

UNIVERSITÉ DE DIJON
Institut des Sciences de la Terre

T H È S E

présentée pour obtenir

LE GRADE DE DOCTEUR DE TROISIÈME CYCLE

Option : Sédimentologie – Paléobiologie

par

Dalmacio BOSCH INFANTE

LES SOLS DES PLAINES KARSTIQUES
DE LA RÉGION OCCIDENTALE DE CUBA :
ÉTUDE D'UNE PLAINE QUASI-FERMÉE
SITUÉE DANS LA ZONE DE CATALINÀ DE GUINES
ET PARTICULIÈREMENT DES SOLS FERRALLITIQUES JAUNES

Soutenue publiquement le 30 mars 1981, devant la Commission d'Examen :

Jury : MM. Pierre RAT	Professeur	Président
Noël LENEUF	Professeur	Examineur
Maurice LAMOUREUX		Examineur
Pierre SÉGALEN		Examineur

O. R. S. T. O. M.
P A R I S
1 9 8 1

S O M M A I R E

AVANT-PROPOS	1
1. INTRODUCTION	3
2. MATERIEL ET METHODES	7
2.1. Méthode de travail sur le terrain	7
2.2. Méthodes analytiques	8
3. CONDITIONS NATURELLES	11
3.1. Localisation	11
3.2. Climat	12
3.3. Végétation	17
3.4. Géologie	18
3.5. Géomorphologie	20
3.6. Hydrographie	23
4. LES SOLS DE LA ZONE ETUDIEE.....	25
4.1. Les vertisols à drainage externe nul ou réduit et à structure anguleuse.....	25
4.2. Les sols calcimagnésiques.....	30
4.2.1. Rendzines	30
4.2.2. Bruns calcaires	33
4.2.3. Bruns calciques	36
4.3. Les sols à sesquioxides de fer : Fersiallitiques..	40
4.4. Sols ferrallitiques	46
4.4.1. Modaux	46
4.4.2. Compacts	55
4.4.3. Hydromorphes	61
4.4.4. Ferritiques modaux	67
4.4.5. Sols ferrallitiques moyennement désaturés en (B), lessivés jaunes	72
4.4.6. Quelques caractéristiques micromorphologiques des sols ferrallitiques	81
4.5. Les sols hydromorphes minéraux ou peu humifères à speudogley	83
5. PROBLEMES SOULEVES PAR L'ETUDE DES SOLS.....	89
5.1. Evolution du relief et mise en place des matériaux de l'ensemble de la zone	89
5.1.1. Evolution du relief de la zone étudiée	89
5.1.2. Mise en place des matériaux : cas des sols ferrallitiques lessivés jaunes	91

5.2. Caractéristiques et genèse des sols étudiés	93
5.2.1. Les vertisols	93
5.2.2. Les sols calcimagnésiques	94
5.2.3. Les sols fersiallitiques	95
5.2.4. Les sols ferrallitiques	99
5.2.4.1. Modaux formés sur calcaire dur miocène	100
5.2.4.2. Compacts	105
5.2.4.3. Hydromorphes	107
5.2.4.4. Ferritiques	110
5.2.4.5. Les sols ferrallitiques moyennement désaturés en (B), lessivés jaunes	112
5.2.5. Les sols hydromorphes minéraux ou peu humifères à pseudogley	120
5.3. La répartition des sols	122
5.3.1. Les sols formés sur les hauteurs	122
5.3.2. Les sols formés dans la plaine	123
5.4. Comparaison entre les sols ferrallitiques typiques modaux, formés sur calcaire du centre de la plaine et ceux formés sur les hauteurs calcaires voisines.	126
5.5. Classification des sols	130
5.5.1. Vertisols	130
5.5.2. Sols calcimagnésiques	131
5.5.2.1. Rendzines	131
5.5.2.2. Sols bruns calcaires	131
5.5.2.3. Sols bruns calciques	131
5.5.3. Sols à sesquioxydes de fer	132
5.5.4. Sols ferrallitiques	133
5.5.4.1. Sols ferrallitiques faiblement désaturés en (B)	133
5.5.4.2. Sols ferrallitiques moyennement désaturés en (B)	133
5.5.5. Sols hydromorphes	135
5.6. Utilisation des sols	137
5.6.1. Les vertisols	137
5.6.2. Les sols calcimagnésiques	138
5.6.3. Les sols fersiallitiques	139
5.6.4. Les sols ferrallitiques	139
5.6.4.1. Modaux	139
5.6.4.2. Compacts	141
5.6.4.3. Hydromorphes	141
5.6.4.4. Ferritiques	141
5.6.5. Les sols ferrallitiques moyennement désaturés en (B), lessivés jaunes	142
5.6.6. Les sols hydromorphes	143
6 CONCLUSIONS GENERALES	145
7 BIBLIOGRAPHIE	149
8 PLANCHES PHOTOGRAPHIQUES	

AVANT PROPOS.

C'est grâce à l'accord de coopération existant entre l'Office de la Recherche Scientifique et Technique d'Outre Mer (ORSTOM), et l'Académie des Sciences de Cuba, que ce travail a pu être réalisé. Qu'il me soit donc permis de témoigner toute ma gratitude au Professeur G. CAMUS et au Docteur W. TORRES, respectivement Directeur Général et Président de ces deux institutions.

Au moment de présenter le résultat de l'étude que j'ai menée dans le cadre de cet accord, je tiens à exprimer mes plus vifs remerciements et ma sincère reconnaissance, tant à ceux qui m'ont aidé, qu'à ceux qui ont bien voulu juger ce travail:

- Monsieur le Professeur P. RAT, de l'Université de Dijon, qui a accepté la présidence du jury de cette thèse.

- Monsieur N. LENEUF, Professeur à l'Université de Dijon et Président du Comité Technique de Pédologie de l'O.R.S.T.O.M., qui s'est intéressé de près, au déroulement de mes travaux, et qui a bien voulu être membre de ce jury.

Je voudrais maintenant remercier tout particulièrement, et du fond du coeur, celui qui depuis 1973 a guidé mes travaux :

- Monsieur Pierre SEGALIN, Inspecteur Général de Recherche de l'O.R.S.T.O.M., en qui j'ai trouvé à tout moment, un conseiller patient et disponible. Les corrections, les suggestions et les critiques qu'il m'a apportées au cours de nos longues heures d'entretien, ont été déterminantes dans la conduite de mes travaux.

- Ma reconnaissance va également à Monsieur M. LAMOUREUX, qui a suivi de très près le déroulement de mes travaux. Ses conseils, critiques et encouragements, m'ont été d'une aide précieuse. Je le remercie d'avoir bien voulu être membre du jury.

- A Monsieur le Professeur G. AUBERT, qui a consacré toute sa vie à l'étude des sols et qui m'a encouragé dans ma vocation de pédologue. J'adresse tous mes remerciements pour les conseils et les suggestions qu'il a su me prodiguer avec bienveillance.

Je dois une reconnaissance particulière au Directeur de l'Institut des Sols de l'Académie des Sciences de Cuba, l'Ingénieur A. CARDENAS, pour l'appui sans réserves qu'il a donné à la réalisation de ce travail.

Je remercie également mes camarades du département de Génèse et Géographie, pour leur soutien moral, ainsi que le personnel des Laboratoires de Chimie et Physique de cet Institut, en particulier à A. FUNDORA et R. SCULL du Laboratoire de Minéralogie.

Mes remerciements vont aussi à ceux qui m'ont été d'une aide appréciable dans le travail de terrain : R. PAULIN ; M. ARCIA ; et O. VASALLO.

Ma gratitude à mon camarade et ami E. CAMACHO pour ses précieux conseils.

Je remercie pour leur efficacité et leur compétence le personnel des Laboratoires des Services Scientifiques Centraux de l'ORSTOM, où ont été réalisés une grande partie des analyses et des travaux cartographiques, en particulier : MMmes A. BOULEAU, G.MILLOT, D. DELAUNE, E. GAVINELLI, M.L. RICHARD ; MMrs M. PINTA, D. RAMBAUD, M. KOUKOUÏ, P. VERDONI, J.F. COMBROUX, LE ROUGET, J.F. PARROT, J.C. PLOTTE

MMrs QUINET et HIERNAUX du Service de Documentation de l'ORSTOM, et leurs collaborateurs ont permis la réalisation technique de cet ouvrage, qu'ils en soient remerciés.

Mme TARQUINI qui a assuré la dactylographie de cette thèse, trouve ici l'expression de mes plus vifs remerciements.

Pour l'appui moral que j'ai reçu de leur part, au cours de la rédaction de cette thèse, ma plus sincère reconnaissance à D. GOMEZ et à M. MAUPAS.

Et à tous ceux qui de près ou de loin, en France ou à Cuba m'ont permis de mener à bien ce travail, l'expression de ma profonde gratitude.

1 INTRODUCTION

L'archipel cubain dont l'île principale atteint 105 007 km², s'étend à l'Ouest des Grandes Antilles entre 74° et 85° de Longitude Ouest, situé sous le Tropique du Cancer, entre 20° et 23° de Latitude Nord, il est totalement inclus dans la zone intertropicale.

Les roches-mères des sols de Cuba, sont très variées, on observe des roches métamorphiques, des péridotites le plus souvent serpentinisées, des roches grenues, comme les diorites, grano-diorites, gabbros etc... Cependant, il existe en dominance des calcaires (Bermudes 1963), datés du Jurassique ou Miocène supérieur. Le calcaire miocène occupe une superficie importante.

La moyenne annuelle des précipitations varie de 1400 à 1800 mm. Les régions montagneuses sont plus humides (parfois plus de 2000 mm par an) et le Sud-Est plus sec (800 à 1100 mm par an). La température moyenne varie entre 20° et 22° en hiver, et entre 25° et 27° en été.

La zone choisie pour ce travail, est située à l'Est de la province de La Havane. C'est une plaine dont l'altitude varie de 80 à 120 mètres. Elle est presque fermée, avec un exutoire, vers le Sud, qui la fait communiquer avec la "pénéplaine Sud" de La Havane*. Les hauteurs qui l'entourent peuvent atteindre 300 mètres et sont formées de différents types de roches : métamorphiques volcaniques, péridotites serpentinisées et surtout par divers types de calcaires, où prédominent les calcaires miocènes. Le substratum géologique de la plaine elle-même, est formé par des marnes et surtout par des calcaires miocènes. Dans le centre de la plaine, et sur les calcaires, s'est déposée une couche argileuse et parfois argilo-sableuse, qui varie entre 3 et 15 mètres d'épaisseur. Cette couche est très semblable à celle décrite par Kartashov et al (1976), sous le nom de "Formation Guevara". C'est à partir de ces matériaux que semblent avoir été formés les sols "ferralitiques moyennement désaturés en (B), léssivés jaunes.

Les conditions climatiques de cette région sont très semblables à celles du reste du pays. On observe des moyennes annuelles de 1482 mm de précipitations et 24,4° C de température.

* Déjà étudiée par Camacho (1980).

Une caractéristique importante de la plaine étudiée, est le fort développement du karst, on peut observer de très nombreuses dolines, des ponors, ainsi que des formes karstiques résiduelles représentées par de "mogotes" isolés. Ce développement du karst met en évidence une forte dissolution des calcaires, avec l'accumulation sur place des résidus de décarbonatation, sur lesquels vont agir les processus de pédogénèse pour former des sols.

Malgré les conditions climatiques de la région, on peut observer une grande variabilité dans les sols, représentés par des vertisols, des sols calcimagnésiques, des sols fersiallitiques, des sols ferrallitiques et des sols hydromorphes. Pour expliquer la répartition et la gènes de différents sols de la zone étudiée, on a été amené à rechercher d'éventuelles relations entre les sols et les différentes roches-mères, ainsi qu'avec la topographie.

Les sols les plus répandus dans cette plaine, sont les sols ferrallitiques, et en particulier les sols "ferrallitiques lessivés jaunes". Ces sols ont été peu étudiés à Cuba, et de même, il n'existe aucune hypothèse expliquant leur formation et leur évolution. Par contre, pour les sols ferrallitiques modaux formés sur calcaire, plusieurs hypothèses ont été avancées.

Bennett et Allison (1928), soutiennent que ces sols sont formés "in situ" à partir de l'altération des calcaires. Cette hypothèse a été suivie plus tard par l'Institut des Sols de Cuba (1973) ; Ségalen (1973) ; Bosch et al (1978) ; Camacho (1980), Bosch, Camacho et Segalen (1980).

Une autre hypothèse proposée par Zonn (1966, 1968) ; Nemeč et al (1967) ; Shishov (1973) ; Formell et al (1974) etc... considèrent que ces sols sont formés à partir d'un mélange des produits de l'altération des péridotites et des calcaires, mais, en donnant une plus grande importance aux produits provenant des péridotites.

La dernière hypothèse avancée par Kartashov et al (1976), soutient qu'il faut considérer ces sols comme des dépôts sédimentaires d'origine marine.

Ces sols formés sur calcaires miocènes et péridotites, ont été étudiés des points de vue physique, chimique et minéralogique, pour établir d'éventuelles relations entre roches et sols. En outre, des études minéralogiques ont été faites sur les résidus non carbonatés des calcaires, des comparaisons ont été faites avec les minéraux des sols qui surmontent les calcaires.

Plusieurs profils de sols ferrallitiques lessivés jaunes ont été caractérisés. Ainsi nous avons été amenés à chercher des relations entre les constituants de ces sols et deux des autres sols de la zone, ainsi qu'avec les roches de l'environnement pour tenter de donner une explication à leur genèse.

L'étude de plus de 30 profils, ainsi que les observations des formes actuelles du relief et de divers facteurs comme la topographie, les roches, l'hydromorphie etc., ont permis de proposer une explication sur la genèse de chaque type de sols.

L'influence de la roche et de la topographie sur la répartition des sols, ont pu être mises en évidence.

Enfin, l'étude des facteurs qui limitent l'utilisation des sols a été observée.

2 MATERIEL ET METHODES

2.1. METHODE DE TRAVAIL SUR LE TERRAIN

Une reconnaissance générale de la zone nous a permis d'avoir une idée des roches-mères, de la topographie, de l'hydrographie de la végétation et de la répartition de différents types de sols.

Le travail de prospection pédologique s'est appuyé sur un fond cartographique à 1/20.000 et 1/50.000 et sur des photographies aériennes à 1/37.000 de la zone. On a utilisé aussi des travaux déjà faits, comme les cartes à 1/50.000 qui ont servi de base à la réalisation de la carte de sols à 1/250.000 levée par l'Institut des Sols de l'Académie des Sciences de Cuba, ainsi que des cartes de sols par séries établies par le Ministère de l'Agriculture. On a enfin utilisé la carte géologique à 1/100.000 faite par l'Institut de Géologie de l'Académie des Sciences de Cuba (1979 inédite).

Tout d'abord, on s'est rendu compte du rôle joué par la topographie et les roches-mères, sur la répartition des sols de la plaine ; c'est pourquoi on a examiné des sols suivant des toposéquences, en partant des hauteurs vers le centre de la plaine, dans diverses directions. On a alors choisi plusieurs profils suivant le type de roche-mère et dans la plaine elle-même, pour mettre en évidence les variations de différents types de sols et leurs caractéristiques, plusieurs profils ont été examinés, échantillonnés et analysés.

Au total 30 fosses pédologiques ont été creusées à des profondeurs allant jusqu'à 2 - 2,50 mètres et jusqu'à ce que la roche soit atteinte dans le cas des sols moins profonds. Parfois, on a prélevé des échantillons à 3 mètres à l'aide de la tarière.

Pour établir les contours des unités des sols, on a fait des observations tous les 450 - 500 mètres avec la tarière ; mais dans le cas d'associations complexes de sols, les points d'observation ont été plus rapprochés.

Pour faire les caractérisations physiques, chimiques et minéralogiques, des échantillons ont été prélevés dans tous les horizons des profils étudiés. Avec les observations morphologiques, ainsi qu'avec les résultats analytiques obtenus, on a classé les sols et, une carte des sols au 1/50.000 a été établie.

