

# Étude de quelques sols de Cuba et en particulier des sols ferrallitiques

## 3. Les sols ferrallitiques rouges compacts (1)

Eloy CAMACHO (2), Dalmacio BOSCH (2), Pierre SEGALÉN (3)

(2) *Pédologues, Institut des Sols de l'Académie des Sciences de Cuba, Apartado 8022, Capdevila, Habana, Cuba*

(3) *Pédologue O.R.S.T.O.M., 25, rue de la Mairie, Saint-Martin-des-Champs, 29210, Morlaix, France*

### RÉSUMÉ

*Des sols ferrallitiques rouges compacts ont été étudiés dans les plaines karstiques de la partie occidentale de Cuba. La morphologie, les propriétés physiques, chimiques et minéralogiques de ces sols ont été comparées à celles des sols ferrallitiques rouges typiques dont ils sont très voisins sur le terrain.*

*Cette comparaison permet de penser que les différences de granulométrie et de composition minéralogique sont responsables des changements observés et particulièrement dans les propriétés physiques.*

**MOTS-CLÉS :** Plaines karstiques de Cuba — Sols ferrallitiques compacts — Propriétés physiques.

### SUMMARY

STUDY OF SOME CUBAN SOILS AND ESPECIALLY FERRALLITIC SOILS. 3. COMPACT RED FERRALLITIC SOILS

*Compact red ferrallitic soils have been studied in Western Cuban karstic plains. Morphology, physical and chemical properties and mineralogical constituents of these soils have been compared to those of typical red ferrallitic soils which can be observed next to them in the field.*

*This comparison leads to the opinion that differences in granulometry and mineral constituents are responsible for the changes that occurred and especially in the physical properties.*

**KEY WORDS :** Karstic plains of Cuba — Compact ferrallitic red soils — Physical properties.

### RESUMEN

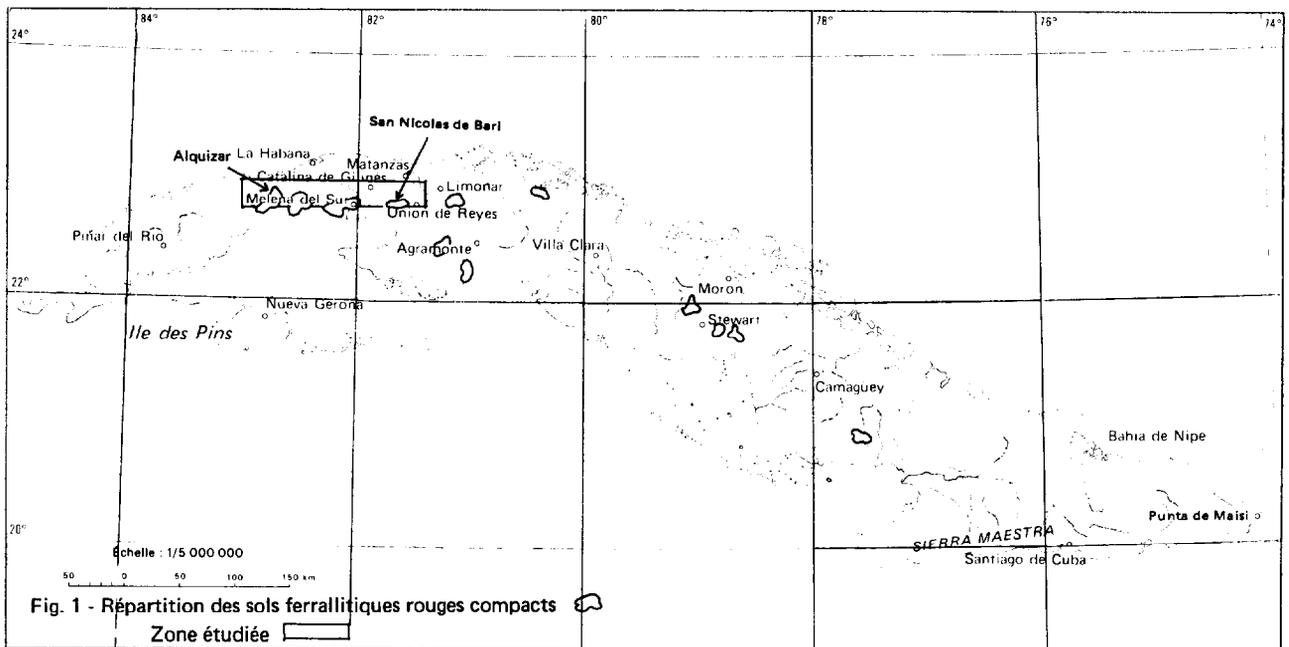
ESTUDIO DE ALGUNOS SUELOS DE CUBA Y EN PARTICULAR DE LOS SUELOS FERRALÍTICOS. 3. LOS SUELOS FERRALÍTICOS ROJOS COMPACTADOS

*Se estudian los suelos ferralíticos rojos compactados de la llanura cársica occidental de Cuba. Se comparan la morfología, las propiedades físicas, químicas y mineralógicas de estos suelos con los suelos ferralíticos típicos, con los cuales se asocian en el campo. Esta comparación permite pensar que las diferencias observadas, sobre todo en sus propiedades físicas, son debidas a cambios en la granulometría y en su composición mineralógica.*

**PALABRAS LLAVES :** Llanuras cársicas de Cuba — Suelos ferralíticos rojos compactados — propiedades físicas.

---

(1) Ce travail a fait l'objet d'une convention O.R.S.T.O.M. — Académie des Sciences de Cuba.



## 1. INTRODUCTION

A côté des sols ferrallitiques rouges typiques très abondants dans l'archipel de Cuba (BOSCH *et al.*, 1982 b), il existe des sols ferrallitiques qui diffèrent des précédents par des propriétés physiques particulières, surtout une compacité plus forte, d'où le nom de « *sols ferrallitiques rouges compacts* » qui leur a été donné.

