

Étude de quelques sols dérivés de calcaires durs des environs de Baracoa et Punta de Maisi (Cuba oriental)

Pierre SEGALEN (1), Annie BOULEAU (2), Paul QUANTIN (2), Dalmacio BOSCH (3), Eloy CAMACHO (3),
Oswaldo ASCANIO (3), Nelson CASTRO (3)

(1) Anciennement pédologue de l'O.R.S.T.O.M., actuellement 25, rue de la Mairie, Saint-Martin des Champs, 29210 Morlaix (France)

(2) Laboratoires O.R.S.T.O.M., 74, route d'Aulnay, 93140 Bondy (France)

(3) Institut des Sols de l'Académie des Sciences, Apartado 8022, Capdevilla, Habana (Cuba)

RÉSUMÉ

Un certain nombre de sols rouges, diversement développés sur des calcaires durs miocènes, ont été examinés près de Baracoa et de Punta de Maisi à l'extrémité orientale de Cuba. Les teneurs en argile sont élevées ; le pH est proche de la neutralité ; le degré de saturation supérieur à 80 % et le calcium le cation échangeable dominant. Les constituants essentiels sont la métahalloysite, l'hématite et la goéthite. La boehmite est particulièrement abondante dans certains sols proches de Punta de Maisi ; son origine pose un problème. Certains sols peuvent être classés dans les sols ferrallitiques typiques rouges, assez semblables à ceux des parties occidentale et centrale de Cuba. D'autres, très riches en sesquioxides peuvent être classés parmi les oxydisols. Beaucoup de ces sols sont cultivés intensément en cacaoyer et surtout en caféier.

MOTS CLÉS : Cuba oriental — Boehmite — Sols ferrallitiques typiques rouges — Oxydisols.

SUMMARY

A number of variously developed above hard miocene limestones red soils have been examined near Baracoa and Punta de Maisi at the eastern end of Cuba. Clay content is high ; pH is near neutrality, saturation degree higher than 80 % and calcium the dominating exchangeable cation. Main mineral constituents are metahalloysite, hematite and goethite. The boehmite is especially abundant near Punta de Maisi, the origin of which sets a problem. Some of the soils may be classified as « red typical ferrallitic soils », counterpart of those of western and central Cuba. Others, sesquioxide-rich, may be classified as « oxydisols ». Most of these are grown to cocoa and coffee trees.

KEY WORDS : Eastern Cuba — Boehmite — Red typical ferrallitic soils — Oxydisols.

RESUMEN

En la parte mas oriental de Cuba, en las proximidades de Baracoa y la Punta de Maisi, fueron estudiados algunos suelos ; estos sobreponen calizas duras del Mioceno. El contenido en arcilla es alto ; el pH es próximo a la neutralidad, el grado de saturacion es superior a los 80 %, siendo el calcio el catión cambiante que domina. Los constituyentes minerales esenciales son metahalloysita, hematita y goethita. La boehmita esta particularmente abundante en algunos suelos próximos a La Punta de Maisi. Estos suelos presentan el problema del origen de la boehmita. Una parte de los suelos pueden ser clasificados como suelos ferralíticos rojos típicos, siendo muy parecidos a los de la parte occidental y central de Cuba. Otros muy ricos en sesquioxidos pueden ser clasificados como oxidisols. Algunos suelos estan cultivados intensivamente en cacao y café.

TERMINOS CLAVES : Cuba oriental — Boehmita — Suelos ferralíticos rojos típicos — Oxidisols.

INTRODUCTION

Des profils de sols rouges, associés à des roches calcaires dures du Miocène, ont été observés à l'extrémité orientale de l'île principale de Cuba (fig. 1). Deux régions ont été examinées, l'une près de Baracoa, à proximité de la rivière Toa, l'autre près de Punta de Maisi en bordure du « Passage du vent » séparant Cuba de Haïti (1).

Ces sols n'ont pas fait, jusqu'à présent, l'objet de travaux très poussés. Ils ont été cartographiés par les pédologues cubains de l'Institut des Sols (2) sous le nom de « latosolicos típicos », et classés ultérieurement (3) comme « sols ferrallitiques rouges typiques ». Les profils examinés et échantillonnés ont été comparés à ceux des sols analogues des plaines karstiques du centre et de l'ouest de Cuba (Bosch *et al.*, 1982 a, b), ainsi qu'à des sols rouges dérivés de calcaire étudiés par COLMET-DAAGE *et al.* (1969) en Haïti. On a constaté, dans les deux secteurs étudiés, l'abondance de la *boehmite*, seul hydroxyde d'aluminium présent. Des variations des caractéristiques des sols en fonction de la topographie et des conditions climatiques ont été examinées près de Punta de Maisi.

2. CARACTÉRISTIQUES DE LA ZONE ÉTUDIÉE

Les deux secteurs étudiés sont situés à l'extrémité est de Cuba par environ 74° Long. Ouest et 20° Lat. Nord, proches des Bahamas, au nord, d'Haïti à l'est (presqu'île de Gonaïves) et de la Jamaïque au sud-ouest (fig. 1).

2.1. Géologie et Géomorphologie

L'ensemble de la zone est caractérisé par la présence de plusieurs types de roches (fig. 2) dont les plus significatives sont les suivantes.

Des *péridotites* diversement serpentinisées occupent un très large espace dans cette partie de Cuba, puisqu'elles s'étendent depuis La Maquina (4) vers Moa, Mayari et la baie de Nipe. A ces roches ultrabasiqes, sont associées des *roches métamorphiques* qui affleurent également près de La Maquina et de Baracoa.

Le long de la mer, s'étendent sur une dizaine de kilomètres depuis le rivage, des *roches calcaires dures*. Les sols étudiés dérivent de ces roches. L'ensemble de la région étudiée apparaît constituer un vaste

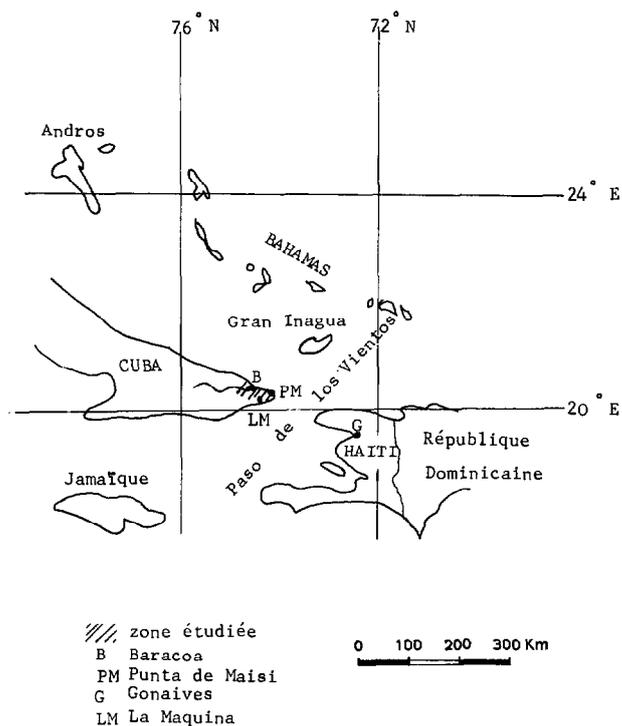


Fig. 1. — Croquis de situation

bloc soulevé et faillé à une date assez récente, à mettre en relation avec les mouvements tectoniques qui ont affecté l'Orient au Pliocène et au Quaternaire (Bosch *et al.*, 1982 a). L'altitude moyenne des crêtes est de l'ordre de 500 à 600 mètres. Les vallées sont très encaissées en forme de V très resserré. Il existe sur les *péridotites* quelques témoins calcaires basculés vers le nord-est. Près de Punta de Maisi, en direction de La Maquina, le relief calcaire se présente sous la forme d'un certain nombre de plate-formes, dont les plus anciennes sont les plus élevées, entre le niveau de la mer et l'altitude 450 mètres et séparées par des dénivelées de quelques dizaines de mètres. Les observations et prélèvements ont été effectués sur ces plate-formes successives depuis Punta de Maisi jusqu'à La Maquina aux cotes 30, 70, 200 et 380 mètres (S4 à S7). Un autre profil (S13) a été examiné près de Baracoa, à proximité de l'embouchure du Rio Toa (fig. 2).

A ces caractéristiques, il faut ajouter que la région de Punta de Maisi à La Maquina est totalement

(1) A cet endroit la largeur du « PASO DE LOS VIENTOS » est d'environ 77 km.

(2) Instituto de Suelos, 1973.

(3) Instituto de Suelos, 1979.

(4) La Maquina, ou Gran Tierra, village important sur le plateau calcaire à 400 m d'altitude, et centre de la production caféière.

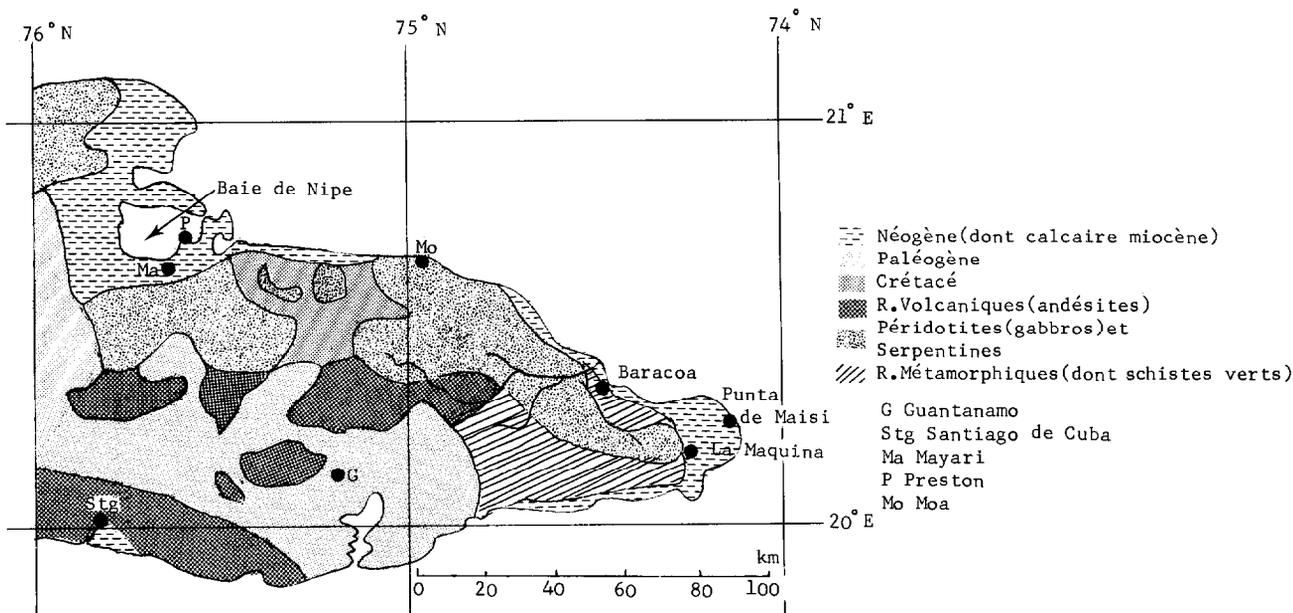


Fig. 2. — Croquis géologique de l'est de Cuba. (GUAGNA *et al.*, 1976, très simplifié, Atlas Nacional de Cuba, 1970)

