus de 100 mm,

3 260 mm à Santo Domingo (près de l'Équateur) avec 8 mois à plus de 100 mm.

+ au Nord de Santo Domingo, la pluviométrie décroît encore nettement des Andes vers la mer, passant de plus de 3 à 4 m à 2 036 mm à Viche, mais avec 8 mois à plus de 100 mm et 844 mm à Esmeraldas sur la côte Pacifique avec une assez bonne répartition au cours de l'année. Une vaste région reçoit plus de 2 000 mm avec une répartition assez régulière.

+ à l'extrême Nord, San Lorenzo, à proximité de la mer, a une pluviométrie de 2 364 mm avec 10 à 11 mois recevant plus de 100 mm.

En Colombie, les précipitations sont encore bien supérieures. C'est le climat équatorial avec une saison sèche très réduite.

La température varie très peu — 26 à 28° dans la zone bananière.

LES SOLS DE LA RÉGION DE MACHALA

Il s'agit des sols irrigués de la plaine basse, plate, qui s'étend entre les Andes et l'océan sur 10 à 30 km de largeur. C'est une importante région bananière, qui se distingue plus particulièrement des autres régions par la qualité de ses fruits qui bénéficient presque toujours des cours les plus hauts avec un pourcentage de refus bien inférieur. Le climat étant relativement sec (600 à 800 mm) l'irrigation est la règle presque générale.

Ce sont des sols alluvionnaires limono-argileux dans lesquels des différences importantes de texture peuvent se produire dans le premier mètre donnant lieu à des horizons d'épaisseur variable, parfois de simples lentilles, plus argileux ou plus sableux.

La teneur en argile est le plus souvent comprise entre 20 et 30 %. Le pourcentage de limon est nettement supérieur. Les sables grossiers sont très peu abondants, inférieurs à 1 %.

Certains horizons sont franchement finement sableux avec à peine 10 % d'argile. D'autres sont argileux avec 50 à 60 % d'argile.

Le plus souvent c'est l'horizon de surface qui est le plus argileux, le sol devenant de plus en plus léger, parfois sableux en profondeur, ce qui est un élément favorable pour l'irrigation.

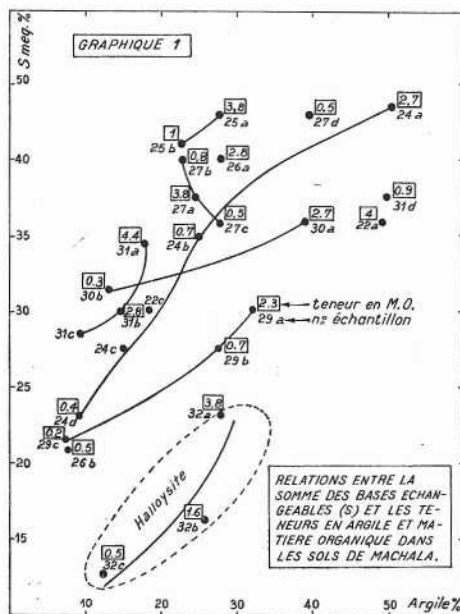
On trouve parfois cependant des horizons profonds plus argileux, souvent de minces bandes probablement lenticulaires, qui risquent de gêner le drainage interne comme les taches grisâtres et rouille permettent de le croire.

Les teneurs en matières organiques totales sont de l'ordre de 3 à 4 % dans les 15 à 20 premiers centimètres, mais décroissent très vite plus en profondeur comme dans la plupart des sols de régions sèches.

Le rapport C/N est souvent inférieur à 10 — en surface — ce qui indiquerait une humidification assez prononcée de la M. O. En profondeur il descend souvent à 5, mais les faibles teneurs en C et N lui enlèvent un peu de précisions.

La capacité d'échange de bases est généralement comprise entre 30 et 40 méq %. Elle est plus faible pour les sols sableux et croît dans une certaine mesure avec

la teneur en argile (graph. 1 ; S très voisin de T). La teneur en matière organique totale ne semble pas avoir beaucoup d'influences (voir graph. 1). Le type d'argile dominant serait dans la plupart des cas la Montmorillonite avec un peu d'argile du type Kaolinite et quelques gels (profils 24-27-31. Examen aux rayons X et à l'analyse thermique différentielle). Cependant, à proximité des Andes (profil 32), l'argile est du type Metahalloysite avec un peu de gibbsite. La capacité d'échange est alors nettement plus faible que dans les profils précédents à teneur en argile égale et ce profil s'isole nettement des autres sur le graphique 1.



Le pourcentage de saturation en bases est élevé, voisin de 85-95 %, parfois davantage. Le pH est dans l'ensemble supérieur à 6,5 voisin de 7, parfois supérieur. La relation V/pH n'est pas très nette (graphique n° 7) d'ailleurs de peu d'importance pratique.

Le calcium est de loin le principal élément échangeable. Le magnésium, excepté dans les sols parfois inondés par les eaux saumâtres, dépasse rarement le 1/10^e de la teneur en calcium.

La teneur en sodium échangeable est peu élevée et le rapport Na/S dépasse rarement 1 %, ce qui est très satisfaisant pour des sols parfois inondés par des eaux saumâtres.

L'horizon de surface argileux du profil 23, sol salé, encore vierge, présente certes une structure compacte, polyédrique à prismatique, bien en relation avec un rapport Na/S voisin de 10, mais la perméabilité des horizons inférieurs permettra certainement un lessi-

vage aisé du sodium au cours des irrigations par submersion.

Les teneurs en sels solubles sont faibles. Dans la plupart des profils elles ne dépassent guère 0,1 % de sel exprimé en NaCl. Il ne semble pas qu'il y ait des difficultés pour le dessalement. La comparaison du profil 22, défriché il y a un an et inondé plusieurs fois par des eaux douces au début de sa mise en valeur, et du profil 23 situé à une centaine de mètres dans une partie salée encore vierge, montre la rapidité avec laquelle s'est produite la disparition des sels. Le rapport Na/S a fortement baissé, en surface (de 10 à 3) et la structure s'est beaucoup améliorée. Le rapport Na/S des horizons plus profonds n'a, par contre, guère changé (20 %), ce qui risque, malgré le pourcentage d'argile peu élevé, de créer un milieu dispersé un peu asphyxiant pour les racines des plantes. Il est probable que la proportion de Na échangeable va baisser au cours des irrigations futures si le drainage se fait convenablement à marée basse. Il y aurait intérêt à s'en assurer par quelques prélèvements ultérieurs si les bananiers viennent à présenter des signes de défaillances, ce qui n'est pas le cas actuellement puisqu'ils ont donné la première année 1 200 régimes à l'hectare de 40 kg de moyenne.

Les teneurs en potassium échangeable sont élevées, parfois même extrêmement fortes. Des teneurs de 2-3 ou 5 milliéquivalents pour 100 g de sol, même en surface comme c'est le cas ici, sont très rarement signalées dans la littérature concernant les sols tropicaux, même dans ceux qui reçoivent de fortes fumures minérales.

Des teneurs de 0,5 à 0,7 méq. en profondeur peuvent encore être considérées comme très satisfaisantes pour un pourcentage d'argile relativement moyen (20 à 30 %).

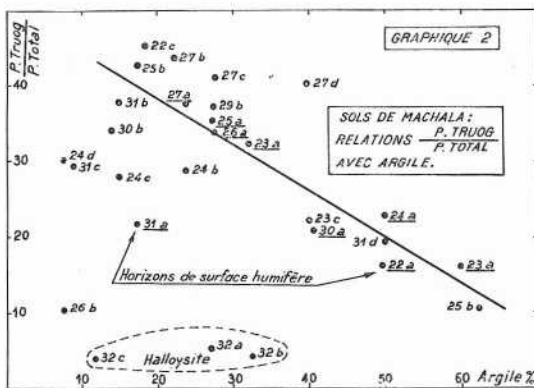
Dans certains profils (31 par exemple) les teneurs en potasse échangeable sont supérieures à celles en magnésium. C'est d'ailleurs un cas fréquent dans certains sols des Antilles françaises après de forts apports de potasse, sans qu'un déséquilibre ne soit jusqu'ici apparent.

Beaucoup de bananiers cependant présentent des brunissures sur le pourtour du limbe foliaire, analogues à celles que l'on a coutume d'observer sur des terrains salés, or la plupart des échantillons que nous avons analysés ne sont pas assez salés pour provoquer de tels effets. S'agit-il d'un excès de sel survenu à un moment du cycle de la plante et disparu à la suite d'une irrigation ? S'agit-il d'un déséquilibre minéral provoquant des symptômes analogues ? La question mériterait d'être étudiée.

Signalons que de nombreux petits micas blancs, brillants, sont souvent observés dans certains horizons. Bien que rarement trouvés dans la fraction fine, il est vraisemblable qu'une certaine relation existe entre cette abondance de minéraux micacés et la grande richesse en potasse de ces sols.