Ces sols ont été répertoriés par BENNETT et ALLISON dès 1928, sous le nom de *série de Perico*. Dans la première classification cubaine des sols (1973), ils sont désignés sous le nom de *latosolico plastico* et dans les suivantes (1975, 1980), sous celui de *ferraliticos rojos compactados*.

Ces sols ont été étudiés sur le terrain et analysés par divers chercheurs (KLIMES-SZMITH, 1969; BAISRE, 1972; Institut des sols, 1973, 1975; BOSCH *et al.*, 1978; CAMACHO *et al.*, 1979; CAMACHO et RODRIGUEZ, 1977; HERNANDEZ *et al.*, 1980). Ils ont été largement étudiés dans une thèse de spécialité (CAMACHO, 1980). Le problème des sols compacts a été également étudié en diverses régions du monde, entre autres par FAURE, 1971; HUMBEL, 1974; NICOU, 1975; VAN DER WATT, 1969.

Les auteurs se proposent d'approfondir les connais-

sances sur ces sols, de les comparer aux sols ferrallitiques typiques et de proposer une interprétation de leurs caractéristiques et de leur genèse.

L'environnement de ces sols est le même que celui des sols ferrallitiques typiques : conditions climatiques identiques, même roches-mères calcaires du Miocène, même topographie plane à légèrement ondulée, même utilisation intensive en canne à sucre (BOSCH *et al.*, 1982 a).

Les sols ferrallitiques rouges compacts (1), qui sont étudiés ci-après, sont situés dans la grande plaine karstique de l'Ouest de Cuba entre Guanajay et San Nicolas de Bari, à une quarantaine de kilomètres de La Havane (fig. 1).

## 2. MATÉRIEL ET MÉTHODES

Quatre profils de sols compacts ont été sélectionnés parmi les plus caractéristiques de la zone étudiée. Les profils ont été décrits et échantillonnés pour étude au laboratoire; quelques déterminations ont été effectuées sur le terrain : la densité apparente, la vitesse d'infiltration de l'eau et la résistance à la pénétration.

Les *méthodes* utilisées pour l'étude des sols au laboratoire ont été présentées dans un document

(1) Pour plus de simplicité, on parlera dorénavant des sols compacts par opposition aux sols typiques.

antérieur (Bosch *et al.*, 1982 b). Il est rappelé brièvement ici les techniques physiques utilisées.

La *densité apparente* a été mesurée sur le terrain par la méthode du cylindre. La *densité réelle* au laboratoire à l'aide d'un pycnomètre.

La *porosité totale* se calcule à partir des résultats des densités apparente et réelle. La *porosité pour l'air* est calculée en soustrayant à la porosité totale, les réserves en eau de chaque horizon.

La *microagrégation* est déterminée en séparant les agrégats après traitement des sols à l'eau.

La *stabilité structurale* est mesurée après passage des échantillons sur un ensemble de tamis de diamètres différents. On soumet les agrégats obtenus au tamisage sous l'eau et on calcule le rapport entre le poids obtenu par tamisage sous l'eau et celui obtenu par tamisage à sec.

Les *teneurs en eau* à la *capacité au champ* et au *point de flétrissement* ont été mesurées au laboratoire et à la presse à membrane de Richards ; les pressions utilisées correspondent à pF 2,8 et 4,2. La *capacité au champ* a été mesurée également sur le terrain par la méthode de la surface noyée, en prélevant les échantillons après 48 h de contact.

La *vitesse d'infiltration* de l'eau dans le sol a été mesurée sur le terrain, selon la méthode des cylindres concentriques avec règles graduées.

Les *normes d'irrigation* sont les quantités d'eau qui satisfont aux besoins d'une culture. Elles s'expriment en mètres cubes par hectare. On prend en compte les 75 % de la capacité au champ, puisque au dessous de ce pourcentage l'eau du sol est peu disponible pour les plantes en raison de la proximité du point de flétrissement (pF 4,2).

La *résistance des sols* à la *pénétration* a été déterminée à l'aide d'un pénétromètre comportant une tige dont la résistance à l'enfoncement dans le sol est mesurée sur un graphique en Kg/cm<sup>2</sup>. Les résultats fournis représentent la moyenne de dix mesures par mètre carré.

Les *profils* examinés sont les suivants :

#### PROFIL TE-6 ALQUIZAR

Localisation : N 330.350 E 339.200.

Altitude : 15,5 m.

Drainage : interne et externe : bon.

Topographie : plane.

Végétation : arbres fruitiers *Persea americana* et *Musa paradisiaca*.

0-24 cm Rouge foncé (2,5 YR 3/4 H à 10 YR 4/8 S) ; argileux, quelques petites concrétions ferrugineuses ; structure cubique large ; compact et peu

poreux ; système racinaire peu développé ; transition régulière et distincte.

24-40 cm Rouge (2,5 YR 4/6 H à 10 R 4/8 S) ; argileux, présence de quelques petites concrétions ; structure polyédrique moyenne bien définie ; surface des agrégats luisante ; moyennement compact et moyennement poreux ; système racinaire peu développé ; transition régulière et nette.

40-63 cm Rouge (10 R 4/8 H et S) ; argileux avec quelques petites concrétions ; structure polyédrique moyenne, avec agrégats à surface luisante ; moyennement compact et poreux ; transition régulière et graduelle.

63-83 cm Rouge (10 R 4/8 H) à brun jaunâtre (10 R 5/8 S) argileux, avec quelques petites concrétions ; structure polyédrique fine ; agrégats à surface luisante ; légèrement compact et poreux ; système racinaire rare ; transition régulière et graduelle.

83-105 cm Rouge (10 R 4/8 H) à brun jaunâtre (10 R 5/8 S) avec petites taches rouge jaunâtre (7,5 YR 5/8) ; argileux avec quelques fragments de calcaire de taille variable ; effervescence faible à l'acide ; structure polyédrique fine avec sous-structure polyédrique très fine ; légèrement compact et poreux.

105 cm et plus Roche calcaire dure à surface très fissurée.

#### PROFIL E-5 MELENA DEL SUR

Localisation : N 326.940 E 383.160.

Altitude : 22,9 m.