Avec les cartes topographiques, les photographies aériennes, et les observations faites sur le terrain, on a pu établir une carte géomorphologique au 1/50.000 pour représenter les différents niveaux et les formes du relief.

En ce qui concerne la géologie, on a utilisé la carte géologique de la province de La Havane, réalisée par l'Institut de Géologie de l'Académie des Sciences de Cuba, en vérifiant sur le terrain les différents types de roches et leur répartition dans la zone étudiée.

Pour connaître la végétation de la zone, on s'est appuyé sur les données fournies par l'Institut de Botanique de l'Académie des Sciences de Cuba, et sur des observations faites sur le terrain. L'hydrologie de la zone a été décrite d'après les données de l'Institut National d'Hydrologie, des observations sur les cartes topographiques, les photographies aériennes et des observations sur le terrain.

2.2. METHODES ANALYTIQUES

Les méthodes analytiques utilisées pour la caractérisation des différents sols, sont les suivantes.

Les déterminations du carbone organique et l'azote ont été faites par la méthode préconisée par Tiurin : d'abord une oxydation avec un mélange d'acide sulfurique concentré et de bichromate de potassium. Pour avoir le bichromate consommé par le carbone, on fait un titrage en retour avec du sel de Mohr. En ce qui concerne l'azote, on rend le milieu basique avec la soude et on distille l'ammoniaque formé par la vapeur d'eau et on recueille l'ammoniaque dans une solution d'acide borique, le titrage se fait avec l'acide chlorhydrique 0,02 N.

Pour la détermination du pH on a utilisé la méthode potentiométrique à l'aide d'un potentiomètre à électrode de verre. On réalise une suspension du sol dans l'eau, ou le chlorure de potassium dans la proportion 1 / 2,5.

L'acidité d'échange a été déterminée par lixiviation avec le chlorure de potassium 1 N à pH 7,0. L'acidité totale par acidimétrie en présence de phénolphtaleine et hydroxyde de sodium. Pour connaître ce qui revient à l'aluminium et à l'hydrogène, on complexe d'abord l'aluminium avec du fluorure de sodium et on dose l'hydrogène.

Pour la détermination du carbonate de calcium, on a employé la méthode gazométrique en mesurant le gaz carbonique produit par l'action de l'acide chlorhydrique à 10 %.

Les bases échangeables (S) ont été déterminées après lixiviation du sol par l'acétate d'ammonium 1 N à pH 7,0. La capacité d'échange des cations (T), a été obtenue en utilisant la méthode de Gedroiz (1963), avec l'acétate de sodium 1 N à pH 5, saturation avec du chlorure de calcium 1 N à pH 7, ensuite, élimination de l'excès de chlorure avec l'alcool, déplacement du calcium par l'acétate d'ammonium 1 N à pH 7 et finalement dosage du calcium par titrage avec le complexon III.

Pour l'analyse chimique totale sur la fraction argile, on a employé la méthode par fusion alcaline.

Une attaque fluoro-perchlorique sur quelques échantillons a été réalisée pour déterminer le Mn, Cr, Ni et Co. On élimine la silice et les différents éléments sont dosés par absorption atomique.

La détermination du fer libre a été faite par la méthode de DEB, en utilisant l'acétate de sodium N, le tartrate de sodium 0,2 N et l'hydrosulfite de sodium, après dosage avec l'auto-analyseur. Le fer total a été déterminé avec l'acide chlorhydrique concentré à chaud.

Afin de connaître la composition minéralogique des différents types de calcaires et d'établir une relation des roches avec les sols, on a fait l'extraction des produits non carbonatés en broyant d'abord très finement la roche et en dissolvant les carbonates à l'aide d'une solution d'acide acétique à 10 % tamponnée à pH 4,2, avec de l'ammoniaque.

Pour les propriétés physiques, on a employé les méthodes suivantes :

La composition mécanique est effectuée par la méthode acido-alcaline de Kachinski (1958). Les échantillons sont traités d'abord avec une solution d'acide chlorhydrique 0,05 N. Cette solution va dissoudre les particules fines d'oxyde de fer, le carbonate du sol, mais également vont être dissous, les petits graviers de calcaire qui contaminent l'échantillon au moment de la préparation. Ceci fait apparaître parfois les teneurs assez élevées en carbonate.

Ensuite les échantillons sont traités avec une solution d'hydroxyde de sodium 0,5 N et agitation, la séparation des différentes classes de particules a été faite à l'aide de la pipette de Robinson.

La stabilité structurale est déterminée par tamisage des agrégats à l'état humide et à l'état sec. La micro-structure est déterminée selon la méthode de Kachinski, par agitation d'une heure en présence d'eau, puis séparation des particules par la pipette Robinson.

On a obtenu la densité réelle à l'aide d'un pycnomètre au laboratoire, tandis que la densité apparente a été mesurée sur le terrain avec la méthode du cylindre. La capacité au champ est déterminée au laboratoire avec la presse à membrane de Richards, et sur le terrain par la technique de la surface noyée. Le point de flétrissement a été obtenu avec la presse de Richards.

La vitesse d'infiltration a été mesurée sur le terrain par la technique de la surface noyée à l'aide de cylindres de différentes tailles.

L'indice de plasticité a été déterminé avec la méthode de Casagrande. La porosité totale pour l'air et la réserve en eau sont obtenues par calcul.

L'analyse minéralogique de la fraction sable, a été faite en séparant les minéraux lourds des minéraux légers, à l'aide de liquides de densité élevée (2,9). Les minéraux lourds transparents ont été déterminés au microscope, tandis que les minéraux opaques ont été analysés aux rayons X. Les minéraux légers ($d = 2,9$) ont été déterminés aussi par rayons X.

Pour identifier les minéraux argileux on a utilisé la diffraction des rayons X, le microscope électronique et l'analyse thermique différentielle.

3 CONDITIONS NATURELLES

3.1. LOCALISATION

L'archipel cubain est situé entre 74° et 85° de longitude W, et entre 20° et 23° de latitude N.

Il est formé par : une grande île longue, (environ 1200 kms), et étroite, (145 km à l'Est et 32 km à l'Ouest). Une île de taille moyenne (Ile de Pins), située à l'extrémité Sud-Ouest, et un grand nombre de petites îles qui entourent l'île principale.

La zone étudiée, est située à l'Ouest du pays, à environ 30 km à l'Est de La Havane, entre les villes de Juraco, Aguacate, Madruga et Cataline de Güines, (Fig. 1).

Il s'agit d'une plaine située entre 80 et 120 mètres d'altitude, entourée par des hauteurs, de 150 à 300 mètres, formées par divers types de calcaire, ainsi que par un petit massif de péridotites.

Cette plaine a un léger pendage vers le Sud avec un exutoire (le Rio Americano) qui communique avec la pénéplaine Sud de La Havane*.

* Déjà étudiée par Camacho (1980).

3.2. LE CLIMAT

L'île de Cuba est située dans la zone intertropicale, au Sud du tropique du Cancer. Selon la classification de KÖPPEN on peut classer le climat comme tropical A.W, avec deux saisons bien marquées. La saison sèche de Novembre à Avril, et la saison des pluies de Mai à Octobre, avec une moyenne annuelle qui varie de 1400 à 1800 mm. pour tout le territoire (sauf la côte Sud-Est plus sèche).

On note pour l'ensemble de l'île, une augmentation graduelle des précipitations de la côte vers l'intérieur et de la région orientale vers la région occidentale dans les zones planes du pays.

La température moyenne annuelle est de l'ordre de 25,5°C. Pendant l'hiver, la température moyenne varie entre 20 et 22°C, et en été de 25 à 27°C. On peut constater une faible variation des températures entre les deux périodes.

Il faut souligner la coïncidence entre la période la plus fraîche avec la saison la plus sèche, tandis que la plus chaude correspond à la saison des pluies.

Dans la zone étudiée, le climat correspond aux données générales précédentes, mais pour avoir une idée plus précise, on a pris en compte les données concernant trois stations pluviométriques avec 20 ans d'observations, situées dans la zone cartographiée, (Fig. 2).

La moyenne annuelle est de 1482 mm. (tableau 1). Les précipitations sont réparties tout au long de l'année, mais avec deux saisons définies. La saison des pluies (Mai à Octobre) est en relation avec une certaine réduction de la circulation de l'alizé, tandis que la terre et les masses d'air se réchauffent, comme cela s'observe dans les parties centrale et occidentale du pays (DAVITAYA et TROUSOV, 1965).

Pendant cette saison, tombent 78% du total des pluies, avec deux maxima, en Mai et en Septembre-Octobre (Fig. 3, 4 et 5) ;

Figure 1

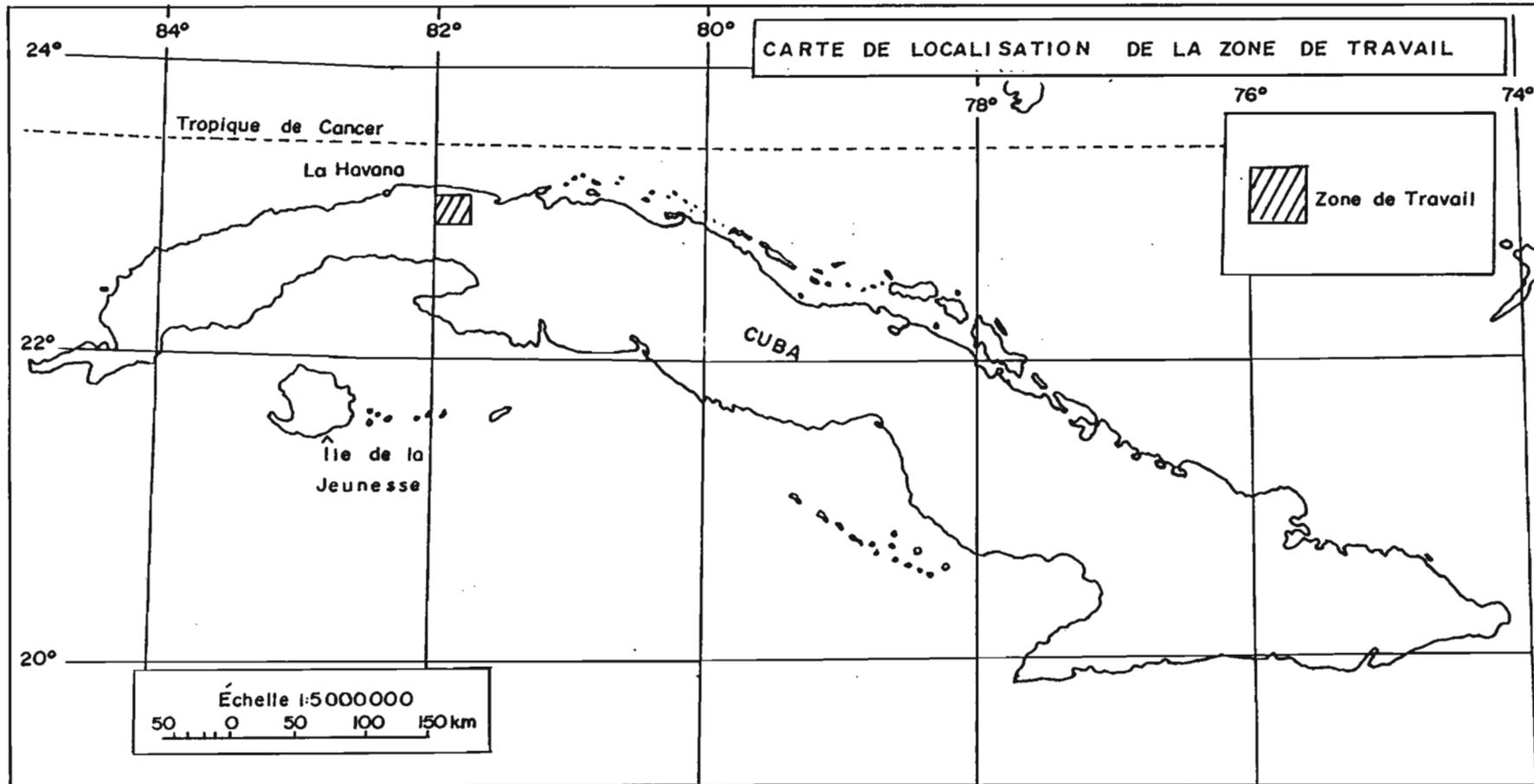
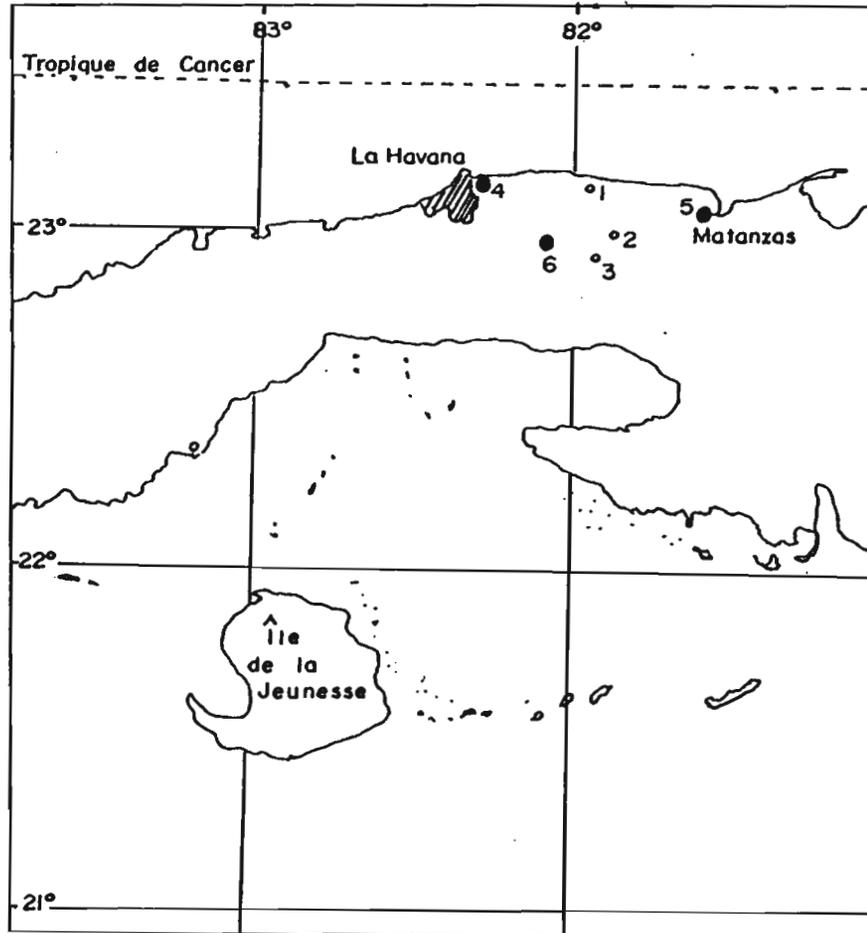


Figure 2



CARTE DE LOCALISATION DES STATIONS PLUVIOMÉTRIQUES
ET MÉTÉOROLOGIQUES

ÉCHELLE: 1 : 2 500 000

25 0 25 50 75 100 125 Km

LEGENDE

- STATION MÉTÉOROLOGIQUE
- STATION PLUVIOMÉTRIQUE

- 1 Central Camilo Cienfuegos
- 2 Central Ruben Martínez
- 3 Central Boris Luis Santa Coloma
- 4 Casablanca
- 5 Matanzas
- 6 San José de las Lajas

Diagramme ombrothermique "Central Camilo Cienfuegos"