TABLEAU A
Données climatiques de quelques stations de l'Orient proches de la zone étudiée

| T en ° C | Janv. | Fév. | Mars | Avril | Mai | Juin | Juil. | Août | Sept. | Oct. | Nov. | Déc. | Ann. | $\Delta^{(2)}$ |
|-------------------|-------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|----------------|
| PUNTA DE MAISI | 24,3 | 24,3 | 25,3 | 26,1 | 26,9 | 27,8 | 28,5 | 28,7 | 28,1 | 27,4 | 26,3 | 25,0 | 26,4 | 4,0 |
| GUANTANAMO | 23,6 | 23,6 | 24,5 | 25,6 | 26,9 | 27,5 | 28,1 | 28,1 | 27,8 | 27,1 | 25,6 | 24,0 | 26,0 | 4,3 |
| PINARES DE MAYARI | 19,3 | 19,4 | 20,3 | 21,5 | 22,3 | 23,1 | 23,8 | 23,6 | 22,9 | 22,6 | 20,9 | 19,5 | 21,7 | 4,2 |
| BARACOA (1) | 24,8 | 23,0 | 23,9 | 25,3 | 26,4 | 27,3 | 27,3 | 27,9 | 27,7 | 26,8 | 25,1 | 24,0 | 25,9 | 3,7 |
| P en mm | | | | | | | | | | | | | | |
| PUNTA DE MAISI | 57,8 | 34,0 | 36,2 | 36,3 | 86,6 | 48,0 | 21,9 | 39,1 | 61,9 | 180,1 | 125,4 | 74,7 | 802,0 | |
| GUANTANAMO | 32,7 | 31,8 | 44,3 | 34,9 | 131,2 | 48,3 | 50,5 | 62,5 | 93,8 | 126,5 | 58,5 | 42,1 | 757,5 | |
| PINARES DE MAYARI | 71,1 | 51,2 | 58,8 | 57,5 | 250,4 | 192,9 | 131,9 | 200,0 | 246,8 | 216,1 | 81,3 | 31,0 | 158,9 | 1967-73 |
| BARACOA (1) | 307 | 197 | 193 | 190 | 372 | 212 | 259 | 270 | 234 | 449 | 467 | 500 | 3650 | 1967-77 |

(1) Station à 10 km de la ville, à proximité du Rio Toa.

(2) Δ = différence entre les trois mois les plus chauds et les trois mois les plus frais.

dépourvue de cours d'eau permanents qui ne réapparaissent que dans la région à péridotites et à roches métamorphiques. Par contre, le Rio Toa dont la plus grande partie du bassin versant est également situé sur ces mêmes roches, a un écoulement permanent.

2.2. Climat

L'extrémité orientale de Cuba se présente sous la forme d'une ligne de hauteurs (de 400 à 1200 mètres) qui se dressent sur le passage des vents alizés venant du nord-est (fig. 3). Il en résulte en gros trois zones de précipitations très différentes : a) La zone côtière nord, au vent, depuis Baracoa jusqu'à la baie de

Nipe est modérément arrosée avec des précipitations variant de 1 000 à 1 800 mm par an. b) La zone centrale, d'altitude plus élevée, reçoit suivant les endroits 1 600 à 3 400 mm par an. c) La zone côtière sud, sous le vent, depuis Punta de Maisi, jusqu'à la baie de Guantanamo et au-delà, reçoit des précipitations assez faibles (pour Cuba) de 800 à 600 mm. Une carte de isohyètes inspirée de GAGUA *et al.*, 1976, matérialise la répartition des précipitations (fig. 3). Cependant, les données climatiques précises sont peu abondantes et celles des stations données par le tableau A sont parmi les plus représentatives du secteur étudié.

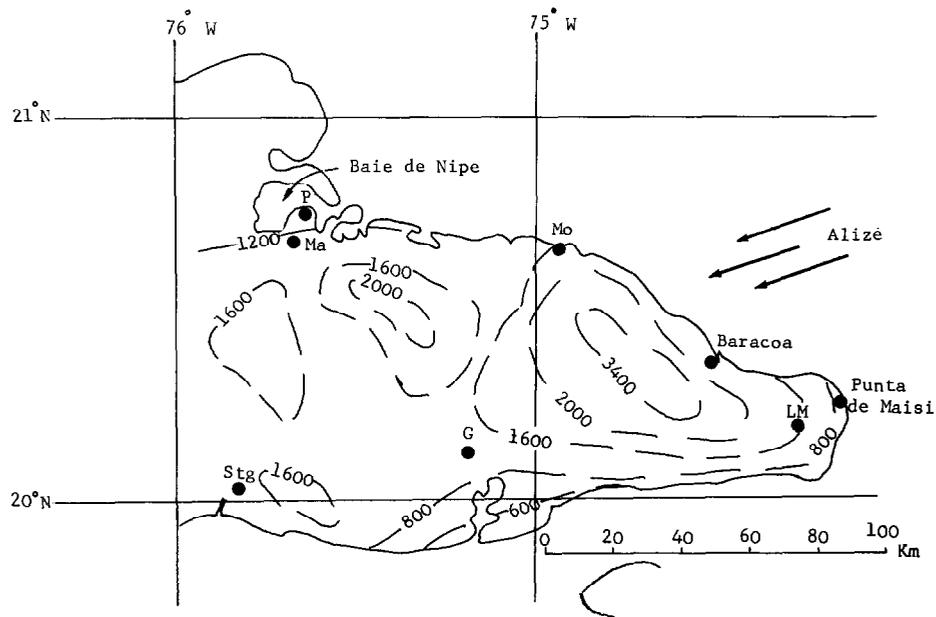


Fig. 3. — Carte des isohyètes de l'extrémité orientale de Cuba (en mm). (GUAGNA *et al.*, 1976, très simplifié)
G Guantnamo. Stg Santiago de Cuba. Ma Mayari. P Preston. LM La Maquina. Mo Moa

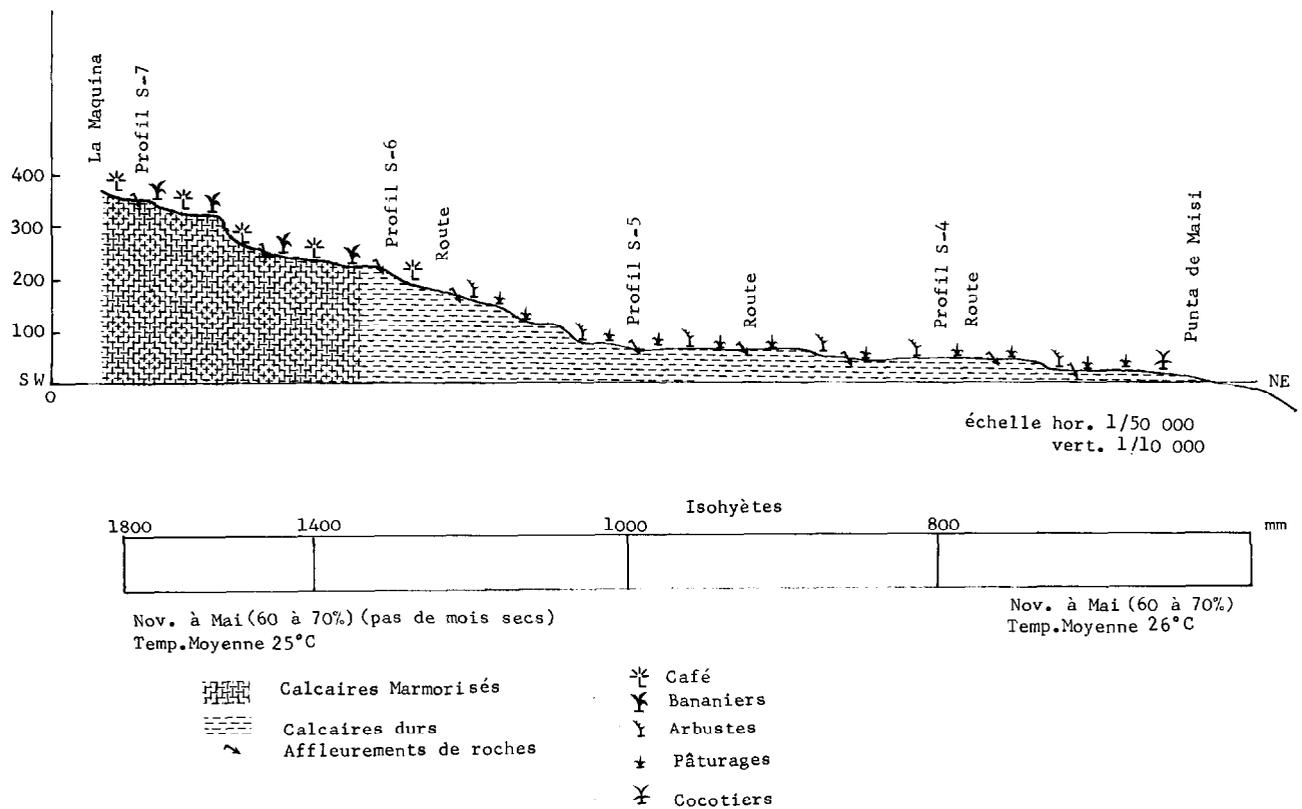


Fig. 4. — Toposéquence : Maisi-La Maquina

Les températures les plus élevées sont celles des stations côtières, avec une différence entre les trois mois les plus chauds et les trois mois les moins chauds de l'ordre de 4,0 °C (3,7° à 4,3 °C). Tandis qu'en altitude, la température moyenne est inférieure de 4 °C, avec une variation annuelle de la même grandeur (4,2 °C).