Riches en potassium, ces sols sont aussi très riches en *phosphore aisément soluble*. Les teneurs en P_2O_5 total, à l'exception de quelques profils où elles atteignent 3 ‰ de P_2O_5 en surface, ne sont pourtant que de l'ordre de 1,2 à 1,5 ‰ de P_2O_5 , donc très moyennes. En profondeur elles sont souvent inférieures à 1 ‰. Mais une forte proportion de ce phosphore, 30 à 40 ‰, existe sous des formes aisément solubles extraites par des acides très dilués (N/500 du réactif Truog). Les teneurs peuvent atteindre 0,4 ‰.

Il est intéressant de noter que la matière organique ne semble pas avoir d'influence sur le rapport $\frac{P \text{ Truog}}{P \text{ Total}}$. Ce sont souvent les horizons profonds, pauvres en M. O., qui présentent le rapport le plus élevé. Il ne semble pas y avoir non plus de relation bien nette avec la teneur en argile (grap. 2), mais la nature de l'argile jouerait peut-être un rôle, ce rapport étant beaucoup plus faible dans le profil 32 constitué d'halloysite et d'un peu de gibbsite que dans les autres sols montmorillonitiques.



La densité apparente des horizons de surface de 10 à 20 cm varie de 1 pour les échantillons très bien structurés, ayant un aspect de terreau, à 1,2 pour les échantillons plus sableux ou à structure plus compacte, et 1,3 pour un horizon argileux compact. Il n'y a pas de relations évidentes avec les teneurs en argile.

De nombreuses déterminations de *pF* ont été faites par succions sur plaques poreuses sur les échantillons ayant déjà été à demi séchés à l'air.

Rappelons que l'humidité trouvée à *pF* 4,2 est

celle d'un sol au-dessous duquel l'eau est si fortement retenue que la plante ne peut plus l'absorber et commence à flétrir. On parle souvent aussi de « point de flétrissement » (Wilting point). L'humidité trouvée à *pF* 2,7 correspondrait sensiblement à celle d'un sol ressuyé 24 h après une forte pluie, c'est-à-dire dans lequel l'eau ne serait plus en mouvement.

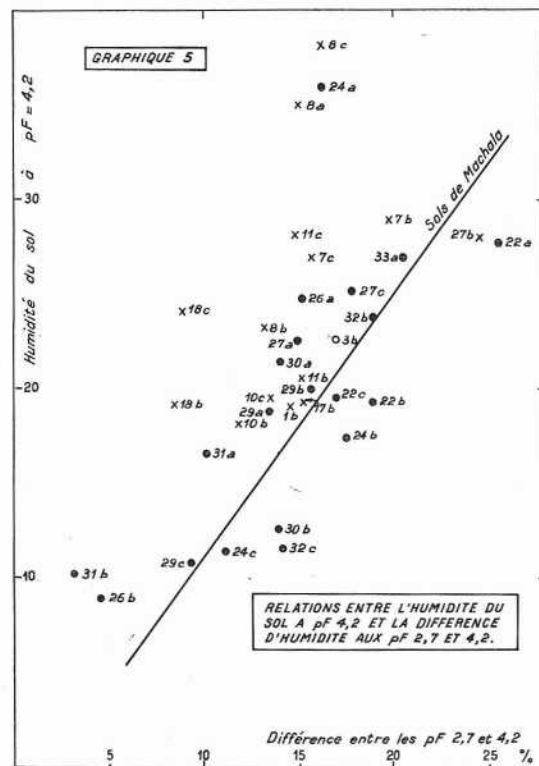
Une relation est assez nette entre les valeurs obtenues pour *pF* 4,2 et *pF* 2,7 et l'argile ou l'argile + limon (graph. 3 et 4). La M. O. ne paraît pas jouer un rôle.

La différence des valeurs obtenues pour *pF* 2,7 et 4,2 représenterait l'eau réellement utilisable par la plante.

Il ressort cependant d'études effectuées par M. COMBEAU, de l'O. R. S. T. O. M., que cette différence ne serait utilisable sans corrections que pour des sols moyennement argileux, 20 à 30 ‰ d'argile.

Pour des sols plus argileux, ce serait probablement une valeur de *pF* plus forte, peut-être 3 ou 3,2, qui correspondrait à l'humidité d'un sol ressuyé, tandis que pour un sol sableux, ce serait plutôt des valeurs de *pF* inférieures à 2,5. L'eau utilisable serait donc sensiblement plus forte pour les sols sableux (moins de 15 ‰ d'argile) et plus faible pour les sols très argileux (50-60 ‰ d'argile).

Un certain nombre de déterminations d'humidité aux champs, 12 et 24 et 36 heures après irrigation,



avec détermination des valeurs du pF et de la densité apparente des échantillons correspondants, seraient nécessaires pour préciser l'eau utilisable de chaque sol et déterminer les doses d'irrigation théoriques.

Le graphique 5 indique une certaine relation entre pF 4,2 et l'eau utilisable qui peut, en première approximation, aider à déterminer l'eau utilisable avec cette seule valeur (eau utilisable = humidité à pF 4,2 \times 0,72).

Conclusions.

Il s'agit de sols particulièrement bien pourvus en potasse et en phosphore dans lesquels aucune fertilisation concernant ces éléments n'est à envisager.

Une connaissance plus précise des caractéristiques hydrodynamiques des sols de chaque plantation permettrait de calculer les doses théoriques d'irrigation et d'éviter ainsi, soit des périodes de sécheresse, nuisibles au bananier, soit un apport d'eau trop important

entraînant un appauvrissement de ces sols ou un engorgement causant un milieu asphyxiant pendant un certain temps.

Les brunissures constatées sur le pourtour du limbe des feuilles ne s'expliquent pas avec les teneurs en sels que nous avons trouvées. Existe-t-il à plus d'un mètre une nappe plus salée ? Y a-t-il des remontées de sel à certaines périodes de l'année, qui pourraient être évitées par des irrigations plus rationnelles, s'agit-il d'un déséquilibre minéral ? Il y a là des questions qui méritent une réponse.

Il serait intéressant aussi d'avoir un certain nombre d'analyses des eaux servant à l'irrigation pour savoir si elles sont dépourvues de toutes substances minérales ou, au contraire, apportent aux sols des éléments utilisables par les plantes, peut-être parfois même des éléments nuisibles.

Le problème de la fumure azotée, en relation avec les irrigations, mériterait aussi une étude.

LES SOLS DE LA ZONE CENTRALE QUÉVÉDO-S^{to} DOMINGO

Nous distinguerons trois groupes de sols :

1) Les sols brun-rouge, argileux, à évolution ferrallitique, formés d'argile kaolinique et d'hydroxydes. On les trouve surtout au Sud de Quévédó en se rapprochant de Guayaquil et sur les collines des premiers contreforts des Andes (coulées volcaniques).

2) Les sols alluviaux des terrasses des rivières que nous avons observés le long des rivières Quévédó et Zapotal.

3) Les sols jeunes formés sur les dépôts aériens volcaniques qui occupent de vastes surfaces dans la région de Quévédó, à l'Est vers les Andes, au Nord vers Santo Domingo et Quinindé. Les variations importantes de la pluviométrie provoquent une évolution différente des sols permettant de distinguer des sous-types aux propriétés nettement distinctes.

I — LES SOLS BRUN-ROUGE ARGILEUX

Rares près de Quévédó, ces sols occupent d'importantes surfaces plus au Sud vers Guayaquil et Zapotal.

A Quévédó et plus au Nord, ils ont été recouverts par des dépôts aériens de cendres volcaniques. Ainsi, à quelques kilomètres au Nord de Quévédó, on retrouve l'argile rouge sous 1,5 m de dépôts de cendres fines, plus récentes, posés en discordance et épousant toutes les ondulations du terrain.

Plus au Nord, vers Santo Domingo l'épaisseur du dépôt est plus importante, mais en se rapprochant de la mer vers Quinindé on retrouve à nouveau l'argile rouge sous son manteau de cendres parfois disparu sur les sommets de petites collines aux pentes raides :

1) Au Sud de Quévédó vers Zapotal, la topographie est ondulée. Il s'agit de collines peu élevées aux pentes souvent assez raides cependant la pluviométrie est d'environ 1,5 à 1,8 m.

Le profil comporte généralement un horizon brun foncé à chocolat, humifère, relativement bien grumeleux sur 10 à 20 cm, puis un horizon sous-jacent brun plus clair ou rougeâtre déjà compact. Vers 60 cm ou 1 m de profondeur, on passe à l'argile rouge, à structure prismatique, à agrégats anguleux luisants, très compacte.

C'est le profil classique des sols à évolution ferrallitique sur matériaux riches en bases.

La teneur en argile est voisine de 40 %. La capacité d'échange de 25 méq. %, et le pourcentage de saturation en bases de 50 à 60 %. Le pH est voisin de 6.