Pente : 0,5 %.

Topographie : plane.

Végétation : Plantation de bananiers (*Musa paradisiaca*).

0-19 cm Rouge foncé (2,5 YR 3/6 H) ; argileux, concrétions peu abondantes ; structure cubique large moyennement développée ; compact, moyennement poreux ; racines rares.

19-44 cm Rouge (2,5 YR 4/6 H) ; argileux à concrétions plus abondantes ; structure polyédrique large bien définie, agrégats luisants ; poreux avec pores petits, moyennement plastique ; système racinaire rare.

44-70 cm Rouge (10 YR 4/8 H) ; argileux, nombreuses petites concrétions ; structure nuciforme fine bien développée ; moyennement plastique et poreux.

70-142 cm Rouge (2,5 YR 4/6 H) à petites taches brun jaunâtre (10 R 5/8 H) ; argileux à concrétions nombreuses ; structure nuciforme fine ; moyennement friable et poreux.

142 à 180 cm et plus Rouge jaunâtre (5 YR 5/8 H) avec taches brun jaunâtre (10 YR 5/8 H) ; argileux avec moins de concrétions ; moyennement friable et poreux.

#### PROFIL TE-13 GÜINES

Localisation : N 328.800 E 389.900.

Altitude : 22,3 m.

Topographie : plane à très faiblement ondulée.

Végétation : pâturage à *Paspalum notatum*.

- 0-22 cm Rouge (2,5 YR 3/6 H à 2,5 YR 4/6 S) ; argileux avec petites concrétions ; structure polyédrique moyenne ; compact et peu poreux ; système racinaire peu développé ; transition régulière et nette.
- 22-46 cm Rouge (10 R 4/8 H à 10 R 4/8 S) ; argileux avec 1 à 2 % de concrétions de taille moyenne ; structure polyédrique moyenne avec agrégats luisants ; moyennement compact et poreux ; transition régulière et graduelle.
- 46-81 cm Rouge (10 R 4/8 H et S) ; argileux, avec 3 % de concrétions moyennes ; structure polyédrique fine à agrégats luisants ; moyennement compact et poreux ; transition régulière et nette.
- 81-106 cm Rouge (2,5 YR 4/6 H à 10 R 4/8 S) ; argileux avec 1 % de concrétions et de petites taches brun jaunâtre ; peu plastique moyennement poreux ; structure polyédrique fine à agrégats luisants ; transition régulière et nette.
- 106-124 cm Rouge (2,5 YR 5/8 H) à taches brun vif (7,5 YR 5/8 H) à rouge (2,5 YR 5/8 H) et brun vif (7,5 YR 5/8 S) ; argileux, avec moins de 1 % de petites concrétions, les taches deviennent plus grandes et mieux définies ; structure mal définie.

#### PROFIL TE-19 SAN NICOLAS DE BARI

Localisation : N 326.800 E 403.600.

Altitude : 19,8 m.

Topographie : plane.

Drainage : externe bon, interne moyen.

Végétation : plantation de canne à sucre (*Saccharum officinarum*).

- 0-21 cm Brun rougeâtre foncé (5 YR 3/4 H) à brun rougeâtre (2,5 YR 4/4 S) ; argileux avec concrétions petites et moyennes (1 à 2 %) ; structure nuciforme moyenne nette ; légèrement plastique et poreux ; système moyennement développé ; transition régulière et nette.
- 21-48 cm Rouge jaunâtre (5 YR 4/6 H) à rouge (2,5 YR 4/8 S) ; argileux avec concrétions dures moyennes et petites (2 %) ; structure nuciforme moyenne nettement développée ; moyennement plastique et poreux ; racines rares ; transition régulière et graduelle.
- 48-75 cm Rouge (2,5 YR 4/6 H et S) ; argileux avec 3 % de concrétions ; structure nuciforme avec agrégats luisants ; assez friable et poreux ; transition régulière et nette.
- 75-95 cm Rouge jaunâtre (5 YR 4/8 H) avec taches brun vif (7,5 YR 5/8 H) passant à rouge (2,5 YR 4/6 S) et brun vif (7,5 YR 5/8 S) ; argilo-limoneux, friable et poreux ; nombreuses concrétions. Le passage au calcaire dur sous-jacent est assez brutal. Des cavités nombreuses sont remplies d'une argile rouge jaunâtre qui fait vivement effervescence à l'acide.



PHOTO 1. - Sol ferrallitique compact d'Alquizar

### 3. RÉSULTATS OBTENUS

Les caractéristiques des sols ferrallitiques rouges compacts ont été déterminés et comparées, de manière systématique, à celles des sols ferrallitiques rouges typiques. On examine ainsi, successivement, la morphologie les propriétés physiques, chimiques et les constituants minéraux, de chaque catégorie.

#### 3.1. Morphologie (photo 1)

Les sols compacts présentent un développement et une différenciation des horizons nettement plus marqués que ceux des sols typiques. Le plus souvent, ils présentent un profil de 1 à 3 mètres d'épaisseur dont la couleur d'ensemble reste dans la gamme du rouge (10 R, 2,5 YR et 5 YR) avec des intensités variables (3/4, 4/4, 4/6, 4/8 et 5/8) à travers tous les profils. On voit apparaître, habituellement