A partir des données précédentes, on peut essayer de cerner le climat des deux zones étudiées.

a) Près de Baracoa, on peut estimer une température moyenne de l'ordre de 26 °C, avec un maximum de plus de 27 °C en Août-Septembre et un minimum de 23 ° en Février, une pluviométrie de l'ordre de 2 mètres, sans saison sèche, et avec les deux maxima habituels à Cuba. C'est un véritable climat équatorial.

b) Entre Punta de Maisi et La Maquina, la température décroît graduellement de 26,4 °C (avec maximum supérieur à 28 °C de Juillet à Septembre) à 25 °C environ. Par contre, les précipitations de l'ordre de 800 mm près de la mer, augmentent avec l'altitude à environ 1 600 mm, avec les deux maxima de Mai-Juin et Octobre-Novembre. On passe donc d'un climat tropical à longue saison sèche à un climat tropical à courte saison sèche. Ceci est d'ailleurs vérifié par l'observation de la végétation naturelle et des cultures.

2.3. La végétation présente des types physiologiques très variés en liaison étroite avec les précipitations (fig. 4)

Près de Baracoa, la végétation primaire est fortement dégradée. D'après les quelques restes observables, il devait s'agir d'une forêt dense ombrophile avec des arbres de grande taille avec épiphytes et fougères. Cette végétation a été partiellement supprimée pour faire place à des cultures vivrières et des plantations de cacaoyer.

Près de Punta de Maisi, la végétation est riche en espèces xérophiles avec des plantes succulentes comme la cardona (*Lemairocerus hypotrix*) ainsi que l'arabillo (*Erythroxylon brevipes*). A mesure que l'on se rapproche de La Maquina, les espèces précédentes disparaissent complètement et l'on observe des restes de forêt semi-caducifoliée analogue à celle que l'on observe dans bien d'autres provinces. A La Maquina, la quasi totalité du territoire est plantée en caféier sous ombrage de bucare (*Erythrina umbrosa*) ou de pinon (*Erythrina poeppigiana*).

2.4. Le temps nécessaire pour l'élaboration de ces sols n'est pas connu avec certitude. On sait cependant que l'émersion des calcaires miocènes s'est produite au Pliocène et qu'au Quaternaire deux types d'événements se sont produits : un soulèvement général

de l'Orient cubain et la formation de plateaux comme celui de *Pinares de Mayari* ainsi que des variations importantes du niveau des mers dues aux successions de glaciations qui affectaient les latitudes élevées et moyennes des deux hémisphères. On pense généralement que lors des glaciations les baisses de températures ont été modérées et que les précipitations ont été sérieusement réduites, avec accélération de l'érosion linéaire des rivières ; lors des interglaciaires, les températures remontaient, ainsi que les précipitations avec cependant réduction de l'érosion. L'altération a donc dû se poursuivre avec des à-coups (accélération et réductions successives) pendant le Quaternaire.

3. MATÉRIEL ET MÉTHODES D'ÉTUDE

3.1. Profils examinés

Une succession de profils a été étudiée depuis Punta de Maisi jusqu'à La Maquina, sur les différentes plate-formes de roche calcaire. Aucun prélèvement n'a été effectué au niveau de la mer en raison des nombreuses pollutions par le sable soufflé à partir des plages (fig. 4).

PROFIL S4

Plateforme à 30 mètres d'altitude.

Végétation arbustive de type xérophytique ; précipitations proches de 800 mm.

Nombreux affleurements de calcaire dur ; le profil a été observé en creusant entre deux masses calcaires.

0-40 cm Rouge foncé 10 R 3/4 (sec) ; argileux, pas de revêtements ; polyédrique émoussé, bien développé en surface, moyen plus en profondeur ; très friable ; pas d'effervescence à l'acide.

40 à 50 cm Passage assez brutal à la roche-mère calcaire.

Prélèvements 0-15 cm et 15-25 cm.

PROFIL S5

Plateforme à 70 m d'altitude.

Végétation semblable à la précédente.

Calcaire beaucoup plus abondant que dans profil précédent. Poches de sol encore plus réduites.

Sol prélevé entre les cailloux, à une profondeur de 20 cm.

Mêmes caractéristiques de couleur, de texture, structure et friabilité que dans le sol S4.

Prélèvements de 0 à 20 cm.

Vers l'altitude 180 m, on note des changements notables de la végétation, et la disparition des cardonas ; peu à peu, les caféiers apparaissent, les sols s'approfondissent.

PROFIL S6

Près d'un ancien temple baptiste ; altitude 200 m.

Végétation : culture de caféiers sous ombrage.



Photo 1. — Végétation xérophytique à Cardona, près de Punta de Maisi

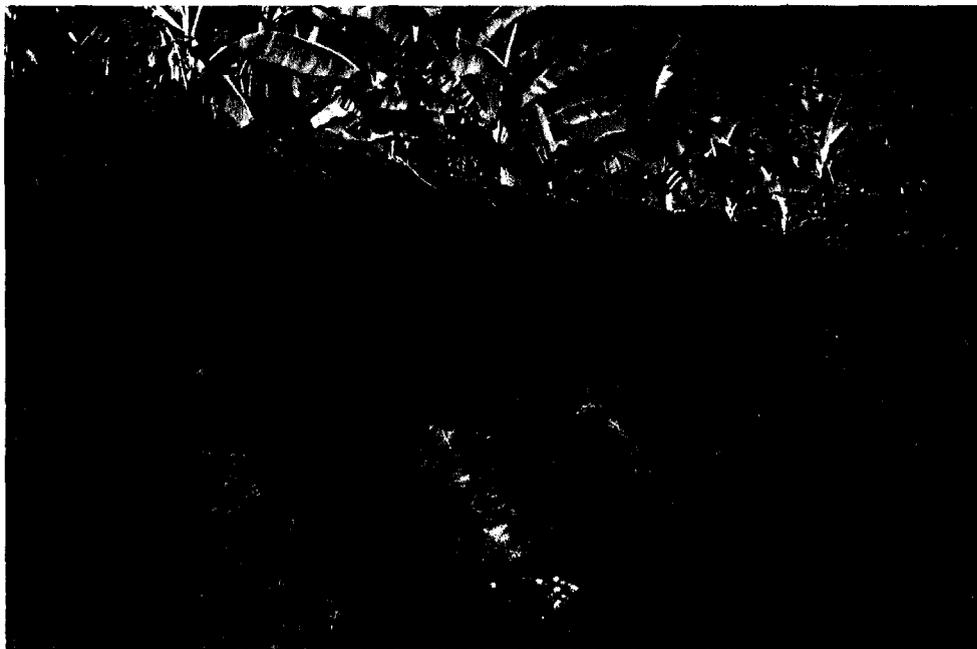


Photo 2. — Coupe de Cayoguin par Baracoa S13

Le calcaire apparaît très souvent, mais les plages de sol sont très nombreuses et plus grandes.

- 0-7 cm Rouge foncé 10 R 2/4 ; argileux ; structure grumeleuse fine ; quelques racines ; friable ; pas de concrétions ; pas d'effervescence à l'acide, mais quelques graviers de calcaire ; transition graduelle.
- 7-33 cm Rouge foncé 10 R 3/4 ; argileux, pas de concrétions ; pas d'effervescence à l'acide ; quelques graviers de calcaire ; structure polyédrique fine, friable ; peu de racines ; transition graduelle ;
- 33-80 cm Rouge foncé 10 R 3/4 ; argileux ; polyédrique moyen, assez bien développé ; quelques « clay-balls » tendres faciles à écraser entre les doigts quelques agrégats à faces brillantes ; transition brusque ;
- 80 cm et + Roche calcaire dure, avec des trous.

Prélèvements 0-15 cm et 40-70 cm.

PROFIL S7

Près de l'école secondaire de La Maquina ; altitude 340 mètres, précipitations estimées à 1 800 mm.

Le profil est très semblable au précédent en ce qui concerne la profondeur (70 cm), la couleur, la texture, la friabilité. On distingue toutefois en surface deux phases structurales : l'une est polyédrique, subanguleuse, moyennement développée ; l'autre est grumeleuse très fine.

Prélèvements 0-15 cm et 40-70 cm.

A titre de comparaison avec ces profils, un autre a été examiné, à la faveur de travaux routiers près de Baracoa.

PROFIL S13

Localisation : près du village de Cayogüin, sur la route de Baracoa à Moa.

Altitude : 10 mètres environ.

Topographie : plane, sommet d'une petite colline

Roche-mère : calcaire dur du Miocène

Climat : équatorial ; précipitation annuelle entre 2 000 et 3 000 mm ; température moyenne annuelle 25,9 °C ; amplitude annuelle 3,7 °C

Végétation : potentielle : forêt dense ombrophile actuelle cultures variées (cacaoyers, bananiers), près d'un village.

Description :

- 0-20 cm Rouge foncé, 10 R 3/4 (sec) ; argileux ; pas d'effervescence à l'acide ; polyédrique subangulaire, moyen à fin, faiblement développé ; friable ; quelques racines ; transition graduelle ;
- 20-120 cm Rouge 10 R 3/6 (sec) ; argileux, pas de revêtement argileux ; pas de concrétions ; pas d'effervescence à l'acide ; quelques résidus calcaires (cailloux) ;

polyédrique subangulaire moyen à grossier, moyennement structuré ; friable ; peu de racines ; transition graduelle ;

120-180 cm Semblable au précédent, mais limite ondulante entre sol et roche calcaire ; transition brutale ; altération pelliculaire ;

180 cm Calcaire de dureté moyenne, nombreux trous remplis de sol argileux rouge.

Prélèvements 0-20 cm, 60-70 cm, 160-180 cm, 200 cm, (très près de la roche).