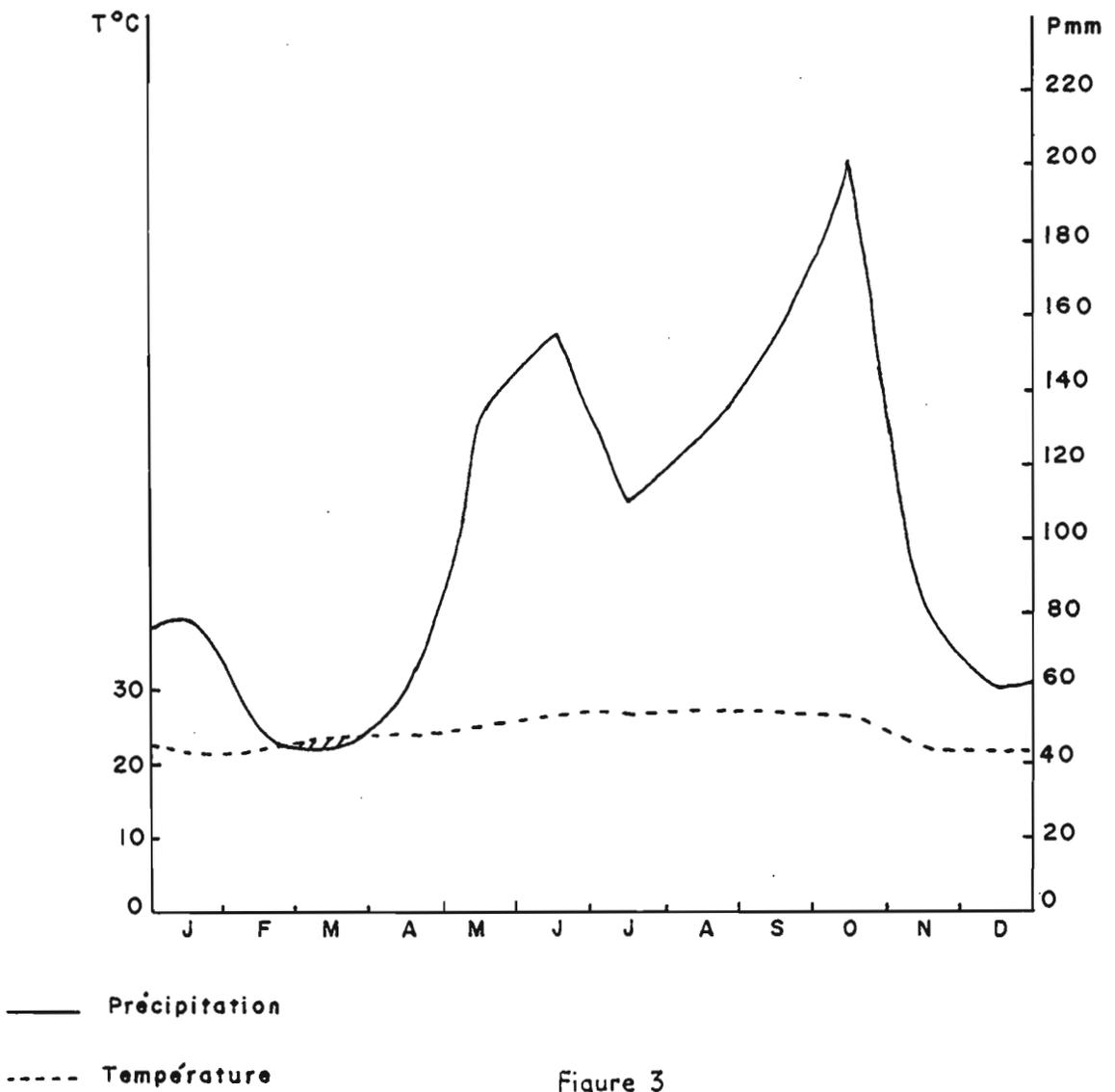
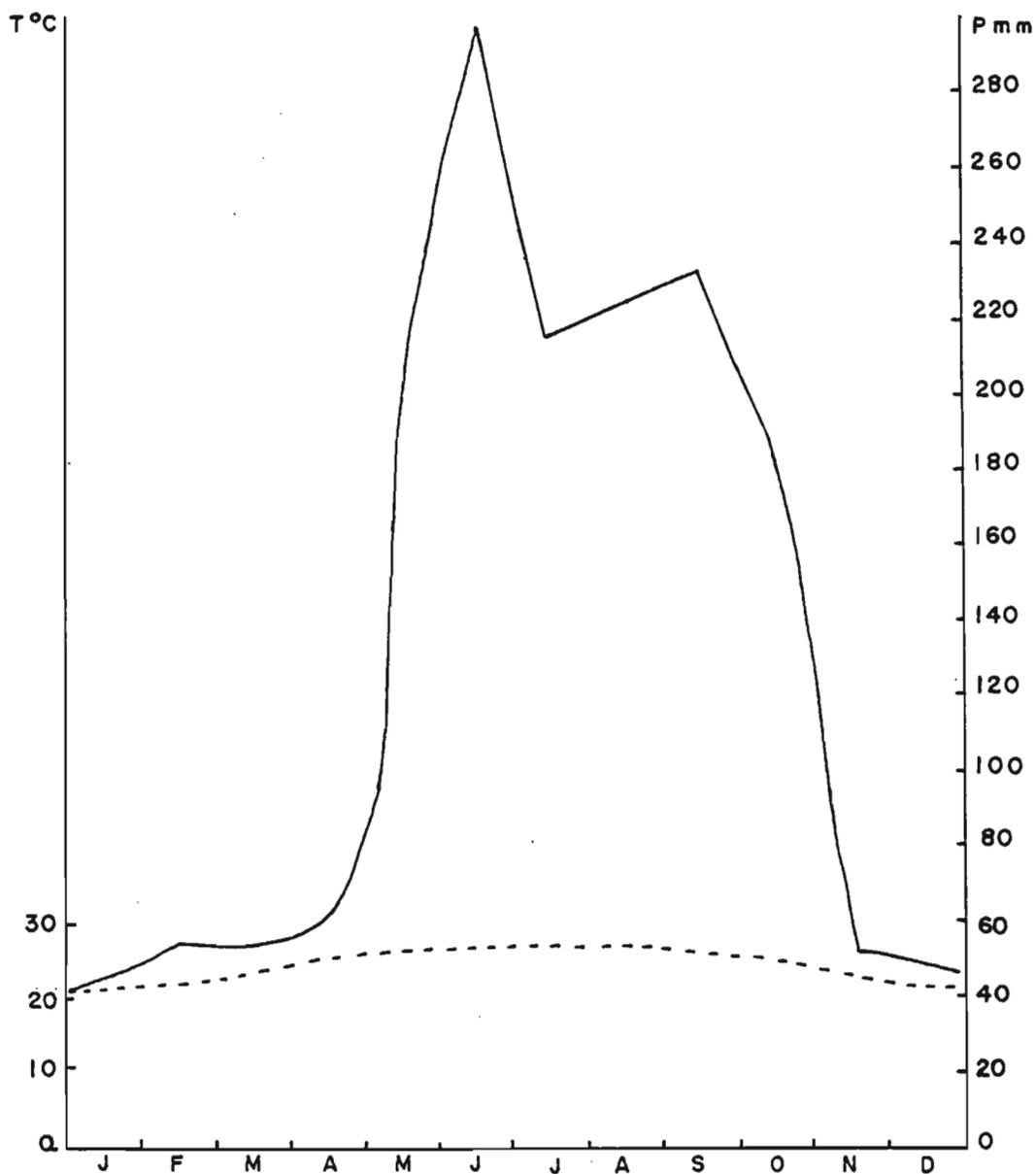


Figure 3

Diagramme ombrothermique "Central Ruben Martínez"

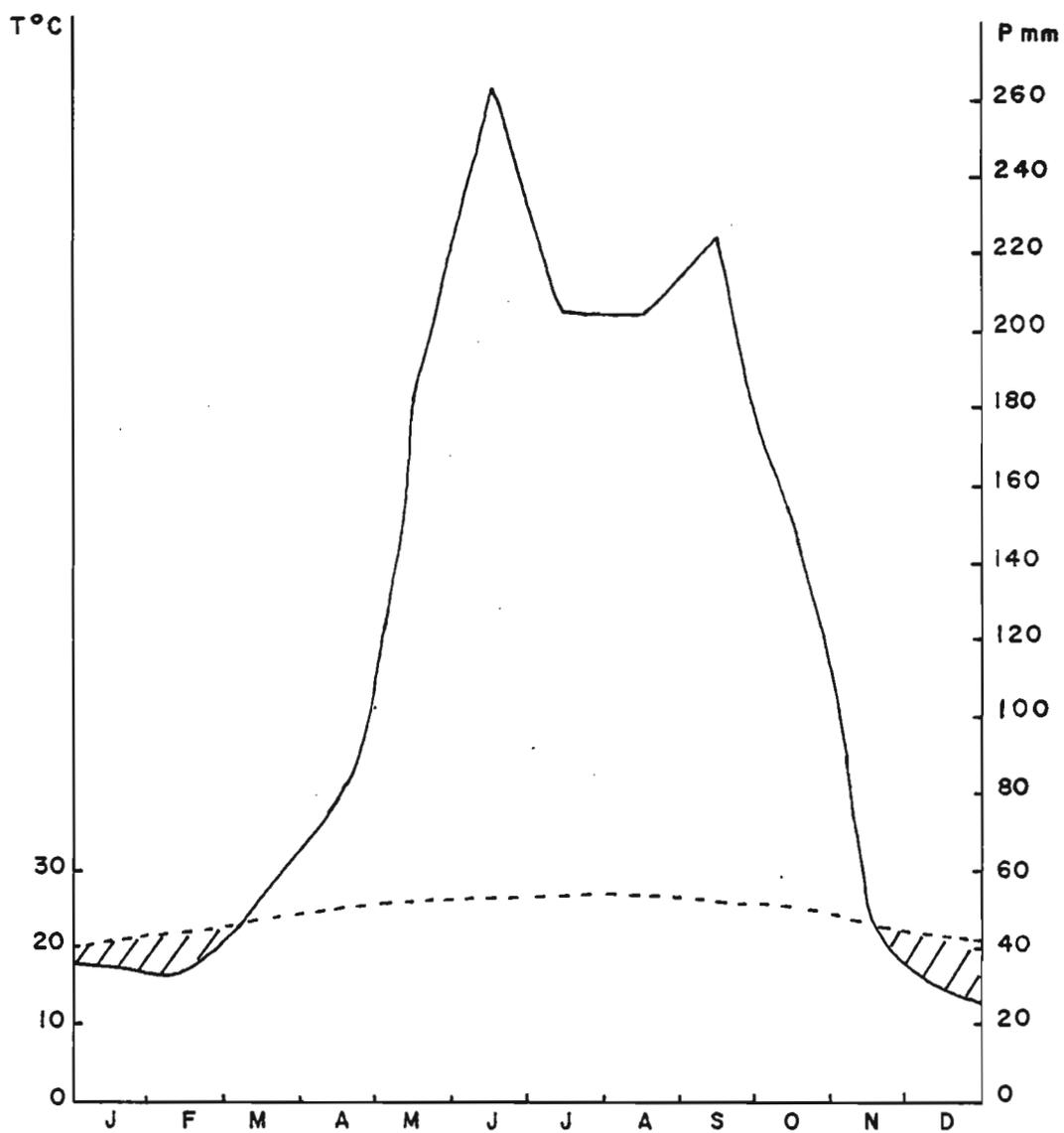


— Précipitation

- - - - - Température

Figure 4

Diagramme ombrothermique "Central Boris Luis Santa Coloma"



— Précipitation
- - - - - Température

Figure 5

ce dernier maximum est dû aux pluies cycloniques.

Il faut noter que les pluies les plus abondantes de la zone sont enregistrées par la station "Ruben Martinez Villena", située au centre de la plaine, avec une moyenne annuelle de 1686 mm. C'est aussi dans cette partie de la zone que les phénomènes karstiques sont les plus développés.

La saison sèche est comprise entre les mois de Novembre et Avril, avec un maximum de 65,6 mm en Avril et un minimum de 45,6 mm en Décembre, mais pour la partie Nord de la zone, les précipitations sont un peu plus portées entre Novembre et Janvier, ce qui est en relation avec l'arrivée d'averses provenant du Nord. Au contraire, on constate dans la partie Sud une diminution forte des précipitations avec une période de sécheresse mieux définie (figure 5).

En ce qui concerne la température, on a retenu les données de trois stations météorologiques au voisinage de la plaine. On peut observer que les variations sont négligeables (tableau 2).

La température moyenne annuelle dans la région est de 24,4°C. C'est-à-dire 1,1°C plus basse que la moyenne nationale.

On enregistre une diminution des températures de Décembre à Février, ce qui est en relation avec l'arrivée à Cuba de masses d'air frais provenant du Nord. Le mois le moins chaud est Janvier, avec une moyenne de 21,7°C ; parfois et pendant quelques jours la température s'abaisse jusqu'à 10°C. Les températures les plus chaudes sont enregistrées au mois d'Août avec 27,4°C.

Il existe une différence de 5,7°C entre les moyennes du mois le plus chaud et celle du mois le moins chaud.

L'humidité relative est élevée pendant toute l'année avec une moyenne annuelle de 78% (tableau 3). Il existe une faible différence entre la saison sèche 76% et la saison humide 81%.

Les vents dominants ont une direction E.N.E. (LARRAGAITE et al, 1974), avec une orientation vers N.E. en hiver, et vers l'Est en été. La vitesse moyenne est d'environ 6 km/h.

	Coordonnées		Altitude	Mois												Annuelles
	Lat. N	Long. W		J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	
1. Central Camilo Cienfuegos	23°07'50"	81°56'30"	100 m.	79	48	45	61	135	155	109	127	157	201	82	60	1259
2. Central Ruben Martinez Villena	22°59'10"	81°50'	110 m.	44	55	53	61	198	287	215	224	231	187	53	48	1686
3. Central Boris Luis Santa Coloma	22°57'30"	81°52'40"	150 m.	39	33	54	75	183	262	204	203	225	152	48	29	1503
Moyenne de la région				53,3	45,3	50,6	65,6	172	234,6	176	184,6	204,3	180	61	45,6	1482

TABLEAU 1 : Précipitations moyennes mensuelles et annuelles (mm).

Stations Météorologiques	Coordonnées		Altitude	Mois												Annuelles
	Lat. N	Long. W		J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	
4. Casablanca	23°10'	81°21'	51 m.	21,5	21,8	23,1	24,3	25,3	26,3	26,5	27,1	26,5	25,9	23,3	22,0	24,5
5. Matanzas	23°04'	81°35'	50 m.	22,4	22,2	24,0	25,5	26,5	27,8	27,7	28,1	26,9	26,6	23,8	22,6	24,1
6. San José de Las Lajas	22°57'	82°09'		21,1	21,4	23,4	25,0	26,6	26,3	27,0	26,9	26,0	25,6	23,0	21,6	24,5
Moyenne de la région				21,7	21,8	23,5	24,9	26,1	26,8	27,1	27,4	26,5	26,0	23,4	22,1	24,4

TABLEAU 2 : Températures moyennes mensuelles et annuelles (°C).

Stations	Mois												Annuelle
	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	
4. Casablanca	77	75	74	75	78	81	80	81	83	81	78	78	78
5. Matanzas	77	74	71	71	78	79	88	79	81	80	79	77	77
6. San José de Las Lajas	78	76	73	68	75	79	79	81	84	82	80	80	78
Région	77	75	73	71	77	80	82	80	83	81	79	78	78

TABLEAU 3 : Humidité relative, moyennes mensuelles et annuelles.

3.3. VEGETATION

La plaine est une zone très riche du point de vue agricole. C'est pour cela que, depuis longtemps, elle a été cultivée en canne à sucre (*Saccharum officinarum*), et en conséquence on n'observe plus aucun témoin de la végétation primaire.

D'après les renseignements fournis par l'Institut de Botanique de l'Académie des Sciences de Cuba, celle-ci devait être constituée de forêts sempervirentes, avec des arbres qui atteignaient 18 à 20 m. de hauteur et qui couvraient la quasi-totalité de la zone étudiée.