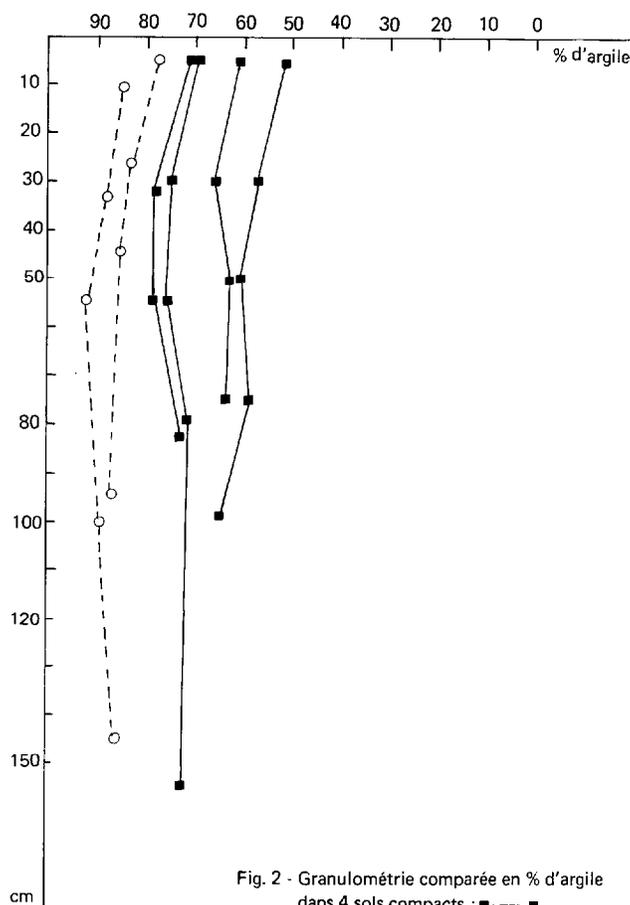


Fig. 2 - Granulométrie comparée en % d'argile dans 4 sols compacts : ■—■  
2 sols modaux : ○—○

vers 90 à 105 cm des taches brun jaunâtre à rouge jaunâtre (7,5 YR à 10 YR) qui résultent d'une diminution du drainage interne du sol.

On observe que l'horizon A est plus sombre dans les sols compacts que dans les sols typiques, avec une couleur brun rougeâtre à rouge foncé sur environ 20 cm d'épaisseur. Cet horizon est argileux et a une compacité moyenne. La structure est cubique large à polyédrique moyenne. Le passage à l'horizon (B) se fait de manière régulière et nette.

L'horizon (B) est souvent épais et coïncide généralement avec un changement de « chroma » de la même teinte. Il est argileux avec une consistance compacte à l'état sec et plastique à l'état humide. Le caractère le plus net est son état structural : la structure est en effet bien définie à dominante polyédrique, moyenne à large ; la surface des agrégats présente un aspect luisant. Le passage vers l'horizon affecté par la réduction du drainage se fait de manière régulière et nette avec apparition graduelle de taches

qui n'ont pas de direction particulière et peuvent avoir des tailles différentes.

La teneur en concrétions ferrugineuses, de tailles variées, est toujours inférieure à 5 %. On les observe dans tout le profil, mais généralement la concentration la plus forte s'observe à la base de l'horizon (B), là où commencent à apparaître les taches.

Dans la plupart des cas, ces sols se développent à partir de matériaux alluviaux ou remaniés dérivés eux-mêmes de roches calcaires. Lorsqu'ils dérivent de calcaires durs, le passage entre le sol et le calcaire sous-jacent s'effectue par l'intermédiaire d'une mince couche d'argile, tachetée de brun jaunâtre, très plastique qui fait effervescence à l'acide chlorhydrique. La roche calcaire du substratum présente en surface de nombreux trous de dissolution.

La comparaison de ces sols avec les sols typiques fait apparaître des différences sensibles surtout dans la structure de l'horizon (B). En effet, dans les sols compacts, on note :

- une structure polyédrique, moyenne à large, bien définie et développée ;
- des agrégats présentant une surface brillante, qui devient mate après séchage à l'air ;
- une consistance compacte à l'état sec, plastique à l'état humide ;
- à la base de l'horizon, des taches dont le nombre augmente passant progressivement à des concrétions, ce qui dénote une diminution du drainage dans un milieu très argileux.

Ces différents caractères manquent, le plus souvent, dans les sols typiques.

### 3.2. Les propriétés physiques

C'est au niveau des propriétés physiques que les différences entre les deux catégories de sols apparaissent les plus sensibles.

#### *Texture et Granulométrie*

L'impression tactile donnée par les deux ensembles de sols est sensiblement la même. Cependant, si l'argile est la fraction qui domine dans les deux cas, on note une certaine quantité de sables, surtout fins, dans les sols compacts. Le tableau A montre que si les teneurs en limons fins et grossiers sont sensiblement les mêmes, les teneurs en sables fins et grossiers sont nettement plus élevées pour les sols compacts que pour les sols typiques. Par contre, les teneurs en argile sont plus élevées pour les sols typiques que pour les sols compacts. Par ailleurs, ni l'examen des sols sur le terrain, ni celui de la variation des teneurs en argile ne permet de conclure à une migration d'argile dans le profil (fig. 2).

TABLEAU I

Caractéristiques physiques comparées des sols ferrallitiques Typiques et Compacts : granulométrie, densité et caractéristiques hydriques

	Sols ferrallitiques rouges							
	Typiques				Compacts			
	Nb	Mini.	Moy.	Max.	Nb	Mini.	Moy.	Max.
Granulométrie %	9							
Sables Grossiers	9	0,3	0,5	0,9	18	0,4	7,55	19,3
Sables Fins	9	2,5	4,4	6,2	18	6,1	14,6	26,1
Limons Grossiers	9	1,1	5,6	4,7	18	0,6	6,5	6,1
Limons Fins	9	3,5	3,6	10,5	18	1,5	3,25	14,1
Argile	9	78,3	85,4	91,8	18	51,5	67,4	77,1
Densité Réelle	10	2,73	2,79	2,86	27	2,67	2,78	2,91
Densité Apparente	10	1,13	1,19	1,24	27	1,16	1,37	1,47
Porosité Totale %	10	55,0	57,1	60,0	27	46,0	50,6	55,8
Porosité pour l'air %	10	12,1	17,1	22,7	27	0,2	5,1	18,9
Teneur en eau %								
. A la Capacité au Champ	10	31,3	33,6	36,7	27	30,6	33,7	37,6
. Au Point de Flétrissement	10	23,4	25,3	27,4	27	21,4	25,1	27,8
. Réserve d'eau %	10	38,5	40,0	42,5	27	40,1	45,8	52,0
. Eau utile %	10	7,6	8,4	9,9	24	5,7	8,9	13,5
. Vitesse d'Infiltration en mm/heure	60	-	-	160	5	5	-	20

### Densités

Les densités apparentes et réelles ont été mesurées sur 27 échantillons de sols compacts et 10 de sols typiques (tabl. A). La densité réelle des sols compacts 2,78 est très proche de celle des sols typiques 2,79. La densité apparente des sols compacts, 1,37, sans être par elle-même très forte, est cependant nettement plus élevée que celle des sols typiques, 1,19. La répartition des densités apparentes dans le profil ne varie pas de manière systématique puisqu'elle augmente graduellement dans certains profils et diminue dans d'autres.