3.2. Méthodes d'analyses

Les échantillons prélevés ont été amenés au laboratoire de l'Institut des Sols. Les méthodes analytiques sont celles déjà présentées par BOSCH *et al.* (1982), à l'exception du fer « libre » extrait par la méthode DE ENDREDDY (1963), dont le dosage du fer est effectué dans la solution oxalique par absorption atomique. La diffraction des rayons X a été effectuée par R. SCULL à l'aide d'un appareil Sigma 2060 au laboratoire de l'Institut des Sols de l'Académie des Sciences (fig. 5 et 6).

Par contre, les analyses par attaque triacide ont été effectuées aux laboratoires des Services Scientifiques Centraux de l'O.R.S.T.O.M. à Bondy par M^{me} H. GUENIN. Les calculs permettant l'estimation approximative de la constitution minéralogique de la fraction inférieure à 2 μ d'un certain nombre de sols (tabl. H) ont été effectués de la manière suivante : toute la silice combinée a été affectée à une argile de type kaolinite % = $\text{SiO}_2 \text{ \%} \times 2,15$. La quantité d'alumine correspondant à de la kaolinite est $\text{Al}_2\text{O}_3 \text{ \%} = \text{K \%} \times 0,395$. La différence entre l'alumine totale et l'alumine combinée a été attribuée à de la boehmite (en l'absence de gibbsite), boehmite % = $(\text{Al}_2\text{O}_3 \text{ T} - \text{Al}_2\text{O}_3 \text{ comb.}) \times 1,176$.

Les oxydes de fer ont été attribués à de la goethite ou à de l'hématite, suivant la quantité d'eau disponible. Les résultats obtenus sont assez satisfaisants sauf pour S4, sans doute en raison du fait que la métahalloysite n'est pas dominante.

L'estimation des oxydes anhydres d'aluminium de fer et titane du tableau I a été effectuée de la même manière en ce qui concerne l'alumine.

Les minéraux des résidus de dissolution des roches calcaires ont été identifiés, par diffraction des rayons X, par M^{me} G. MILLOT aux laboratoires des Services Scientifiques Centraux à Bondy (tabl. J).

4. RÉSULTATS OBTENUS ET COMMENTAIRES

4.1. La morphologie

A l'exception des profils S4 et S5, peu à très développés, les autres profils examinés présentent

TABLEAU B

Analyse mécanique des sols dérivés de calcaire

| Profil | Profondeur en cm | Perte à l'acide chlorhydrique % | SC % | SF % | LG % | Lf % | A % |
|--------|------------------|---------------------------------|------|-------|------|-------|-------|
| S - 4 | 0 - 15 | 5,3 | 3,41 | 7,23 | 5,67 | 12,80 | 65,67 |
| | 15 - 25 | 7,9 | 2,52 | 6,33 | 4,52 | 10,26 | 68,92 |
| S - 5 | 0 - 20 | 6,16 | 4,11 | 7,22 | 4,00 | 10,71 | 67,80 |
| S - 6 | 0 - 15 | 7,05 | 2,94 | 5,28 | 6,11 | 12,50 | 66,12 |
| | 40 - 70 | 8,03 | 3,90 | 5,67 | 4,30 | 8,94 | 70,16 |
| S - 7 | 0 - 15 | 5,18 | 3,18 | 7,69 | 2,78 | 13,45 | 67,72 |
| | 40 - 70 | 3,56 | 2,66 | 9,60 | 3,74 | 8,05 | 71,49 |
| S - 13 | 0 - 20 | 3,30 | 0,72 | 13,74 | 1,88 | 10,32 | 70,04 |
| | 60 - 70 | 2,95 | 0,91 | 9,30 | 1,55 | 9,80 | 74,49 |
| | 160 - 180 | 2,45 | 0,69 | 11,49 | 2,17 | 7,60 | 75,60 |

TABLEAU C

Caractéristiques hydriques de quelques échantillons de sols

| Profils | Profondeur en cm | Teneur en eau % | | Eau utile % |
|---------|------------------|------------------------|---------------------------|-------------|
| | | à la Capacité au champ | au point de Flétrissement | |
| S - 4 | 0 - 15 | 22,91 | 20,49 | 2,42 |
| | 15 - 25 | 25,09 | 22,36 | 2,73 |
| S - 7 | 40 - 70 | 24,06 | 22,21 | 1,85 |
| S - 13 | 0 - 20 | 28,25 | 20,52 | 7,73 |
| | 200 + | 30,74 | 21,55 | 9,19 |

des analogies avec les profils de sols rouges dérivés de calcaire du Centre et de l'Ouest du pays, en ce qui concerne la texture, la structure, la friabilité. Seule, la couleur est un peu plus rouge (planche 10 R au lieu de 2,5 YR ou 5 YR (1)). Aucun des profils examinés ne contient de concrétions, alors qu'elles sont très fréquentes à l'Ouest et au Centre.

4.2. Les Propriétés Physiques

Les résultats fournis par l'analyse mécanique montrent pour l'ensemble des échantillons examinés une très bonne similitude (tabl. B). Les teneurs en sables totaux varient de 8 à 12 % avec une prédominance des sables fins sur les sables grossiers ; les teneurs en limons totaux varient entre 11 et 18 % avec une prédominance des limons fins sur les grossiers. Les

teneurs en argile sont comprises, pour tous les échantillons, entre 65 et 76 %. Dans chaque profil, on observe une légère augmentation de la teneur en argile de la surface vers la profondeur, mais elle peut être attribuée à la présence d'une matière organique assez abondante. Pour aucun des sols étudiés, on ne peut parler de lessivage. D'ailleurs, aucun revêtement n'a été observé sur le terrain.

Les caractéristiques hydriques n'ont été mesurées que sur un petit nombre d'échantillons de la série S4 à S7 (tabl. C). La teneur en eau à la capacité au champ varie de 23 à 25 % ; celle au point de flétrissement est proche, de sorte que la teneur en eau « utile » est faible, de l'ordre de 2 %, ce qui apparaît exceptionnellement bas. Par contre, les échantillons du profil S13 présentent une eau utile bien supérieure,

(1) MUNSELL COLOR CHARTS.

TABLEAU D
pH, matière organique et azote

| Profils | Prof. en cm | pH | | Δ pH | Mat.Org. % | C % | N % | C/N |
|---------|-------------|------------------|------|-------------|------------|------|-------|------|
| | | H ₂ O | K Cl | | | | | |
| S - 4 | 0 - 15 | 6,60 | 6,00 | - 0,60 | 6,21 | 3,60 | 0,373 | 9,65 |
| | 15 - 25 | 6,80 | 6,10 | - 0,70 | 4,06 | 2,36 | 0,294 | 8,03 |
| S - 5 | 0 - 20 | 7,60 | 6,70 | - 0,90 | 9,29 | 5,39 | 0,562 | 9,59 |
| S - 6 | 0 - 15 | 7,20 | 6,50 | - 0,70 | 5,58 | 3,24 | 0,416 | 7,79 |
| | 40 - 70 | 7,10 | 6,10 | - 1,00 | 1,60 | 0,93 | 0,096 | 9,69 |
| S - 7 | 0 - 15 | 6,90 | 6,70 | - 0,20 | 7,64 | 4,43 | 0,498 | 8,90 |
| | 40 - 70 | 6,30 | 6,30 | 0 | 1,31 | 0,76 | 0,105 | 7,24 |
| S - 13 | 0 - 20 | 7,00 | 6,20 | - 0,80 | 3,65 | 2,12 | 0,274 | 7,74 |
| | 60 - 70 | 6,80 | 5,90 | - 0,90 | 1,10 | 0,64 | 0,114 | 5,61 |
| | 160 - 180 | 6,60 | 5,80 | - 0,80 | - | - | - | - |
| | 200 + | 7,10 | 6,30 | - 0,80 | - | - | - | - |

TABLEAU E
Cations échangeables, complexe absorbant, éléments assimilables.

| Profils | Profondeur en cm | Cations échangeables (m \acute{e} / 100 g) | | | | s m \acute{e} /100 g | CEC m \acute{e} /100 g | v % | Eléments assimilables (PPM) | |
|---------|------------------|--|------------------|-----------------|----------------|---------------------------|-----------------------------|--------|-------------------------------|------------------|
| | | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ | Na ⁺ | K ⁺ | | | | P ₂ O ₅ | K ₂ O |
| | | | | | | | | | | |
| S-4 | 0-15 | 15,60 | 2,00 | 0,21 | 1,13 | 18,94 | 20,25 | 93,5 | Tr | 303 |
| | 15-25 | 11,75 | 1,75 | 0,38 | 0,42 | 14,30 | 19,50 | 73,3 | Tr | 258 |
| S-5 | 0-20 | 25,50 | 1,50 | 0,16 | 0,71 | 27,87 | 27,50 | sat. | Tr | 458 |
| S-6 | 0-15 | 15,50 | 2,00 | 0,12 | 0,48 | 18,10 | 20,75 | 87,2 | 5,0 | 252 |
| | 40-70 | 7,50 | 3,25 | 0,16 | 0,21 | 11,12 | 12,00 | 92,7 | Tr | 59 |
| S-7 | 0-15 | 18,25 | 1,65 | 0,12 | 0,43 | 20,45 | 21,75 | 95,4 | 1,50 | 250 |
| | 40-70 | 2,50 | 1,25 | 0,18 | 0,19 | 4,12 | 7,50 | 54,9 | 1,25 | 51 |
| S-13 | 0-20 | 17,25 | 1,25 | 0,17 | 0,13 | 18,80 | 22,36 | 84,0 | Tr | 32 |
| | 60-70 | 4,25 | 4,75 | 0,08 | 0,07 | 9,15 | 14,30 | 67,0 | Tr | 29 |
| | 160-180 | 3,50 | 4,75 | 0,17 | 0,07 | 8,49 | 13,00 | 65,0 | Tr | 2 |
| | ~200 | 6,80 | 1,92 | 0,27 | 0,15 | 9,14 | 10,30 | 88,7 | Tr | 2 |

de 8 à 9 %, analogue à celle des sols ferrallitiques rouges des plaines karstiques de l'Ouest et du Centre (Bosch *et al.*, 1982 b).