La culture de la canne à sucre occupe presque toute la plaine. Il existe des petites zones consacrées à la culture des agrumes, du manioc (*Manihot utilissima*), d'avocatiers (*Persea americana*). On peut trouver également quelques palma real (*Roystonea regia*), almácigo (*Bursera simaruba*) et des manguiers (*Mangifera indica*).

Dans les zones plus élevées, avec des sols calcimagnésiques peu épais, on observe toujours des pâturages et la présence de palma real (*Roystonea regia*), des manguiers (*Mangifera indica*), almácigo (*Bursera simaruba*) etc. est fréquente. Tandis que pour la Sierra del Grillo et la Sierra de Camarones on observe une végétation arbustive, formée par des guao (*Comocladia dentata*), guasima (*Guazuma tomentosa*), ateje (*Cordia callococca*) etc. et quelques arbres, ceiba (*Ceiba pentandra*), cedro (*Cedrela mexicana*).

Dans le massif péridotitique et sur les zones où le sol est plus profond, on trouve des pins (*Pinus caribea*), eucalyptus (*Eucalyptus* spp.), quand le sol devient peu profond la végétation est remplacée par une savane formée de rompe-ropa (*Tabebuia lepidophylla*), pajón (*Trochypagon filifolius*), guao (*Comocladia dentata*).

3.4. GEOLOGIE

L'histoire géologique de Cuba a été retracée par de nombreux auteurs dont BERMUDEZ (1963), FERRAZOLA (1964), BUTTERLIN (1956, 1977), ALBEAR et ITURRALDE (1977). Ils ont mis en évidence les traits essentiels de la sédimentation et de la tectonique de l'ensemble de l'archipel. Pour la zone qui nous intéresse, on retiendra les caractéristiques principales suivantes :

- Commencée au Jurassique, la sédimentation essentiellement calcaire, se poursuit jusqu'à la fin du Miocène. On connaît ainsi toute une gamme de roches allant du calcaire dur organogène jusqu'aux marnes, par les grès calcaires (abondants à l'Eocène) et les calcaires argileux tendres. Il faut noter également la mise en place, dans la partie Sud du domaine étudié d'une petite zone de péridotites associées à des roches volcaniques et des schistes micacés (GUTIERREZ et RIVERO, 1975). Après une lacune au Pliocène, on note au Quaternaire, des dépôts argilo-sableux à sablo-argileux analogues à ceux décrits par KARTASHOV et al (1976).

- Les roches de la zone étudiée ont été affectées par divers plissements. A la fin du Crétacé et au début du Tertiaire s'est manifestée une phase orogénique assimilable à l'orogénèse laramienne qui a affecté de vastes zones en Amérique. C'est à ce moment que se sont mises en place les péridotites, si fréquentes à Cuba, et que s'est produit un métamorphisme modéré qu'on observe dans divers points de la partie occidentale, l'Escambray, et l'Ile de Pins entre autres.

Une autre phase importante est celle de l'Eocène suivie par deux autres au Miocène. C'est à ce moment que se produisent les mouvements qui soulèvent les massifs de Jaruco à l'Ouest, de la Sierra de Camarones à l'Est, de la Sierra de Grillo au Sud, tandis que la partie centrale est affaissée permettant un étalement de la mer miocène du Centre. La partie Nord appartient aux hauteurs de La Havane, Matanzas, tandis qu'au Sud, il s'agit des hauteurs de Bejucal-Madruga-Limonar. Entre les deux, existe la zone déprimée, nommée Synclinal de

San Juan-Almendares (DUCLOZ, 1963).

Pendant le Pliocène et le Quaternaire, l'ensemble de la zone a été émergée et l'altération des roches a pu commencer ; tandis qu'un aplanissement du relief s'amorçait. Au cours du Quaternaire, des transgressions et régressions, liées au recul et à l'avancée des glaciers sur le continent américain, se sont produites sur les zones côtières. La dernière transgression a partiellement ennoyé la côte Sud, où abondent de vastes marais. En même temps, un léger basculement se produisait, soulevant la partie Nord et abaissant légèrement la partie Sud de la zone étudiée.

Celle-ci comprend deux parties très distinctes, la plaine proprement dite s'ouvrant vers le Sud et les massifs environnants. Les massifs du Nord (de Jaruco et Camarones) atteignent 300 mètres, sont constitués à l'Est par des grès calcaires de couleur grise, à l'Ouest par des calcaires durs gris à jaunâtres. Au Sud, se développent le massif de Grillo, le petit massif péridotitique de Madruga. Ils sont surtout faillés, et soulevés en horst. A la partie Ouest, affleurent des marnes et argiles.

La plaine elle-même est occupée surtout par des calcaires durs du Miocène inférieur et moyen (associés à des calcaires argileux et des marnes). Les sédiments sont subhorizontaux avec un pendage très faible vers le Sud et se raccordent, par la trouée de Catalina, à la pénélaine côtière (CAMACHO, 1980).

Un schéma géologique hors texte au 1/100.000, a été établi pour la zone étudiée. Il permet de montrer la variété des roches et leur répartition.

3.5.GEOMORPHOLOGIE

Les études géomorphologiques générales à Cuba sont celles de MASSIP et IZALGUE (1942), NUÑEZ JIMENEZ (1968,1972), NUÑEZ JIMENEZ, PANOS et STELCL (1968), LILIENBERG (1973).

Leurs travaux ont servi à établir la carte géomorphologique de l'Atlas National de Cuba. Il faut également signaler les travaux de DUCLOZ (1963) dans la zone voisine de Matanzas et SPIRIDONOV et al. (1976), dans la province de La Havane et GVOZDIETSKI, MATEO, DEL BUSTO (1974) dans la Sierra de Camarones et ses abords.

Ainsi qu'on l'a indiqué aux paragraphes précédents un certain nombre de caractéristiques dominant dans la région étudiée : un ensemble de hauteurs de 150-300 mètres entourent une plaine située à 80-150 mètres ; une abondance de roches calcaires de nature variée ; une émergence remontant au Pliocène ; un climat actuellement tropical avec une assez longue saison des pluies.

Cet ensemble de caractéristiques a favorisé le développement de formes de relief karstique. On peut en observer dans la zone étudiée une très grande diversité. Les mogotes de tailles variées abondent, soit isolés, soit en groupes dans les massifs du pourtour de la plaine. Dans ceux-ci, les poljés, souvent de grande taille sont abondants dominés par des hauteurs calcaires (cf. photos

Dans la plaine, les dolines sont particulièrement abondantes. DEL BUSTO et al. (1976) en a dénombré par endroits 15 à 20 par km². Un très grand nombre de ces dolines sont fonctionnelles et ont été observées ; d'autres ont leur fond obstrué et parfois rempli d'eau.

Un croquis hors texte, au 1/50.000 a été établi pour tenter de rendre compte de la très grande diversité des situations géomorphologiques. Il a permis de subdiviser la plaine en cinq zones présentant des caractéristiques différentes.

1.- La zone la plus basse (80-100 m) est légèrement disséquée par le Río Americano et d'autres petites rivières temporaires. Sur les calcaires du Miocène sous-jacent, se sont accumulés des sédiments calcaires et des produits de l'altération de péridotites provenant des hauteurs environnantes. On observe quelques dolines ; il faut souligner qu'une partie de celles-ci ont été remplies par ces matériaux, et sont actuellement transformées en petits lacs temporaires.

2.- La zone suivante est située un peu plus haut (100 à 120 m). Elle est constituée de roches calcaires dures et de marnes du Miocène. La caractéristique la plus importante est une grande densité des dolines, 15-20 par km² (DEL BUSTO et al, 1976). Dans les parties où l'on trouve les calcaires durs, les dolines ont une taille de 20-100 m ; de plus, ce sont les plus profondes. On peut les attribuer à une plus grande perméabilité des calcaires et un développement plus ancien et plus poussé des phénomènes karstiques.

Dans les parties où se produisent les affleurements de marnes, on ne trouve pratiquement pas de dolines.

3.- La troisième zone entre (120 et 150 m) est caractérisé par la présence de petites rivières temporaires qui descendent des hauteurs environnantes et morcèlent le relief.

On trouve ici une diversité lithologique plus importante qui donne à la zone des caractéristiques particulières. On a été amené à la séparer en deux parties . La partie Ouest, présente un relief plus disséqué, avec de petites collines, qui ont un sommet arrondi et de faibles pentes, développées sur des marnes de l'Eocène et des calcaires argileux et marnes du Miocène.

Dans la partie Est, placée entre la Sierra del Grillo et la Sierra de Camarones on trouve une plaine karstique, peu disséquée, formée sur des calcaires dures du Miocène ; il est fréquent d'y observer de nombreux mogotes de 30-40 mètres, isolés ; ceci est la conséquence d'une dissolution poussée du calcaire.

4.- Zone entre (150 et 200 mètres), on observe de petites élévations, appartenant au système Bejucal-Madruga-Limonar (NÚÑEZ JIMENEZ, 1965), formées par des marnes, des calcaires argileux et des argiles de l'Eocène.

Les petites collines avec des pentes faibles sont les formes les plus répandues. On observe à 200 mètres d'altitude, des témoins d'une surface d'érosion. De petites rivières temporaires en proviennent, aidant au modelé de ce type de relief.

Sur le petit massif péridotitique, on observe le même type de relief ; mais il faut signaler une érosion plus poussée ici, avec des ravines qui ont plus d'un mètre de profondeur.

5.- Les hauteurs d'origine tectonique (150-300 m). Ce type de relief est représenté par La Sierra de Camarones et la Sierra del Grillo. La Sierra de Camarones est constituée par des calcaires organogènes et de calcaires argileux du Miocène, ces roches sont fortement crevassées ; les manifestations du karst sont bien visibles. Ces hauteurs sont bordées au Nord par un fort escarpement. On peut observer différents degrés de dislocations classifiées par GUOZDIETSKI et al (1974) en : zones peu disloquées, avec des résidus de type mogotes ; zones moyennement disloquées, avec des mogotes en forme de cupules et zones avec karst résiduel, caractérisé par la présence de mogotes isolés. A une hauteur de 200 - 220 m et entre les mogotes, se développent assez souvent de petits poljés.

La Sierra del Grillo est formée par des calcaires organogènes, massifs et bien cristallisés. Elle a été affectée, par différents mouvements tectoniques, marquée par les fractures avec grandeurs et directions variables que favorisent la dissolution karstique. Plusieurs auteurs, NÚÑEZ JIMENEZ (1968), NÚÑEZ JIMENEZ, PANOS et STELCL (1968), DEL BUSTO et al (1976) ont décrit des cônes karstiques dans ces hauteurs.

La présence des poljés est importante entre les différents mogotes à une altitude de 200 à 250 m. D'autres formes karstiques, comme les dolines, cavernes etc.. ont été également observées.

3.6.L'HYDROGRAPHIE.

Dans la zone étudiée, il n'existe pratiquement pas de réseau hydrographique important en surface. On trouve une seule petite rivière, le Rio Americano, qui s'écoule du Nord vers le Sud ; mais elle est temporaire et descend de hauteurs formées par des roches calcaires peu perméables (calcaires argileux, grès calcaire et marnes) qui fournissent des sédiments argileux imperméables ce qui lui permet de couler dans la plaine karstique sans se perdre, et d'en sortir.

Pendant la saison des pluies, d'autres petites rivières coulent de ces hauteurs vers la plaine, mais elles sont très courtes, (quelques kilomètres) et vont disparaître dans des ponors ou de petits lacs temporaires ; comme c'est le cas pour une rivière temporaire issue des massifs péridotitiques de Madruga qui coule sur l'argile d'altération de la roche.

Dans la Sierra del Grillo et la Sierra de Camarones, formées de calcaires miocène, faillées et parsemées de formes karstiques, la pluie qui tombe pénètre directement et l'on n'observe aucune trace d'écoulement superficiel.

En ce qui concerne la plaine elle-même, toute l'eau qui tombe pénètre dans le sol ou va disparaître dans les nombreux dolines et ponors. Cette eau va enrichir une nappe phréatique importante qui se trouve à une profondeur voisine de 15 m. Cette nappe phréatique sert à l'irrigation des plantations de canne à sucre pendant la saison sèche. Plusieurs puits sont équipés de pompes qui distribuent l'eau de la nappe sur toute la plaine à l'aide de nombreux canaux.

On trouve également des zones où le drainage superficiel est souvent difficile et l'on observe des marques d'hydromorphie.

4 LES SOLS DE LA ZONE ETUDIEE

La cartographie des sols effectuée dans la zone d'étude a montré une répartition des sols assez variée. Diverses classes avec de nombreux groupes de sols ont été décrits ; parmi eux : vertisols, sols calcimagnésiques, sols fersiallitiques, sols ferrallitiques et sols hydromorphes.

La classification française CPCS (1967), a été utilisée pour classer les sols. Dans la plupart des types de sols, on a trouvé une place convenable dans cette classification. Cependant, des difficultés sont apparues dans la classe des sols ferrallitiques. On a décrit des sols ferrallitiques formés sur calcaire non désaturés ($> 90\%$). Une telle sous-classe n'existe pas dans la classification CPCS (1967). D'autre part, dans la sous-classe de sols ferrallitiques faiblement désaturés en (B), on a décrit un groupe ferritique. On discutera ces problèmes plus en détail dans le chapitre consacré à la classification des sols.

Sur l'ensemble de la zone, plus de 30 profils ont été décrits et analysés. Pour chaque catégorie on ne présente que quelques uns considérés comme les plus représentatifs.

4.1. LES VERTISOLS À DRAINAGE EXTERNE NUL OU REDUIT ET A STRUCTURE ANGULEUSE

Les conditions de formation et les caractéristiques de ces sols ont été étudiées par de nombreux auteurs, entre autres, Bennett et Allison (1928) ; Dudal (1965) ; Zonn et al (1966) ; CPCS (1967) ; Zonn (1968) ; Guerasimov (1972) ; Duchaufour (1970, 1977) ; Aubert et Boulaine (1980) etc.

A Cuba, les vertisols ont été étudiés par l'Institut des sols de l'Académie des Sciences de Cuba (1973) ; Tatevosian et al (1974), les caractéristiques physiques ont été étudiés par Agafonov et al (1978) ; Gonzalez et Fundora (1980) ont décrit la composition des minéraux des sables.

Dans la zone étudiée, les vertisols occupent une petite surface, située dans une partie basse à mauvais drainage, tout près du Rio Américo.

Leurs caractéristiques essentielles sont les suivantes :
 les sols ont plus de 1 mètre de profondeur. En période sèche, on observe des fentes de retrait qui peuvent intéresser tout le profil ; les faces de glissement sont abondantes, les agrégats sont en forme de coin ; ils présentent en surface un microrelief gilgai.

DESCRIPTION DU PROFIL D-4

- Topographie : Plane et basse
- Drainage : Superficiel mauvais ; Interne mauvais
- Végétation : *Roystonea régia*
- Roche-mère : Matériaux alluviaux argileux
- Coordonnées : sur la carte 1/50.000
 Lat N : 22° 56' 13"
 Long W : 81° 57' 30"

CALATINA DE GUINES

- 0 - 22 cm Brun grisâtre (10 YR 3/2 H) ; argileux ; structure prismatique large ; compact ; peu poreux ; contenu moyen en racines ; quelques petits graviers (moins de 5 %) limite nette.
- 22 - 58 cm Brun foncé (10 YR 3/3 H) ; argileux ; structure prismatique large ; compact ; peu de racines fines ; quelques concrétions et petits graviers (moins de 5 %) ; faces de glissement grandes et très brillantes ; on observe des matériaux de l'horizon de surface.
- 58 - 110 cm Brun jaunâtre foncé (10 YR 4/4 H) ; argileux ; agrégats massifs limités par des faces de glissement ; quelques graviers et concrétions petites (moins de 5 %).
- 110 - 160 cm Brun jaunâtre (10 YR 5/6 H) ; argileux ; massif ; compact ; plastique et cohérent à l'état humide ; peu poreux ; très peu de racines ; concrétions dures et quelques unes tendres ; agrégats avec des faces de glissement.
- 160 - 200 cm Brun jaunâtre (10 YR 5/6 H) ; argileux ; avec des taches grises (10 YR 5/1 H) ; massif ; abondantes concrétions (plus de 5 %) ; dures et quelques unes tendres ; petits graviers ; agrégats avec faces de glissement.