### Porosités

La porosité totale est en moyenne de 50,6 % pour les sols compacts, ce qui n'est pas une valeur très faible ; mais elle atteint 57,1 % pour les sols typiques. Bien que ces chiffres soient assez proches, ils correspondent à des variations identiques des extrêmes, dans les deux cas. La porosité pour l'air est nettement plus faible pour les sols compacts (5,1 %) que pour les sols typiques (17,1 %). Mais pour les deux

ensembles de sols, les valeurs obtenues sont assez dispersées.

### CARACTÉRISTIQUES HYDRIQUES (tabl. I)

Les teneurs en eau, à la capacité au champ, des sols compacts sont de 33,7 %, valeur identique à celle des sols typiques 33,6 %.

Les teneurs en eau, au point de flétrissement, des deux ensembles de sols sont également très proches : 25,1 % et 25,3 % respectivement pour les sols compacts et les sols typiques.

La réserve d'eau est légèrement plus élevée, 45,8 %, pour les sols compacts que pour les sols typiques, 40,0 %. L'eau utile est par contre très proche, 8,9 % et 8,4 %, respectivement.

La vitesse d'infiltration de l'eau a été mesurée sur cinq sols compacts et comparée à celle de deux sols typiques. Pour les sols compacts la vitesse est de 5 à 20 mm/heure ; dans le cas des sols typiques, elle varie de 60 à 160 mm/heure. Les sols compacts ne permettent donc qu'une infiltration très lente de l'eau de surface, alors qu'elle est rapide pour les sols typiques.

## Eau nécessaire aux cultures (tabl. II)

Les *normes d'irrigation* ont été calculées sur la base de la limite inférieure de l'humidité productive, soit 75 % de la teneur en eau à la capacité au champ, à des profondeurs variées, à savoir 0-20, 0-50 et 0-100 cm. Dans les sols compacts, la norme d'irrigation c'est-à-dire l'eau nécessaire pour saturer la couche de 0 à 50 cm depuis la limite inférieure de l'humidité productive jusqu'à la capacité au champ, est de 560 m<sup>3</sup>/ha.

## Pénétrométrie (tabl. III).

Cette mesure a été effectuée sur cinq profils de sols compacts et deux profils de sols typiques. Les résultats moyens obtenus par profondeur ont été rassemblés dans le tableau C. On observe que

TABLEAU II

Indices hydrodynamiques (exprimés en m<sup>3</sup>/ha)

	Sols Ferrallitiques rouges					
	Typiques			Compacts		
	0-20 cm	0-50 cm	0-100 cm	0-20 cm	0-50 cm	0-100 cm
Porosité totale	1141	2861	5735	1006	2499	2685
Réserve d'eau à la capacité au champ	775	1958	3970	887	2240	4547
Limite inférieure d'humidité productive (75 % de la capacité au champ)	583	1189	2977	665	1680	3410
Norme d'irrigation	194	489	1047	222	560	1136

TABLEAU III

Caractéristiques physiques : structure et pénétrométrie

	Sols Ferrallitiques rouges							
	Typiques				Compacts			
	Nb. Ech.	Mini.	Moy.	Maxi.	Mini.	Moy.	Maxi.	Nb. Ech.
Microagrégation %	9	8	38,1	47,6	40,1	54,4	80,4	19
Stabilité structu. %	5	44	69,8	89	33	53,5	81	9
Pénétrométrie profondeur cm								
5	2	-	11	-	12	23	34	5
15	2	-	11	-	15	20	28	5
Kg/cm <sup>2</sup>								
25	2	-	12	-	18	19	27	5
35	2	-	14	-	19	22	26	5
45	2	-	16	-	16	20	28	5
55	2	-	15	-	15	17	25	5

les sols compacts, contenant nettement moins d'argile que les sols typiques, offrent une résistance nettement plus forte à la pénétration.

## La structure (tabl. III)

La *microagrégation* est déterminée en comparant les teneurs en argile, obtenues après dispersion à l'eau, aux teneurs obtenues par l'analyse mécanique. Le coefficient de dispersion est obtenu en calculant le rapport de la teneur en argile dispersée par l'eau sur la teneur en argile dispersée par l'analyse mécanique et multiplié par 100. Pour 19 échantillons de sols compacts, on obtient une moyenne de 54,4 % avec des extrêmes de 40,1 et 80,4 %, tandis que

pour les sols typiques (9 échantillons) on obtient une moyenne beaucoup plus faible (38,1 %), avec pour extrêmes 8 et 47,6 %. Les sols compacts sont donc beaucoup plus facilement dispersible à l'eau que les sols typiques.

La *stabilité de la structure* est estimée en comparant les produits obtenus par tamisage sous l'eau. On calcule le rapport TH (tamisage sous l'eau) sur TS (tamisage à sec). Pour 9 échantillons de sols compacts, la moyenne est de 53,5 %, mais la dispersion des résultats est grande : 33 à 81. Pour 5 échantillons de sols typiques, la moyenne est de 69,8 % avec pour extrêmes 44 et 89.