Les teneurs en potassium échangeable sont assez élevées, ainsi que celles en phosphore total, mais la proportion de $\frac{P \text{ Truog}}{P \text{ total}}$ est faible, 3 à 4 %, normale pour ce type de sols.

Il semble que ces sols défrichés il y a quelques années

pour la banane soient abandonnés au bout de peu de temps. Peu de bananeraies existent encore. On rencontre surtout des plantations abandonnées ou des cultures vivrières.

2) A l'Est de Quévêdo, au pied des Andes, avec une pluviométrie probablement voisine de 3 m sur la première colline bordant la plaine, le sol est analogue aux précédents, mais plus léger, moins évolué, encore riche en sables et minéraux primaires (Profil n° 18).

L'argile est du type Metahalloysite (*).

Nous n'insisterons pas sur les caractéristiques physicochimiques, voisines de celles des sols précédents avec toutefois des teneurs en phosphore total et potasse nettement plus faibles peut-être par suite d'un lessivage dû au climat plus humide.

Ce profil n'a d'ailleurs pas un grand intérêt pratique, puisque de tels sols sont très peu cultivés en bananes. Il était cependant utile d'avoir une idée des sols formés sur coulées volcaniques. Celle-ci est très visible un peu plus en contrebas dans le talus de la route fraîchement creusée. On distingue sur la roche saine les horizons verdâtres sableux d'altération passant à l'argile rouge progressivement.

II. — LES SOLS ALLUVIAUX

Ce sont des sols légers, de couleur beige-jaune.

L'horizon de surface renferme souvent de 20 à 30 % d'argile avec environ 40 % de limon. Plus en profondeur, le pourcentage d'argile diminue régulièrement tandis que le taux de sables fins augmente. Vers 1 m on a souvent des horizons très finement sableux. Les sables grossiers sont plutôt rares.

L'horizon humifère de surface est souvent peu épais — 10 cm à 15 cm. Le taux de M. O. total y est élevé donnant au sol une excellente structure de terreau. Les inondations fréquentes du fleuve le décapent souvent et en bien des endroits il ne reste guère que quelques centimètres d'horizon humifère.

Le rapport C/N est voisin de 10 en général.

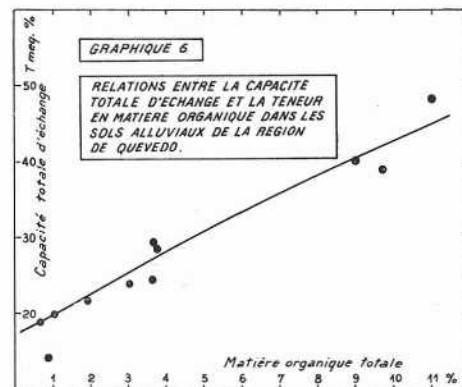
La capacité d'échange de l'horizon de surface humifère atteint souvent 40 méq. %. Elle est en relation avec les teneurs en matière organique (graph. 6).

Le pourcentage de saturation en base est généralement supérieur à 60 % et le pH supérieur à 6 sauf dans le profil 33 qui reçoit régulièrement des apports d'engrais de 400 kg N par hectare.

Les teneurs en *potassium échangeable* sont souvent élevées, généralement supérieures à 1 méq. % en sur-

face, parfois très élevées 3 méq., et encore bonnes en profondeur compte tenu des faibles teneurs en argile.

Toutefois les teneurs observées dans le profil 33, qui porte une plantation intensive de bananes (2 000 pieds/ha), recevant régulièrement une fumure azotée avec une production de 1 100 régimes de 40 kg expor-



tés, sont faibles, surtout en profondeur. Des signes d'épuisement se manifesteront peut-être dans quelques années, bien que dans le sol voisin, défriché depuis très longtemps (100 ans), planté en cacaoyers, en culture intensive (400 kg/ha), les teneurs en potasse en surface soient encore très bonnes (1 méq. %).

Les teneurs en *phosphore total* sont très élevées en surface, généralement supérieures à 2 ‰, parfois 3 ‰ avec environ 10 % de ce phosphore aisément soluble dans les acides dilués (réactif Truog).

Conclusions.

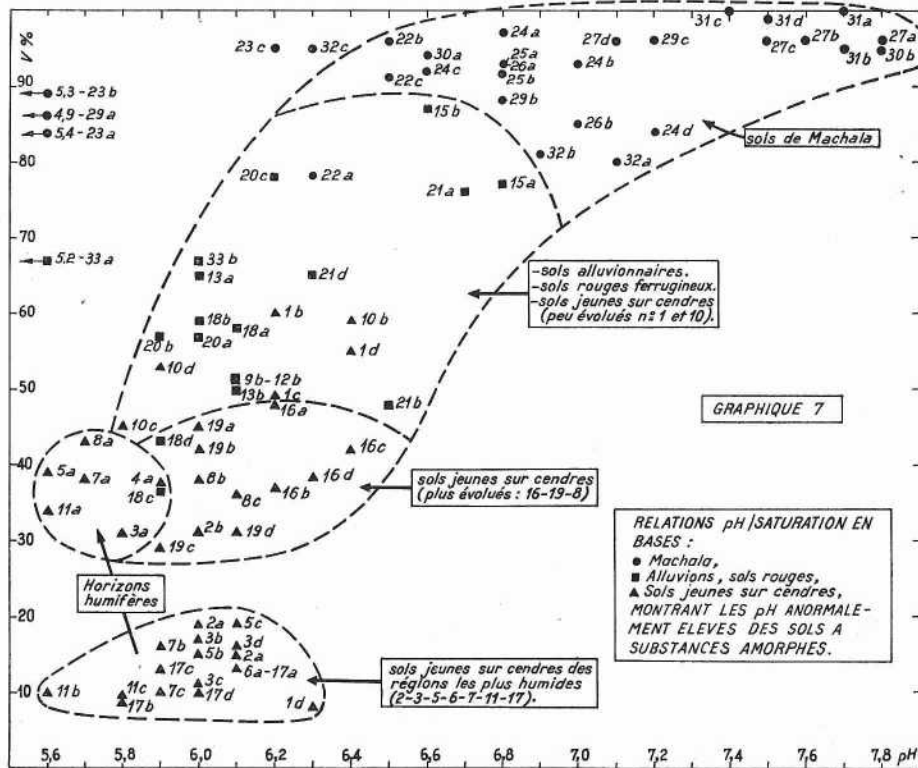
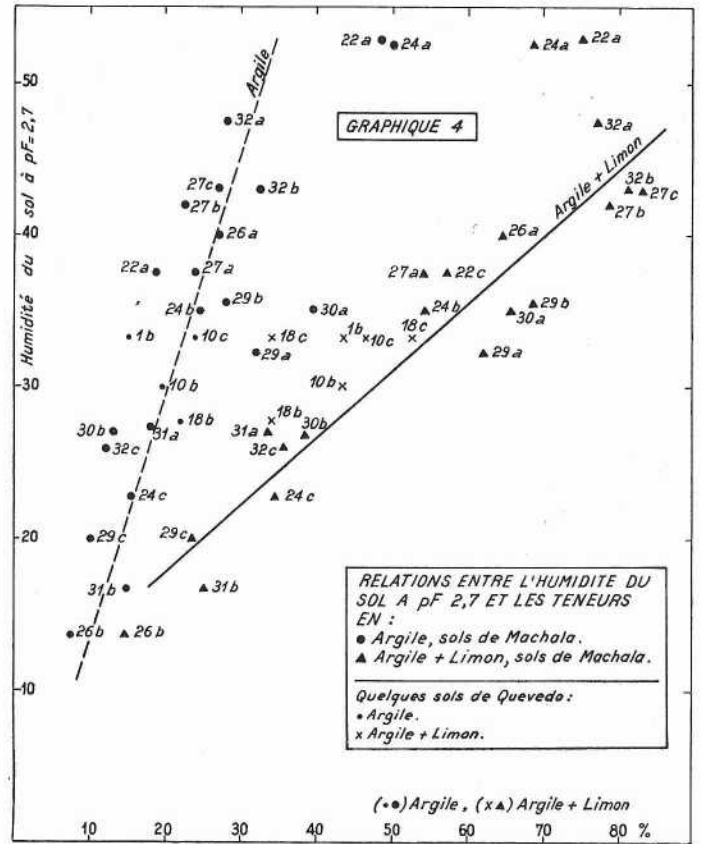
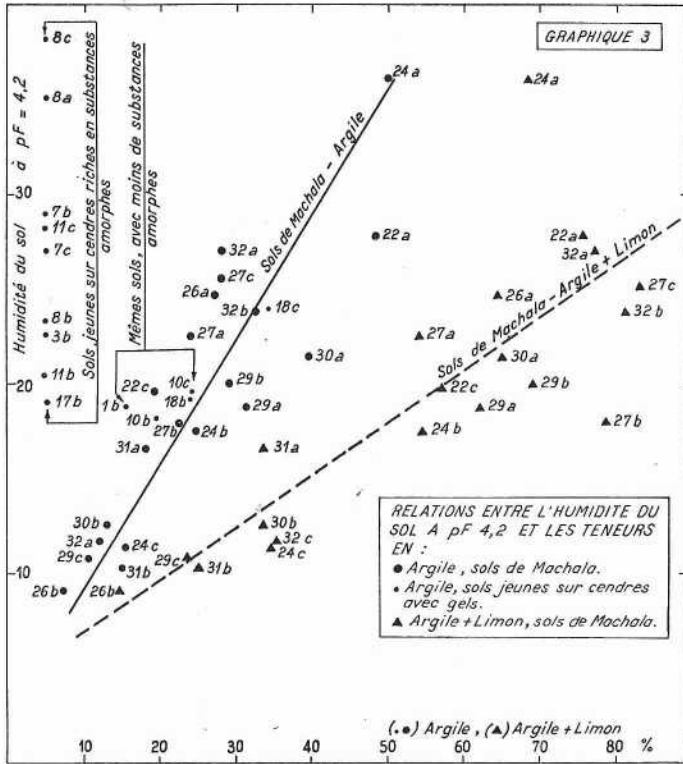
Il s'agit donc d'excellents sols, ayant de bonnes propriétés physiques, et bien pourvus en potasse et en phosphore.

