

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

## 2. Les sols ferrallitiques typiques rouges dans les plaines des parties centrale et occidentale de Cuba

Dalmacio BOSCH (1), Eloy CAMACHO (1), Pierre SEGALÉN (2)

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

(2) *Services Scientifiques Centraux de l'O.R.S.T.O.M., 70-74, route d'Aulnay, 93140 Bondy, France*

### RÉSUMÉ

*Les sols ferrallitiques typiques rouges sont présents dans un certain nombre de plaines du centre et de l'ouest de Cuba, où ils reposent sur du calcaire dur du Miocène Moyen. Ces sols ont une épaisseur variant de deux à quatre mètres. Leur différenciation morphologique est peu accusée. De couleur rouge, les teneurs en argile sont élevées, la structure est grenue à polyédrique émoussée et le degré de saturation fort (60 à 90 %), avec une teneur en calcium échangeable de 6 à 12 mé/100 g et un pH compris entre 6 et 7. La fraction argile est constituée principalement de kaolinite désordonnée, d'hématite et d'un peu de gibbsite. Parmi les minéraux des sables, on a pu déterminer, outre du quartz, des silicates du métamorphisme que l'on retrouve dans la roche calcaire. Les observations de terrain et les travaux de laboratoire nous conduisent à penser que ces sols dérivent des roches-mères sous-jacentes.*

MOTS-CLÉS : Sols ferrallitiques rouges — Cuba.

### ABSTRACT

#### STUDY OF SOME CUBAN SOILS AND ESPECIALLY FERRALLITIC SOILS

##### 2. TYPIC RED FERRALLITIC SOILS IN THE PLAINS OF WESTERN AND CENTRAL CUBA

*Typic red ferrallitic soils can be observed in central and western Cuban plains. They lay on hard mid-miocene limestone. The soils are two to four meters thick. Morphological differentiation is moderate. Soil color is red to dark red, throughout the profile. Clay content is high; structure is granular or weakly to moderately blocky; saturation degree is high (60 to 90 %) with exchangeable calcium from 6 to 12 me/100 g and a very moderately acid pH (6 to 7). Clay constituents are disordered kaolinite and hematite with small amounts of gibbsite. The sand minerals are mostly quartz and metamorphism silicates which can be found also in the underlying rocks. Field and laboratory observations are in favor of direct soil formation from the associated limestones.*

KEY WORDS : Red ferrallitic soils — Cuba.

### RESUMEN

#### ESTUDIO DE ALGUNOS SUELOS DE CUBA Y EN PARTICULAR DE LOS SUELOS FERRALLITICOS. 2. LOS SUELOS FERRALLITICOS ROJOS TÍPICOS DE LAS LLANURAS CENTRAL Y OCCIDENTAL DE CUBA

*Los suelos ferrallíticos rojos típicos están presentes en las llanuras del centro y del oeste de Cuba. La roca sustentadora es una caliza dura del mioceno medio. El espesor de estos suelos varía de dos a cuatro metros. La diferenciación morfológica es débil. El color del suelo es rojo, los contenidos en arcilla son elevados, la estructura varía de granular a poliedrica subangular, el grado de saturación es elevado (60-90 %), con un contenido en calcio cambiante de 6 a 12 me/100 g y un pH entre 6 y 7. Los constituyentes de la fracción arcillosa son fundamentalmente caolinita desordenada, hematita y un poco de gibbsite. Los minerales que componen las arenas son el cuarzo y los silicatos de metamorfismo que uno encuentra en la roca caliza. Las observaciones de campo y de laboratorio hacen pensar que estos suelos derivan de la roca madre subyacente.*

PALABRAS LLAVES : Suelos ferrallíticos rojos — Cuba.

## 1. INTRODUCTION

L'une des caractéristiques majeures de Cuba est l'existence de vastes étendues planes de sols rouges intensivement cultivées. Connus depuis longtemps, ils ont été décrits par BENNETT et ALLISON (1928, 1966) sous le nom de série de *Matanzas*. ZONN *et al.* (1966) les ont dénommés *Red ferralite-calcium*. Dans la première classification cubaine des sols (HERNANDEZ *et al.*, 1971, Instituto de Suelos, 1973), ils portent le nom de *Latosolico tipico*, dans les 2<sup>e</sup> et 3<sup>e</sup> classifications, celui de *Ferralitico rojo tipico*. Ces sols ont fait l'objet de descriptions et d'analyses physiques et chimiques (BAISRE, 1972; CAMACHO *et al.*, 1978; KLIMES-SMIK, 1975), d'où la connaissance d'un certain nombre de données de base, mais qu'il est apparu utile d'approfondir. Aussi, dans ce but, des déterminations complémentaires furent effectuées tant à l'Institut des Sols de Cuba qu'aux Services Scientifiques Centraux de l'O.R.S.T.O.M.

Les sols ferrallitiques typiques rouges sont observés dans des plaines du centre et de l'ouest de Cuba où le climat qui prévaut actuellement peut être qualifié de « tropical humide ». Les précipitations annuelles varient entre 1 400 et 1 700 mm. Les pluies se situent d'avril à novembre avec deux maxima en juin et septembre et une diminution en juillet-août. Durant la période de décembre à mars, les précipitations sont moins intenses, 30 à 50 mm par mois environ en moyenne, et très irrégulières. Les températures moyennes annuelles varient entre 22° et 26 °C, tandis que l'amplitude annuelle ne dépasse guère 6 °C.

La végétation naturelle forestière a disparu de ces sols depuis le début du siècle pour céder la place à d'importantes plantations de canne à sucre et d'autres cultures. Localement, on peut observer des savanes à palmiers où domine surtout le « palma real » (*Roystonea regia*).

Les sols ferrallitiques typiques rouges sont associés à des roches calcaires dures du Miocène Moyen. Ces roches peuvent être observées à l'affleurement ou bien grâce à certaines fosses pédologiques. Mais ceci n'est pas la règle car, le plus souvent, les sols sont profonds de deux à trois mètres. On peut observer parfois, des blocs de calcaire « flottant » littéralement dans le sol (cf. Photos 1 et 2).

Le contact sol-roche observé est toujours très brutal et cette discontinuité relance le problème des relations roche-sol.

La topographie d'ensemble est plane à très plane. Les plaines occupées par ces sols rouges portent des noms tels que « *llanura roja* » appliqués à différents secteurs du centre et de l'ouest. Dans le détail, toutefois, on peut observer de très nombreuses irrégula-

rités dues au développement d'un modelé karstique avec des formes en creux comme les dolines et les poljes, en relief comme les mogotes.

Le drainage superficiel est toujours bien assuré. Les eaux de pluies rejoignent rapidement un réseau



PHOTO 1. — Sol ferrallitique rouge dérivé de calcaire, dans la partie occidentale de Cuba ; ligne de Palma real (*Roystonea regia*)



PHOTO 2. — Bloc de calcaire dans un profil de sol ferrallitique rouge (près de Los Reyes, Matanzas)

souterrain très important et ramifié; tandis que le réseau de surface est quasi-inexistant.

A partir des conditions actuelles de l'environnement et des données pédologiques acquises par l'étude des profils et de leurs propriétés, on s'efforcera de mieux caractériser ces sols, d'énoncer quelques hypothèses sur leur genèse et de formuler quelques propositions sur leurs possibilités de mise en valeur.

## 2. CARACTÉRISTIQUES DES SOLS

### 2.1. Localisation des profils étudiés, méthodes utilisées

#### 2.1.1. LOCALISATION DES PROFILS ÉTUDIÉS

Six profils ont été étudiés. Ils se situent dans la moitié occidentale de l'île principale, dans les plaines karstiques, et peuvent être considérés comme représentatifs des sols ferrallitiques typiques rouges sur roche calcaire dure (fig. 1). Leur épaisseur varie

généralement d'un à trois mètres, et il n'y a que de très rares coupes naturelles ou artificielles permettant l'accès à la totalité du profil. Dans certains cas, l'approfondissement des fosses pédologiques permet d'atteindre le calcaire sous-jacent et d'effectuer des prélèvements supplémentaires dont le but est l'étude du passage roche/sol. En plus des six profils typiques étudiés, celui de Limonar, situé au contact du calcaire et des péridotites a été choisi pour caractériser un sol de transition.