4.3. Les propriétés chimiques

Les teneurs en matières organiques dans l'horizon humifère (tabl. D) sont relativement élevées dans les sols de la série S4 à S7, variant de 6 à 9 %. Il est

vrai que ces sols supportent une végétation naturelle ou sont plantés en caféiers ou arbres d'ombrage. Les teneurs en azote sont également élevées (0,37 à 0,56 %) : les rapports C/N sont compris entre 8 et 10, dénotant une humification convenable. La diminution des teneurs avec la profondeur est assez rapide.

Le profil S13, sous des cultures vivrières, présente une teneur en matière organique de 3 %, analogue à celle des sols des plaines de l'ouest.

TABLEAU F
Oxydes de fer totaux et libres

| Profils | Profondeur en cm | Fe ₂ O ₃ Total % | Fe ₂ O ₃ Libre % | $\frac{Fe_2O_3^L}{Fe_2O_3^T} \times 100$ |
|---------|------------------|--|--|--|
| S - 4 | 0 - 15 | 11,20 | 8,00 | 71,4 |
| | 15 - 25 | 9,15 | 7,75 | 84,7 |
| S - 5 | 0 - 20 | 12,25 | 10,45 | 85,3 |
| S - 6 | 0 - 15 | 20,00 | 14,75 | 73,8 |
| | 40 - 70 | 22,26 | 18,75 | 84,2 |
| S - 7 | 0 - 15 | 22,30 | 18,75 | 84,1 |
| | 40 - 70 | 25,75 | 22,50 | 87,4 |
| S - 13 | 0 - 20 | 21,00 | 19,10 | 91,0 |
| | 60 - 70 | 18,76 | 15,70 | 83,7 |
| | 160 - 180 | 22,00 | 18,30 | 83,2 |
| | ~ 200 | 18,70 | 16,25 | 86,9 |

TABLEAU G
Composition de la fraction inférieure à 2 μ

| Profils | Prof. cm | Résidu % | SiO ₂ % | Al ₂ O ₃ % | Fe ₂ O ₃ % | TiO ₂ % | P ₂ O ₅ % | CaO % | MgO % | K ₂ O % | Na ₂ O % | H ₂ O ⁻ % | H ₂ O ⁺ % | Tot. % | SiO ₂ /Al ₂ O ₃ |
|-----------------|-----------|----------|--------------------|----------------------------------|----------------------------------|--------------------|---------------------------------|-------|-------|--------------------|---------------------|---------------------------------|---------------------------------|--------|--|
| S ₅ | 0-20 | 17,4 | 23,0 | 22,8 | 11,8 | 1,35 | 0,31 | 1,10 | 0,46 | 0,85 | 0,34 | 4,05 | 14,95 | 98,1 | 1,84 |
| S ₆ | 1 0-15 | 4,4 | 21,7 | 32,5 | 18,0 | 2,1 | 0,62 | 0,67 | 0,63 | 1,76 | 0,25 | 2,8 | 12,7 | 98,1 | 1,13 |
| | 2 15-30 | 5,0 | 21,7 | 32,8 | 18,8 | 2,1 | 0,69 | 0,56 | 0,66 | 1,43 | 0,25 | 4,55 | 10,15 | 98,2 | 1,12 |
| | 3 40-70 | 4,8 | 22,0 | 34,5 | 19,3 | 2,2 | 0,68 | 0,37 | 0,69 | 1,87 | 0,31 | 2,3 | 10,1 | 99,1 | 1,08 |
| S ₇ | 1 0-15 | 1,75 | 12,9 | 38,5 | 21,0 | 2,4 | 0,58 | 0,81 | 0,46 | 0,88 | 0,21 | 7,45 | 11,35 | 98,3 | 0,54 |
| | 2 40-70 | 1,7 | 13,5 | 43,0 | 23,3 | 2,6 | 0,44 | 0,26 | 0,43 | 0,92 | 0,36 | 1,55 | 11,75 | 99,8 | 0,53 |
| S ₁₃ | 1 0-20 | 3,95 | 25,5 | 28,0 | 23,3 | 1,2 | 0,53 | 0,62 | 0,66 | 0,46 | 0,27 | 3,55 | 11,35 | 99,4 | 1,54 |
| | 2 60-70 | 3,1 | 26,5 | 29,0 | 24,0 | 1,3 | 0,49 | 0,26 | 0,56 | 0,45 | 0,36 | 3,65 | 8,85 | 98,4 | 1,55 |
| | 3 160-180 | 2,95 | 28,3 | 28,0 | 25,5 | 1,2 | 0,29 | 0,21 | 0,53 | 0,36 | 0,28 | 3,95 | 7,85 | 99,3 | 1,71 |
| | 4 200-220 | 3,55 | 29,0 | 25,8 | 25,3 | 1,2 | 0,35 | 0,62 | 0,99 | 0,35 | 0,29 | 4,80 | 6,9 | 99,1 | 1,91 |

Le pH(H₂O) est, d'une manière générale, proche de 7,0 en surface (6,6 à 7,6). En profondeur, le pH(H₂O) est, soit légèrement supérieur, soit inférieur (tabl. D). Le pH(KCl) est, pour la plupart des échantillons, nettement inférieur à pH(H₂O), sauf pour ceux du profil 7 où ΔpH est proche de 0 (- 0,2 et 0), indiquant de fortes charges positives équivalentes des charges négatives en raison de prédominance de fortes quantités d'oxydes et d'hydroxydes.

Complexe absorbant (tabl. E) : Les bases échangeables sont caractérisées par des teneurs élevées en calcium échangeable, surtout dans les horizons humifères (15 à 25 mé/100 g), en relation avec le substrat

calcaire, dont le Ca₂⁺ est remonté par les plantes, tandis qu'en profondeur les teneurs sont nettement plus faibles (2,5 à 12 mé/100 g vers 40-70 cm). Les teneurs en magnésium sont relativement stables (1,5 à 4,75 mé/100 g) avec, le plus souvent, plus de magnésium échangeable en profondeur qu'en surface. Les teneurs en sodium sont assez constantes avec 0,1 à 0,3 mé/100 g dans tous les sols. Par contre, dans les sols situés entre Punta de Maisi et La Maquina les teneurs en potassium échangeable sont élevées de 0,4 à 1,1 mé/100 g, tandis qu'à Baracoa, les teneurs sont beaucoup plus faibles (0,07 à 0,15 mé/100 g).

TABLEAU H

Composition minéralogique calculée de la fraction inférieure à 2 μ des sols étudiés

| Profil | S5 | S6 | | | S7 | | S13 | | | |
|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| Kaolinite | 49,45 | 46,65 | 46,65 | 47,3 | 27,7 | 29,05 | 54,8 | 57,0 | 60,8 | 62,35 |
| Boehmite | 4,1 | 16,6 | 16,9 | 18,6 | 32,45 | 37,0 | 7,5 | 7,6 | 4,7 | 1,4 |
| Goethite | 13,1 | 20,0 | 20,9 | 21,4 | 23,4 | 25,9 | | | | |
| Hématite | | | | | | | 23,3 | 24,0 | 25,5 | 25,3 |
| TiO ₂ | 1,35 | 2,1 | 2,1 | 2,2 | 2,4 | 2,6 | 1,2 | 1,3 | 1,2 | 1,2 |
| Résidu | 17,4 | 4,4 | 5,0 | 4,8 | 1,75 | 1,7 | 3,95 | 3,1 | 2,95 | 3,55 |
| Bases P ₂ O ₅ H ₂ O | 3,05 | 3,9 | 3,6 | 3,9 | 2,95 | 2,4 | 2,55 | 2,1 | 1,6 | 2,6 |
| | 4,05 | 2,8 | 4,55 | 2,3 | 7,45 | 1,55 | 3,55 | 3,65 | 3,95 | 4,20 |
| Total | 92,5 | 96,45 | 99,7 | 100,5 | 98,05 | 100,2 | 96,25 | 98,75 | 100,7 | 101,2 |

TABLEAU I

Somme des oxydes libres en %

| Profil | S5 | S6 | | | S7 | | S13 | | | |
|--------------------------------|-------|------|------|------|------|-------|------|-------|------|------|
| | | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| Al ₂ O ₃ | 3,5 | 14,1 | 14,4 | 15,8 | 27,6 | 31,45 | 6,5 | 6,45 | 4,0 | 1,2 |
| Fe ₂ O ₃ | 11,8 | 18,0 | 18,8 | 19,2 | 21,1 | 23,3 | 23,3 | 24,0 | 25,5 | 25,3 |
| TiO ₂ | 1,35 | 2,1 | 2,1 | 2,2 | 2,4 | 2,6 | 1,2 | 1,3 | 1,2 | 1,2 |
| Total | 16,65 | 34,2 | 35,3 | 37,0 | 51,1 | 57,35 | 31,0 | 31,75 | 30,7 | 27,7 |

TABLEAU J

Comparaison des constituants non calcaires extraits des roches avec ceux de la fraction inférieure à 2 μ des sols

Mt montmorillonite I Illite Ch chlorite 2/1 non déterminé K kaolinite mH métahalloysite S serpentinite
 Ma magnétite Bo Boehmite He Hématite Go Goethite Q Quartz E épidote F Feldspath.
 Quantité : + Faible quantité ° traces, sinon, moyen ou abondant

| Profil | Produits non calcaires extraits des roches Fraction < 20 μ | | Argile (< 2 μ) | | |
|--------|--|---|-------------------------------------|---------------------------------------|----------------------------------|
| | Minéral argileux | Oxydes | Minéral argileux | Oxydes | Minéraux prim. résiduels |
| S 4 | Mt, I, Ch, mH | Q ⁺ | mH 2/1 [°] | He, Go | Ma [°] , Q [°] |
| S 5 | mH, Ch ⁺ I [°] | He Q [°] | mH 2/1 [°] | Bo ⁺ Go [°] He | Ma [°] |
| S 6 | mH, Ch ⁺ I [°] | Bo ⁺ Go ⁺ He ⁺ Q [°] | mH | Bo Go He | Ma ⁺ |
| S 7 | I ⁺ Ch ⁺ mH ⁺ | Bo [°] ? Go He ⁺ | mH ⁺ | Bo He Go | Ma [°] |
| S 13 | Ch ⁺ Mt ⁺ I ⁺ | 0-20 cm 160-180 cm | mH ⁺ | Bo He Go | F [°] |
| | | | mH ⁺ 2/1 [°] | Bo [°] He, Go | E [°] |

La capacité d'échange de cations est généralement élevée dans les horizons de surface (18 à 27 mé/100 g). En profondeur, les valeurs obtenues varient de 7,5 à 19 mé/100 g, en relation avec des argiles halloysitiques. Mais, la plupart des échantillons contiennent aussi des teneurs notables en matière organique. Le degré de saturation est toujours élevé ; en surface il est proche de 80 %, et en profondeur il varie entre 55 et 95 %.