III. — LES SOLS JEUNES SUR CENDRES

Ce sont tous les sols issus des dépôts aériens de cendres volcaniques que l'on rencontre dans la plaine au Nord de Quévêdo vers Santo Domingo, Quinindé et de Quévêdo vers les Andes ainsi que sur les premiers contreforts de la cordillère là où la pente n'est pas suffisante pour que l'érosion les ait fait disparaître.

La pluviométrie varie de 2 à près de 4 m, l'évolution des sols en dépend. Trop peu de profils ont été observés pour tenter de conclure, cependant la grande ressemblance de ces sols et de leur mode d'évolution avec

(*) — Raie à 4,45 Å intense aux rayons X et crochets importants à 540° et 920° à l'analyse thermique différentielle.



ceux que nous avons étudiés aux Antilles françaises, surtout en Martinique, nous permettra d'être un peu plus affirmatif sur certains points malgré le petit nombre de résultats.

1) Évolution et propriétés dues aux substances amorphes.

En bref, l'évolution des sols serait la suivante :

a) Dans les régions de fortes pluviométries, surtout quand les précipitations sont bien réparties au cours de l'année, l'altération de ces cendres fines (forte proportion de sables fins) bien perméables est intense. Le lessivage des produits d'altération et leur entraînement par les eaux en profondeur est aussi intense et empêche probablement la formation de minéraux secondaires : les argiles des sols classiques. On n'observe guère dans ces sols que les matériaux originels et des substances amorphes, encore appelés « allophanes » et probablement des gels de silice (*).

Ces substances amorphes, lorsqu'elles existent en quantité importante, confèrent au sol des propriétés particulières bien représentées dans l'échantillon n° 6 de profondeur :

— la texture apparente est limoneuse, mais savonneuse au toucher ;

— la destruction des petits agrégats avec les dispersants usuels est incomplète, la suspension est instable et les résultats des analyses mécaniques souvent inexacts. On obtient généralement très peu d'argile en suspension (4 à 5 %). Le plus souvent c'est tout simplement parce qu'il n'y a pas d'argile, mais dans certains cas des traitements alcalins, puis acides, permettent d'obtenir une meilleure dispersion et des teneurs en argile nettement plus élevées.

— La capacité d'échange est relativement élevée (avec l'acétate NH_4). Le pourcentage de saturation en base est très faible (10 à 20 %) malgré des valeurs de pH anormalement élevées (6) en comparaison de celles qui seraient trouvées sur des sols constitués par des minéraux argileux classiques (graph. 7).

— La propriété la plus importante pour la culture est la très forte capacité d'absorption pour l'eau.

L'échantillon 6, de profondeur ressuyé, friable entre les doigts, d'apparence sableuse renferme 60 % d'eau en pourcent de sol séché à l'étuve. Les valeurs obtenues pour pF 2,7 (voisine de l'humidité équivalente) et 1,9 dépassent 100 %. Elles sont donc bien plus éle-

vées que pour des sols lourds argileux montmorillonitiques et en tout cas sans commune mesure avec les faibles teneurs apparentes en éléments très fins ou matière organique (graphiques 3 et 4). Aux Antilles certains sols analogues donnent des chiffres encore plus élevés, des humidités de sols en place, ressuyés, de plus de 100 % ne sont pas rares. Ces sols sont capables d'absorber près de 25 % d'eau par hygroscopicité. La densité apparente du sol en place peut descendre jusqu'à 0,45 comme dans l'échantillon n° 6.

Cette forte capacité d'adsorption pour l'eau disparaît en partie quand l'échantillon a été séché à l'air. Il y a dessiccation irréversible. Pour cette raison, ce sont surtout les horizons profonds (n° 6 et dans une moindre mesure 8 c et 10 d) qui ne sèchent pratiquement jamais qui présentent au maximum ce caractère, plus atténué dans les horizons superficiels soumis suivant les saisons à des alternances d'humidité et de sécheresse sur une profondeur fonction de l'intensité de la pluviométrie annuelle et sa répartition au cours de l'année (teneur en eau élevée des échantillons 8 c et 10 b bien que d'apparence sableuse et après une longue saison sèche).

Il est bien évident que les sols qui présentent de tels horizons (n° 6 par exemple) à une profondeur explorable par les racines du bananier permettent à la plante, grâce en quelque sorte à cette réserve d'eau, de mieux passer le cap de la saison sèche. C'est peut-être ce qui explique en partie l'aspect relativement correct des bananiers au moment où nous avons visité les plantations après une longue période de sécheresse.

b) Dans les régions de pluviométrie moyenne, 2,5 m par exemple, où avec une saison sèche assez prononcée, le lessivage n'est pas aussi intense et on note l'apparition de minéraux secondaires argileux du type kaolinite (profils 1 et 10), parfois peut-être montmorillonite (profil 8) outre les substances amorphes (*).

Suivant le degré d'évolution, les propriétés des substances amorphes sont plus ou moins apparentes : la dispersion est plus aisée, une certaine quantité d'argile au sens granulométrique peut être obtenue (10 à 20 %), la capacité pour l'eau est moins élevée et le toucher moins « savonneux ». C'est le cas par exemple des profils 1 près de Quévédou et 10 près de Quinindé.

On remarque ainsi sur les graphiques 3 et 4 donnant les valeurs de pF 4,2 et 2,7 en fonction de l'argile,

(*) — Ech. 10 — Aux rayons X la raie à 7°A est faible mais nette. La raie à $4,45 \text{ \AA}$ est intense indiquant des minéraux argileux en formation.

Dans l'échantillon 8 c on observe une bande à $12-15 \text{ \AA}$ se déplaçant vers 17 \AA après traitement au glycérol — il s'agit peut-être de montmorillonite.

(*) — L'examen minéralogique aux rayons X et à l'analyse thermique différentielle de la fraction fine inférieure à 20μ ne laisse voir aucun des types d'argile classique. L'analyse thermique indique une très grosse perte d'eau aux faibles températures (130°).

que les points correspondant aux profils 1 et 10 viennent se joindre à ceux des sols de Machala alors que les autres sont nettement séparés.

2) **Autres propriétés.**

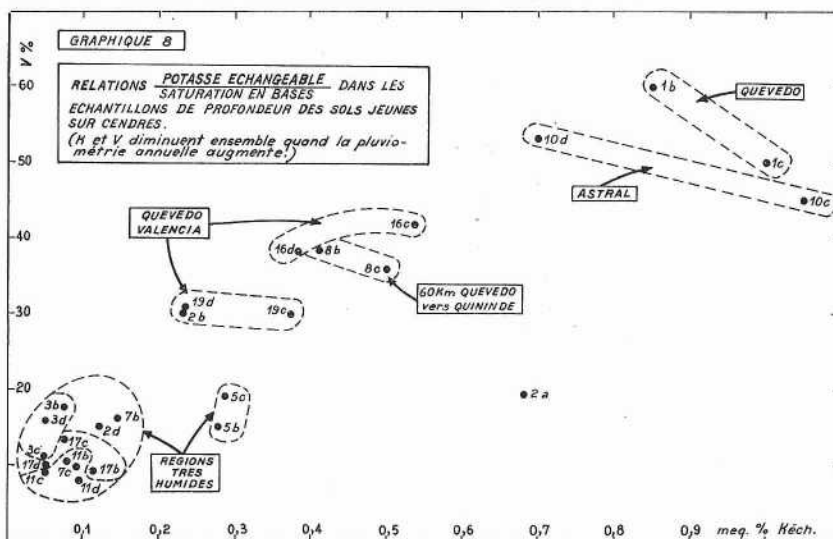
— Les teneurs en matières organiques totales des horizons de surface (0-15 ou 0-20 cm) sont élevées, 6 à 10 %. Il y a eu migration en profondeur et des taux encore élevés sont rencontrés jusque vers 50 cm (3 %), et vers 1 m (1,5 à 2 %).