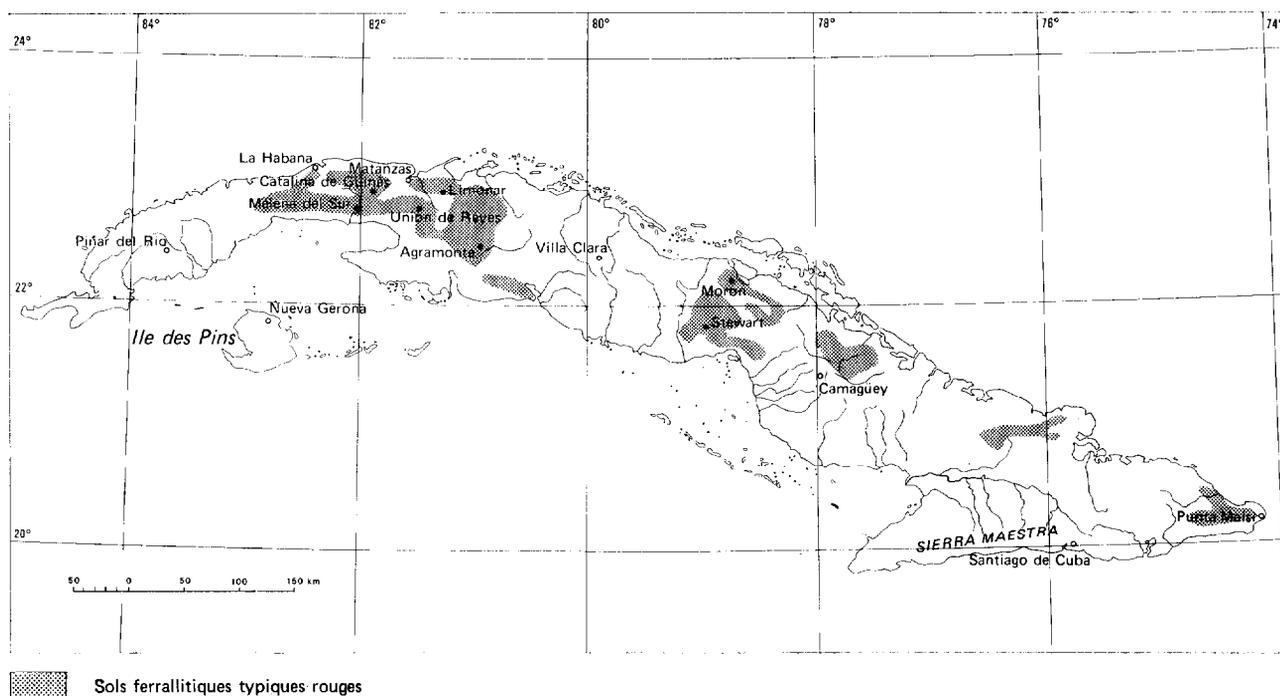


FIG. 1. — Profils étudiés

#### 2.1.2. MÉTHODES UTILISÉES

La plupart des analyses physiques et chimiques classiques de routine ont été effectuées au laboratoire des sols de l'Institut des sols à La Havane et sous la direction de L. RIVERO et E. CAMACHO. La matière organique a été fractionnée par P. PELLOUX. Les analyses minéralogiques de la fraction argile ont été effectuées par M<sup>me</sup> G. MILLOT, celles des sables par M. DELAUNE, les déterminations des oligo-éléments par M. PINTA, aux laboratoires des S.S.C. de l'O.R.S.T.O.M. à Bondy.

Les fractions granulométriques ont été obtenues à l'aide de la pipette Robinson et suivant une technique mise au point par RIVERO et AGANOFF (1978). Le sol est d'abord lessivé par de l'acide

chlorhydrique 0,05 N pour dissoudre les particules les plus fines d'oxydes de fer; la dispersion est ensuite effectuée à l'aide d'une solution de soude 0,5 N.

La stabilité structurale a été déterminée après mesure des agrégats tamisés à l'état sec et à l'état humide.

La densité réelle a été obtenue au laboratoire à l'aide du pycnomètre et la densité apparente mesurée, sur le terrain, par la méthode du cylindre.

La capacité au champ, la vitesse d'infiltration ont été mesurées sur le terrain par la méthode de la « surface noyée », le point de flétrissement obtenu par la méthode biologique à la culture d'orge, ou par la presse à membrane de Richards. Des mesures à pF 2,5, correspondant, en principe, à la capacité au

champ, et à pH 4,2 correspondant au point de flétrissement, ont donné des valeurs très comparables à celles obtenues sur le terrain ou en culture.

Le complexe absorbant a été étudié par déplacement des cations échangeables par l'acétate d'ammonium N à pH 7,0. La capacité d'échange des cations a été obtenue en traitant le sol à l'acétate de sodium suivant la technique de GEDROIZ (1963); le pH a été mesuré par potentiométrie sur une suspension de sol dans l'eau puis dans du chlorure de potassium normal (proportion 1/2,5).

Le carbone organique et l'azote total ont été dosés respectivement suivant les techniques de TIURIN (1951) par attaque sulfochromique et titration en retour au sel de Mohr, et par micro-kjeldhal et distillation de l'azote sous forme d'ammoniac.

Le fractionnement de l'humus a été effectué par la méthode préconisée aux S.S.C. de l'O.R.S.T.O.M. par DABIN *et al.* (1979) en s'appuyant sur les techniques de DUCHAUFOUR et JACQUIN (1966). Les acides fulviques libres ont été extraits par de l'acide phos-

phorique 2 M; les acides fulviques liés et humiques combinés ont été extraits au pyrophosphate de sodium 0,1 M à pH 9,8. Les acides humiques gris ont alors été extraits à la soude 0,1 N à pH 12. Le résidu insoluble constitue l'humine.

Les oxydes de fer libres sont extraits suivant la technique d'AGUILERA et JACKSON (1953). La composition centésimale de la fraction argile est obtenue après fusion alcaline. Les minéraux de la fraction sables ont été étudiés par examen microscopique après séparation en fractions légère et lourde à l'aide du bromoforme ( $d = 2,75$ )

Une étude des résidus non carbonatés des roches calcaires a été effectuée après destruction des carbonates à l'aide d'une solution d'acide acétique à 10 % tamponnée à pH 4,2 par de l'ammoniaque. Les produits résiduels sont séparés en deux fractions au-dessous et au-dessus de 20 $\mu$  par décantation. La fraction fine est étudiée aux rayons X; la fraction grossière par microscopie optique et par diffraction des rayons X.

TABLEAU I. — Quelques caractéristiques observées sur le terrain

N° profil Localisation	Horizon	Profond. cm	Couleur		Taches	Concrétions	Texture	Structure	Consistance	Porosité	Racines	Transitions	Observations
			Humide	Sec									
1. Catalina	A <sub>1</sub>	0-15	5YR4/4	5YR5/8	0	+	A	Gr M	Fri.	++	Ab.	Diffuse	La roche n'est pas atteinte à 3 mètres
	B	15-40	2,5YR3/6	5YR4/6	0	0	A	C M-F	"	++	Ab.	Grad.	
		40-70	2,5YR3/6	2,5YR4/6	0	0	A	Po F	"	++	M		
		70-110	2,5YR3/6	2,5YR4/6	+	+	A	Po M	"	+			
		110-180	2,5YR3/6	2,5YR4/6	++	+	A	P L	"	+			
2. Melena del Sur	A <sub>1</sub>	0-22	2,5YR3/6	2,5YR4/6	0	+	A	Gra F	Fri.		Ab.	Gra.	Apparition brutale du calcaire
	B <sub>1</sub>	22-39	2,5YR3/6	"	0	+	A	N F	"		Ab.		
	B <sub>21</sub>	39-73	"	"	0	(+)	A	N F	"	++	fa		
	B <sub>22</sub>	73-130	"	"	0	0	A	K F	"	++	fa		
	B <sub>23</sub>	130-163	"	"	0	+	A	N F	"	++			
	3	+ 163											
3. Union d. Reyes	A <sub>1</sub>	0-23	2,5YR3/4	5YR4/8	0	+	A	Cu M-F	Fri.	++	Ab.	Gra.	Quelques graviers de quartz
	B <sub>1</sub>	23-52	2,5YR3/6	2,5YR4/6		+	A	Cu F	"	++	Ab.		
	B <sub>21</sub>	52-86	"	2,5YR4/6		+	A		"	+	fa		
	B <sub>22</sub>	86-120	"	"		+	A		"	+			
	B <sub>23</sub>	120-170	2,5YR3/4	2,5YR3/6		+	A		"	+			
4. Agramonte		0-18	10YR3/6	10YR3/6	0	++	A-L	Gr F	Fri.	+++	fa	Gra.	Apparition brutale du calcaire
		18-31	2,5YR3/6	2,5YR4/8		++	A-L	Nu F	"	++	fa		
		31-104	10R3/6	"		+	A-L	Nu F	"	++			
		104-140	10R3/6	10R4/8		(+)	A-L		"	++			
5. Stewart		0-15	-	2,5YR3/4	0	++	A	Nu F	Fri.		fa	Gra.	Apparition brutale du calcaire
		15-34	-	"		+	A	Nu F			fa		
		34-70	-	"		+++	A	Cu F			fa		
		70-97	-	"		+++	A				0		
		97-120	-	2,5YR3/6		++	A				0		
6. Moron		0-25	10R3/6	2,5YR4/6	0	++	A	Gr F	Fri.	++	F	Gra.	à 2,5 m le calcaire n'est pas atteint
		25-40	10R3/4	"		++	A	Gr F		++	M		
		40-90	"	2,5YR3/6		+++	A			+	M		
		90-145	"	"		+++	A			+	fa		

A=argileux ; A-L=argilo-limoneux ; 0=néant ; (+)=rare ; ++quelques... ou faible ; +++assez nombreuses...moyen ; +++beaucoup.. forte ; Gr=grumeleux ; Po=polyédrique ; N=uciforme ; Cu=cubique ; Fri.=friable ; M=moyen ; F=faible ; Ab=abondants ; fa=faible ; Gra=graduelle

## 2.2. Caractéristiques morphologiques

L'essentiel des caractéristiques morphologiques est regroupé dans le tableau I.