Éléments dits assimilables P_2O_5 , K_2O : le *phosphore assimilable* est très faible, le plus souvent à l'état de traces, avec quelques valeurs à 1,0 et 5,0 ppm. Le *potassium*, au contraire, est relativement élevé dans la série S4 à S7 mais nettement plus faible dans le profil S13. Cette différence, qui était apparue dans l'étude du complexe absorbant, apparaît également dans l'analyse de la fraction-argile au réactif « triacide » (tabl. G). Elle correspond à la présence d'argiles dérivées de micas (tabl. J).

4.4. Les constituants minéraux des sols

Les déterminations suivantes ont été faites : les teneurs de la fraction inférieure à 2 mm en oxydes de fer « libre » (suivant la méthode DE ENDREY) et de fer total (extrait par l'acide chlorhydrique au 1/2) ; sur la fraction inférieure à 2 μ , l'analyse élémentaire au réactif « triacide » et la diffraction des rayons X.

a. LES TENEURS EN OXYDES DE FER (tabl. F) sont élevées en Fe_2O_3 libre ou total : de 7,75 à 22,5 % et 9,15 à 25,75 % respectivement. Les valeurs les plus faibles sont celles de S4 ; elles augmentent graduellement jusqu'en S7. Les valeurs obtenues pour S13 sont du même ordre de grandeur que pour S6 et S7. Dans tous les cas, le rapport Fe_2O_3 libre/ Fe_2O_3 total est de l'ordre de 70 à 90 %.

b. MINÉRALOGIE DE LA FRACTION < 2 μ (fig. 5 et 6 ; tabl. G, H, I et J).

Les quatre minéraux essentiels de ces sols sont la métahalloysite, la boehmite, la goethite et l'hématite ; d'autres minéraux sont présents ; mais leur nature exacte n'a pas été déterminée avec précision.

Minéraux argileux

La métahalloysite prédomine dans tous les échantillons. Son importance diminue depuis S4 jusqu'à S7 ; tandis que celle des sesquioxydes de fer et d'aluminium augmente. Quelques minéraux 2/1, au moins à l'état de traces, sont observés dans tous les échantillons. Leur importance est plus grande dans les sols S4 et S5. Ce sont des minéraux dérivés de micas (illite, chlorite et interstratifiés) dont la nature n'a pas été identifiée avec précision.

Oxyhydroxydes d'aluminium et de fer

La *boehmite* est le seul oxyde d'aluminium observé. Sa teneur augmente en fonction de l'altitude, de S_5 à S_7 , et aussi en S_{13} , de la base au sommet du profil. Deux oxydes de fer, la goethite et l'hématite sont presque toujours associés et présents en forte quantité. Il est difficile de préciser sur les diffractogrammes de rayons X, l'importance relative de l'un ou de l'autre. On constate que les raies sont larges et décalées vers les valeurs inférieures, ce qui indique une substitution du fer par de l'aluminium. La magnétite (ou la maghémite) est fréquemment présente, à l'état de traces.

Minéraux primaires résiduels

Outre les reliques de micas altérés, on observe des traces de quartz (S4), de cristobalite (S7), de feldspath potassique (S4, S5, S13) d'une amphibole altérée en épidote (S13) ; toutefois les quantités sont très faibles et la détermination incertaine.

c. ANALYSE ÉLÉMENTAIRE SUR LES EXTRAITS DU RÉACTIF triacide sur la fraction < 2 μ (tab. G, I). Le silicium, l'aluminium et le fer sont les trois éléments majeurs. Les teneurs en oxydes de fer et d'aluminium augmentent parallèlement dans la série S5 à S7 de 1,8 à 0,5. Dans le profil S13, qui n'appartient pas à cette séquence, on observe un accroissement de l'aluminium et du fer et une diminution de la silice et du rapport silice/alumine de la profondeur vers la surface. La quantité de titane est importante dans tous les sols, surtout dans ceux riches en boehmite (2,1 à 2,6 % de TiO_2). Ceci indique que les matériaux sédimentés dans le calcaire devaient être d'origine très basique. La quantité importante de potassium (0,9 à 1,9 % de K_2O) ainsi que celle en calcium magnésium et sodium paraît provenir de minéraux micacés et des minéraux argileux qui en dérivent. La teneur en phosphore (0,3 à 0,7 % de P_2O_5) est également notable.

4.5. Discussion

L'étude des sols rouges associés aux roches calcaires du Miocène de l'extrémité orientale de Cuba, permet de les comparer avec ceux des zones centrale et occidentale qui ont fait l'objet de divers travaux de caractérisation et de cartographie, en particulier ceux de BOSCH (1981) ; BOSCH *et al.* (1982 a et b) ; BAISSRE (1972) ; CAMACHO (1980) ; CAMACHO *et al.* (1978).

ANALOGIES AVEC LES SOLS DU CENTRE ET DE L'OUEST

La morphologie présente beaucoup de points communs :

— une faible différenciation est observable partout, que les sols soient peu ou profondément dévelop-

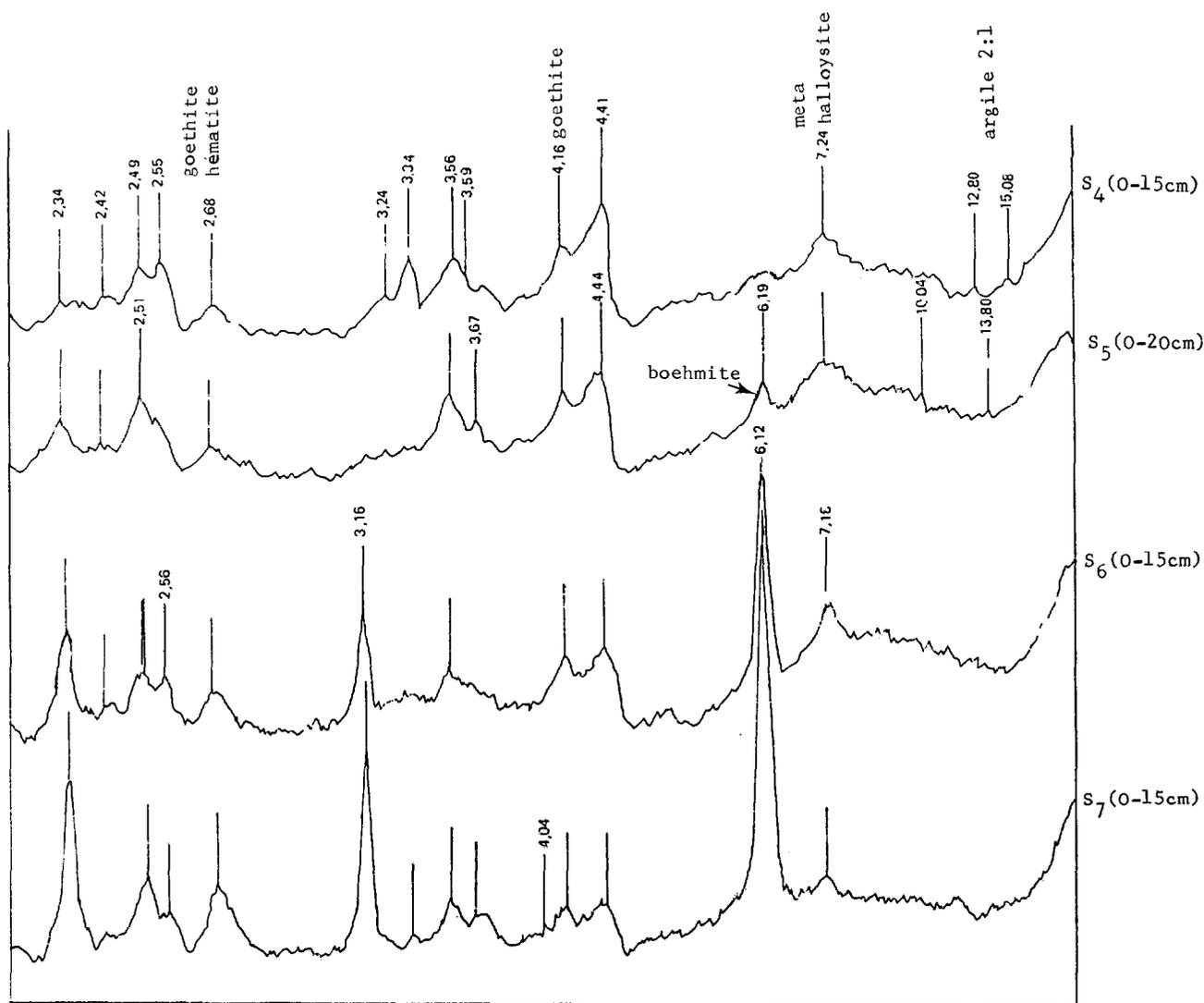


Fig. 5. — Diagrammes de diffraction de rayons X, de S4 à S7

pés ; le passage de l'horizon humifère aux horizons minéraux sous-jacents s'effectue progressivement ;

— la couleur est cependant un peu plus rouge en Oriente qu'au Centre et à l'Ouest (10 R plus souvent que 5 YR ou 2,5 YR) ;

— la texture est toujours très argileuse ; la structure polyédrique subangulaire est modérément à faiblement développée ; la friabilité et la perméabilité sont fortes.

Les propriétés physiques et chimiques présentent encore d'autres analogies, comme la répartition régulière de l'argile (pas de ventre d'accumulation, pas de revêtements), une capacité en eau « utile » faible ; une teneur en matière organique assez forte (surtout

sous végétation naturelle) ; une capacité d'échange de cations et un degré de saturation élevés ; un pH proche de la neutralité.