Notons d'ailleurs que dans les zones d'humidité moyenne, la coloration brune est très sensible jusque vers 60-70 cm (profils 8 et 10) alors que dans les régions

plus humides, pour un taux de matière organique analogue, seul l'horizon de surface est de teinte foncée. Nous retrouvons ici exactement les mêmes caractères qu'aux Antilles françaises.

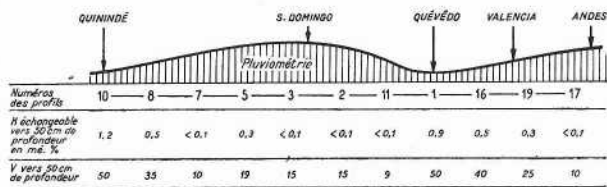
Avec de tels taux de M. O. et un rapport C/N voisin ou inférieur à 10, ces sols sont probablement capables de fournir une quantité importante d'azote ; mais comme le lessivage doit être aussi important, il est difficile de dire ce que la plante peut réussir à utiliser.

— La capacité d'échange de base est de l'ordre de 30 méq. % en surface, mais peut descendre jusqu'à moins de 10 méq. plus en profondeur.



— Le pourcentage de saturation en base décroît fortement lorsque la pluviométrie augmente, passant dans l'horizon de surface de 50 % à 30 % et plus en profondeur de 40 % à 10 % (graphique n° 8).

— La teneur en K échangeable suit à peu près les variations du pourcentage de saturation en bases, donc la pluviométrie, comme le montre le graphique ci-dessus et le graphique 8.



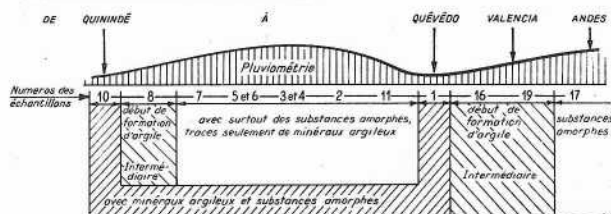
— Les teneurs en potasse, encore élevées en surface dans les zones de pluviométrie moyenne, ne dépassent

souvent pas 0,3 méq. dans les zones bien arrosées, ce qui est une teneur très moyenne. En profondeur elles sont souvent presque nulles.

Il y a certainement maintenant dans ces régions des problèmes de fumures potassiques qui se posent ou qui, en tout cas, ne tarderont pas à apparaître.

— Pour le phosphore les observations relatives à la potasse sont dans une certaine mesure applicables

CLASSEMENT DES SOLS JEUNES SUR CENDRES.



Ce graphique se rapporte au tableau ci-contre. (Quévédo. Sto Domingo. Valencia).

MACHALA Roche mère : alluvions. Pluviométrie : 600 à 800 mm - Altitude : < 100 m. Profils 22, 23, 24 inondés autrefois par les fortes marées - Plantations irriguées.

Profil n° 22 - à 3 km de Machala - Hacienda San Estuardo - Jeune plantation de bananes défrichée il y a un an - auparavant broussailles et végétation de sols salés. Très beaux bananiers - donnant 1.200 régimes de 40 kg de moyenne par ha et par an - en lère année - deux porteurs. Plantés à 4 mètres - sarclés - ayant reçus 500 g par pied de Nitrate de potasse - autour de la souche. Sol labouré après défriche - inondé par de l'eau douce plusieurs fois la première année pour le dessalement. 0 - 20 = limono-argileux gris foncé - un peu grumeleux - bonne structure - nombreux canalicules. 20 - 100 = beige jaune - limoneux un peu argileux de 25 à 50 - paraît plus argileux après 50 cm - mais aussi plus humide - eau à 80 cm - quelques taches ocres d'hydromorphie - nombreux petits micas. Densité apparente : 20 cm = 1,04. Type de sol : sol alluvial.

Echantil.	Sels solubles méq. %								
	Ca	Mg	K	Na	Somme cations	Cl	SO ⁴	CO ³ H	Somme anions
22 a	0	0,9	0,08	0,9	1,86	0,25	0	1,25	1,5
b	0	0,83	0,1	1	1,93	0,30	0,1	0,9	1,3
c	0	1	0,09	1,6	2,7	1,10	0,1	0,9	2
pF : 4,2 2,7 1,9 2,7-4,2									
a 27,8 52,9 68,3 25,1									
b 19,4 38,3 44,3 18,9									
c 19,6 37,5 46,5 17,1									

Profil n° 23 - à 100 mètres de la plantation - profil 22 - Hacienda San Estuardo - mais en sol vierge - plat. Basse végétation de plantes halophiles - arbrisseaux - inondé parfois par les débordements de la rivière. 0 - 25 = argileux - un peu limoneux - brun avec taches rouilles. Structure compacte - polyédrique - friable sur 2 à 3 cm en surface seulement. Efflorescences salines blanches entre 5 et 25 cm entre les blocs d'argile - le long des canalicules. 25 = finement limoneux argileux - puis limoneux - peu argileux après 50 cm - perméable. Terre devant prochainement être plantée en bananes après 1 an de labour et d'irrigation intensive pour le dessalement. Densité apparente : à 20 cm = 1,3. Type de sol : alluvial - salé.

Echantil.	Sels solubles méq. %								
	Ca	Mg	K	Na	Somme cations	Cl	SO ⁴	CO ³ H	Somme anions
23 a	11	0,8	0,4	28	40,2	36,5	5,7	0,5	42,7
b	6	5,9	0,26	27	39	30	9,5	0,4	40
c	7,5	3,5	0,21	27	38	27	4,6	0,6	32

Profil n° 24 - à 27 km au NE de Machala - Après El Guabo - Hacienda San Estevan - à 5 km de la montagne et de la mer - loin de la rivière - irrigué par un canal. Belle bananeraie de 6 ans - pas d'engrais sauf Urée - Régimes de 40 kg minimum - 800 régimes à l'ha - sarclé - plantés à 4 mètres - 2 porteurs - 7 à 8 mois pour la production - Régimes plus denses qu'à Quévedo - la température descendrait à 15° en saison sèche - cycle plus court. 0 - 20 = argileux - un peu limoneux - gris noir - structure polyédrique - s'affrite assez bien. 20 - 100 = limoneux puis finement sablo-limoneux - beige clair avec de très légères taches rouilles. Examen minéralogique de la fraction fine = b Montmorillonite. Un peu de Kaolinite - Quelques gels. Type de sol : alluvial.

Echantil.	Sels solubles méq. %								
	Ca	Mg	K	Na	Somme cations	Cl	SO ⁴	CO ³ H	Somme anions
24 a	1	1	0,36	1,2	3,6	2,2	0	0,8	3,2
b	0,4	0,9	0,1	0,1	1,5	1,2	0	0,5	1,7
c	0,5	1	0,1	0,4	2	0,7	0	0,8	1,5
d	0,3	0,6	0,2	1,2	2,3	0	0,6	0,9	2,9
pF : 4,2 2,7 1,9 2,7-4,2									
a 36 52,3 61 16,3									
b 17,5 35,2 40 17,7									
c 11,4 22,6 41 11,2									

Profil n° 25 - Hacienda San Estevan - 27 km au NE de Machala - à mi distance des Andes et de la mer. Très beaux cacaoyers - certains de 25 à 30 cm de diamètre - bonne production - peut être 50 ans ou davantage. 0 - 10 = argileux - humifère - gris noir avec taches rouilles - assez dur - polyédrique 10 - 50 = finement limono sableux - beige - quelques taches rouilles. Type de sol : alluvial.

Echantil.	Sels solubles méq. %								
	Ca	Mg	K	Na	Somme cations	Cl	SO ⁴	CO ³ H	Somme anions
25 a	0,3	0,5	0,33	0,16	0,8	0,25	0	0,57	0,82
b	0,5	0,6	0,13	0,10	1,3	0,25	0	0,60	0,85

Profil n° 26 - Hacienda La Victoria - 33 km de Machala - au NE de El Guabo vers Tengel - 4 km des Andes - 5 km de la mer. Belle bananeraie irriguée attaquée par les chenilles - bonne production - brunnissures sur le bord des feuilles. 0 - 15 = argilo-limoneux - assez dur - nombreux pores - humifère 15 - 100 = sable fin - jaune beige avec quelques taches rouilles et ocres avec par endroits argile limoneuse grise et rouille - quelques lentilles. Nombreux petits micas dorés. Densité apparente : 20 cm = 1,17. Type de sol : alluvial.