**Couleur** — Les couleurs de l'horizon B sont presque toujours situées dans la planche 2,5 YR à l'état sec ou humide (parfois dans la planche 10 R). A l'état sec, la couleur est rouge foncé ou rouge. Les différences entre les horizons A et B sont peu marquées; les variations de couleur avec la profondeur sont quasi-inexistantes. Les taches, peu fréquentes, sont jaunes ou noires.

**Texture** — La texture est toujours fine et c'est l'argile qui apparaît être la fraction dominante. Seul le profil 6 donne une impression de limon. Des concrétions, très petites, sont présentes dans presque tous les profils; elles sont abondantes (> 10 %) dans les profils 5 et 6.

La présence de masses rocheuses dans les profils étudiés est peu fréquente. Elle a été observée à Union de Reyes (photo 2), sous forme de blocs lisses percés de cavités. A leur voisinage immédiat, le sol ne fait pas effervescence à l'acide.

Mais il existe une grande variété de sols d'épaisseur très faible et où la roche est proche de la surface où affleure (*dientes de perro*) (1).

**Structure** — La structure est toujours fragmentaire, de type grenu à polyédrique émoussée. Le plus souvent, la classe est moyenne à fine. Le degré de développement est moyen, souvent faible. Lorsque le sol est très sec, on peut observer une surstructure prismatique très grossière.

**Consistance** — Celle-ci, appréciée sur le terrain, montre que la friabilité est notable et c'est une caractéristique constante; simultanément, la porosité est toujours moyenne et parfois forte.

**Distribution des racines** — Celles-ci sont abondantes dans les 30-50 premiers centimètres. On note ensuite une nette décroissance; toutefois, certaines racines peuvent pénétrer jusqu'à un mètre et plus.

**Limites des horizons** — Elles sont graduelles parfois diffuses, et souvent difficiles à fixer sur le terrain.

On a donc un ensemble de sols où, à quelques variantes près, on observe une couleur rouge ou rouge foncé, avec de rares taches; une texture très fine, une structure grenue à polyédrique émoussée, moyenne à fine, faiblement développée; une consistance friable, une bonne porosité, un bon enracinement superficiel, un passage graduel d'un horizon à l'autre. Les profils observés ont entre 1,5 m et plus de 3 mètres d'épaisseur.

(1) Dents de chien.

## 2.3. Caractéristiques physiques

Un certain nombre de résultats de mesures ont été regroupés dans les tableaux II et III.

La *granulométrie* présente plusieurs caractéristiques constantes (tabl. II). Les teneurs en argile sont, malgré la grande friabilité observée sur le terrain, très élevées et se situent, le plus souvent, entre 60 et 90 %. Bien que l'horizon de surface présente parfois une teneur en argile un peu plus faible qu'en qu'en profondeur, il n'y a pas de ventre d'argile caractéristique qu'on puisse attribuer à une illuviation. Sur le terrain, aucun revêtement argileux (ni d'ailleurs de luisance) n'a été observé. Les teneurs sont modérées en limon fin ou grossier, variant entre 5 et 20 % au total. Les teneurs en sables varient avec les profils : moins de 5 % pour certains, plus de 20 % pour d'autres. Ceci peut être attribué à l'hétérogénéité des roches-mères, ou bien, comme cela paraît être le cas à Union de Reyes ou à Moron, à un apport de sable fin et grossier.

La *densité réelle* est généralement comprise entre 2,7 et 3,1. Ces valeurs élevées sont en relation avec des teneurs notables en oxydes de fer, et parfois en concrétions.

La *densité apparente* est comprise entre 1,1 et 1,3; elle est donc relativement basse et rend bien compte de l'aspect finement poreux et friable que présente le sol sur le terrain.

La *porosité totale* calculée à partir des densités est comprise entre 50 et 61 %. Elle apparaît suffisante pour tous les profils. La porosité pour l'air est comprise entre 15 et 30 %.

Les *teneurs en eau à différentes tensions* (pF 2,5 équivalente à la capacité au champ et pF 4,2 équivalente à point de flétrissement) appellent les remarques suivantes :

(a) les teneurs, à la capacité au champ sont assez faibles, compte tenu des hautes teneurs en argile : 29 à 33 %;

(b) les teneurs, au point de flétrissement sont par contre, assez élevées : 20 à 25 %;

(c) les différences, considérées comme l'eau utile aux plantes, sont relativement faibles. Ceci est confirmé par le fait que, sans irrigation, les plantes souffrent du manque d'eau pendant les périodes sans pluies;

(d) le profil de Limonar présente des teneurs plus élevées en eau à pF 2,5 et 4,2. Les valeurs d'eau utile sont plus fortes en profondeur que la moyenne des autres échantillons, tandis qu'en surface, elles sont du même ordre de grandeur.

TABLEAU II. — Caractéristiques physiques : granulométrie

N° du Profil Localisation	Prof. cm	SC	SF.	LC	LF	A	mm
		2,0-0,2	0,2-0,02	0,02-0,01	0,01-0,002	< 0,002	
1 Catalina (D.I)	0-10	1,0	5,8	5,4	8,4	79,6	
	20-30	1,0	1,4	4,1	12,7	80,8	
	50-60	1,1	3,7	6,2	1,0	88,0	
	85-95	1,2	0	2,1	3,8	93,5	
	120-130	2,1	8,4	1,5	0,7	87,3	
2 Melena Del Sur (EI)	7-17	0,5	4,7	1,1	8,2	85,5	
	26-36	0,5	2,5	5,7	3,9	87,4	
	50-60	0,5	2,6	1,5	3,6	91,8	
	90-105	0,9	4,2	3,8	3,8	87,3	
	140-150	0,7	3,2	5,2	5,4	85,5	
3 Union de Reyes MO3	0-20	2,9	14,3	2,2	7,0	73,6	
	30-45	3,8	16,4	9,8	4,3	65,5	
	60-75	3,8	11,3	14,9	7,8	63,2	
4 Agramonte MF4	0-18	7,8	7,2	6,2	9,1	69,7	
	18-31	8,9	6,2	5,7	4,5	74,7	
	31-104	6,1	8,6	6,8	4,2	74,3	
	104-140	10,7	19,1	6,3	11,0	52,9	
5 Stewart CF2	0-10	4,6	13,1	2,0	7,2	73,1	Refus 2mm 0
	20-30	7,6	5,1	3,5	6,8	77,1	0
	50-60	4,6	3,1	3,7	2,4	86,2	6,0
	80-90	4,8	5,0	3,5	8,1	78,6	5,5
	110-120	4,6	7,9	1,5	6,5	79,6	0
6 Moron CF1	5-15	12,5	10,9	5,7	32,5	33,0	
	30-38	11,1	8,5	2,7	26,5	49,5	
	60-80	8,3	6,7	3,8	20,0	59,0	
	140-150	2,7	3,0	4,5	28,5	57,0	
	240-250	11,5	5,6	7,5	22,5	51,5	
7 Limonar MO2	0-15	5,4	2,9	4,2	12,0	69,0	
	30-40	4,5	1,9	3,6	11,0	75,0	
	90-100	5,4	2,0	5,6	18,0	75,0	
	130-140	2,5	7,3	6,5	3,5	75,0	
	270-280	2,7	2,4	7,3	13,0	70,0	
	300-310	1,1	2,0	5,5	9,0	78,0	

TABLEAU III. — Caractéristiques physiques : densités, porosités et teneurs en eau

N° Profil Localisation	Prof.	DR	DA	Totale	Porosité %		à Eau Z		Eau utile	TS	TH
					Pour l'air	Micro- Poros.	Cap.Ch. ou pF2,5	Pt Flet. ou pF4,2			
1-Catalina DI	0-10	2,85	1,18	58,6	22,8	35,8	30,4	25,8	4,6	92,6	89,4
	20-30	2,88	1,21	61,5	23,0	38,5	31,8	26,3	5,5	87,4	74,0
	50-60	2,86	1,35	52,8	9,2	43,6	32,3	25,5	6,8	89,0	71,1
	85-95	3,08	1,33	56,8	15,0	41,8	31,4	24,7	6,7	90,3	68,4
	120-130	2,80	1,29	53,9	12,8	41,1	32,6	25,0	7,6		
2-Melena del Sur EI	7-17	2,79	1,14	59,1	22,7	36,5	32,0	23,6	8,4	92,1	83,6
	26,36	2,79	1,24	55,6	16,4	39,2	31,6	23,9	7,7	95,1	56,1
	50-60	2,76	1,22	55,8	16,5	39,3	32,2	24,6	7,6		
	90-105	2,80	1,23	56,1	17,6	38,5	32,3	23,4	8,7	85,4	54,0
	140-150	2,86	1,30	54,6	12,1	42,5	32,7	23,3	9,4	91,5	58,3
3-Union de Reyes MO3	0-20	2,83	1,22	57,0	19,3	37,7	30,9	22,6	8,3		
	30-45	2,78	1,25	55,0	15,2	39,8	31,8	21,4	10,4		
	60-75	2,87	1,30	55,0	15,2	39,5	30,3	20,8	9,5		
4-Agramonte MF4	0-18	2,80	1,32	53,0	16,0	36,9	28,0	21,9	6,1	90,1	56,0
	18,31	2,78	1,21	57,0	22,3	34,7	28,7	23,9	4,8	88,0	60,6
	31-104	2,76	1,07	61,0	29,6	31,4	29,3	21,8	7,5	99,9	34,3
	104-140	2,80	1,20	57,0	20,1	36,9	30,7	21,5	9,2	81,3	37,0
5-Moron CF1	5-15						26,0	19,9	6,1		
	30-38						28,5	22,3	6,2		
	60-80						31,5	24,1	7,4		
	140-150						31,7	24,1	6,6		
	240-250						30,0	22,8	7,2		
6-Limonar MO2	0-15						34,3	26,5	7,8		
	30-40						36,2	28,4	7,8		
	90-100						38,0	28,4	9,6		
	130-140						38,2	28,4	9,8		
	270-280						41,2	29,8	11,3		
	300-310						49,1	33,1	16,0		