DIFFÉRENCE AVEC LES SOLS DU CENTRE ET DE L'OUEST

Elles sont particulièrement nettes en ce qui concerne les constituants minéraux. Une caractéristique essentielle est l'absence générale de gibbsite et la présence très fréquente, parfois en abondance (S6 et S7), de boehmite, accompagnée d'une teneur élevée en hématite et une couleur très rouge. Au contraire, la plupart des sols ferrallitiques formés sur les calcaires miocènes de l'Ouest et du Centre contien-

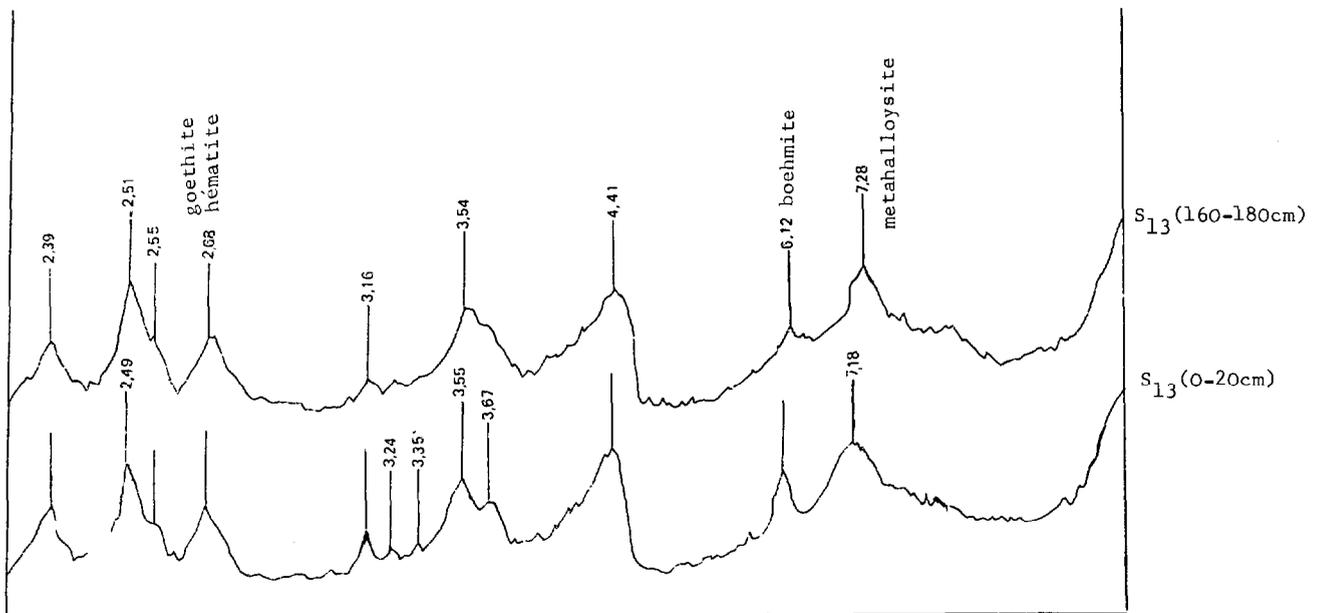


Fig. 6. — Diagrammes de diffraction X de S13

ment des quantités modérées de gibbsite, associées plutôt à de la goethite et à une couleur brun-rougeâtre (BAISRE, 1972 ; BOSCH, 1981 ; CAMACHO, 1980). Cependant, dans plusieurs cas, assez dispersés, la boehmite a également été identifiée, avec ou sans gibbsite.

En Haïti, toute proche, COLMET-DAAGE *et al.* (1969), identifient de la boehmite, généralement associée à de la gibbsite, dans la péninsule de Gonaïve (1) (fig. 1), orientée vers la Punta de Maisi. La répartition climatique apparaît assez semblable à celle de l'extrémité orientale de Cuba. Mais la situation en Haïti est plus complexe qu'à Cuba. Le Miocène est plus souvent marneux que calcaire et les roches dures sont apparues plutôt à l'Eocène. Toutefois, les caractéristiques morphologiques, physiques et chimiques des deux ensembles de sols sont assez semblables (épaisseur des profils, couleur, texture, structure, friabilité, etc.).

Dans les îles du Pacifique, les Loyauté, à l'Est de la Nouvelle-Calédonie, TERCINIER (1971, 1972) a décrit des sols situés au-dessus de calcaires, contenant de fortes quantités de boehmite, et seulement des teneurs très faibles en minéraux argileux. Dans l'archipel de Vanuatu (anciennement Nouvelles Hébrides), QUANTIN (1972-1978) signale également la présence de boehmite dans les sols sur roches calcaires ; mais

généralement la gibbsite y prédomine, le climat est plus humide et les sols sont plus désaturés.

L'origine de la boehmite soulève quelques problèmes. Dans un seul cas, la boehmite est identifiée avec certitude dans les résidus de dissolution des calcaires, dans un deuxième, la présence en traces est incertaine. Dans d'autres régions de Cuba, CAMACHO (1980), a trouvé également de la boehmite dans les roches calcaires sous-jacentes et dans les sols. Mais dans d'autres cas, on ne trouve pas la boehmite dans les roches alors qu'elle est présente dans les sols. Une observation analogue avait été faite pour la gibbsite, présente parfois dans les roches et les sols, ou seulement dans les sols.

En Haïti, des investigations dans les roches n'ont pas été effectuées. Aux îles Loyauté, TERCINIER (1971-1972), considère que les produits des sols sont sans rapport avec la roche qui sert seulement de support. De plus, les minéraux argileux sont pratiquement absents, avec des rapports silice/alumine inférieurs à 0,2 et parfois à 0,05. Les sols dériveraient de ponces déposées sur les calcaires.

Dans la série de profils examinés entre Punta de Maisi et La Maquina, les teneurs en boehmite croissent avec les précipitations ; mais, à l'intérieur de chaque profil les teneurs restent du même ordre de grandeur. Par contre, dans le profil S13, proche de

(1) D'autres échantillons de sols rouges ramenés de cette péninsule par J.-C. LEMOINE, contiennent également de la boehmite.

Baracoa, les teneurs en boehmite sont faibles à la base, et augmentent à mesure qu'on se rapproche de la surface.

On peut donc penser que dans la zone étudiée, plusieurs possibilités sont offertes pour la genèse de la boehmite : héritage de la roche-mère et concentration d'autant plus forte dans les sols que la pluviométrie est élevée ; rupture des minéraux argileux 2/1 et 1/1 avec élimination de silice suivie de genèse et concentration de la boehmite. Dans ce cas, il est difficile de dire pourquoi il s'est formé de la boehmite alors que dans de nombreux autres profils associés au calcaire, à Cuba et dans de nombreux pays on observe plutôt de la gibbsite. On peut raisonnablement penser que les conditions de formation de la boehmite ont été différentes (concentration saline des solutions et température plus élevées) que celles d'apparitions de la gibbsite (CHESWORTH, 1972 ; Hsu, 1977). Mais les sols où elle s'est formée sont d'un âge éloigné (probablement 1 million d'années) et il est difficile de dire actuellement quelles ont été les conditions climatiques et géochimiques de leur formation.

En ce qui concerne les minéraux argileux des sols on observe une large prédominance de la métahalloysite ; les minéraux 2/1 sont présents mais très peu abondants et mal définis. En Haïti, par contre, outre la métahalloysite, la montmorillonite, et parfois de l'illite et un minéral à 14 Å (stable au glycérol) ont été identifiés. Aux Loyauté, aucune phyllite n'a pu être reconnue.

Les minéraux argileux des roches calcaires sont constitués de minéraux 2/1 (illite et montmorillonite), 2/2 (chlorite) et 1/1 (métahalloysite). Les deux premières catégories disparaissent presque complètement des sols sauf dans S4 où leur présence reste évidente. En revanche la métahalloysite se développe et prédomine.

5. RELATIONS DES SOLS AVEC LA TOPOGRAPHIE ET LES CONDITIONS CLIMATIQUES

Ces relations ont été examinées entre Punta de Maisi et La Maquina. La séquence va de 30 m d'altitude et loin, du rivage, pour éviter la pollution, avec une pluviométrie de 800 mm, jusqu'à 340 m d'altitude et 1800mm de pluies. Les sols de la séquence sont formés sur la topographie à peu près plane des gradins calcaires, et le drainage interne et externe des sols est toujours bon. Chaque prélèvement a été effectué sur une des « marches » calcaires qui se succèdent depuis la mer jusqu'au sommet (fig. 4). On assiste aux changements suivants, de la base vers le sommet :

— une transformation progressive complète de la végétation naturelle ;

— un approfondissement graduel des profils qui, de quelques centimètres ou décimètres, atteignent un mètre et parfois plus. Toutefois, les affleurements calcaires sont toujours très fréquents et les caféiers sont plantés entre des blocs de roches ;

— une augmentation des teneurs en oxydes de fer libres qui passent de 8 à 22 % ; une augmentation des oxydes libres d'alumine, qui, exprimés en boehmite, passent de 1,5 à 31,7 % ;

— une diminution de la silice combinée (des minéraux argileux) qui passe de 23 à 13 % ;

— une diminution du rapport silice/alumine de 1,8 à 0,5 ;

— une restriction du ΔpH qui passe de $-1,0$ à 0 ;

— une diminution de la capacité d'échange de cations, qui passe de plus de 20 mé/100 g à 4 mé/100 g.

Par contre, la teneur en matière organique et en azote, le pH, le degré de saturation sont peu affectés. Ceci est l'effet du calcaire dont le calcium dissous tamponne les variations de ces paramètres.

Les sols étudiés ne constituent pas une chaîne de sols classique avec des relations génétiques entre les différents profils. Ceux-ci occupent les marches d'une vaste surface karstique où le drainage vers la profondeur est très facilement assuré. Ils sont les membres d'une toposéquence au sens le plus général, et surtout d'une climoséquence puisque, toutes choses égales par ailleurs, il y a un accroissement rapide de la pluviosité qui se traduit dans la végétation et dans les sols.

L'orientation pédogénétique générale se manifeste par une dissolution du carbonate de calcium, libérant ainsi les minéraux piégés dans le calcaire. Au début, ces minéraux s'accumulent à peu près tels quels, puis sont altérés très rapidement et très profondément. Il y a perte de silice et accumulation relative de minéraux argileux 1/1 d'hydroxydes et oxydes de fer et d'hydroxydes d'aluminium. Puis les minéraux argileux 1/1 s'altèrent à leur tour et les sesquioxydes l'emportent. On a donc la succession :

Sols fersiallitiques → sols ferrallitiques → oxydisols.