Dans le cas de la stabilité de la structure, la décroissance, depuis la surface vers la profondeur

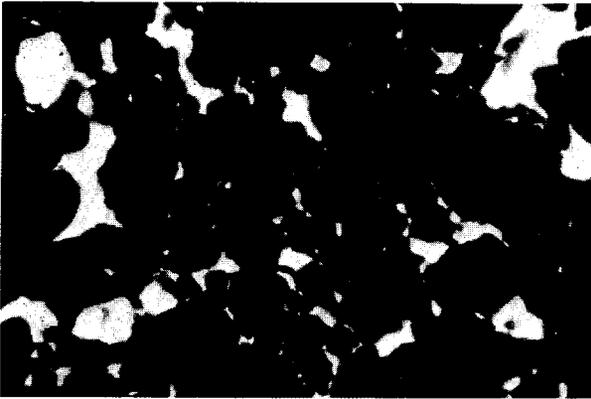


PHOTO 2. — Sol ferrallitique typique. La structure fine et arrondie favorise une bonne microporosité interpédique



PHOTO 3. — Sol ferrallitique compact. Les micropèdes et les pores ont presque totalement disparu de cette plage compacte hydriques

est constante. Vue sous cet angle, la stabilité dans les deux catégories de sol est très comparable.

#### *Assemblage interne du sol*

Dans les sols typiques (photo 2), le degré élevé de micro-agrégation crée les conditions de la manifestation d'une micro-structure où se développe un important espace poral (cf. tabl. III), avec formation d'une structure « ondulée » (BREWER, 1964). Les microagrégats sont liés entre eux par un matériau ferro-argileux, qui tend à réduire une partie de la porosité et à créer des phases massives dans l'horizon. L'observation attentive de ce processus montre la fermeture graduelle des pores et fissures et avec lui commencent à apparaître quelques ferro-argilanes bi-réfringents, encore mal définis.

Dans les sols compacts (photo 3), les micro-agrégats tendent à fusionner et à fermer les pores de grande taille. Ceci a pour effet de former une phase massive très importante où la dimension des

pores est fortement réduite. Cette tendance va s'accroître dans les sols ferrallitiques jaunes hydromorphes, où les sols sont plus acides et cette fois nettement lessivés.

### 3.3. Les propriétés chimiques (tabl. IV)

#### *Matière organique*

Les teneurs en matière organique des sols compacts sont comprises entre 3 et 4 % en surface. Les teneurs décroissent assez régulièrement jusqu'à 60-80 cm, puis plus rapidement. A 100 cm, les teneurs sont comprises entre 0,5 et 0,8 %. Le rapport C/N est, en surface, compris entre 11 et 12, et ses variations sont assez irrégulières avec la profondeur (où le rapport est généralement inférieur à 10).

La comparaison avec les sols typiques montre qu'il n'y a pas de différence fondamentale entre les deux ensembles de sols. Les teneurs en matière organique sont un peu plus fortes, mais le rapport C/N et sa répartition avec la profondeur sont les mêmes. *Le fractionnement de l'humus* n'a porté que sur deux profils dans chaque catégorie. Les résultats obtenus indiquent que les teneurs en acides fulviques et humiques sont plus élevées pour les sols compacts, mais les rapports AH/AF sont sensiblement les mêmes. Par conséquent, il semble que la matière organique des deux catégories soit à peu près la même.

#### *Le Complexe Absorbant*

Les teneurs en *bases échangeables* sont nettement plus élevées dans les sols compacts que dans les sols typiques, surtout en ce qui concerne le calcium et le magnésium, tandis que les teneurs en potassium et en sodium sont très comparables.

Les valeurs de la *capacité d'échange de cations*, en surface comme en profondeur, sont plus fortes; le degré de saturation également. Celui-ci peut atteindre la saturation dans les sols compacts; ce qui n'est pas observé pour les sols typiques.

Le *pH* des sols compacts est généralement plus élevé, mais la valeur du  $\Delta pH$  est identique.

### 3.4. Les constituants minéraux (tabl. IV)

Les *oxydes de fer*, estimés sous les formes totales, libres et amorphes, sont légèrement inférieurs dans les sols compacts, tandis que le rapport Fer libre/Fer total est identique dans les deux catégories de sols.

Du point de vue qualitatif, dans les sols compacts la teneur en goéthite relativement à l'hématite,

TABLEAU IV

Caractéristiques chimiques comparées des Sols Ferrallitiques Typiques et Compacts : Humus, Complexe Absorbant, Oxydes métalliques

	Sols Ferrallitiques Rouges					
	Typiques			Compacts		
	Mini.	Moy.	Maxi.	Mini.	Moy.	Maxi.
Composition de l'humus %						
Ac. Hum. 0-10	-	0,41	-	-	0,27	-
40-50	-	0,35	-	-	0,24	-
Ac. Fulv. 0-10	-	0,90	-	-	0,44	-
40-50	-	0,78	-	-	0,49	-
AH/AF	-	0,45	-	-	0,60	-
	-	0,40	-	-	0,40	-
Complexe absorbant mé/100 g						
Ca	6	7,8	11	7,5	11,8	15,6
Mg	0,1	1,5	3,3	0,5	2,3	5,9
K	0,01	0,11	0,6	0,03	0,13	0,65
Na	0,01	0,09	0,18	0,06	0,17	0,38
S	6,7	7,9	14	10,3	19,6	21,7
T Surf.	9,0	19,4	19,5	10	23,2	25,0
Prof.		14,0			15,7	
V %	43	60,7	82	56	80	Sat.
pH/H <sub>2</sub> O	5,7	6,3	6,9	6,2	6,6	7,2
ΔpH	-0,6	-0,8	-1,0	-0,6	-0,8	-1,2
Oxydes de Fer %						
Total	14,0	15,8	19,3	12,8	14,5	17,2
Libre	11,0	13,8	14,5	9,2	12,5	15,8
Amorphe	2,0	4,1	5,4	2,3	3,1	4,8
FL/FT %	73,7	85,6	96,7	72,2	86,1	97,2
Autres Oxydes en ppm						
Cr	161	198	225	148	230	291
Ni	170	224	300	100	121	140
Co	70	86	120	69	82	98

est faible en surface, plus forte en profondeur ; tandis que dans les sols typiques, elle est relativement faible par rapport à l'hématite qui domine dans tout le profil. La gibbsite est présente dans les deux catégories, mais est plus abondante dans les sols typiques.