DR Densité réelle  
DA Densité apparente

Cap.Ch. Capacité au champ  
Pt Flet. Point de flétrissement  
TS Tamisage à sec  
TH Tamisage humide

Le test de stabilité structurale fait apparaître qu'à sec, le tamisage affecte peu les agrégats puisqu'ils sont conservés à 90 % en moyenne. Par contre, le tamisage humide donne des résultats très variables 30 à 80 %.

**2.4. Caractéristiques chimiques et physico-chimiques des horizons humifères**

La matière organique a été déterminée sur les horizons de surface de tous les profils et mesurée sur une profondeur de deux mètres sur quelques profils (tabl. IV). Les résultats obtenus apparaissent assez groupés. En effet, en surface, les teneurs, sauf une, sont comprises entre 3 et 4 %. On observe une décroissance modérée jusque 0,75 m (0,5 à 1,0 %), puis beaucoup plus forte ensuite. Les teneurs en azote total suivent une diminution du même type, puisque de 0,2 % en surface, on descend à 0,06-0,09 vers 0,75 m (fig. 2). Le rapport C/N est compris entre 8,5 et 12,2 en surface et oscille entre 8 et 15 en profondeur. Ces caractéristiques peuvent être expliquées par la culture continue de la canne à sucre depuis de longues années. Les premiers 75 cm apparaissent en effet très facilement explorés par le système racinaire de la canne.

Quelques essais de fractionnement de la matière organique ont été effectués à partir des horizons de surface. D'une manière générale, les acides fulviques

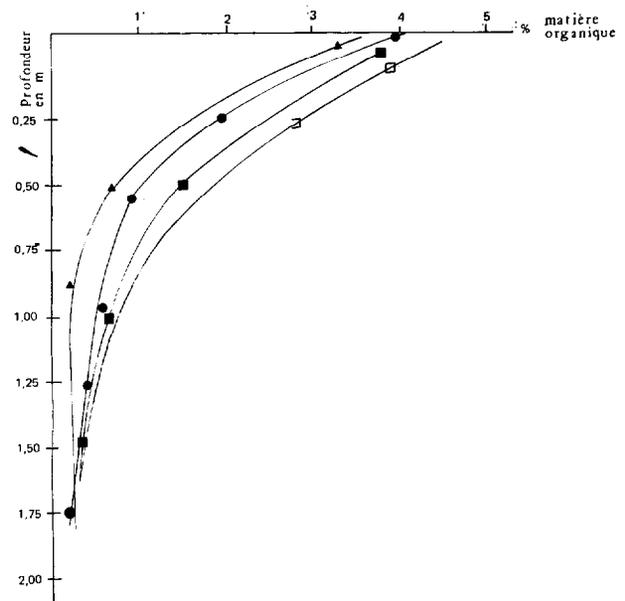


FIG. 2. — Répartition de la matière organique dans les sols ferrallitiques typiques rouges

l'emportent toujours sur les acides humiques. Par ailleurs, les acides fulviques libres sont supérieurs à chaque fraction d'acides fulviques combinés à la matière minérale, mais la fraction combinée totale est la plus abondante.

TABLEAU IV. — La matière organique et l'azote totales. Le fractionnement de la matière organique

N° du Profil Localisation	Prof.	MOZ	NZ	C/N	1	AF% 2	3	T	2	AH% 3	T	Hu% 2
1-Catalina D1	0-10	3,7	0,19	11,2	2,76	1,90	1,32	5,98	1,27	0,45	1,72	13,5
	20-30	1,8	0,09	11,2	0,57	0,30	0,33	1,20	0,23	0,06	0,29	4,16
	50-60	0,8	0,03	15,5								
	85-95	0,7	0,03	12,2								
	120-130	0,4	0,06	15,6								
2-Melena Del Sur E1	7-17	3,6	0,17	12,2	2,24	1,60	1,11	4,95	1,68	0,62	2,30	12,0
	26-36	2,5	0,16	9,1	0,50	0,19	0,25	0,94	0,10	0,07	0,17	4,0
	50-60	1,3	0,09	9,0								
	90-105	0,7	0,04	9,7								
	140-150	0,5	-	-								
3-Union de Reyes MO3	0-20	3,7	0,20	10,6								
	30-45	1,8	0,10	10,3								
	60-75	0,6	0,03	12,0								
	75-150	0,5	0,03	9,3								
4-Agramonte MF4	0-18	3,7	0,19	11,1	0,62	0,19	0,21	1,02	0,08	0,03	0,11	2,51
	18-31	1,4	0,11	7,2								
	31-104	0,8	0,06	6,9								
	104-140	0,6	0,04	8,1								
5-Stewart CF2	0-10	5,6	0,28	10,7								
	20-30	3,9	0,26	7,7								
	50-60	1,1	0,13	4,6								
	80-90	0,5	0,07	2,8								
	110-120	-	-	-								
6-Moron	5-15	3,3	0,22	8,5	1,37	1,34	1,09	3,80	1,44	0,98	2,42	6,22
7-Limonar	0-15	3,4	0,16	12,3	2,49	1,91	1,46	5,86	0,93	0,50	1,43	10,5
	30-40	1,1	0,65	10,2	0,69	0,26	0,40	1,35	0,09	0,19	0,28	4,95