Echantil.	Sels solubles méq. %								
	Ca	Mg	K	Na	Somme cations	Cl	SO ⁴	CO ³ H	Somme anions
26 a	1,5	0,5	0,29	0,27	2,6	0,65	0	1	1,65
b	0,4	0,5	0,07	0,08	1	0,35	0	0,5	0,85
pF : 4,2 2,7 1,9 2,7-4,2 1,9-4,2									
a 24,7 39,9 53,3 15,2 30,8									
b 9,1 13,7 32,2 4,6 23,1									

Profil n° 27 - Hacienda Cana Quemada (Cannes brûlées) - Très belle bananeraie irriguée - 800 régimes de 40 kg de moyenne par hectare - Très peu de Panama - Bord des feuilles brun assez souvent. 0 - 20 = humifère - limono argileux - léger - friable - bonne structure - terreaux - bien noir - très poreux - bien ressuyé - 20 - 50 = limoneux - beige - 50 - 100 = limoneux légèrement argileux - gris beige avec taches rouilles et ocres - malléables - nombreux petits micas - taches d'hydromorphie. Examen minéralogique de la fraction fine (Rayons X et ATD) 27 b Montmorillonite - Un peu de Kaolinite - Gels. Densité apparente : 10 cm = 1,03 eau = 20,2. Type de sol : alluvial.

Echantil.	Sels solubles méq. %								
	Ca	Mg	K	Na	Somme cations	Cl	SO ⁴	CO ³ H	Somme anions
27 a	0,7	0,9	1,06	0,16	2,8	0,23	0	1,5	1,8
b	0,3	0,7	0,07	0,08	1,1	0,25	0	0,62	0,9
c	0,3	0,6	0,05	0,16	1,1	0,25	0	0,5	0,75
d	0,2	0,5	0,04	0,19	0,93	0,25	0	0,5	0,75
pF : 4,2 2,7 1,9 2,7-4,2 1,9-4,2									
a 22,5 37,5 47,4 15 25									
b 28 42 48,2 24,1 30,3									
c 25,2 43 57,7 17,8 27,5									

Profil n° 29 - Près Machala - Hacienda Liliam-Maria. Belle bananeraie - quelques brunissures sur les feuilles par endroits. Quelques taches particulièrement salées dans les parties basses. Jeunes cacaoyers morts et bananiers avec nombreuses feuilles brunes. A proximité d'une tache salée - bananiers sains. 0 - 20 = humifère - limono-sableux - bonne structure - 20 - 50 = limono-argileux - malléable - beige - 50 - 120 = sable grossier - ocre. Jeunes plantations de cacaoyers et cocotiers en intercalaires. Type de sol : alluvial.

Echantil.	Sels solubles méq. %								
	Ca	Mg	K	Na	Somme cations	Cl	SO ⁴	CO ³ H	Somme anions
29 a	0,1	1,6	0,46	0,3	2,46	0,5	0	0,7	1,2
b	0,1	1,5	0,09	0,6	1,3	0,48	tr	0,62	1,2
c	0,1	1,6	0,04	0,6	1,34	0,55	tr	0,67	1,2
pF : 4,2 2,7 1,9 2,7-4,2									
a 18,8 32,2 43,2 13,4									
b 19,9 35,6 44,2 15,7									
c 10,8 20,2 31 9,4									

Profil n° 30 - Hacienda El Cambio - 10 km de Machala vers Pasaje. Belle bananeraie après savane - Sol labouré profondément avant plantation. 0 - 40 = limono-argileux - friable - sol mélangé sur 40 cm - l'horizon noir humifère apparaît souvent enfoui à 30 cm - hétérogène - 40 - 100 = sable fin - un peu limoneux - beige et avec nombreux micas - eau à 70 cm Type de sol : alluvial. N.B. - l'extrémité des feuilles est retournée, tordue - il y a souvent une brunissure du bord des feuilles.

Echantil.	Sels solubles méq. %								
	Ca	Mg	K	Na	Somme cations	Cl	SO ⁴	CO ³ H	Somme anions
30 a	0,7	0,5	0,16	0,4	1,76	0,3	0,1	0,1	1,2
b	0,8	0,6	0,04	0,4	1,82	0,3	0,1	tr	1,4
pF : 4,2 2,7 1,9 2,7-4,2									
a 21,4 35,3 42,9 13,9									
b 12,6 26,6 40,3 14									

Echantil.	Profondeur en cm	Terre fine %	Argile %	Limon %	Sables		eau %	M.O. Cx1,72	C %	N mgr %	C/N	Bases échangeables méq. %				S	T NH ⁴	V %	Na/S %	p205 total mgr %	p205 Truog mgr %	P Truog %	pH
					fins	gros.						Ca	Mg	K	Na								
22 a	0 - 20	100	48,6	26,8	13,4	0,5	5,4	4,2	2,4	228	10,5	30,4	4,6	0,52	1,3	37	47	78	3	116	18	16	6,3
b	20 - 30	100	18,4	38,6	38,2	0,4	5,6	0,9	0,5	81	6,2	20	6,1	0,21	4,9	31	36	96	16	80	28	35	6,5
c	40 - 70	100	18,4	38,6	38,2	0,4	5,6	0,9	0,5	81	6,2	20	6,1	0,21	4,9	31	36	96	16	80	28	35	6,5

23 a	0 - 5	100	60,8	18,5	1,8	0,6	11	5,2	3	2,35	12,8	19,6	13,3	0,6	3,7	37,2	44	84	10	149	24	16	5,4
b	5 - 25	100	62	19	1,3	0,2	12	2,7	32	8	19	12,8	0,52	4,6	36,8	42	88	12	102	10,4	10	5,3	
c	40 - 60	100	21,7	35,9	32,7	0,6	7,1	0,8	0,4	25	18,1	10,7	0,73	7,8	37,3	39	95	21	79	32	40	6,2	

24 a	0 - 20	100	50	18,3	18,7	0,15	8	2,7	1,6	164	9,6	37,9	3,3	1,7	0,69	43,6	45	97	1,5	123	28	23	6,8
b	20 - 40	100	24,6	29,7	37,2	0,7	6	0,7	0,4	56	7,1	31,3	3,3	0,8	0,21	35,6	38	93	0,6	77	22	28	7
c	40 - 60	100	15,6	18,9	60,1	0,9	5	0,45	0,27	32	8	25,3	1,2	0,73	0,34	27,5	30	92	1,2	104	28	27	6,6
d	80 - 100	100	8,9	15	70,9	1,9	4	0,35	0,19	53	23,3	0,5	0,15	0,30	23,6	28	84	1,3	115	34	29	7,2	

25 a	0 - 10	100	27,3	42,5	20,6	0,2	6,5	3,8	2,2	210	10,4	36,4	4,25	2,4	0,17	43,1	46	93	0,4	163	58	35	6,8
b	20 - 30	100	22,4	42,2	25,8	0,2	6,5	1	0,6	70	4	36,4	2,4	1,7	0,21	40,7	43	94	0,5	90	38	42	6,8

26 a	0 - 15	100	27	37,6	26,5	0,4	7,3	3,8	2,2	252	8,7	35,5	2,8	1,7	0,17	40	43	93	0,4	151	52	34	6,8
b	20 - 40	100	7,3	7,1	80	3,2	3,6	0,5	0,3	70	4	20,8	0,5	0,57	0,08	21,4	25	85	0,4	112	11,4	10	7

27 a	0 - 20	100	23,9	30	36,5	0,4	5,5	3,8	2,2	260	8,5	29,2	3,7	4,5	0,17	37,5	39	96	inf.	196	36	37	7,8
b	20 - 40	100	22,4	56,1	11	0,3	6,5	0,75	0,4	60	6,6	36,7	3	0,48	0,17	40,3	42	96	à	88	38	43	7,6
c	40 - 70	100	26,8	56,3	7,8	0,2	7,2	0,5	0,28	53	5,3	39,4	3	0,25	0,21	36,6	38	96	1 %	84	34	41	7,5
d	80 - 100	100	39,5	45,7	5,4	0,1	8,5	0,5	0,28	53	5,3	39,4	3	0,18	0,30	42,8	44	96		74	30	40	7,1

29 a	0 - 20	100	31,7	30,1	27	0,7	6	2,3	1,35	196	6,9	26,2	2,4	1,3	0,30	30,2	35	86	1	146	46	32	4,9
b	20 - 40	100	28,2	40,6	22,1	1,2	6,2	0,7	0,4	70	5,7	22,2	3,7	0,61	1,82	28,3	32	88	6,5	72	26	36	6,8
c	70	100	10,3	13,1	44	27,8	4	0,2	0,1	28	19,2	1	0,28	1,7	21,2	22	96	8	67				7,2

30 a	0 - 40	100	39,6	25,6	26	1,4	6,4	2,7	1,55	165	9,4	33	2,4	0,86	0,3	36,6	39	94	0,8	132	28	21,2	6,6
b	60 - 90	100	13,2	20,1	61,2	1,1	4,5	0,25	0,16	21	7,6	31	0,5	0,15	0,4	31,5	33	95	1,2	83	28	34	7,8

MACHALA (fin)