En ce qui concerne les oxydes de chrome, nickel et cobalt, il n'existe de différence nette que pour le nickel, sans que la raison en apparaisse clairement.

L'étude des constituants de la fraction argile montre une différence sensible entre les deux ensembles. Dans les sols typiques, le fire-clay ou une association fire-clay métahalloysite est dominante, tandis que dans les sols compacts, c'est la métahalloysite, parfois associée à un peu de fire-clay, qui est le minéral dominant.

De la comparaison des caractéristiques des deux catégories de sols, on peut dire que les différences les plus frappantes apparaissent au niveau des propriétés suivantes :

- dans la *morphologie* : la structure, la micro-structure, la consistance ;
- dans les *propriétés physiques* : la granulométrie, la densité apparente, la porosité pour l'air, le coefficient de dispersion, la résistance à la pénétration, la vitesse d'infiltration ;
- dans les *propriétés chimiques* : les teneurs en calcium et magnésium échangeables, le degré de saturation ;
- dans la *composition minéralogique* : la dominance de la métahalloysite dans les sols compacts.

Sur le terrain, ce sont les deux premiers ensembles de caractéristiques qui permettent l'identification.

#### 4. DISCUSSION ET CONCLUSIONS

Les différences entre les deux catégories peuvent être attribuées à des causes extérieures ou bien

à des caractéristiques propres aux matériaux des sols.

### *Influence des engins agricoles*

Les sols compacts et typiques occupent tous deux des positions topographiques planes analogues dans les immenses plaines du Centre et de l'Ouest de Cuba. Ils sont cultivés de manière intensive, surtout en canne à sucre, grâce à l'introduction de nouveaux moyens de labour, d'entretien des cultures, de récolte, faisant appel à des puissants et lourds engins mécaniques. AGAVONOV *et al.*, 1976, ont observé que tous les sols rouges, cultivés en canne à sucre, sont sensibles à la compaction de surface sous l'effet du passage des machines agricoles. Cette compaction est variable et la profondeur qu'elle peut atteindre dépend du degré d'humidité du sol : 12 à 15 cm pour un sol sec, jusqu'à 50 cm pour un sol humide.

La compacité produite par les engins agricoles accroît la résistance mécanique des sols, ainsi que l'ont montré DOMINGUEZ *et al.*, 1979, sur les sols compacts où la résistance à la pénétration peut atteindre, en surface, 50 kg/cm<sup>2</sup>. Des résultats très semblables ont été obtenus par PLANAS *et al.*, 1981, sur des sols compacts où, après la coupe de la canne à sucre, la densité apparente en surface atteint 1,30, tandis qu'au-dessous de 20 cm, aucun changement n'est observé.

La compaction produite par le passage répété d'engins agricoles est ainsi localisée dans les sols ferrallitiques rouges aux horizons de surface. Or, les horizons compacts des sols étudiés ne sont pas (forcément) des horizons de surface et se situent à plus ou moins grande profondeur. De plus, la compaction due au labour se produit dans d'autres catégories de sols. Par conséquent, on ne peut retenir comme déterminante la compaction due aux seuls engins agricoles. D'autres facteurs paraissent particulièrement importants, comme la composition minéralogique (minéraux argileux, constituants ferrugineux).

La composition minéralogique a dans les sols étudiés, un rôle important. La diffraction des rayons X et l'observation au microscope électronique de transmission nous apprennent que, dans les sols compacts, le minéral argileux dominant est la métahalloysite associée à des quantités plus faibles de fire-clay. Cette constitution, associée à un squelette du sol un peu plus sableux, favorise une dispersabilité plus grande de la fraction argile d'où découle la majorité des caractéristiques physiques observées.

Les changements de perméabilité se traduisent par des modifications locales du potentiel rédox. Ceci est particulièrement visible à la base des profils

des sols compacts où des taches rouges à jaunâtres sont bien visibles. Ces taches sont presque toujours associées à des concrétions. Cette redistribution du fer peut contribuer à la perte de stabilité des agrégats et à l'augmentation de la dispersabilité des sols.

La granulométrie apparaît avoir une influence très nette sur les propriétés physiques des sols, ainsi que l'ont montré divers auteurs, comme de BLIC (1976), FAURE (1971), NICOU (1975), VAN DERWATT (1969). Mais, dans le cas des sols compacts, la compacité observée dans certains horizons ne peut pas être associée à un lessivage de l'argile. Les différences des teneurs en argile entre les horizons A et (B) sont généralement inférieures à 1 % ; il n'y a pas de formation de « ventre d'argile » caractéristique et le rapport teneur en argile en A/teneur en argile en (B) est toujours inférieur à 1,21 on n'observe pas de revêtements argileux sur les agrégats ; l'étude des lames minces de l'horizon compact (B) fait seulement apparaître un début de formation de ferri-argilanes. Tous ces caractères sont insuffisants pour qu'on puisse parler de lessivage d'argile. La faible microporosité permet le maintien d'un degré d'humidité plus fort ; il se produit à la surface des agrégats la fixation d'une mince pellicule d'eau ce qui leur donne un aspect luisant qui disparaît après séchage au soleil.

La présence, dans les sols compacts, d'une fraction sableuse un peu plus forte que dans les sols typiques (jusqu'à 35 %) joue un rôle important sur la densité apparente et sur la compacité. Les corrélations partielles établies entre la fraction (limon+argile) et la densité apparente ne sont pas significatives. Mais, les corrélations établies entre la densité apparente et le contenu en sables ont donné un coefficient positif fortement significatif ( $r = 0,37$ ). Ces résultats sont semblables à ceux trouvés par de BLIC (1976) sur les sols ferrallitiques de Côte d'Ivoire.

Pendant la période pluvieuse, l'humectation du sol produit une dégradation assez importante, surtout dans l'horizon (B), de la structure avec tendance à la formation d'agrégats de petite taille. A ce moment, un pourcentage assez important de l'argile qui cimente les agrégats passe à l'état dispersé. Cette dégradation de la structure produit une diminution de la perméabilité et de l'aération du profil ; cependant, la porosité reste bonne. Pendant la saison sèche, la dessiccation du sol s'effectue lentement et la cohésion devient plus forte grâce à un squelette plus sableux et une cimentation plus forte des constituants minéraux se produit.