AF = acide fulvique  
 AH = acide humique  
 Hu = humine

1. extraction par acide phosphorique 2N

2. extraction par pyrophosphate de sodium 0,1 M

3. extraction par soude 0,1 M

T = Total

TABLEAU V. — Le complexe absorbant

		pH			mé/100 g						Σ V
		H <sub>2</sub> O	KCl	ΔpH	Ca	Mg	K	Na	S	T	
Catalina D1	0-10	5,85	4,8	- 1,05	5,3	3,5	0,12	0,22	9,2	12,4	74
	20-30	5,40	4,6	- 0,8	4,8	2,3	0,03	0,16	7,25	9,4	77
	50-60	6,0	5,3	- 0,7	5,4	0,1	0,03	0,16	5,7	6,6	88
	85-95	5,9	5,6	- 0,3	5,3	0,5	0,03	0,15	6,0	6,6	91
	120-130	6,1	5,7	- 0,4	4,3	0,8	0,03	0,11	5,2	5,6	93
	170-180	6,2	5,6	- 0,6	4,1	0,5	0,03	0,12	5,7	5,8	98
Melena Del Sur E1	7-17	6,6	-	-	10,9	2,4	0,60	0,01	13,9	19,3	72
	26-36	5,5	-	-	8,35	3,2	0,03	0,01	11,6	15,4	75
	50-60	6,6	-	-	5,8	3,2	0,02	0,01	9,0	10,9	82
	90-105	6,9	-	-	4,5	3,2	0,01	0,01	7,7	11,5	67
	140-150	6,8	-	-	7,1	0,5	-	0,01	7,6	9,6	71
	à 20 cm de	6,5	-	-	8,75	0,9	0,06	0,13	9,8	11,5	85
	à 15 cm de	6,7	-	-	3,5	3,65	0,03	0,07	7,3	12,5	58
	à 10 cm de	6,6	-	-	2,75	7,4	0,06	0,13	10,1	16,2	62
	à 5 cm de	6,6	-	-	6,85	4,4	0,09	0,13	11,5	17,2	66
	tout près de la roche	6,9	-	-	14,75	4,0	0,10	0,13	18,9	22,5	84
Union de Reyes M03	0-20	6,7	5,5	- 1,2	12,9	2,4	0,09	0,15	15,5	18,3	84,7
	30-45	6,5	5,75	- 0,75	9,6	1,5	0,04	0,21	11,3	13,2	85,6
	60-75	6,7	5,9	- 0,8	8,3	1,2	0,04	0,21	9,75	11,8	82,6
	75-153	6,7	5,9	- 0,8	7,95	1,0	0,04	0,27	9,3	10,0	93,0
	à 15 cm de	6,3	5,6	- 0,7	7,75	0,2	0,09	0,01	8,1	11,0	73,4
	à 10 cm de	6,6	5,8	- 0,8	7,25	1,0	0,09	0,01	8,3	15,25	54,8
	à 5 cm de la roche	7,5	-	-	14,25	0,6	0,09	0,01	15,1	16,75	90,0
Agramonte MF4	0-18	6,65	5,6	- 1,05	12,2	2,4	0,16	0,30	15,3	16,8	90,0
	18-31	5,8	4,9	- 0,9	5,6	1,5	0,06	0,30	7,4	8,2	90,7
	31-104	6,0	5,25	- 0,75	3,8	2,5	0,03	0,14	6,5	7,0	92,8
	104-140	6,1	5,45	- 0,65	3,7	3,0	0,03	0,09	6,8	7,0	97,3
	à 15 cm de	6,4	-	-	4,75	1,6	0,15	0,17	6,6	9,75	68,1
	à 10 cm de la roche	6,8	-	-	5,50	4,0	0,09	0,10	9,6	11,75	82,0
Stewart CF2	0-10	6,1	5,2	- 0,9	-	-	-	-	-	19,6	-
	20-30	6,2	5,4	- 0,8	-	-	-	-	-	15,8	-
	50-60	6,6	5,8	- 0,8	-	-	-	-	-	17,8	-
	80-90	6,8	5,9	- 0,9	-	-	-	-	-	17,6	-
	110-120	7,1	6,0	- 1,1	-	-	-	-	-	-	-
	à 15 cm de	6,8	5,8	- 1,0	9,0	7,0	0,20	0,50	16,7	17,2	97
à 10 cm de	6,6	-	-	10,0	4,0	0,20	0,30	14,5	14,75	98	
à 5 cm de la roche	6,8	-	-	9,6	4,5	0,22	0,40	14,7	16,5	89	
Moron CF1	5-15	6,7	6,1	- 0,6	8,25	4,5	1,48	0,11	14,3	16,8	85
	30-38	7,2	6,3	- 0,9	6,25	4,25	0,83	0,08	11,4	12,0	95
	60-80	7,4	6,4	- 1,0	5,90	3,90	0,75	0,08	10,6	11,0	97
	140-150	7,0	6,0	- 1,0	-	-	-	-	-	-	-
	240-250	7,3	6,3	- 1,0	5,25	4,0	0,36	0,10	9,7	10,4	93
Limonar M02	0-15	5,7	5,0	- 0,7	5,7	3,3	0,08	0,08	9,1	18,0	51
	30-40	6,3	5,8	- 0,5	6,75	2,25	0,06	0,10	9,1	13,3	69
	90-100	6,2	5,9	- 0,3	5,40	2,1	0,04	0,10	7,6	13,3	59
	130-140	6,1	5,8	- 0,3	6,0	2,25	0,05	0,12	8,4	15,5	54
	290-300	5,7	5,4	- 0,3	10,5	3,0	0,15	0,16	13,1	17,8	78
	300-310	5,7	5,0	- 0,7	21,0	3,45	0,40	0,27	25,1	29,5	84

Les teneurs en humine sont toujours très largement dominantes.

Dans les horizons de surface (tabl. V) la *capacité d'échange de cations* varie entre 12 et 19 mé/100 g. Le cation dominant du complexe absorbant est le calcium (5 à 12 mé/100 g). Le potassium et le sodium sont généralement faibles (à l'exception du sol de Melena).

## 2.5. Caractéristiques des horizons minéraux

### 2.5.1. LE COMPLEXE ABSORBANT

Tout d'abord, il faut rappeler les faibles variations de la capacité d'échange observées dans tous les

profils à l'exception des horizons supérieurs humifères. Des échantillons ont été prélevés à proximité de la roche-mère, lorsque celle-ci pouvait être atteinte (à moins de 20 cm de la roche). Ici encore, les résultats ne sont pas très différents de ceux du reste du profil (cf. tabl. V).

Les pH H<sub>2</sub>O et KCl ont été mesurés. Les pH/H<sub>2</sub>O sont généralement compris entre 6,0 et 7,0. L'abaissement du pH par le chlorure de potassium donne une valeur de ΔpH de - 0,5 à - 1,0. Le profil Limonar est un peu plus acide que la moyenne des valeurs obtenues et le ΔpH est nettement plus faible avec - 0,3, en raison des fortes teneurs en oxydes de fer.

Le *complexe absorbant* est caractérisé par une

capacité d'échange généralement comprise entre 10 et 18 mé/100 g. Les ions échangeables sont essentiellement le calcium représenté par 3 à 10 mé/100 g; le magnésium varie entre 1 et 7 mé/100 g avec des teneurs toujours inférieures à celles du calcium. Le potassium et le sodium échangeables sont toujours très faibles sauf un ou deux échantillons dont on peut supposer que le sol a reçu des engrais. Le degré de saturation est toujours élevé de 60 à 95 %, et le plus souvent vers 85 à 95 % (profils 2 et 5, tabl. V). Les résultats obtenus pour les échantillons très proches des roches-mères ne sont pas très différents de ceux du reste du profil sauf pour les échantillons les plus proches de la roche où la teneur en calcium échan-

geable et la capacité d'échange sont légèrement plus fortes.

2.5.2. LES CONSTITUANTS MINÉRAUX DES SOLS ont été étudiés sur un certain nombre d'échantillons où l'on a pu effectuer les déterminations suivantes : oxydes de nickel, chrome et cobalt, oxydes de fer totaux et libres; minéraux de la fraction sableuse; minéraux de la fraction argileuse :

(a) les oxydes de nickel, chrome et cobalt (tabl. VI) permettent d'obtenir deux ensembles de résultats fort différents :

— les six premiers profils (à l'exception de celui de Limonar) présentent des teneurs assez constantes.

TABLEAU VI. — Quelques constituants métalliques : oxydes de Ni, Cr, Co et Fe

	Ni	ppm Cr	Co	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %		L/T	
				Total	Libre		
1. Catalina D1	0-10			14,0	11,0	78	
	20-30			15,0	14,0	93	
	50-60			15,0	14,0	93	
	85-95	255	194	80	14,7	14,5	90
	120-130				17,0	15,5	91
	170-180						
2. Melena Del Sur E1	7-17	170	194	70	14,0	13,5	96
	26-36				14,5	11,0	76
	50-60	205	210	80	14,0	12,5	89
	90-105				19,2	14,2	74
	140-150				15,5	11,9	76
	à 20 cm	210	167	75	14,0	13,5	96
	15	225	167	75	14,0	9,0	64
	10	225	172	75	14,3	13,5	94
	5	220	172	88	14,3	13,5	94
	tout près de la roche	210	189	75	14,3	13,5	94
3. Union de Reyes	0-20				15,3	12,7	83
	30-45				16,0	15,0	94
	60-75				14,8	12,0	81
	75-150				15,3	14,0	91
	à 15 cm	335	250	85	12,8	11,0	86
	10 cm	260	205	77	12,0	11,5	96
5 cm de la roche	290	270	75	12,0	12,0	100	
4. Agramonte	0-18	475	716	55	17,0	15,5	91
	18-31	525	633	50	15,0	13,5	90
	31-104	520	716	53	15,0	15,0	100
	104-140	515	722	51	14,0	14,0	100
	à 15 cm	520	583	58	15,0	14,0	93
	10 cm	500	522	51	14,5	14,0	97
5. Stewart	0-10				13,3	-	
	20-30				13,5	-	
	50-60				14,4	-	
	80-90				15,7	-	
	110-120				14,9	-	
	à 15 cm	395	289	63	12,0	10,5	87
10 cm	405	350	66	12,0	10,5	87	
5 cm	380	333	66	13,0	10,0	77	
6. Moron	5-15	435	888	76	13,0	10,5	81
	30-38	475	699	76	12,0	7,5	63
	60-80	465	672	66	12,0	7,0	58
	140-150	445	466	69	13,0	9,5	73
	240-250	500	944	85	13,0	10,5	81
7. Limonar	0-15	4400	5384	385	31,9	22,0	69
	30-40	3250	4718	230	29,0	23,5	80
	90-100	3250	5217	355	29,0	20,5	70
	130-140	3250	6216	393	31,0	21,5	69
	290-300	3900	5384	385	26,0	19,0	72
	300-310	3900	4107	165	23,0	17,0	73

Le nickel varie de 200 à 500 ppm, le chrome de 150 à 700 ppm, le cobalt de 60 à 90 ppm. Les variations d'un profil à l'autre sont nettes en ce qui concerne nickel et chrome; insignifiantes en ce qui concerne le cobalt. Les variations à l'intérieur d'un profil ne sont pas significatives. La proximité des roches calcaires ne paraît pas modifier sensiblement les résultats;

— dans le profil 7 (Limonar), les résultats sont, par contre, très différents : les teneurs en nickel et chrome ont augmenté de 6 à 20 fois, tandis que celles en cobalt ont augmenté de 4 à 5 fois;

(b) les oxydes de fer libres (tabl. VI) sont compris pour la plupart des sols (à l'exception du profil 7

— Limonar — où les valeurs sont de 23 à 31 %) entre 12 et 17 %. Les variations d'un profil à l'autre sont peu importantes; il en est de même à l'intérieur des profils. Au voisinage des roches-mères, on note une diminution des teneurs en oxydes totaux (profils 3 et 5 par exemple).