Prof	Prof cm		D.R g/cm ³	D.A g/cm ³	Porosi- le tota- le %	Plasti- cité % W	% de Fractions				
							S.G	S.F	L.G	L.F	A
D-4	0-10	-	2,65	1,15	56,6	43,4	0,6	15,9	3,6	11,3	68,6
	35-45	-	2,66	1,20	54,9	48,1	0,8	16,5	3,3	10,6	68,8
	80-90	-	2,71	1,23	54,6	50,5	0,6	19,4	5,8	8,6	65,6

Tableau 4 : Analyse mécanique et porosité du Vertisol D-4

Il s'agit de sols nettement argileux, la fraction inférieure à 2 ϕ dépasse 65% dans tous les horizons. Les sables fins dans le profil D-4 sont assez importants, plus de 15,0 %.

La densité réelle et la densité apparente ont tendance à augmenter en profondeur, tandis que la porosité totale diminue avec la profondeur.

Ces Vertisols sont très plastiques, on peut observer un indice de plasticité supérieur à 43 %.

La vitesse d'infiltration est très faible, on trouve des valeurs de 1 mm/h,

Profil	Prof cm	M.O %	N %	C %	C/N	p H		Δ pH	CO ₃ Ca %
						H ₂ O	ClK		
D-4	0-10	3,71	0,17	2,15	12,6	6,1	5,5	-0,6	0,37
	35-45	1,79	0,09	1,04	11,6	6,5	5,6	-0,9	0,56
	80-90	1,31	0,06	0,76	12,7	6,8	-	-	0,71
	130-140	0,36	0,02	0,21	10,5	7,5	-	-	0,69
	170-180	0,43	0,02	0,25	12,5	7,4	-	-	0,63

Complexe absorbant mé /100g						V %
Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	Na ⁺	S	T	
49,84	4,24	0,62	0,52	54,22	66,03	82
46,8	6,55	0,25	0,66	53,26	59,0	90
44,27	5,06	0,25	0,90	50,48	53,0	95
35,92	2,03	0,20	1,24	39,39	49,84	79
33,34	3,62	0,17	1,78	38,91	49,33	79

Tableau 5 : Analyse chimique du Vertisol D-4

- La distribution de la matière organique est décroissante en profondeur

- Le rapport carbone/azote est peu variable dans ce profil

- Le pH augmente en profondeur.

- La somme de bases échangeables est élevée, dominée toujours par les cations bivalents, et surtout par le calcium, mais le magnésium est lui aussi important. Il faut noter que le sodium est assez abondant surtout dans les derniers horizons du profil D-4 où on trouve plus de 1 mé/100g.

- La capacité d'échange de cations diminue généralement avec la profondeur comme la somme des bases. Le degré de saturation (V), est supérieur à 79%. En ce qui concerne les constituants minéraux des vertisols, on peut observer dans les tableaux:

Profil	Prof cm	P.F %	% des oxydes de :						
			CaO	MgO	P ₂ O ₅	TiO ₂	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃
D-4	0-10	-	-	-	0,08	0,69	50,03	21,65	8,33
	35-45	11,9	3,39	1,22	0,09	0,67	50,02	22,5	8,78
	80-90	11,8	3,19	0,66	0,07	0,65	48,95	24,36	9,46
	130-140	11,4	3,74	0,40	-	0,78	48,89	24,45	8,82
	170-180	11,6	3,57	0,32	0,07	0,79	48,65	24,85	9,54

SiO ₂ Al ₂ O ₃	SiO ₂ R ₂ O ₃	Minéraux argileux < 2 μ		% de Fe ₂ O ₃ dans le sol		Libre Total
		Montmorillonite	Métahalloysite	Libre	Total	
3,93	3,15	+++	tr	7,08	10,2	69,4
3,78	3,02					
3,42	2,74	+++	tr	3,55	7,80	45,5
3,40	2,76			5,85	9,0	65,0
3,33	2,67	+++	tr			

Tableau 6 : Analyse chimique, diffraction de rayons X, de l'argile, contenu en oxydes de fer du sol

+++ : très importante ; tr : traces.

- Dans l'analyse centésimale de l'argile, on peut observer des teneurs de silice peu variables dans le profil. Les oxydes de fer ont un comportement similaire ; tandis que les oxydes d'aluminium augmentent en profondeur.

- Le rapport silice/alumine est toujours supérieur à 3,0.

- Dans les minéraux argileux, on note l'importance de la montmorillonite dans tous les horizons et des traces de métahalloysite.

- Dans les minéraux des sables, on trouve les constituants suivants: (tableau 7).

Profil	Prof cm	Fraction légère	Minéraux lourds transparents									% Pondéral
			Hor	And	Dis	St	G	Ep	Z	T	R	
D-4	0-10	Quartz Felds- paths	30	4	4	1	3	52	3	3		
	80-90		+	tr	tr	+	tr	++		tr	tr	
	170-180		tr	tr	tr		tr	++	tr			

Tableau 7 : Constituants minéraux de la fraction sable du Vertisol D-4

Hor : Hornblende ; And : Andalousite ; Dis : Disthène ; St : Staurotide ; G : Grenat ; Ep : Epidote ; Z : Zircon ; T : Tourmaline ; R : Rutile ; ++ : importante ; + : peu ; tr : Traces.

La fraction légère est formée par du quartz et des feldspaths.

Dans les minéraux transparents, c'est l'épidote qui domine largement dans tous les horizons, suivie par l'hornblende, mais celle-ci est importante dans les deux premiers horizons. Sont présents aussi, l'andalousite, le disthène, le grenat, le zircon et en quantité moindre, la tourmaline, la staurotide et le rutile.

4.2. LES SOLS CALCIMAGNESIQUES

De la définition française des sols calcimagnésiques donnée par le groupe de travail C.P.C.S. (1967), nous retiendrons qu'il s'agit d'une classe des sols dont "les caractères morphologiques des horizons supérieurs sont déterminés par la présence d'ions alcalino-terreux"; que "le ravitaillement en ions bivalents, si le climat le permet, est assuré par une roche carbonatée ou très basique qui existe sous le profil, ou par des rapports latéraux". Les argiles sont du type 2:1. Le complexe est saturé à plus de 90 %.

Ces sols ont été décrits dans diverses régions du monde par plusieurs auteurs, entre autres : Hoyos et Gonzalez (1969) ; Duchaufour (1970, 1977) ; Ruellan (1972) ; Guerasimov (1972) ; Aubert et Boulaine (1980).

A Cuba ils sont représentés dans les différentes régions du pays, et couvrent une surface de plus de 6500 km² (Hernandez et al 1980). De divers auteurs qui ont décrit les sols calcimagnésiques de Cuba, on peut retenir Bennett et Allison (1928), Zonn, Cabrer et Garcia (1963) ; Bosch et Gomez (1967) Institut des sols (1973) ; Hernandez et al (1973), Shishov (1973), Fundora et al (1978).

Dans la zone étudiée, ils occupent une surface importante, et sont situés sur une topographie ondulée, sur les petites hauteurs qui entourent la plaine elle-même. En raison de leur position topographique, ils sont la plupart des cas affectés par l'érosion.

Ils se développent toujours sur des calcaires tendres ou des marnes. Dans cette classe des sols, on a observé trois groupes : rendzines, sols bruns calcaires et sols bruns calciques.

4.2.1. SOLS CALCIMAGNESIQUES CARBONATES :RENDZINES.

Les sols de ce groupe, sont situés sur les parties les plus hautes de la topographie. Ils sont associés à des affleurements de calcaire tendre, marne et grès calcaire.

DESCRIPTION DU PROFIL :

Profil TED-21

- Topographie : Ondulée
- Drainage : Externe bon, Interne bon
- Végétation : Pâturage ; *Roystonea rigia* ; *Psidium guajaba*
- Roche-mère : Calcaire marneux
- Coordonnées : sur la carte 1 : 50.000
 Lat N : 22° 55' 20''
 Long W : 81° 54' 40 ''
 Situé à 5 km W de Madruga.

0 - 18 cm - Gris foncé (10 YR 4/1 H) ; argileux ; structure grumuleuse moyenne ; plastique ; moyennement poreux ; abondantes racines ; humide ; effervescence forte à l'acide chlorhydrique ; avec des cailloux calcaires.

18 - 23 cm - Gris brunâtre (10 YR 6/2 H) ; argileux ; structure fragmentaire à tendance nuciforme, plastique ; moyennement poreux ; quelques racines ; avec des cailloux ; humide ; effervescence très forte à l'acide chlorhydrique.

23 - 40 cm - Marne blanche et friable.

Profil	Prof cm	Perte à ClH	% des Fractions				
			S.G.	S.F.	L.G.	L.F.	A
TED-21	0-10	25,3	2,04	8,71	7,24	9,53	47,17
	18-25	34,7	0,36	5,34	6,91	8,34	44,32
	30-40	50,0	0,51	8,30	2,86	4,96	33,37

Tableau 8 : Analyse granulométrique d'une Rendzine.

- On peut observer une forte perte à l'acide chlorhydrique, due surtout à une teneur élevée en carbonate de calcium.

- La fraction qui prédomine est l'argile, elle diminue en profondeur.

- Il n'existe pas de lessivage.

Dans les analyses chimiques on peut observer que :

Profil	Prof cm	M.O. %	p H		Δ pH	Complexe absorbant (me/100 g)						S T
			H ₂ O	ClK		Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	Na ⁺	S	T	
TED 21	0-10	5,13	7,4	6,4	-1,0	45,92	9,65	0,45	0,19	56,21	57,9	97
	18-23	2,21	8,2	6,9	-1,3	41,55	10,2	0,81	0,29	52,85	53,82	98
	30-40	0,45	8,4	7,3	-1,1	38,46	6,7	0,81	0,20	46,17	46,40	99

Tableau 9 : Analyses chimiques d'une Rendzine.

- Le contenu en matière organique des horizons de surface varie avec l'intensité du phénomène d'érosion. Le pH est toujours supérieur à 7,0, il devient plus alcalin en profondeur.

- La somme des bases échangeables est dominée largement par le cation calcium, suivi par le magnésium. Le degré de saturation V, est élevé ; il est supérieur à 97%.

Pour les minéraux argileux, on peut observer sur le tableau :

Profil	Prof cm	Minéraux argileux < 2 μ							% Fe ₂ O ₃		Fe ₂ O ₃ L
		Mont	Ill	Chl	Go	He	Cal	Fc-M	Libre	Total	Fe ₂ O ₃ T
TED 21	0-10	+++	+				+		0,75	3,20	23
	18-23	+++	+				+		0,65	2,90	22
	30-40	+++	+				+		0,40	1,50	26
	Résidu Calc.	+++	+								

Tableau 10 : Minéraux argileux de Rendzines et contenu en fer libre et fer total dans le sol.

Mont : Montmorillonite ; Ill: Illite ;
Cal : Calcite ; +++ : très importante ;
+ : peu.

La montmorillonite est présente en quantité très importante dans tout le profil et dans le résidu non carbonaté de la roche, suivi par l'illite. On observe aussi de la calcite.

Le contenu en fer est faible.

Dans les minéraux des sables on observe :

Profil	Prof cm	Frac- tion Légère	Minéraux lourds transparents									% Pondéral	
			Hor	And	Dis	St	G	Ep	Z	T	R		
TED 21	0-10	Q Pla Mi								Tr			10,38
	18-23	Q Pla Mi	+					+	+	Tr			8,85
	30-40	Q Pla Mi	+						+	Tr			
	Résidu Roche	Q Pla Mi											

Tableau 11 : Minéraux des sables d'une Rendzine :

Q : Quartz ; Pla : Plagioclase ; Mi : Mica ;
Hor : Hornblende ; G : Grenat ; E : Epidote
Z : Zircon ; + : peu ; tr : Traces.

- La fraction légère est constituée par du quartz, un peu de plagioclase et des traces de mica.

- La fraction lourde est constituée essentiellement par de la staurotide, du disthène et de l'andalousite.

On observe aussi du zircon, de la tourmaline, du rutile, de la hornblende et du grenat.

4.2.2. SOLS CALCIMAGNESIQUES CARBONATES, BRUNS CALCAIRES.

Ces sols présentent une topographie souvent ondulée, parfois différente, mais généralement ils occupent des situations plus basses que celles des rendzines.

Ils sont soumis aux effets de l'érosion, mais celle-ci est moins forte que pour les rendzines. Le profil est plus profond et peut atteindre 1 mètre.

DESCRIPTION DU PROFIL TED-19

- Topographie : ondulée
- Drainage : Externe bon, Interne moyen
- Végétation : Pâturages et culture de *Oriza sativa*
- Roche-mère : Calcaire marneux
- Coordonnées : Sur la carte 1 : 50.000 des sols
 Lat N : 22° 59' 43''
 Long W : 82° 02' 22''

- 0 - 30 cm Brun foncé (10 YR 3/3 H) ; argileux ; structure polyédrique moyenne ; poreux ; racines abondantes ; humide ; faible effervescence à l'acide chlorhydrique.
- 30 - 45 cm Brun jaunâtre (10 YR 4/4 H) ; argileux ; structure polyédrique grossière ; plastique ; peu poreux ; quelques racines fines ; humide ; on observe des faces brillantes autour des agregats ; effervescence à l'acide chlorhydrique.
- 45 - 65 cm Brun jaunâtre (10 YR 5/4 H) ; argileux ; structure fragmentaire à tendance polyédrique ; plastique ; peu poreux ; peu de racines ; petits graviers et taches de carbonate de calcium ; humide ; forte effervescence à l'acide chlorhydrique.
- 65 - 100 cm Jaune brunâtre (10 YR 6/6 H) ; argileux ; structure fragmentaire à tendance polyédrique ; peu poreux ; très peu de racines ; amas tendres de carbonate de calcium ; effervescence très forte à l'acide chlorhydrique.
- 100 cm Marne.

Prof cm	M.O. %	N %	C %	C/N	p H		Δ pH	CO ₃ Ca %
					H ₂ O	ClK		
0-15	4,45	0,203	2,58	12,7	6,8	6,0	-0,8	4
32-40	1,85	0,068	1,07	15,7	7,2	6,3	-0,9	10
50-60	0,81		0,47		7,4	6,5	-0,9	30
90-100					8,1	6,9	-1,2	52

Complexe absorbant mé/ 100 g						v %
Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	Na ⁺	S	T	
47,81	3,57	0,07	0,08	51,53	52,75	97,5
56,25	3,18	0,40	0,36	60,19	60,50	96,3
47,5	2,24	0,20	0,25	50,19	51,05	98,3
41,25	1,88	0,17	0,26	43,56	44,05	98,9

Tableau 12: Caractéristiques chimiques du sol Brun calcaire TED-19

- Le profil est calcaire, on observe l'élimination d'une partie des carbonates dans le premier horizon. Le pH est voisin ou supérieur à 7,0, et augmente en profondeur.

- La somme de bases échangeables est élevée, plus de 43 mé/100g avec augmentation dans l'horizon (B) ; elle est toujours dominée par le cation calcium.

- La capacité d'échange cationique est également élevée. On peut observer que le degré de saturation V dépasse 96 % dans tout le profil.