Profil n° 31 - Hacienda La Nueva - Route de Machala - El Guabo - km 10 - Belle bananeraie de 5 ans après cacaoyers - quelques brunissures du bord des feuilles - très peu de Panama - plat - irrigué - jeunes cacaoyers de 4 ou 5 ans en intercalaires, 0 - 5 = très noir - agrégé - bonne structure - poreux - limoneux - 5 - 15 = limoneux sableux - un peu humifère - beige - 15 - 40 = sable fin - beige - nombreux micras - 40 - 100 = argilo-limoneux grisâtre avec taches rouilles. Très humide à 90 - boue, eau. Quelques efflorescences blanches vers 40 - 60 cm.
Examen minéralogique de la fraction fine - 31 c Montmorillonite. Un peu de Kaolinite. Trace de goëthite - Restes feldspathiques. Gels - ferriques ? Densité apparente : 20 cm = 1,2 eau = 15 %

Echantil.	Sels solubles méq. %								
	Ca	Mg	K	Na	Somme cations	Cl	SO4	CO3H	Somme anions
31 a	0,3	0,6	1,1	0,2	2,2	0,25	0	0,87	1,12
b	0,5	0,6	0,3	0,1	1,7	0,25	0	0,87	1,12
c	0,2	0	0,1	0,08	0,4	0,25	0	0,3	0,55
d	0,1	0,6	0,1	0,17	1	0,25	0	0,4	0,65

pF : 4,2 | 2,7 | 1,9 | 2,7-4,2
a | 16,6 | 26,8 | 35,2 | 10,2
b | 10,3 | 16,6 | 30,3 | 3,3

Profil n° 32 - Hacienda Simona. Route de Machala à Santa Rosa - km 25. 20 km de la mer - 15 km des Andes. Plantation de bananes de 8 ans après cacaoyers. Très atteinte par la maladie de Panama. Nombreux pieds morts. Irriguée. Quelques brunissures du bord des feuilles. Plantation de jeunes cacaoyers entre les bananes. 0 - 5 = peu humifère et sur quelques cm seulement. Racines très superficielles - 5 - 10 = beige - un peu humifère par endroit - 10 - 50 = limono-argileux - s'effrite bien - mais donne des mottes - 50 - 100 = sable fin - très nombreux petits micras - beige avec taches rouilles. Eau à 80 cm.
Examen minéralogique de la fraction fine - 32 b Métalloysite. Un peu de gibbsite. Minéraux micacés.

pF : 4,2 | 2,7 | 1,9 | 2,7-4,2
32 a | 27 | 47,6 | 59,3 | 20,6
b | 23,8 | 42,7 | 51,8 | 18,9
c | 11,7 | 25,9 | 37,4 | 14,2

QUEVEDO - VINCES Soils alluviaux des terrasses fluviales - Pluviométrie : 1,8 à 2,2 m - Altitude : < 200 m.

Profil n° 15 - Route de Quévedo à Zapotal - Zone basse plate - alluviale - Belles bananeraies et cacaoyers en bon état - grande plantation. 0 - 10 = très humifère - très nombreuses racines de bananiers et cacaoyers bien que les bananiers soient à plus de 4 mètres de distance. Limoneux - grumeleux - 10 - 40 = Beige jaune - limoneux, un peu argileux - friable. Type de sol : sol alluvial des terrasses de rivières.

Profil n° 20 - Station ANBE - IFAC. Partie F - basse - près d'un ruisseau. Développement médiocre des bananiers. Défriché il y a 2 ans seulement. 0 - 10 = humifère sur 5 cm à 10 cm seulement, parfois moins - 10 - 40 = limono sableux - jaune clair - très sec - 40 - 100 = sable fin - gris clair - cendre - sec. Echantillon de surface : mélange de 10 prélèvements. Densité apparente : 0 - 5 cm = 0,81. Type de sol : alluvial.

Profil n° 21 - Station ANBE - IFAC. Bananeraie de 5 ans - à quelques centaines de mètres de la rivière - sur défriche de 5 ans. Plat - quelques rides. 0 - 5 = humifère - souvent seulement 2 ou 3 cm sous la litière de feuilles - 5 - 20 = limono sableux - beige assez clair - encore un peu humifère - 20 - 50 = limono sableux - fin - pas savonneux - beige clair - 50 - 100 = sablo-limoneux - fin - quelques taches claires - beige gris clair. Echantillon de surface : mélange de plusieurs prélèvements. Densité apparente : 0 - 5 cm = 0,82 ; 20 cm = 0,85. Type de sol : alluvial.

Profil n° 33 - Hacienda Esperanza (Pièce Villa) - Bord de rivière - Bananeraie de 4 ans après cacaoyers - protégée des inondations autrefois fréquentes par une digue. Défrichée depuis au moins 100 ans. Bananiers en bon état - Très hauts - 2.000 pieds à l'ha - 1.100 régimes exportables de 40 kg par an avec en plus 200 régimes invendus. En augmentant le nombre de pieds à l'ha (jadis 6 x 6 m) la production globale et le poids moyen des régimes ont augmenté. Depuis trois ans seulement : 450 kg/ha d'azote - par an en trois fois (150 g d'Urée par application et par pied). 0 - 15 = moyennement humifère - limoneux - brun - 15 - 100 = limoneux - beige jaune clair - blanchi à l'air.

Profil n° 34 - Pièce Orilla - Vieilles cacaoyères de 30 ans - défrichées depuis plus de 100 ans - Production 400 kg à l'ha - souvent inondé. 0 - 15 = humifère - léger - 15 - 30 = sable fin - beige - 30 - 70 = limoneux - 70 - 90 = sablo limoneux. Type de sol : sol alluvial des terrasses de rivières.

QUEVEDO Soils bruns rouges faiblement ferrallitiques. Roche mère - matériaux volcaniques anciens et coulés (18) - Pluviométrie - 2 m (13-14) 3 m (18).

Profil n° 13 - Route de Quévedo à Zapotal - Km 42. Région vallonnée. Dans un abattis relativement plat - sommet. 0 - 20 = argile brun foncé - friable - 20 - 40 = argile brune - très compacte - agrégats luisants - 40 - 150 = argile rougeâtre, très compacte - un peu adhésive - fissurée Structure polyédrique à prismatique - agrégats anguleux luisants. Type de sol : argileux - brun rouge - ferrallitique

Profil n° 14 - Route de Quévedo à Zapotal - Km 20. Zone relativement plane. Bananeraie atteinte par la Panama - Nombreux pieds isolés. Très peu de bananiers, beaucoup sont tombés. 0 - 20 = brun foncé - chocolat - argileux mais grumeleux - 20 - 60 = brun assez foncé - mais beige clair quand sec. Très compact. Type de sol : brun rouge argileux ferrallitique

Profil n° 18 - Route de Quévedo - Quito - Un peu après le village de la Mana - Première colline - plantée en bananes - défriché de 3 ans. Forte pente - mi pente. Dans le talus de la route on voit plusieurs mètres de sol rouge, avec la zone d'altération limono-sableuse (éch. 18 f) et la roche sous jacente souvent altérée en noir-bleu (éch. 18 g). 0 - 5 = très humifère - brun noir - grumeleux - très nombreuses racines - 5 - 30 = beige orangé - limono-argileux - friable - 30 - 100 = argilo-limoneux - assez argileux - brun rougeâtre - malléable - Quelques débris de roches altérées - agrégats anguleux.
Examen minéralogique de la fraction fine aux rayons X et A.T.D. - éch. b Argile du type métalloysite - Raie à 4,45 Å° intense - Crochets importants à 540 et 920° Pas d'alumine, peu de fer cristallisé. Peu de substances amorphes ou pas. Densité apparente : 10-20 cm = 0,79. Type de sol : brun rouge ferrallitique

pF : 4,2 | 2,7 | 1,9 | 2,7-4,2
b | 19,2 | 27,7 | 40,2 | 8,5
c | 23,9 | 32,7 | 43,2 | 8,6

Echantil.	Profondeur en cm	Terre fine%	Argile %	Limon %	Sables		eau %	M.O. Cx1,72	C %	N mgr %	C/N	Bases échangeables méq. %				S	T NH4	V %	Na/S %	p205 total mgr %	p205 Truog mgr %	P Truog %	pH
					fin	gros.						Ca	Mg	K	Na								
31 a	0 - 5	100	18	15,5	40,2	17,4	4,8	4,4	2,5	305	8,2	27,3	1,5	5,6	0,17	34,6	34	100	inf.	311	68	22	7,7
b	5 - 15	100	14,8	10,3	45,3	24	4	2,8	1,6	189	8,4	28,6	<0,5	1,72	0,17	30,4	32	95	à	183	70	38	7,7
c	20 - 40	100	9,4	10,5	59,8	15,5	4,5			88		27,4	<0,5	1,17	0,17	28,2	28	100	1 %	87	26	30	7,4
d	60 - 90	100	49,8	30,2	7,9	1	7,9	0,9	0,52	126	4	34	3	1,12	0,26	38,3	39	98		110	21	19	7,5