Les oxydes de fer libres représentent un pourcentage élevé des oxydes totaux : 80 à 90 %, en général. Dans le profil 7 (Limonar) les teneurs en oxydes libres sont beaucoup plus élevées (17 à 23 %) au lieu de 10 à 12 %. Le rapport  $Fe_2O_3$  libre/ $Fe_2O_3$  total est plus faible : 70 %. Mais ceci est certainement explicable par l'abondance des minéraux riches en fer

TABLEAU VII. — Détermination des constituants (minéraux lourds) de la fraction sable

Profil	Profondeur en cm	Minéraux lourds Z	Minéraux identifiés						
1 Catalina D <sub>1</sub>	0-20	22	A <sub>12</sub>	D <sub>17</sub>	St <sub>45</sub>	Ep <sub>5</sub>	Zr <sub>16</sub>	Gr <sub>17</sub>	
	45-65	26		D <sub>17</sub>	St <sub>49</sub>		Zr <sub>17</sub>		
	70-80	30	A <sub>+</sub>	D <sub>+</sub>	St <sub>++</sub>				
	110-120	90	A <sub>+</sub>					To <sub>++</sub>	
	165-175	28	A <sub>29</sub>	D <sub>14</sub>	St <sub>43</sub>		Zr <sub>14</sub>		
240-250	38		D <sub>++</sub>				Gr <sub>++</sub> To <sub>++</sub>		
2 Melena E <sub>1</sub>	0-10	25	A <sub>+</sub>	D <sub>+</sub>			Zr <sub>+</sub>		
3. Union de Reyes	0-20	14	Au <sub>+</sub>					Pi <sub>+</sub>	
	30-45	4	A <sub>27</sub>	D <sub>23</sub>	St <sub>21</sub>		Zr <sub>+</sub>	Gr <sub>2</sub> To <sub>6</sub> Ru <sub>1</sub>	
	60-75	4	A <sub>29</sub>	D <sub>17</sub>	St <sub>30</sub>	Ep <sub>+</sub>	Zr <sub>1</sub>	Gr <sub>3</sub> To <sub>5</sub> Ru <sub>1</sub>	
	75-150	4	A <sub>25</sub>	D <sub>22</sub>	Si <sub>4</sub> St <sub>38</sub>	Gr <sub>1</sub>	Zr <sub>1</sub>	To <sub>5</sub> Ru <sub>5</sub>	
4 Agramonte	à 15 cm à 10 cm de la roche	33	Gr <sub>20</sub> Ru <sub>40</sub> Ru <sub>40</sub>			Zr <sub>40</sub> Zr <sub>60</sub>			
7 Limonar	0-15	24	Spinelle (chromite) +++				Rutile ++		
	30-40	13							
	90-100	19							
	130-140	25							
290-300	28								

A andalousite; Au augite; D disthène; Ep épidote  
 Gr grenat; Si sillimannite; St staurotide; To tourmaline  
 Pi pigeonite; Ru rutile; Zr zircon.  
 Les chiffres indiquent les pourcentages  
 +++ très abondant ++ abondant + présent

(chromite par exemple) et difficilement attaquables par le dithionite de sodium;

(c) la fraction sables (tabl. VII). Quatre profils ont été étudiés : les sables extraits et examinés par les méthodes de la sédimentologie en procédant à la séparation par densité suivie d'examen optique ou aux rayons X.

La fraction légère est constituée essentiellement de quartz (avec parfois de la kaolinite) (1). La fraction

lourde est constituée de deux groupes de constituants : les profils 1 à 4 renferment des minéraux de métamorphisme (andalousite, disthène et surtout staurotide; on y observe également des grenats, du rutile, du zircon. Ces minéraux proviennent de roches qui ont été affectées par un métamorphisme léger. Le profil 7 (Limonar) contient essentiellement de la chromite;

(d) La fraction argile a été analysée par voie

(1) Dans d'autres profils, on a pu identifier des petites quantités de feldspaths.

chimique (fusion alcaline et dosage des constituants) et par diffractométrie de rayons X (cf. tabl. VIII).

La constitution de la fraction argile apparaît assez constante; les teneurs en silice, alumine et titane sont à peu près les mêmes d'un échantillon à l'autre. Les teneurs en oxydes de fer varient davantage (de 12 à 18 %); ces teneurs sont proches de celles du sol total. Le rapport silice/alumine varie assez peu : 1,5 à 1,8-1,9.

Les diagrammes X mettent en évidence surtout une kaolinite désordonnée, plus rarement de la métahalloysite. La gibbsite est très fréquente et bien reconnaissable par le pic à 4,8 Å. La boehmite n'a

été observée dans aucun des échantillons examinés (1). L'hématite et la goethite sont présentes ensemble avec dominance de l'hématite. Parfois, on observe un bombement vers 13-14 Å, surtout à la base des profils. Elle a tendance à s'estomper vers le haut des profils.

### 2.5.3. ÉTUDE DES ROCHES CALCAIRES SOUS-JACENTES AUX SOLS

Quatre roches (cf. tabl. IX) ont été analysées afin de connaître leur contenu minéral autre que le carbonate de calcium. Le carbonate a été dissous par traitement à l'acétate d'ammonium acide (pH

TABLEAU VIII. — Analyse des fractions inférieures à 2 μ

Prof.	Z	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	SiO <sub>2</sub>		Minéraux Argileux
						Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	R <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	
1 Catalina D <sub>1</sub>	0-20	29,2	33,5	15,8	1,4	1,5	1,1	K G He
	45-65	31,1	34,2	15,1	1,1	1,55	1,2	
	70-80	31,6	34,4	14,9	1,1	1,6	1,2	
	110-120	30,7	35,3	15,8	1,2	1,5	1,16	
	165-175	31,8	33,7	14,6	0,9	1,6	1,3	
	240-250	30,5	35,3	15,3	1,1	1,5	1,15	
2 Melena E <sub>1</sub>	7-17	31,1	31,5	15,3	1,2	1,7	1,3	K Gi Go He " " 14tr " 14tr " 14tr
	26-36	32,5	31,1	13,5	0,6	1,8	1,4	
	50-60	32,3	31,7	15,2	0,9	1,7	1,3	
	90-105	30,9	33,4	15,4	1,2	1,6	1,2	
	140-150	31,6	33,2	15,0	1,15	1,6	1,25	
3 Union de Reyes	0-20	35,2	34,1	14,8	-	1,75	1,4	K Gi He
	30-45	35,4	35,85	14,2	-	1,7	1,3	
	60-75	36,7	35,55	14,8	-	1,75	1,4	
	75-150	36,0	34,8	14,2	-	1,76	1,4	
	à 15 10 5							
4 Agramonte MF <sub>4</sub>	0-18	31,9	31,6	18,6	1,15	1,72	1,25	K Gi He K Gi He + 14A + 14A
	18-31	30,9	39,9	18,6	1,3	1,55	1,50	
	31-104	31,8	33,9	19,3	1,35	1,6	1,2	
	104-140	31,9	33,1	19,3	1,15	1,6	1,1	
	à 15 10							
5 Stewart	0-10	34,0	32,2	15,0	0,9	1,8	1,4	K Gi Go
	20-30	35,6	33,0	14,0	0,8	1,9	1,5	
	50-60	36,0	33,9	13,3	0,7	1,8	1,5	
	80-90	37,0	34,7	12,7	0,7	1,8	1,5	
	110-120	38,6	34,6	12,6	0,7	1,9	1,5	
	15 10 5							
6 Moron	5-15	37,5	31,7	18,0	0,95	2,0	1,5	K He
	30-38	38,6	32,5	14,0	0,8	2,0	1,6	
	60-80	39,2	32,2	12,8	0,7	2,1	1,65	
	140-150							
	240-250							

K Kaolinite - He Hématite - Gi Gibbsite -  
Go Goethite - 14 minéral argileux à 14Å - A Abondant - tr trace

(1) Mais elle a été identifiée dans d'autres profils analogues.