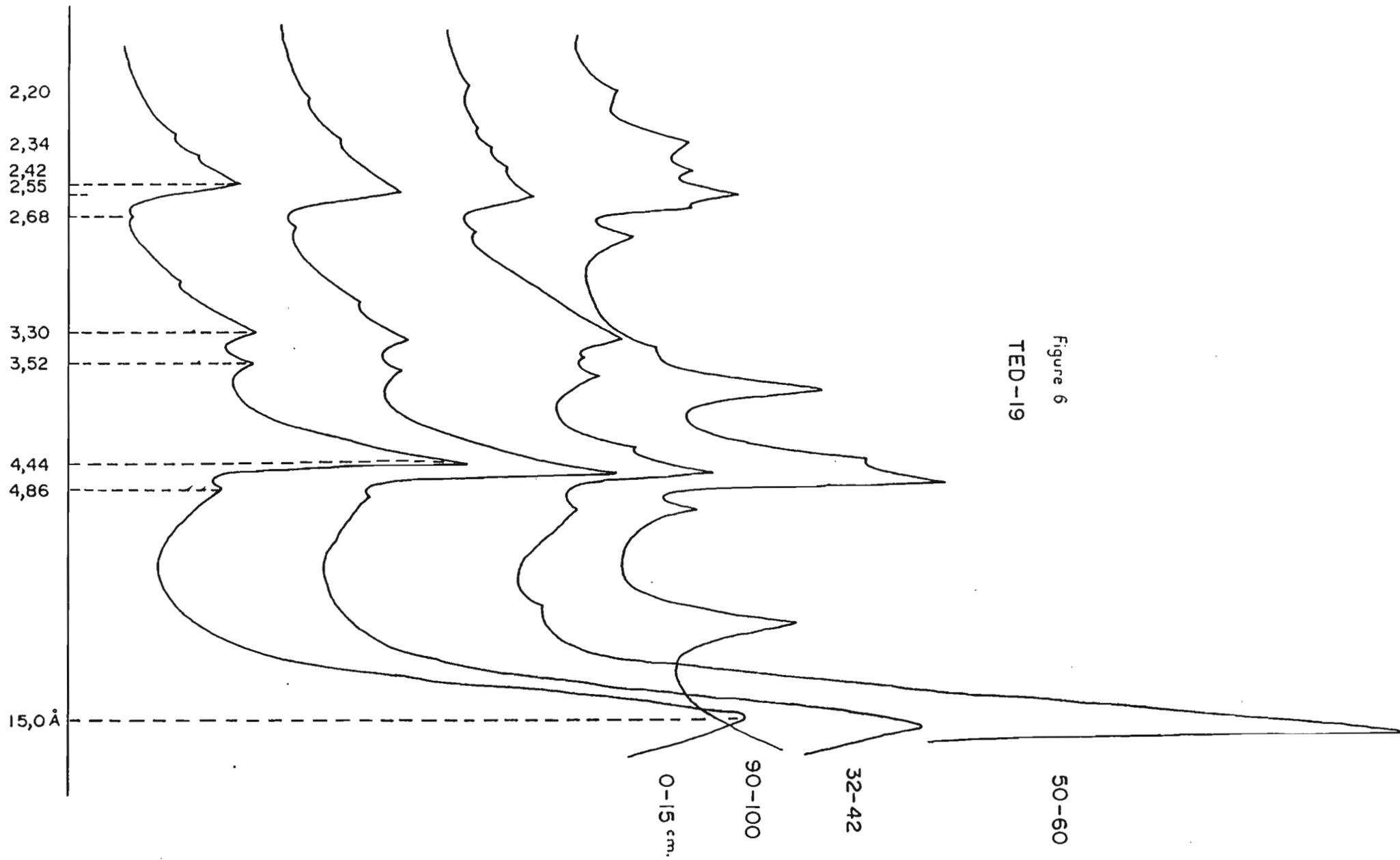
Profil	Prof cm	Perte au feu %	% des oxydes dans l'argile						
			CaO	MgO	P ₂ O ₅	TiO ₂	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃
TED 19	0-15								
	32-42	11,73	0,48	3,57	0,01	0,39	54,81	21,37	6,25
	50-60								
	90-100								

$\frac{\text{SiO}_2}{\text{Al}_2\text{O}_3}$	$\frac{\text{SiO}_2}{\text{Fe}_2\text{O}_3}$	$\frac{\text{SiO}_2}{\text{R}_2\text{O}_3}$	Minéraux argileux < 2 μ		
			Mont	Go	He
			+++		
4,36	23,19	3,60	+++		
			+++	tr	
			+++	+	+

Tableau 13 : Analyses centesimale et rayons X de l'argile du sol Brun Calcaire TED-19.

Mont : Montmorillonite ; Go : Goethite ; He : Hemalite
+++ : très importante ; + : peu ; tr : traces.

- Les teneurs en fer et aluminium sont faibles, tandis que celle de la silice est élevée, d'où un rapport silice/alumine supérieur à 4,0. Il s'agit donc de minéraux argileux de type 2/1, ce qui est confirmé par les rayons X, ne mettant en évidence que de la montmorillonite dans tout le profil, avec un peu de goethite et de l'hématite en profondeur, (Fig. 6)



Dans les minéraux de la fraction sable, on observe :

Profil	Prof cm	Fraction légère	Minéraux lourds transparents pourcentage numérique									% pon- ral
			Hor	And	Dis	St	G	Ep	T	R	Pyr	
TED 19	0-15	Quartz	4				9	83			4	2,52
	32-42		tr					+++				2,17
	50-60	Feldspa- ths	13	3	5		5	74				0,66
	90-100		17	8	4	17	4	42	4	4		1,73

Tableau 14 : Constituants minéraux du profil TED-19

Hor : Hornblende ; And : Andaloussite ; Dis : Disthène
 St : Staurotite ; G : Grenat ; Ep : Epidote ;
 T : Tourmaline ; R : Rutile ; Pyr : Pyroxène ;
 +++ : très importante ; tr : traces.

- La fraction légère est constituée par des quartz et des feldspaths.

Dans les minéraux lourds transparents, l'épidote est très importante dans tout le profil, suivie par l'hornblende et le grenat, d'autres minéraux sont présents surtout dans les horizons plus profonds.

4.2.3. SOLS CALCIMAGNESIQUES SATURÉS : BRUNS CALCIFIQUES.

Ces sols présentent une topographie ondulée, avec des pentes moins prononcées que celles des rendzines.

Le profil est profond, plus de 1,20 mètre, avec une couleur brune qui devient brun jaunâtre en profondeur.

Ils dérivent de marnes, de calcaires tendres, ou de grès calcaires.

DESCRIPTION DU PROFIL :

Profil TED-23

- Topographie : ondulée
- Drainage : Externe bon, Interne moyen
- Végétation : Pâturages et *Roystonea Regia*
- Roche-mère : Marne
- Coordonnées : Lat N : 22° 59' 35''
Long W : 82° 01' 50''

JARUCO

- 0 - 17 cm Brun grisâtre foncé (10 YR 3/2 H) ; argileux ; structure en gros agregats à tendance polyédrique grossière ; plastique et cohérent ; peu poreux ; contenu moyen de racines ; humide ; avec des faces brillantes ; pas de réaction à l'acide chlorhydrique ; transition graduelle.
- 17 - 27 cm Brun (10 YR 4/3 H) ; argileux ; structure prismatique moyenne ; peu poreux ; contenu moyen en racines fines ; on observe des agregats semblables à ceux de l'horizon précédent ; faces brillantes ; pas de réaction à l'acide chlorhydrique ; transition nette.
- 27 - 47 cm Brun jaunâtre (10 YR 5/4 H) ; argileux ; structure prismatique large ; plastique et cohérent ; peu de racines ; peu poreux ; on observe des agregats analogues à ceux de l'horizon de surface ; avec faces brillantes ; humide ; pas de réaction à l'acide chlorhydrique ; transition distincte.
- 47 - 60 cm Brun (10 YR 5/3 H) ; argilo-limoneux ; structure prismatique fine, moyennement plastique ; peu poreux ; quelques graviers de calcaire ; humide ; réaction forte à l'acide chlorhydrique ; transition distincte.
- 60 - 120 cm Brun jaunâtre (10 YR 5/8 H) ; avec taches blanches de calcaire ; argilo-limoneux ; structure prismatique fine ; peu poreux ; abondants nodules de carbonate de calcium ; réaction très forte à l'acide chlorhydrique.

120 cm + Marne.

Profil	Prof cm	Perte à ClH	% de Fractions				
			S.G.	S.F.	L.G.	L.F.	A
TED- 23	0-10	6,28	2,80	8,95	4,92	11,97	65,08
	30-40	8,38	1,33	9,10	4,39	11,13	65,67
	50-60	15,15	0,95	11,03	6,41	14,5	51,95
	100-110	26,45	0,50	12,81	6,13	15,6	38,75

Tableau 15 : Analyse mécanique d'un sol Brun calcique.

- Il s'agit d'un sol argileux dont l'argile a tendance à diminuer en profondeur.

- La fraction limoneuse augmente au fur et à mesure qu'on descend dans le profil. Un comportement similaire s'observe pour les sables qui sont représentés surtout par les sables fins.

- Il y a une influence du calcaire plus forte dans les deux derniers horizons.

Il faut souligner que ces sols ont un certain nombre de caractéristiques qui les rapprochent des vertisols.

Prof cm	M.O %	p H		Δ pH	Complexe absorbant mé /100 g					
		H ₂ O	ClK		Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	Na ⁺	S	T
0-10	5,24	6,8	5,8	-1,0	45,63	6,92	1,03	0,25	53,83	55,75
30-40	1,65	6,8	5,8	-1,0	49,25	4,39	0,81	0,29	54,74	56,38
50-60	0,19	7,6	6,7	-0,9	45,50	3,63	0,90	0,23	50,26	51,25
100-110	0,31	8,1	6,9	-1,2	41,75	3,33	0,81	0,31	46,20	46,78

V %	% de Fe ₂ O ₃		$\frac{\text{Fe}_2\text{O}_3\text{L}}{\text{Fe}_2\text{O}_3\text{T}}$
	Libre	Total	
96,5	2,25	6,70	33,6
97,0	2,50	7,20	34,7
98,0	1,70	5,50	30,9
98,8	1,10	4,40	25

Tableau 16 : Caractéristiques chimiques du sol Brun calcaïque TED-23

- La matière organique diminue brusquement à partir de 30 cm de profondeur.
- Le pH devient légèrement alcalin dans les deux derniers horizons.
- La somme des bases échangeables est élevée. Elle est toujours dominée par les cations bivalents, où le calcium est largement prédominant. La capacité d'échange cationique est également élevée. Elles diminuent toutes les deux avec la profondeur corrélativement à l'augmentation du carbonate de calcium.
- Ce sol brun calcaïque est saturé à plus de 96%.
- Pour les constituants minéraux on observe que le fer diminue avec la profondeur. Le rapport fer libre / fer total est plus élevé que dans les rendzines (tableau 16).

Profil	Prof cm	Fraction légère	Minéraux Lourds Opaques	Minéraux lourds transparents % numérique					
				Hor	And	St	G	Ep	Sp
TED 23	0-10	Quartz et Felds- paths	Hematite Goethite	3	6	1	1	.89	
	30-40								
	50-60						5	93	2
	100-110			4				96	

% Pondéral	Minéraux argileux < 2 μ		
	Mont		
2,52	+++		
	+++		
0,65	+++		
0,55	+++		

Tableau 17 : Constituants minéraux de la fraction sable et de la fraction argile du sol Brun calcique TED-23

Hor : Hornblende ; And : Andalousite ; St : Staurotide
G: Grenat ; Ep : Epidotes ; Sp : Sphène ; Mont :
Montmorillonite ; +++ : très abondants.

- Dans la fraction argile, on ne trouve que de la montmorillonite bien cristallisée.

- Dans les minéraux des sables, la fraction légère est formée par du quartz et des feldspaths, tandis que les minéraux lourds opaques sont constitués par des oxydes et hydroxydes de fer.

- Parmi les minéraux lourds transparents, c'est l'épidote qui prédomine, avec des quantités très importantes. Au fur et à mesure qu'on s'approche de la roche, on observe une augmentation de ce minéral.

4.3. LES SOLS A SESQUIOXYDES DE FER : FERSIALLITIQUES.

Le terme "Fersiallitique" semble avoir été utilisé pour la première fois par Botelho Da Costa (1959) et Botelho Da Costa et al (1959, 1964) pour désigner des sols tropicaux d'Angola formés de Kaolinite associée à des minéraux argileux 2/1. La Commission Française de Pédologie et de Cartographie (CFCS 1967) a introduit une "sous-classe" des sols fersiallitiques pour désigner des sols anciennement appelés "*Terra-Rossa*" (Comel 1931 - Agafonoff 1936, - Reifenberg 1947, - Kubierna 1963, ect..) ; terres rouges (Marcelin 1947, - Bordas 1950, - Stace 1968).

En particulier, les sols fersiallitiques formés sur roches calcaires ont été décrits par Aleixandre (1967) en Espagne ; Colmet Daage et al (1969) en Haiti ; Lamouroux (1972) au Liban ; entre autres.

Le terme fersiallitique a commencé à être employé à Cuba après la IIème classification génétique des sols de Cuba (1975), pour désigner des sols avec mélange de minéraux 2/1 et 1/1 ; avec de sesquioxydes de fer libres qui donnent au profil des couleurs vives : en milieu bien drainé, les couleurs sont très rouges (Hématite), aussi bien sur roches carbonatées que sur roches cristallines ; en milieu à drainage ralenti, les couleurs peuvent être brunes à jaunes (Goethite) quelle que soit la roche-mère.

Les sols fersiallitiques ont été décrits à Cuba sur différentes roches-mère : sur roches ignées et serpentinites, (Institut des sols de Cuba, 1975), sur schistes (Bosch et al 1980) ; sur calcaire, plusieurs auteurs les ont classés de diverses façons : c'est ainsi que Bennett et Allison, (1928-1962), les ont nommés : *Série Matanzas, phase rocheuse* et *Série Francisco* ; Zonn (1968) les a appelés *Ferroc carbonatados* ; Shishov (1968) *Rojos tropicales carbonatados* ; Hernandez et al (1972) *Rojo carbonatado sialítico* ; Institut des sols (1973) *Calizos rojos* ; et dernièrement ont été nommés par Camacho (1977) et Camacho, Bosch et Rodriguez (1979), comme Sols Fersiallitiques rouges.

DESCRIPTION DU PROFIL

Profil TED-12

- Topographie : Pris sur le sommet d'une colline
- Végétation : *Pisonia aculata* ; *Comoclodia dentata* ;
Nocca mollis ; *Bursera simaruba* ; *Panicum maximum*.
- Drainage : Externe bon ; Interne bon
- Roche-mère : Calcaire moyennement dur et marne
- Coordonnées : Sur la carte 1 / 50.000
Lat N : 23° 01' 05"
Long W : 81° 49' 12"

Situé à 3 km N-W de AGUACATE.

0 - 10 cm Rouge brônâtre (2,5 YR 3/2 S) ; argileux ; structure grenue ; friable ; poreux ; racines abondantes ; on observe des fragments de roches ; réaction à l'acide chlorhydrique.

10 - 25 cm Rouge foncé (2,5 YR 3/6 S) ; argileux ; structure polyédrique fine ; friable ; poreux ; racines fines ; fragments de calcaire ; réagit fortement à l'acide chlorhydrique.

25 - 45 cm Rouge jaunâtre (5 YR 4/8 S) ; argileux ; structure polyédrique fine ; friable ; poreux ; quelques racines fines ; avec des fragments de roches ; réagit fortement à l'acide chlorhydrique.

45 - 65 cm Jaune rougeâtre (7,5 YR 6/6 S) ; zone d'altération de calcaire ; argileux ; réagit violemment à l'acide chlorhydrique.

65 cm Calcaire marneux.