Toutefois, les relations qu'on peut établir entre les sols de cette séquence n'ont qu'une valeur locale ou régionale, limitée à l'extrémité orientale de Cuba. Déjà dans le profil S13 près de Baracoa, à quelques dizaines de kilomètres de la Punta de Maisi, les choses sont différentes. Certes, la roche-mère calcaire demeure semblable et des analogies morphologiques et physico-chimiques sont certaines. Mais, si les teneurs en oxydes de fer sont à peu près aussi élevées que dans S6 et S7 (23 - 25 % au lieu de 18 à 23 %), les teneurs en boehmite y sont plus modérées (7 % au lieu de 17 à 37 %). Par conséquent, d'autres facteurs qui n'ont pu être déterminés ont pu intervenir dans cette variation de la teneur en boehmite.

6. CLASSIFICATION DES SOLS

La classification de ces sols, dans différents systèmes, peut s'effectuer de la manière suivante.

a. **Le profil S4**, peu épais, non calcaire, de couleur rouge, non lessivé, à minéraux argileux 1/1 dominants, à minéraux 2/1 en faible quantité, et à sesquioxydes de fer, mais à capacité d'échange assez élevée, ne peut être classé avec certitude, faute de connaître le rapport silice/alumine. Dans le système C.P.C.S. ou dans le système cubain (1979), on propose .

Cuba (1979) : Intergrade entre Suelo fersialitico-pardo-rojizo et ferralitico rojo tipico.

C.P.C.S. : Intergrade entre sol fersiallitique à réserve calcique modal et sol ferrallitique, faiblement désaturé, typique, modal.

Soil Taxonomy : Lithic Eutropept.

F.A.O./U.N.E.S.C.O. : Cambisol chromique.

b. **Les profils S5 et S6** sont encore peu épais et non lessivés, mais sont constitués essentiellement de minéraux argileux 1/1 et de sesquioxydes de fer et d'aluminium, avec un rapport silice/alumine de 1,8 à 1,1. On propose pour ces sols.

Cuba (1979) : Suelo ferralitico, tipo rojo, tipico.

C.P.C.S. : Sol ferrallitique, faiblement désaturé, typique, modal.

Soil Taxonomy : Tropeptic Eutrorthox (1).

F.A.O./U.N.E.S.C.O. : Ferralsol rhodique.

c. **Le profil S13** est classé comme S5 et S6, sauf dans la Soil Taxonomy où il est Typic Eutrorthox.

d. **Le sol du profil S7** présente des caractéristiques particulières : il a plus de 50 % d'oxydes libres, le ΔpH est très proche de 0. Il devrait pouvoir être classé comme Acrorthox (Soil Taxonomy) ou Ferralsol acrique (F.A.O.-U.N.E.S.C.O.). Mais la capacité d'échange mesurée sur le sol entier (méthode de Gedroiz) est trop élevée (4,1 mé/100 g) en raison sans doute de la forte teneur en matière organique (1,3 %). Quoiqu'il en soit, ce sol paraît justifier un classement en dehors des sols ferrallitiques. Il se rapproche des sols ferritiques cubains et peut faire partie des « Oxydisols » proposés par SEGALEN *et al.* (1979).

7. UTILISATION DES SOLS

Les sols de La Maquina, S5 et S7, sont abondamment plantés en caféiers. La terre fine, fortement calcique, ne contient toutefois pas de carbonate de calcium libre sauf sous forme de gros blocs calcaires bien circonscrits, à parois lisses et dépassant du niveau du sol par de nombreux pointements aigus (dientes de perro). Malgré ces circonstances défavorables, les caféiers paraissent se développer correctement en introduisant leurs racines entre les interstices des roches. Partout, les caféiers sont coiffés par des arbres d'ombrage.

Près de Baracoa (S13), les sols sont occupés par des cultures vivrières ou des cacaoyers.

8. CONCLUSIONS

Les sols étudiés posent un certain nombre de questions pour lesquelles des éléments de réponse encore imparfaits ont été proposés. Ces questions mériteraient d'être approfondies par l'observation de nouveaux pédons, leur délimitation géographique précise et la mise en œuvre d'autres techniques, comme la mesure de la surface spécifique, la mesure du PCZ, la détermination des éléments mineurs, etc., afin de mieux cerner certaines de leurs caractéristiques.

L'existence de sols ferrallitiques neutres et quasi-saturés (2) sont très fréquents dans d'autres parties de Cuba ; ils sont connus à Haïti, dans les Iles Loyauté et au Vanuatu.

L'existence de boehmite et non de gibbsite, dans les sols dérivés de calcaires durs, pourrait être mise en relation avec un héritage de ce minéral qu'on peut identifier dans certains échantillons de la roche calcaire sous-jacente. Cependant, dans la séquence étudiée (S4 à S7) on note un accroissement de la teneur en boehmite et en oxyhydroxydes de fer et d'aluminium, parallèlement à la diminution relative de la métahalloysite et en fonction de l'augmentation des précipitations et de l'âge des gradins calcaires. Ceci tend à prouver qu'il y a également eu formation de boehmite dans les sols.

Les fortes teneurs en oxydes de fer et d'aluminium des sols les plus évolués de la séquence (S7) conduisent à les classer comme Acrorthox ou Ferralsols acriques

(1) Il est tropeptic en raison de sa faible épaisseur.

(2) Dans la Soil Taxonomy (p. 328) il est écrit à leur sujet que « their extent is unknown and probably not large ».

ou Oxydisols allitiques. Ceci est confirmé par les valeurs de ΔpH qui tendent vers zéro, rendant compte de charges positives importantes. La capacité d'échange devient également très faible ; mais une méthode de détermination plus adéquate devrait être recherchée pour mesurer la capacité d'échange de cations sans l'effet de la matière organique.

La connaissance des conditions de productivité de ces sols mériterait d'être approfondie et en particulier l'assimilabilité de l'acide phosphorique et du potassium justifierait une étude plus complète.

Manuscrit reçu au Service des Éditions de l'O.R.S.T.O.M.
le 17 mai 1984

BIBLIOGRAPHIE

- BOSCH (D.), 1981. — Les sols des plaines karstiques de la région occidentale de Cuba. Étude d'une plaine quasi fermée dans la zone de Catalina de Güines et particulièrement des sols ferrallitiques jaunes. *Mimeo*. O.R.S.T.O.M., 159 p. Thèse de spécialité.
- BOSCH (D.), CAMACHO (E.), SEGALÉN (P.), 1982 a. — Étude de quelques sols de Cuba et en particulier de sols ferrallitiques. I. Présentation de l'archipel de Cuba et de ses sols. *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Pédol.* XIX, 3 : 197-204.
- BOSCH (D.), CAMACHO (E.), SEGALÉN (P.), 1982 b. — Les sols ferrallitiques typiques rouges dans les parties centrale et occidentale de Cuba. *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Pédol.* XIX, 3 : 205-219.
- CAMACHO (E.), 1980. — Étude des sols des plaines karstiques de la région occidentale de Cuba. Étude d'une zone ouverte sur la mer entre San Nicola de Bari et Guanajay et particulièrement des sols ferrallitiques compacts. *Mimeo*. O.R.S.T.O.M. Paris, 143 p. Thèse de spécialité.
- CHESWORTH (W.), 1972. — The stability of gibbsite and boehmite at the surface of the earth. *Clays and clay Minerals*, 20 : 369-374.
- COLMET-DAAGE (F.), ROBBART (F.), LOHIER (G.), YOUNCE (J.), GAUTHEYROU (J. et M.), KOUKOU (M.), 1969. — Caractéristiques et nature de la fraction argileuse de quelques sols d'Haïti situés sur calcaires durs. *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Pédol.* VII, 3 : 345-413.
- COMITÉ DE PÉDOLOGIE ET CARTOGRAPHIE DES SOLS (C.P.C.S.), 1967. — Classification des sols. *Mimeo*. Grignon, 67 p.
- DE ENDREY (A. S.), 1963. — Estimation of iron oxides in soils and clays by a photolytic method. *Miner. Bull.*, 29, 5 : 209-217.
- F.A.O./U.N.E.S.C.O., 1975. — Carte mondiale des sols. Vol. I, légende 62 p. U.N.E.S.C.O., Paris.
- GUAGUA (G.), ZAREMBO (S.), IZQUIERDO (A.), Mapa isoyético, 3^a version. *Rev. Voluntad Hidraulica*, ano XIII, 37 : 35-41. La Habana.
- INSTITUTO DE SUELOS, 1973. — Genesis y clasificación de los suelos de Cuba. Texto explicativo del mapa genético de los suelos de Cuba, escala 1/250.000. Acad. Cienc. Cuba, La Habana, 315 p.
- INSTITUTO DE SUELOS, 1979. — Clasificación genética de los suelos de Cuba. Acad. Cienc. Cuba, La Habana, 28 p.
- QUANTIN (P.), 1972-1978. — Nouvelles Hébrides. Atlas des sols et de quelques données du milieu naturel. O.R.S.T.O.M., éd. Paris.
- SEGALÉN (P.), FAUCK (R.), LAMOUREUX (M.), PERRAUD (A.), QUANTIN (P.), ROEDERER (P.), VIEILLEFON (J.), 1982. — Projet de classification des sols. *Mimeo* O.R.S.T.O.M., 235 p.
- SHU (Pa Ho), 1977. — Aluminium Hydroxides and Oxyhydroxides in « Minerals in Soil Environments ». Dixon and Weeds Ed., *Soil Sc. Soc. Amer.* : 99-143.
- SOIL SURVEY STAFF, 1975. — Soil Taxonomy. A basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys. S.C.S., U.S.D.A. Handbook 436, 754 p. Washington.
- TERCINIER (G.), 1971. — Sols de karst de l'atoll surélevé de Lifou (Iles Loyalty, Territoire de Nouvelle Calédonie) et problème de la bauxitisation. *C. R. Acad. Sci.* (Paris), D, 272 : 2067-2070.
- TERCINIER (G.), 1972. — Les sols bauxitiques de karst des atolls surélevés du Pacifique. Contribution à l'étude des phénomènes de bauxitisation et allitisation. *Sci. du Sol*, 1 : 103-122.