TABLEAU IX. — Constituants non carbonatés de 4 roches calcaires sous-jacentes aux sols

	Résidu %	Fraction > 20 $\mu$	Fraction < 20 $\mu$
2. Melena del Sur E <sub>1</sub>	0,75	Abondant, grenat, épidote Peu abondant : Zr Id. Hrv D Ana. Rare : Si St Trace : Ma Go	Kaolinite Goethite I-M faible
3. Union de Reyes	3,4	Très ab. : Ep. Peu ab. : Gr Zr Rare : Hrv D To Ru Trace : Anat. Sp.	Kaolinite Goethite I-M peu important
4. Agramonte MF4	0,2	Ab. : Gr Ep. Peu ab. : Zr Rare : Ru An Trace : Hrv Ido. Sp	Quartz Gibbsite Goethite Kaolinite + interstrat. import.
5. Stewart	0,73	Ab. : Id. Peu ab. : Gr. Ep. Rare : Zr Trace : Hr M. An.	Kaolinite Goethite I-M (probable) abondant

Gr. grenat ; Ep. épidote ; Hrv hornblende verte  
D. disthène ; Si sillimanite ; St Straurotite  
Zr Zircon ; M monazite ; Id. idocrase ; Sp. spinelle  
An. anatase ; Ru. rutile ; Ma magnétite ; Go goethite

4,2). Les résidus ont été séparés en deux fractions : supérieure et inférieure à 20 $\mu$  et examinés par les méthodes optiques et par diffraction des rayons X. Les résultats obtenus appellent les observations suivantes (tabl. IX) :

(a) à partir des roches dures et très blanches au départ, on obtient 0,2 à 3,5 % d'un résidu de couleur jaune-brun à rouge ;

(b) les minéraux de la fraction supérieure à 20 $\mu$  sont des constituants de roches métamorphiques comme les grenats, l'idocrase, l'épidote, le zircon, la sillimanite, la staurotite, etc. Des spinelles ont été également observées. La fraction inférieure à 20 $\mu$  révèle la dominance systématique de minéraux kaolinitiques dans tous les échantillons. Dans tous les cas, un minéral 10-14 Å, non gonflant a été identifié ; il s'agit d'un interstratifié (I-V).

Dans tous les échantillons, il existe des quantités notables de minéraux ferrugineux, hématite et surtout goethite parfaitement identifiables. Dans deux échantillons la gibbsite est également présente.

### 3. DISCUSSION ET CONCLUSIONS

#### 3.1. Essai de reconstitution de la genèse des sols

Elle est déduite de l'étude des sols sous tous leurs aspects : morphologique, physico-chimique, constituants organiques et minéraux ; ainsi que de l'observation de l'environnement actuel et de la connaissance de l'évolution du relief, des climats depuis la

mise en place des roches-mères qui ont pu donner naissance aux sols.

Les calcaires associés aux sols étudiés ont été mis en place au cours du Miocène, très légèrement basculés, avec une pente très faible vers le sud, et émergés définitivement dès le Pliocène. Il s'agit de roches dures (1), riches en carbonate de calcium, de couleur blanche. L'abondance et la nature des fossiles de certains niveaux permet de penser qu'il s'agit de dépôts de mers peu profondes, mais où l'influence des terres émergées est modérée.

Ces terres émergées sont constituées par des roches où les silicates de métamorphisme résistant à l'altération vont laisser des traces durables. Ces roches doivent être d'un métamorphisme modéré analogue à celui que l'on trouve actuellement dans l'île des Pins, dans l'Escambray et dans certaines parties de l'Orient. Des schémas paléogéographiques proposés par ITURRALDE-VINENT (1977), montrent qu'au Miocène Moyen, de larges espaces étaient émergés, au voisinage des zones étudiées sous formes d'îles de taille variable. Mais dès le Miocène Supérieur l'émergence était pratiquement totale et l'on peut penser que la pédogenèse a pu commencer dès ce moment (fig. 3).

A ces roches sont associés les massifs d'ultrabasites (péridotites plus ou moins serpentinisées et minéralisées en nickel, chrome et cobalt) que l'on observe dans toute la moitié nord de l'île d'une extrémité à l'autre. Ces roches doivent former des reliefs peu importants, sous un climat que l'on peut estimer chaud et humide. A partir de ces faibles

(1) Le coup de marteau est sonore et doit être répété pour briser la roche.

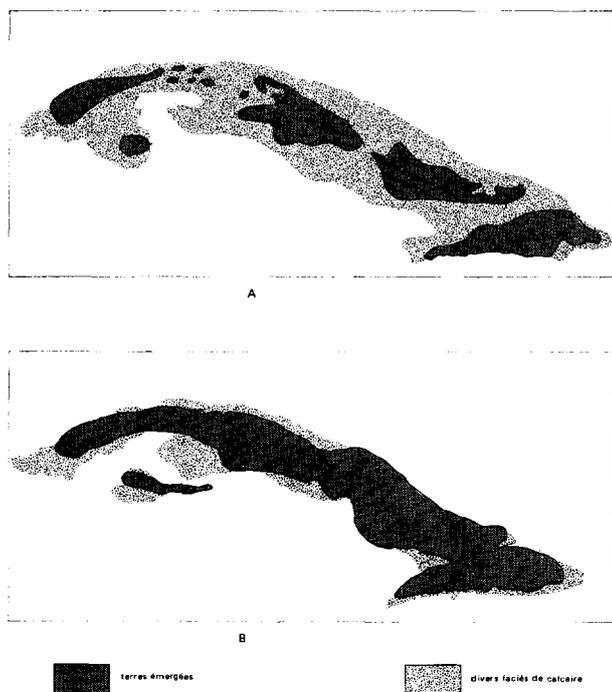


FIG. 3. — A : Cuba au Miocène Moyen.  
B : Cuba au Pliocène Quaternaire

reliefs les à-coups alluviaux sont rares. Ils doivent porter des sols proches des sols ferrallitiques que l'on connaît actuellement.

L'érosion modérée apporte à la mer, en petite quantité, d'une part des minéraux argileux (kaolinite surtout et minéraux 2/1 en plus faible quantité), des hydroxydes de fer et d'aluminium, et d'autre part des minéraux non altérés où dominent les silicates de métamorphisme auxquels se joignent quelques spinelles provenant des ultrabasites. Les minéraux altérables sont très rarement observés. Ce mélange de minéraux provenant d'une altération aérienne de roches métamorphiques et ultrabasiques s'incorpore peu à peu et toujours en faible quantité aux carbonates de calcium. Dès la fin de la sédimentation miocène, les reliefs de métamorphites ont pratiquement disparu, tandis que ceux des ultrabasites demeurent.

Le calcaire est donc constitué d'une quantité très importante de matériaux carbonatés avec à la fois des résidus des sols des terres émergées et des minéraux résistants provenant de leurs roches-mères.

Tout au long du Pliocène et du Quaternaire, les roches calcaires, faiblement déformées, sont émergées. Cuba a, dès ce moment, à peu près, la forme et les dimensions qu'on lui connaît aujourd'hui. Les roches calcaires vont subir les effets du climat; un relief

karstique va s'élaborer et des produits de dissolution vont couvrir en grande partie les calcaires (karst couvert) tandis que les formes aériennes les plus classiques (dolines, pertes, poljes, mogotes) vont marquer le paysage. En profondeur, des réseaux hydrographiques très importants vont rassembler l'eau rapidement infiltrée, au point que les rares rivières dignes de ce nom à Cuba n'existent qu'en dehors des zones calcaires.

On a peu de renseignements sur l'évolution climatique pendant le Pliocène et le Quaternaire à Cuba. On peut supposer toutefois que, comme le reste de la zone intertropicale, il a pu y avoir des variations notables, avec des changements importants dans les précipitations. On observe que des aplanissements d'origine continentale ont été décrits par MASSIE (1942) et DUCLOZ (1963) et l'on peut les considérer comme contemporains de retraits de la mer. On note également des accumulations de matériaux sableux ou argilo-sableux qui indiquent que des déplacements horizontaux mélangeant les produits de surface ont pu se produire.

La pédogenèse en conditions humides a permis la dissolution d'une épaisseur notable de calcaires laissant un résidu non carbonaté qui s'accumule peu à peu et dont une partie évolue. En effet, dans la fraction sableuse du sol on retrouve les mêmes types de minéraux : silicates de métamorphisme et spinelles que dans les roches sous-jacentes. Dans la fraction fine, les kaolinites et les sesquioxides s'accumulent tandis que les minéraux argileux 2/1 disparaissent. Ils n'ont été retrouvés que très rarement à proximité de la roche. La goethite, présente dans les roches, est remplacée dans les profils par l'hématite; la gibbsite présente parfois dans les roches, est souvent abondante dans le sol.

Au cours de périodes plus sèches, la dissolution des carbonates est ralentie, voire arrêtée. Une précipitation peut avoir lieu. Mais le stock de minéraux argileux et d'hydroxydes, demeure à peu près inchangé. On assiste à une érosion modérée des sols et leur redistribution, avec dépôt à faible distance vers la côte sud plate et le mélange avec des produits provenant de reliefs d'autres zones (schistes et/ou péridolites).

Le retour de conditions humides se traduit par la reprise des mouvements verticaux (dissolution du calcaire) accompagnée de la poursuite de l'accumulation de nouveaux résidus.

Actuellement, l'on est dans la période humide qui a dû débiter après la fonte des glaciers du Wisconsin et traduite par le retour de précipitations chaudes, la réinstallation de la forêt dense. Il y a quelques milliers d'années, les premiers hommes s'installent. Ils suppriment une faible partie de la végétation naturelle pour subvenir à leurs besoins. Au xvi<sup>e</sup> siècle,

avec l'arrivée des premiers colons européens se produisent des événements marquants : défrichement de très grandes étendues pour permettre des cultures plus importantes comme la canne à sucre, le caféier et également l'installation de pâturages pour un nombreux cheptel bovin.