Profil	Prof cm	Perte à ClH	D.R g/cm'	D.A g/cm'	% Porosité		% d'Eau	
					Total	d'Air	Cap. au champ	Point Flétris- ment
TED- 12	C-10	23,6	2,31	1,04	54,98	20,0	33,7	25,9
	O-20	22,5	2,44	1,00	59,02	25,8	33,2	24,6
	25-35	34,8	2,42	1,02	57,85	25,65	32,2	23,2

% des fractions				
S.G.	S.F.	L.G.	L.F.	A
1,83	3,44	18,31	8,04	44,8
0,7	0,8	9,92	19,2	48,2
0,5	0,2	15,76	5,5	43,9

Tableau 18 : Caractéristiques physiques du sol fersiallitique.

- Sol peu profond, moins de 70 cm.
- Il se produit une forte perte à l'acide chlorhydrique, due à une forte teneur en carbonates dans la masse du sol, qui a été contaminée par de petits graviers et des fractions plus fines, qui sont passés au moment de mélanger et tamiser l'échantillon.
- Les densités réelles et apparentes varient peu dans le profil.
- La porosité totale et la porosité pour l'air sont élevées.
- La fraction qui prédomine est l'argile ; avec une légère augmentation de celle-ci, et du limon dans l'horizon (B).
- Le pourcentage d'eau à la capacité du champ et au point du flétrissement varient peu.

Profil	Prof cm	M.O. %	N %	C %	C/N	p H		Δ pH
						H ₂ O	ClK	
TED-12	0-10	5,58	0,237	3,24	13,7	6,9	6,0	-0,9
	10-20	4,40	0,187	2,55	13,6	7,2	6,4	-0,8
	25-35	-	-	-	-	7,4	6,9	-0,5

Complexe absorbant (me /100g)						
Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	Na ⁺	S	T	$\frac{S}{T}$
30,5	2,95	0,16	0,11	33,72	34,83	97
39,0	1,89	0,23	0,11	41,28	42,11	98
36,5	1,99	0,19	0,27	38,95	39,25	99

Tableau 19 : Caractéristiques chimiques d'un sol Fersiallitique.

- Le pH est neutre à légèrement alcalin, il augmente en profondeur. Le Δ pH diminue avec la profondeur.
- La somme des bases échangeables est dominée largement par le cation calcium, elle augmente légèrement dans l'horizon (B).
- Le degré de saturation est très élevé, plus de 97 %.

Pour ces sols on peut observer les caractéristiques minéralogiques suivantes :

Profil	Prof. cm	P.F. %	% des oxydes dans la fraction argile								
			CaO	MgO	K ₂ O	P ₂ O ₅	TiO ₂	Na ₂ O	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃
TED-12	0-10										
	10-20	16,04	1,05	1,83	1,35	0,26	0,37	0,22	50,54	21,97	6,14
	25-35										
	55-65	12,24	0,77	2,26	0,70	0,15	0,49	0,26	53,21	20,63	7,19
	Résidu de Calcaire										

SiO ₂ / Al ₂ O ₃	SiO ₂ / R ₂ O ₃	Minéraux argileux < 4							
		Mont P.A.	Mont	F.C.	M	Bo	Gi	He	M-Fc
		+		+		+	tr	+	
3,93	3,32	++				+	+	+	+
4,39	3,59		+++		++			tr	
			+++	+					

Tableau 20 : Analyses centésimales et rayons X de l'argile du sol Fersiallitique.

Mont-P.A. : Montmorillonite - Produits amorphes ;
 Mont : Montmorillonite ; FC : Fire-Clay ; M : Méta-
 halloysite ; Bo : Boehmite ; Gi : Gibbsite ; He :
 Hémalite ; +++ : très importante ; ++ : importante ;
 + : peu ; tr : Traces.

Le contenu en oxyde de fer est faible, tandis que celui de la silice est le double de celui de l'alumine. Ceci donne un rapport silice/alumine supérieur à 3,9, ce qui met en évidence la présence de minéraux argileux de type 2/1.

La diffraction de rayons X, montre un mélange minéraux 2/1 et 1/1. (Fig. 7).

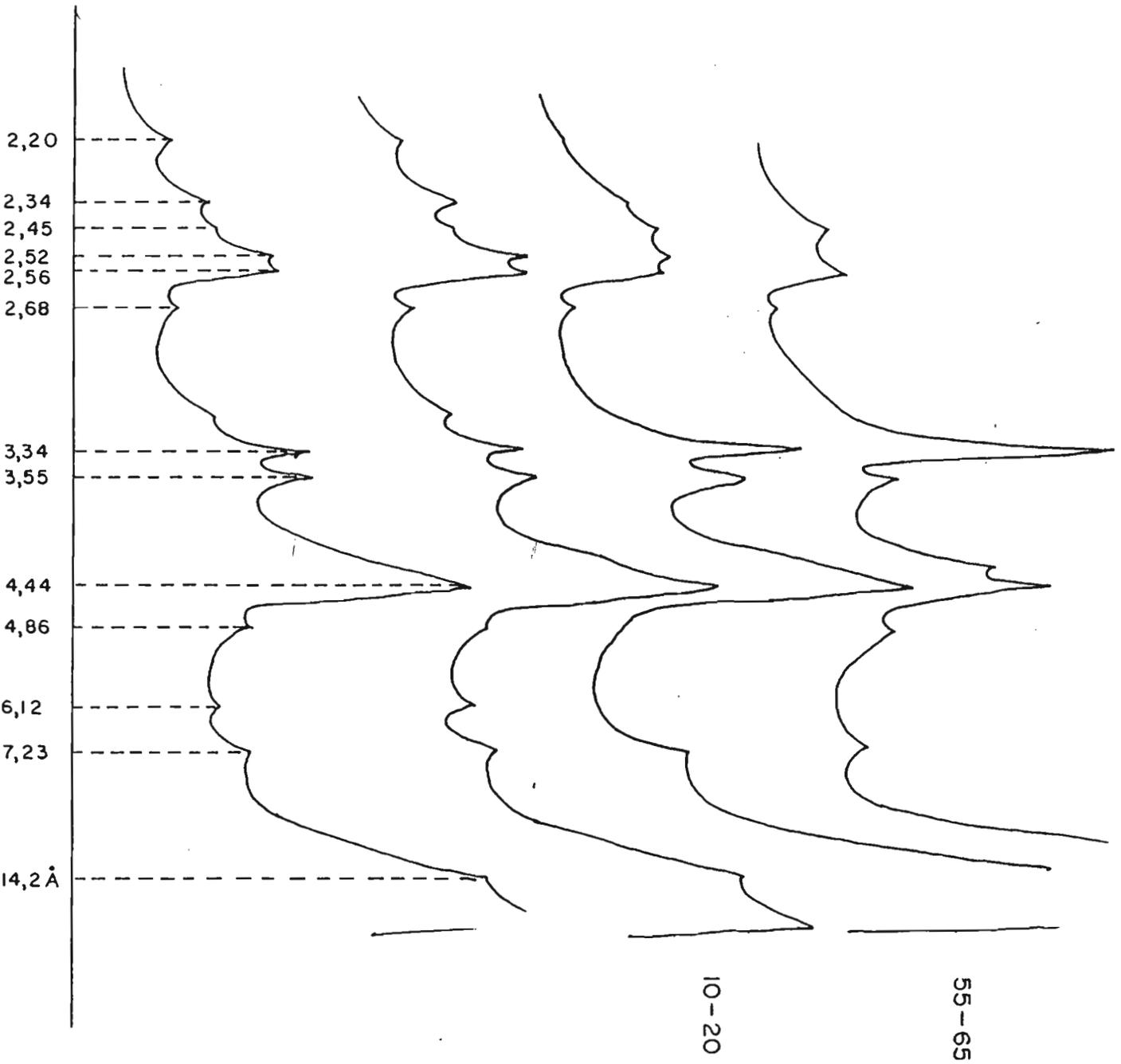


Figure 7

TED-12

EXTRAIT DE ROCHE



La montmorillonite présente une meilleure cristallisation en profondeur. Elle est présente aussi dans le résidu non carbonaté de calcaire avec un peu de fire-clay, présence aussi de faibles quantités de Boehmite, Gibbsite et d'Hématite.

En ce qui concerne les oxydes, on obtient les teneurs suivantes :

Profil	Prof cm	ppm de oxydes de				% de Fe ₂ O ₃ dans le sol		Libre Total
		Cr ₂ O ₃	NiO	CoO	MnO	Libre	Total	
TED-12	0-10					6,0	6,5	92,3
	10-20	500	330	170	580	7,0	7,9	88,6
	25-35					3,35	4,2	79,8
	55-65	560	540	210	540			

Tableau 21 : Contenu en oxydes dans le sol Fersiallitique.

Les teneurs en oxydes de chrome, nickel et cobalt, sont plus élevées que dans les sols ferrallitiques typiques modaux, mais le manganèse est moins abondant que dans ces sols.

En ce qui concerne le contenu de fer dans la masse du sol, on observe que le fer libre est supérieur à 3,0 % dans tout le profil, il est plus important dans l'horizon (B) et (A), avec une augmentation dans l'horizon (B). Le fer total suit la même distribution. Le rapport fer libre / fer total diminue en profondeur.

Pour les minéraux des sables on constate :

Prof cm	Fraction Légère	Minéraux lourds transparents							% Pondéral
		Pyr	And	Dis	St	G	Ep	Z	
0-10	Quartz				tr		tr		1,0
10-20	"				tr	tr			1,75
25-35	"	tr	tr	+		+		tr	0,33
55-65	"								
Résidu de Calcaire	+++ Quartz + Feldspaths tr micas tr Kaolinite								

Tableau 22 : Analyses des minéraux des sables des sols Fersiallitiques.

Pyr : Pyroxenes ; And : Andalousite ; Hor : Hornblende
 Dis : Disthène ; St : Staurotide ; G : Grenat ;
 Ep : Epidote ; Z : Zircon ; +++ : très importante ;
 + : peu ; Tr : Traces.

La fraction légère est constituée par le quartz. Dans le résidu de calcaire on trouve le quartz, le feldspaths, traces de micas et de la kaolinite.

Les minéraux lourds transparents sont présents en peu de quantité ou en traces.

Les raisons par lesquelles on considère que les sols qui ont les caractéristiques qu'on a décrit, sont des sols fersiallitiques, on va en discuter plus en détail dans le chapitre de genèse des sols.

4.4. SOLS FERRALLITIQUES

Les sols ferrallitiques ont été décrits dans divers pays par de nombreux auteurs. On peut citer entre autres : Aubert G. (1954) ; Aubert G. et Segalen P. (1966) ; Colmet Daage (1966) ; Chatelin (1972-1974) ect ...

Ces sols à Cuba ont été également décrits et étudiés par divers chercheurs : Bennett et Allison (1928) ; Zonn (1966) ; Shishov (1968) ; Institut des sols de l'Académie des Sciences de Cuba (1973) ; Segalen et al (1973) ; Bosch et al (1976) ; Bosch (1978) ; Bosch, Camacho et Segalen (1980).

4.4.1. SOLS FERRALLITIQUES FAIBLEMENT DESATURE EN (B) TYPIQUES, MODAUX.

Ces sols sont très répandus à Cuba. Ils occupent une superficie d'environ 7000 km², Institut des Sols de l'Académie des Sciences de Cuba (1973). Ils sont presque toujours associés au calcaire dur miocène.

La surface sur laquelle se développent ces sols, est plane, mais pas déprimée.

Dans la zone étudiée, on les observe sur les parties les plus élevées de la plaine elle-même, et dans les poljés qui se développent sur les hauteurs.

MORPHOLOGIE

Ces sols présentent une profondeur variable, qui peut atteindre de quelques dizaines de centimètres jusqu'à 3 à 4 mètres, avec des horizons peu différenciés, de couleur rouge (2,5 YR), d'intensité variant de 3/6 à 4/6.

Le passage du sol à la roche-mère se fait brutalement dans la plupart des cas, mais parfois on peut observer entre le sol et la roche, une petite zone d'altération de 2 à 5 cm (Bosch et al 1978). On peut la comparer avec l'altération pelliculaire décrite par Lamouroux (1972) au Liban.

Plusieurs profils ont été observés, mais on ne décrira que le D-1, prélevé dans la plaine elle-même, et le profil TED-9 à une altitude de 250 mètres sur un glacis.

PROFIL D-1, Situé à l'Est de BAINOA.

- Topographie : Plane
- Drainage : Externe bon, Interne bon
- Végétation : Pâturages
- Roche-mère : Calcaire dur du Miocène
- Coordonnées : Sur la carte 1 / 50.000
 Lat N : 22° 58' 52"
 Long W : 81° 57' 03"

- 0 - 15 cm Brun rougeâtre (5 YR 4/4 H), rouge jaunâtre (5 YR 5/8 S) ; argileux ; structure granulaire ; poreux ; racines abondantes quelques petites concrétions arrondies ; transition progressive.
- 15 - 40 cm Rouge foncé (2,5 YR 3/6 H) ; rouge jaunâtre (5 YR 4/6 S) ; argileux ; structure cubique moyenne et fine ; friable ; poreux ; racines abondantes ; sans concrétion ; transition progressive peu nette.
- 40 - 70 cm Rouge foncé (2,5 YR 3/6 H) ; argileux ; structure polyédrique fine ; friable ; poreux ; quelques racines fines ; transition progressive.
- 70 - 100 cm Rouge foncé (2,5 YR 3/6 H) ; argileux ; structure polyédrique moyenne ; friable ; moyennement poreux ; quelques concrétions tendres et petites ; on observe des taches sombres d'oxydes de fer ou manganèse sur les faces des agrégats ; transition diffuse.
- 100 - 180 cm Rouge foncé (2,5 YR 3/6 H) ; argileux ; structure polyédrique grossière ; friable ; moyennement poreux ; très peu de racines fines ; quelques concrétions tendres ; sur les agrégats revêtements foncés en forme de taches, beaucoup plus que dans l'horizon précédent ; à 3 mètres on ne trouve pas la roche.

PROFIL TED-9 - MADRUGA

- Topographie : Plane dans un poljé à 250 mètres d'altitude.
- Drainage : Externe bon, Interne bon
- Végétation : *Erythrina berteroana* ; *Bursera simaruba* ;
Nocea moltes ; *Panicum maximum*.
- Roche-mère : Calcaire dur du Miocène.
- Coordonnées : Sur la carte 1/50.000
 Lat N : 22° 55' 15"
 Long W 81° 48' 37"

- 0 - 17 cm Rouge foncé (2,5 YR 3/6 H) ; argileux ; structure grenue ; friable ; poreux ; abondantes racines fines ; on observe de petites concrétions et quelques unes moyennes ; transition nette.

17 - 40 cm Rouge (2,5 YR 4/6 H) ; argileux ; structure polyédrique fine ; friable ; poreux ; quelques racines fines ; on observe de petits agrégats avec des faces brillantes ; quelques concrétions ; à 20 cm on voit apparaître le calcaire dur ; transition distincte.

40 - 60 cm Rouge (2,5 YR 4/6 H) ; argileux ; structure polyédrique fine, mais plus grande que celle de l'horizon précédent ; friable ; poreux ; peu de racines fines ; quelques concrétions tendres et petites.

60 - 62 cm Zone d'altération de calcaire.

62 cm Calcaire dur du Miocène.

Caractéristiques physiques.

Profil	Prof cm	% des fractions				
		S.G.	S.F.	L.G.	L.F.	A
D-1	0-10	1,0	5,8	5,2	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
TED-9	0-10	0,3	6,5	5,5	11,3	74,8
	25-35	0,3	6,0	4,8	10,4	76,3
	45-55	0,3	2,2	6,4	8,3	81,5

Tableau 23 : Analyses granulométriques de sols ferrallitiques modaux.

Ce sont des sols nettement argileux, fraction $< 2 \mu$ dépasse toujours 74,0 %.