32 a	0 - 10	100	28,1	48,9	10,4	0,25	5,5	3,8	2,2	260	8,8	21	1,2	0,52	0,08	22,8	28	80	0,4	215	12	5,5	7,1
b	10 - 30	100	32,3	48,5	11,8	0,30	4,6	1,6	0,9		15	15	<0,5	0,25	0,08	15,4	19	81	0,6	135	6,2	4,6	6,9
c	60 - 90	100	12	23,3	60,9	2,7	2,5	0,5	0,3	35	9,3	11,4	<0,5	0,05	0,21	11,7	12	95	2	93	4	4,3	6,3

Echantil.	Profondeur en cm	Terre fine%	Argile %	Limon %	Sables		eau %	M.O. Cx1,72	C %	N mgr %	C/N	Bases échangeables méq. %				S	T NH4	V %	p205 total mgr %	p205 Truog mgr %	P Truog %	pH	
					fin	gros.						Ca	Mg	K	Na								
15 a	0 - 15	100	22	40	19	0	8	10,8	6,3	581	10,8	30,2	4,6	1,5	0,7	37	46	77		313	25	8	6,8
b	30 - 40	100	21,1	47,8	20	0,6	8,6	2,9	1,7	215	7,9	19,3	0,5	1,2	0,09	21	24	87		245	2	0,8	6,6
20 a	0 - 10	100	27	39	20	0,8	5	9	5,2	483	10,8	16,6	4,8	0,9	0,3	22,6	39,7	57		246	11,2		6
b	20 - 30	100	12,6	44,7	30,5	3,8	6	1,9	1	125	8	12	1	0,48	0,09	12,6	22	57		142	3,8		5,9
c	50 - 80	100	2,5	5,1	60,9	20,6	1,5	0,9	0,53	49	-	6	<0,5	0,21	0,09	6,3	8	78		84	6,6		6,2
21 a	0 - 10	100	26	43	17	0,2	5	9,7	5,64	504	11,2	21	5,6	3	0,4	30,1	39,2	76		315			6,7
b	10 - 20	100	16	50	26	0	4,5	3,6	2,1	221	9,4	12,1	3,4	1,3	0,3	17,1	29,3	48		97	11		6,5
c	20 - 50	100	14	43	39	0,3	4,6	1,7	1	115	8,9												6,3
d	60 - 90	100	10,5	27,3	56,7	0,5	4,7	0,7	0,4	63	6,5	11,9	1	0,24	0,26	12,3	19	65		97	2,8		6,3

33 a	0 - 15	100	25,6	40,6	20,6	0,6	6,3	3,8	2,2	298	7,4	18	<0,5	0,65	0,13	18,8	28	67		271	14,2	5,2	5,2
33 b	20 - 50	100	13,4	37,0	42,5	0,3	4,9	1	0,6	105	5,7	12,9	<0,5	0,16	0,21	13,3	20	67		107	6,4	4	6
34 a	0 - 15	100	15,3	26	46	2,8	4,3	3,4	1,94	210	9,2	16,6	<0,5	1,01	0,09	17,7	24	74		205	11,2	5,4	6,5

13 a	0 - 20	100	30,2	20,3	35,7	3,3	6	3,6	2	259	7,7	14,1	<0,5	1,4	0,09	15,6	24	65		262	7	2,7	6
b	70	100						0,8	0,5	60	8,3	8,7	<0,5	1,63	0,3	10,6	21	50		77	0,8	0,1	6,1

14 a	0 - 20	100	41	19	25	2,7	6	6	3,8	354	10,9	13,0	4,6	1,6	0,3	19,5	24			207	5	2,5	6,7
b	30 - 50	100	44,5	17,9	25,5	1,6	6,2	0,9	0,9	161	5,6		épuisé			17				80	2,2	3	6,1

18 a	0 - 10		24	15	43	7	5	6	3,5	345	10,1	11,4	2,4	0,6	0,32	14,5	25	58		135	3,1	2,3	6,1
b	10 - 30		23,5	15,7	41,2	11,1	4,6	3	1,8	228	7,8	8,8	<0,5	0,56	0,13	9,5	16	59		106	<0,5		6
c	30 - 60		33,9	18,6	31,6	6,6	7,1	2,2	1,3	179	7,3	6,6	<0,5	0,35	0,09	7	19	37		106	<0,5		5,9
d	60 - 90		38,7	20,5	26,2	6,7	5,8	1,5	0,9	84	10,4	6,9	<0,5	0,50	0,43	7,8	18	43		56	<0,5		5,9

mais moins nettes. Les teneurs en P total sont dans l'ensemble élevées en surface, supérieures à 1,5 ‰ de P_2O_5 , mais les teneurs en P_2O_5 aisément solubles (réactif Truog) sont souvent faibles, ou nulles en surface et presque toujours très faibles en profondeur.

Il semble que ce soit dans les zones les plus humides, c'est-à-dire autour de Santo Domingo et sur les contreforts des Andes, que ces valeurs de P_2O_5 total (1,5 ‰) et Truog (0) soient les plus faibles. Vers Quinindé et près de Quévédó les chiffres sont plus élevés, les teneurs en P_2O_5 total dépassent souvent 2,5 ‰. On peut penser à un appauvrissement par lessivage.

Ces teneurs en P_2O_5 Truog n'ont qu'une valeur très relative. Une teneur quasi nulle dans le profil ne signifie pas du tout que la plante ne puisse pas s'alimenter en phosphore alors que pour la potasse échangeable cela serait l'indice sérieux d'une déficience. Le phosphore est en effet souvent lié au fer et à l'alumine dans des complexes peu solubles (insolubles dans le réactif Truog), mais les quantités solubilisables au cours du temps peuvent cependant être suffisantes pour la croissance de la plante. L'examen aux rayons X ne semble pas indiquer que du fer et de l'alumine existent en quantité notable sous formes cristallisées, mais il n'est pas impossible qu'ils soient présents dans les substances amorphes. Des études plus complètes devraient nous renseigner sur ce point. Par comparaison avec les sols analogues des Antilles, nous pensons plutôt (cela sera aisé à vérifier) que l'absence de P_2O_5 Truog dans les sols résulte plutôt d'un lessivage que d'un phénomène de fixation énergétique et que le phosphore apporté par des engrais restera en grande partie sous des formes aisément assimilables. En Martinique et en Guadeloupe, dans des sols analogues, riches en substances amorphes, il n'y a vraiment que ceux qui présentent des raies caractéristiques et nettes de fer et d'alumine libre aux rayons X qui fixent énergiquement le phosphore.

Il n'est pas exclu non plus que les teneurs importantes trouvées à la plantation Astral (n° 10) soient dues à des apports d'engrais.

Notons enfin que la *densité apparente* du sol en place est souvent plus faible que de coutume, voisine de 0,8 (de 10 à 20 cm de profondeur).

En profondeur, les horizons riches en substances amorphes encore hydratées peuvent avoir des densités apparentes beaucoup plus faibles encore. Celle de l'échantillon n° 6 est très faible, voisine de 0,45. Ceci signifie que pour une même teneur en phosphore ou potasse exprimée en pour cent de terre sèche, l'échantillon 6 renferme à volume égal de sol en place moitié moins de ces éléments que s'il s'agissait d'un sol classique de densité voisine de 1.

CONCLUSION

Il s'agit de sols fertiles possédant d'excellentes propriétés physiques : (structure et capacité en eau).

Dans les régions très arrosées (Santo Domingo = pluviométrie annuelle voisine ou supérieure à 3 m) une fumure potassique sera probablement nécessaire quelques années après le défrichement. Il est même possible que dans certaines plantations le besoin en potasse se fasse déjà actuellement sentir.

Les apports fractionnés, par exemple deux fois par an, seront alors recommandables, des études effectuées aux Antilles sur des sols analogues ayant montré que le lessivage d'importantes quantités de potasse pouvait être très rapide.

Il est plus difficile de se prononcer pour le phosphore, mais des essais simples pourraient nous renseigner rapidement sur l'intensité des phénomènes d'insolubilisation dans le sol. Ces essais consisteraient à suivre l'évolution du phosphore en différents endroits après apports d'engrais phosphatés facilement solubles.

Une prospection plus détaillée permettrait de compléter ces observations et de renforcer ou de minimiser l'importance de certaines de nos conclusions. La grande analogie de ces sols et de ceux des Antilles où l'I. F. A. C. dispose de nombreux essais pour l'étude de l'évolution des éléments dans le sol, en particulier de l'azote, en même temps que la réaction de la plante et son rythme d'absorption, etc., permettra d'extrapoler aisément ces résultats.

Toutefois la présence de Gros Michel en Équateur et d'autres variétés aux Antilles (Poyo, Grande Naine) nécessitera des études complémentaires qu'il serait utile d'entreprendre avec ces méthodes déjà éprouvées