L'on a parfois pensé que les sols ferrallitiques rouges pouvaient être mis en relation avec les péridotites, auxquels ils devraient leurs teneurs en oxydes de fer. Mais cette hypothèse ne résiste pas à l'examen, malgré la présence de quelques spinelles dans les roches et les sols :

(a) les péridotites sont des roches pauvres en aluminium (une petite quantité de plagioclases), tandis que les sols sur calcaire présentent de fortes teneurs en argile dominées par des kaolinites et de la gibbsite;

(b) les péridotites sont riches en métaux comme le nickel, le chrome et le cobalt; or les teneurs des sols sur calcaire sont très faibles, en ces trois métaux;

(c) les teneurs en fer des sols sur calcaire ne sont pas très élevées et il n'est nullement nécessaire de faire appel aux péridotites pour les expliquer;

(d) les minéraux du métamorphisme présents dans les roches calcaires et les sols semblent de nature à assurer la parenté entre roches et sols.

Par conséquent, on est amené à penser que les sols ferrallitiques rouges sont bien apparentés aux roches calcaires sous-jacentes. Dès dissolution des carbonates, les résidus hérités de la roche-mère peuvent servir de matériaux pour la formation du sol.

Les minéraux argileux 2/1 n'ont qu'une existence très brève et s'altèrent pour permettre la formation de minéraux argileux 1/1 et d'un peu de gibbsite. Les roches contiennent des minéraux argileux 1/1, de la gibbsite (et parfois de la boehmite) dont les sols vont hériter.

Le constituant ferrugineux dominant des roches est presque toujours de la goéthite qui est remplacée dans le sol par de l'hématite.

Les autres minéraux (silicates de métamorphisme surtout) se retrouvent dans la fraction sable du sol.

On n'atteint jamais les teneurs importantes en hydroxydes d'aluminium connues en Haïti ou à la Jamaïque. Il ne semble pas davantage que puisse être retenu un schéma de formation analogue à celui envisagé par ZANS (1959).

### 3.2. Différenciation en horizons

La *dissolution des calcaires* se poursuit. Elle peut être observée dans de très nombreux points. Très souvent, la roche est proche de la surface. On connaît beaucoup de sols peu épais; on constate que la roche

se colore en rouge sur quelques millimètres avant de se dissoudre.

Elle peut être observée également à la base de certains profils plus épais, ou bien à l'intérieur même du sol.

Cette omni-présence du calcaire se traduit par une abondance de l'ion calcium; les remontées biologiques, l'apport des eaux d'irrigation, renforcent les teneurs des horizons de surface.

Il en résulte une saturation très forte des sols en calcium (60 à 90 %) et un pH proche de la neutralité. Il n'a jamais été noté de précipitations de carbonate secondaire dans le sol lui-même; mais dans certaines diaclases plus profondes (observations de carrières) on peut observer de belles cristallisations de calcite.

La *formation des horizons minéraux* se poursuit par l'acquisition de la structure. Les minéraux libérés par la dissolution ou formés au cours de l'altération se rassemblent immédiatement en formant de petits agrégats stables qui se soudent entre eux en laissant un espace poral assez volumineux. L'horizon est difficile à subdiviser. Il se présente sous forme de gros prismes irréguliers mais la masse du sol peut être facilement réduite en fins agrégats.

Si l'argile est abondante, elle semble migrer difficilement. Les teneurs paraissent assez régulières et des revêtements argileux ne sont pas visibles.

La *formation des horizons humifères* confère à la partie supérieure du profil une couleur à peine plus foncée qu'en profondeur. Les teneurs en matière organique décroissent lentement d'abord puis plus rapidement. Les acides humiques sont inférieurs aux acides fulviques. Ces caractéristiques paraissent pouvoir être mises en relation avec la culture de la canne à sucre.

### 3.3. Utilisation des sols

Malgré le nom de ferrallitique généralement associé par des sols de fertilité réduite, ces sols sont en réalité parmi les meilleurs de Cuba, où ils sont cultivés depuis de très nombreuses années sans qu'un signe de faiblesse soit en vue.

Ils conviennent aux diverses cultures développées dans le pays. Avant tout à la canne à sucre mais également aux agrumes, aux caféiers, au tabac, sans compter les diverses cultures vivrières, pommes de terre, patates douces, taros, haricots, tomates, etc.

Leur faible réserve en eau utile justifie l'apport d'eau d'irrigation pendant la période d'hiver (la plus sèche). L'eau pompée généralement dans la nappe apporte, d'ailleurs un appoint de calcium aux sols. Mais distribuée en trop grande abondance, elle risque de provoquer des engorgements en surface et en profondeur.

L'apport massif d'engrais ne se justifie pas encore de manière urgente. Seul l'azote provoque une réponse de la plante. Mais les formes ammoniacales et l'urée risquent de provoquer une acidification brutale suivie d'une perte des précieux mais fragiles ions

calcium du complexe, rapidement remplacés par de l'aluminium.

Manuscrit reçu au Service des Éditions de l'O.R.S.T.O.M.  
le 28 juillet 1982.

## BIBLIOGRAPHIE

- AGUILERA (N.), JACKSON (M. L.), 1953. — Iron oxide removal soils and clays. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 17, 4 : 359-364.
- BAISRE (J.), 1972. — Caracterización química de tres tipos de suelos de Cuba. *Acad. Cienc. La Habana, Ser. Suelos* 15 : 1-23.
- BENNETT (H. H.), ALLISON (R. V.), 1928, 1966. — Los Suelos de Cuba y Algunos nuevos suelos de Cuba. Ed. Revolucionaria, La Habana : 125 et 375.
- CAMACHO (E.), BOSCH (D.), PAULIN (J. R.), 1978. — Diferenciación de los suelos de una catena de region ferralitica. *Cienc. Agric. La Habana*, 2 : 77-78.
- DABIN (B.) et collaborateurs, 1979. — Extraction et dosage de la matière organique dans les sols. *Documents ronéo. S.S.C., Bondy*, 17 p.
- DUCHAUFOUR (Ph.), JAQUIN (F.), 1966. — Nouvelles recherches sur l'extraction et le fractionnement des composés organiques. *Bull. de l'Ec. Nat. Sup. Agro. de Nancy*, t. 8, fasc. 1.
- DUCLOZ (C.), 1963. — Étude géomorphologique de la région de Matanzas, Cuba, avec une contribution à l'étude des dépôts quaternaires de la zone Habana-Matanzas. *Arch. des Sci., Genève, Suisse*, vol. 16, 2 : 351-402.
- GEDROITZ (R. R.), 1963. — Chemical analysis of soils (Khimiches analiz. pochv.) Transl. from Russian. Jerusalem, Israël, *Program for scientific Translations*, t. 2, 602 p.
- I.N.R.A., DIRECCION NACIONAL SUELOS Y FERTILIZANTES. — Suelos de Cuba, Orbe, La Habana, vol. 1, 352 p.
- INSTITUTO DE SUELOS, 1973. — Genesis y clasificación de los Suelos de Cuba *Acad. Cienc., La Habana*, 284 p.
- KARTASHOV (I. P.), MAYO (N. A.), CHERNIAKOVSKI (A.), PENALVER (L.), 1976. — Descripción de algunas formaciones geológicas del sistema cuaternario de Cuba. *Acad. Cienc. La Habana, Ser. Geología* 26 : 2-12.
- MASSIP (S.), YSALGUE DE MASSIP (E.), 1942. — Introducción a la geografía de Cuba. La Habana, 250 p.
- ITURRALDE-VINENT (M. A.), 1977. — Los movimientos tectónicos de la etapa de desarrollo platformico en Cuba. *Inst. Geol. Y Paleon., Acad. Cienc. La Habana. Inform. Científico técnico* n° 20, 24 p.
- MAYO (N. A.), KARTASHOV (I. P.), 1972. — Sobre la influencia de la abrasión del mar en la formación del relieve de Cuba *Actas* 2, *Acad. Cienc., La Habana, Reunion IV Congr. Cientif.* : 53-56.
- RIVERO (L.), AGAFONOFF (O.), 1978. — Comparación de dos métodos de dispersión en algunos suelos de Cuba, en relación con su estructura y el contenido en óxido de hierro y materia orgánica. *Ciencia de la Agricultura La Habana* 2 : 107-120.
- SHISHOV (L. L.), 1968. — Sobre la clasificación de los suelos de las plantaciones de caña de azúcar en Cuba. *Bead. Cienc., La Habana, Ser. Caña de Azúcar*, 21, 16 p.
- TIURIN (I. V.), 1951. — Vers une méthode d'analyse pour l'étude comparative des constituants de l'humus des sols (en russe) *Acad. Sci. U.R.S.S. Trav. Inst. Sol. Dokutchaevev* : 32-38.
- ZANS (V. A.), 1959. — Recent views on the origin of bauxite. *Geonotes* 1, 5 : 123-132.
- ZONN (S. V.), CABRER MESTRE (P.), VASQUEZ (L. R.), 1966. — Attempt of compiling a genetic classification of Cuban soils. *Sov. Soil Sci.* : 1361-1371.