Ce comportement montre qu'à des valeurs très voisines de porosité, on obtient des forces de cohésion différentes qui expriment un équilibre entre le contenu en argile et celui en éléments grossiers du

squelette ; cet équilibre est plus ou moins rompu suivant le degré d'humidité.

On peut se demander également, si la nature minéralogique n'est pas, par elle-même, par sa dispersabilité plus grande que celle des sols typiques où domine le fire-clay, responsable de la différence de granulométrie, avec perte d'une partie de l'argile et augmentation corrélative de la fraction sable.

Par conséquent, la comparaison des caractéristiques rouges compacts et typiques des plaines karstiques de Cuba montre que les différences observées peuvent être attribuées en premier lieu à des compositions minéralogiques différentes qui,

associées à des granulométries différentes, permettent le développement d'un assemblage interne particulier. Celui-ci intervient à son tour sur les propriétés physiques et chimiques.

#### REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient vivement A. COMBEAU et M. LAMOUREUX pour l'aide qu'ils leur ont apportée dans la rédaction et correction du texte.

Manuscrit reçu au Service des Éditions de l'O.R.S.T.O.M.  
le 1<sup>er</sup> février 1984

#### BIBLIOGRAPHIE

- AGAVONOV (O.), ROLDOS (J. E.), ALFONSO (F.), 1976. — Influencia de la quema de la caña de azúcar y el corte mecanizado sobre las propiedades físicas del suelo. Mem. 39<sup>o</sup> conferencia de ATAC : 507-538.
- BAISRE (J.), 1972. — Caracterización química de tres tipos de suelos de Cuba. Acad. Cien. Cuba. Ser. Suelos, 15 : 1-23.
- BENNETT (H. H.), ALLISON (R. V.), 1928. — Los suelos de Cuba. Algunos nuevos suelos de Cuba. Trad. de l'Américain par Ed. Revol. La Habana en 1962, 375 p.
- BLIC (P. de), 1976. — Le comportement des sols ferrallitiques de Côte d'Ivoire après défrichement et mise en culture mécanisée. Rôle des traits hérités du milieu naturel. *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Pédol.*, vol. XIV, n° 2 : 113-130.
- BOSCH (D.), CAMACHO (E.) y *al.*, 1978. — Informe de los suelos ferralíticos rojos de Cuba. Inst. Suelos Acad. Cien. Cuba, 18 p.
- BOSCH (D.), CAMACHO (E.), SEGALÉN (P.), 1982 a. — Étude de quelques sols de Cuba et en particulier de sols ferrallitiques. 1. Présentation de l'Archipel de Cuba et de ses sols. *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Pédol.*, vol. XIX, n° 3 : 197-204.
- BOSCH (D.), CAMACHO (E.), SEGALÉN (P.), 1982 b. — Étude de quelques sols de Cuba et en particulier des sols ferrallitiques. 2. Les sols ferrallitiques typiques rouges dans les plaines centrale et occidentale de Cuba. *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Pédol.*, XIX, 3 : 205-219.
- BREWER (R.), 1964. — Fabric and mineral analysis of soils. J. Wiley and sons. New York, 470 p.
- CAMACHO (E.), 1980. — Étude des sols des plaines karstiques de la région occidentale de Cuba. Étude d'une zone ouverte sur la mer située entre San Nicolas de Bari et Guanajay et en particulier des sols ferrallitiques rouges compacts. Mém. Thèse Doct. Spécial. Dijon. *Miméo. O.R.S.T.O.M.*, Paris, 143 p.
- CAMACHO (E.), PAULIN (J. R.), 1977. — Étude des sols de la région de Melena del Sur, échelle 1/20.000<sup>e</sup>. Inst. Suelos Acad. Cien. Cuba, 69 p. *Miméo.*
- CAMACHO (E.), BOSCH (D.), PAULIN (J.-P.), 1979. — Diferenciación de los suelos de una catena de una region ferralítica. *Cien. de La Agric. Acad. Cien. Cuba*, 2 : 77-88.
- Comité de Pédologie et de Cartographie des Sols (CPCS), 1967. — Classification des sols. ENSA Grignon. *Miméo.*, 87 p.
- DOMINGUEZ (H.), FONSECA (M.), ABDUKADIROV (A.), RAMIREZ (P.), 1979. — La compactación del suelo en la cosecha mecanizada. ATAC, 38 (3) : 57-64.
- FAURE (A.), 1971. — Contribution à l'étude du mécanisme du compactage des sols. Notion de potentiel de lubrification. *Ann. Agron.*, 22, 5 : 487-513.
- HERNANDEZ (A.) *et al.*, 1971. — Clasificación genética de los suelos de Cuba. Inst. Suelos Acad. Cien. Cuba : 1-28.
- HUMBEL (F. X.), 1974. — La compacité des sols ferrallitiques du Cameroun : une zonalité dans ce milieu en relation avec la dessiccation saisonnière. *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Pédol.*, vol. XII, n° 1 : 73 et suiv.
- Instituto de Suelos, 1973. — Génesis y clasificación de los suelos de Cuba. Acad. Cien. Cuba, 284 p.
- Instituto de Suelos, 1975. — Segunda clasificación genética de los suelos de Cuba. Acad. Cien. Cuba. Ser. Suelos, 23 : 1-25.
- KLIMES SZMITH, 1969. — Resúmenes de los trabajos investigativos. II. Física de suelos. Inst. Nac. Reforma Agraria. Mayo 1960-1968, 600 p.
- NICOU (R.), 1975. — Le problème de la prise en masse à la dessiccation des sols sableux et sablo-argileux de la zone tropicale sèche. *Agronomie tropicale*, 4 : 325-343.
- VAN DER WATT (H. H.), 1969. — Influence of particle size distribution on soil compactibility. *Agrochemo-physica*, 1 : 79-86.