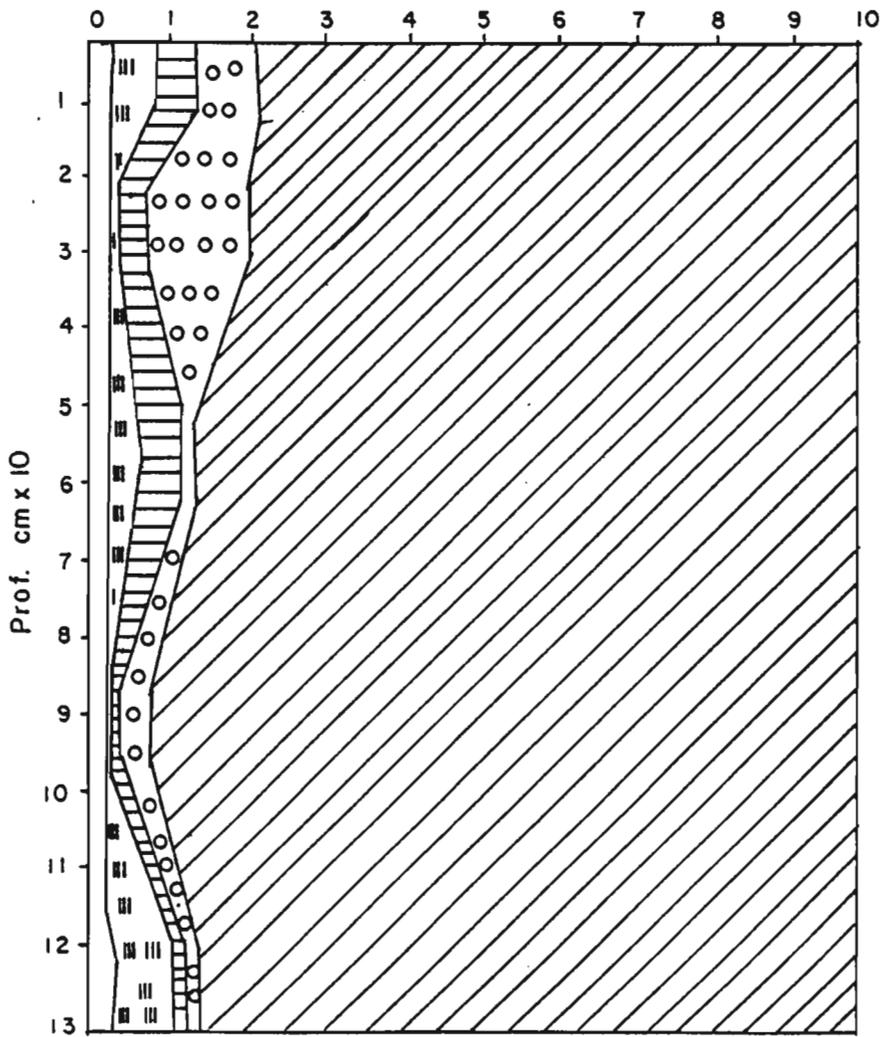
Il se produit une légère augmentation de l'argile en profondeur (Fig. 8), mais il n'y a pas de revêtements argileux autour des agrégats.

Le contenu en sable est faible, mais à plus de 1 mètre de profondeur dans le profil D-1, il dépasse 10 %.

Figure 8

PROFIL D-1
ANALYSE MECANIQUE

% des fractions x 10



Profil	Prof cm	D.R. g/cm ³	D.A. g/cm ³	Porosité %		% d' Eau			
				Totale	Pour l'Air	Cap. au Champ	Point de Flé- trisse- ment	Réserve	Utile
D-1	0-10	2,85	1,18	58,6	22,8	30,4	25,8	35,8	5,45
	20-30	2,88	1,21	61,5	23,0	31,8	26,3	38,4	6,6
	50-60	2,86	1,35	52,8	9,2	32,3	25,5	43,6	9,2
	85-95	2,88	1,33	56,8	15,0	31,4	24,5	41,8	8,9
	120-130	2,80	1,29	53,9	12,8	32,6	25,0	41,1	9,8
TED-9	0-10	2,67	1,16	56,5	19,8	31,6	27,0	36,7	5,3
	25-35	2,71	1,19	56,6	17,4	32,9	28,2	39,2	5,6
	45-55	2,73	1,24	54,7	14,9	32,1	27,7	39,8	5,4

Tableau 24 : Propriétés hydrodynamiques et état poral des sols ferrallitiques modaux.

Ces sols ont une densité réelle élevée, avec une légère augmentation avec la profondeur.

La densité apparente a tendance à diminuer en profondeur, cette caractéristique influe sur la microporosité qui diminue également en profondeur.

La porosité totale est élevée, ceci est très semblable aux résultats obtenus par Camacho (1980), dans la péninsule sud de la Havane.

Les teneurs en eau à la capacité au champ et au point de flétrissement, varient peu dans le profil. Malgré une réserve d'eau assez élevée, ces sols ont un faible pourcentage d'eau utile.

La vitesse d'infiltration est élevée, avec une valeur moyenne de l'ordre de 120 mm/h (Fig. 9).

Ceci met en évidence une perméabilité élevée, ce qui garantit un bon drainage interne et superficiel.

Profil	Prof cm	% de fractions en mm				
		2,0-0,2	0,2-0,02	0,02-0,01	0,01- 0,002	< 0,002
D-1	0-10	14,8	18,5	13,0	16,5	35,4
	20-30	18,3	17,8	9,6	11,3	41,2
	50-60					
	85-95					
	120-130					
TED-9	0-10	15,57	29,5	7,2	12,2	35,5
	25-35	10,66	34,9	5,3	11,7	29,8
	45-55	9,10	46,7	3,4	12,5	28,4

% d'Argile	Coef. de dispersion	Stabilité ⁸ structurelle	
		T.S.	T.H.
79,6	44,5	92,6	86,4
80,8	51,0	87,4	73,9
88,0		89,0	71,0
93,5		90,3	68,3
87,3		85,5	63,0
74,8	47,5		
76,3	39,1		
81,5	34,8		

Tableau 25 : Stabilité des agrégats supérieurs à 0,25 mm et microstructure des sols ferrallitiques modaux.

La stabilité des agrégats est élevée au tamis sec et au tamis humide.

Le coefficient de dispersion a tendance à diminuer en profondeur.

On peut observer une formation de pseudo-sables, ce qui a été noté par Baisre (1972), dans ces sols.

PROFIL D-1
INFILTRATION mm/h

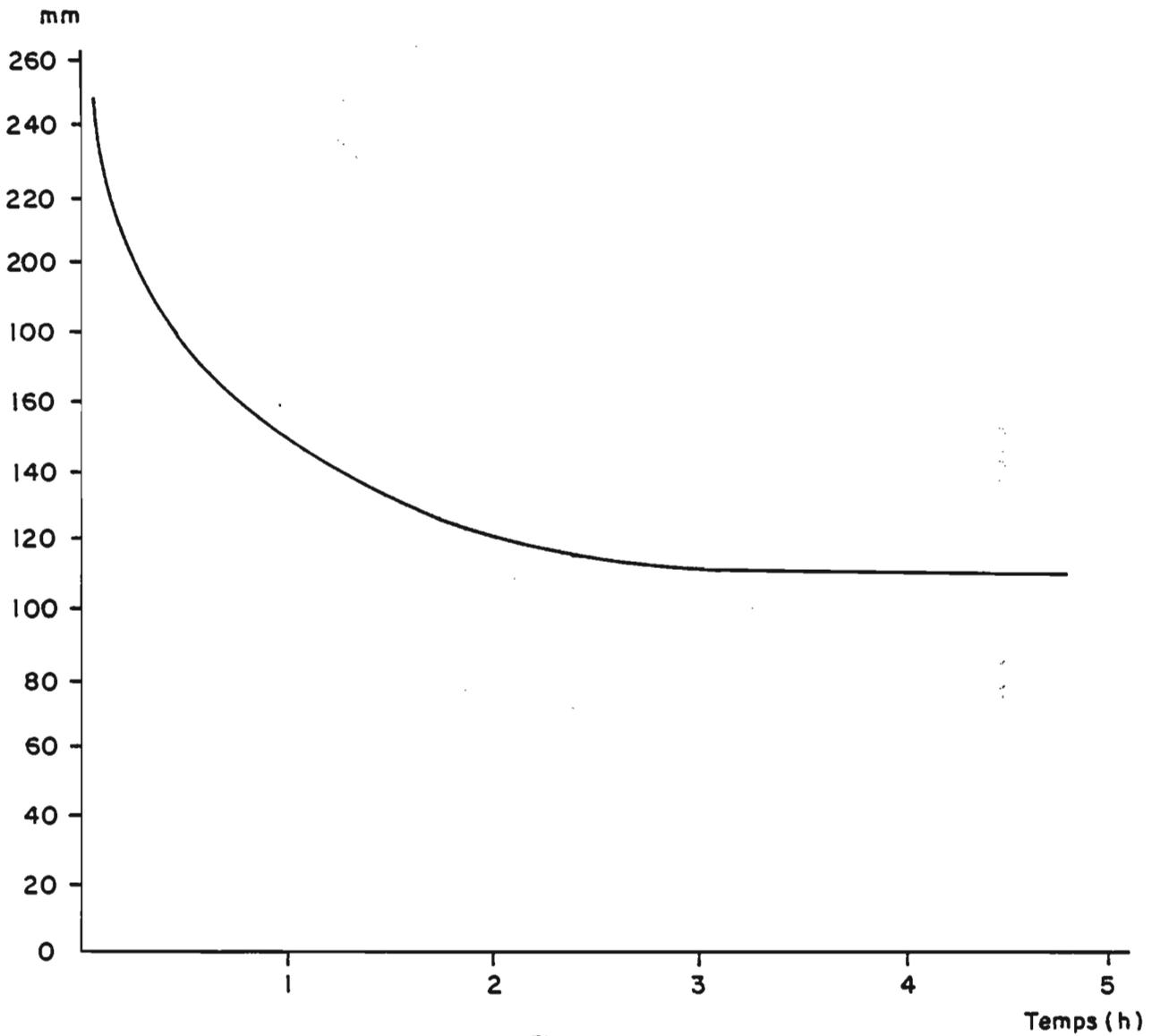


Figure 9

Profil	Prof cm	M.O. %	N %	C %	C/N	p H		Δ pH
						H ₂ O	Kcl	
D-1	0-10	3,74	0,19	2,16	11,4	5,8	4,8	-1,0
	20-30	1,84	0,10	1,06	10,6	5,4	4,6	-0,8
	50-60	0,83	0,04	0,48	12,0	6,0	5,3	-0,7
	85-95	0,67	0,03	0,38	12,6	5,9	5,6	-0,3
	120-130	0,43	0,02	0,25	12,5	6,1	5,7	-0,4
	170-180	0,24	-	0,14		6,2	5,6	-0,6
TED-9	0-10	4,84	0,21	2,8	13	6,7	5,7	-1,0
	25-35	2,24	0,12	1,3	10,8	6,3	5,3	-1,0
	45-55	-	-	-	-	6,6	5,9	-0,7

Complexe absorbant mé / 100 g						V %
Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	Na ⁺	S	T	
5,31	3,54	0,12	0,22	9,20	12,41	74
4,78	2,28	0,03	0,16	7,25	9,36	77
5,43	0,14	0,03	0,16	5,76	6,78	84
5,31	0,51	0,03	0,15	6,0	6,98	85
4,30	0,76	0,03	0,11	5,20	6,10	85
4,06	1,0	0,03	0,12	5,21	6,02	86
13,3	0,9	0,07	0,11	14,38	15,66	92
11,55	0,31	0,09	0,16	12,11	13,12	92
10,50	0,93	0,64	0,11	12,17	12,79	95

Tableau 26 : Analyse chimique des sols ferrallitiques rouges modaux.

La distribution de la matière organique est régulièrement décroissante. Elle est bien évoluée.

Le pH du profil TED-9 est légèrement acide, car ce profil est situé sur les hauteurs des calcaires du Miocène et on observe une influence de la roche, tandis que pour le profil D-1, situé au milieu de la plaine est plus éloigné de la roche-mère calcaire, le pH est acide.

Le calcium domine le complexe absorbant.

On peut observer une différence entre les sols proches du calcaire et celui de la plaine, en ce qui concerne à la somme de bases échangeables, la capacité d'échange cationique et le degré de saturation.

CARACTERISTIQUES MINERALOGIQUES

Dans l'analyse centésimale effectuée sur la fraction argile de ces sols, on peut observer les caractéristiques suivantes.

Profil	Prof cm	P.F. %	% des Oxydes							
			CaO	MgO	K ₂ O	P ₂ O ₅	TiO ₂	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃
D-1	0-10	16,63	1,88	3,38	0,10	0,07	1,37	29,17	33,51	15,80
	20-30	15,40	1,99	1,04	0,10	0,08	1,13	31,07	34,21	15,10
	50-60	14,57	0,48	2,74	0,07	0,06	1,08	31,58	34,43	14,90
	85-95	15,04	2,41	1,73	0,07	0,05	1,16	30,73	35,32	15,80
	120-130	15,60	0,73	0,81	-	0,03	0,94	31,77	33,73	14,56
	170-180	14,83	2,41	2,16	0,06	0,07	1,14	30,47	35,32	15,30
TED-9	25,35	13,51	0,78	1,03	-	0,11	0,52	37,99	32,59	12,53

$\frac{\text{SiO}_2}{\text{Al}_2\text{O}_3}$	$\frac{\text{SiO}_2}{\text{Fe}_2\text{O}_3}$	$\frac{\text{SiO}_2}{\text{R}_2\text{O}_3}$
1,48	4,92	1,14
1,55	6,06	1,21
1,56	5,65	1,22
1,48	5,18	1,15
1,60	5,8	1,26
1,47	5,3	1,15
1,98	8,09	1,59

Tableau 27 : Analyse chimique d'argile des sols ferrallitiques rouges modaux.

On observe des teneurs en silice, alumine et fer peu variables dans le profil de la plaine (D-1).

Pour le sol pris sur le calcaire, profil TED-9, le contenu en silice est plus élevé, tandis que le fer diminue un peu; l'alumine a un comportement très semblable à celui du profil de la plaine.

Le rapport moléculaire silice / alumine est toujours inférieur à 2,0. Ceci traduit la présence de minéraux argileux de type 1/1, associés à des hydroxydes d'aluminium. Ces résultats ont été obtenus par d'autres auteurs dans diverses zones du pays (Institut des sols (1973), Bosch et al (1978), Camacho 1980) sur des sols analogues.

Profil	Prof cm	Minéraux argileux					
		FC-M	M	Boe	Gi	He	Go
D-1	85-95		+++		+++	+++	+
TED-9	0-10		+++	+	+++	+++	+++
	25-35	+++		+++	++	+++	++
	45-55	+++		+	++	+++	+
	Résidu de Calcaire		+++	++		++	++

Tableau 28 : Analyse de l'argile aux rayons X des sols ferrallitiques typiques modaux.

FC-M : Fire-Clay Métahalloysite ; M : Métahalloysite ; Boe : Boehmite ; Gi : Gibbsite ; He : Hématite ; Go : Goethite ; +++ très importante ; ++ : importante ; + : peu.

Sur le tableau on note les minéraux suivants :

Fire-Clay ; métahalloysite ; Gibbsite, Hématite et Goethite.

Dans les sols proches de la roche calcaire, on trouve de la Boehmite. (Fig. 10).

La composition des résidus des calcaires (TED-9) est la même que celle du sol.

Profil	Prof cm	% de Fe_2O_3		$Fe_2O_3^L$
		Libre	Total	$Fe_2O_3^T$
TED-9	0-10	12,0	13,0	92
	25-35	11,5	12,0	96
	45-65	13,0	13,5	96

Tableau 29 : Oxydes de fer libre dans le sol TED-9.

Profil	Prof cm	Cr_2O_3	NiO	CoO	MnO
D-1	85-95	194	255	80	-
TED-9	25-35	200	230	75	1300

Tableau 30 : Autres oxydes particuliers dans la fraction argile, en ppm

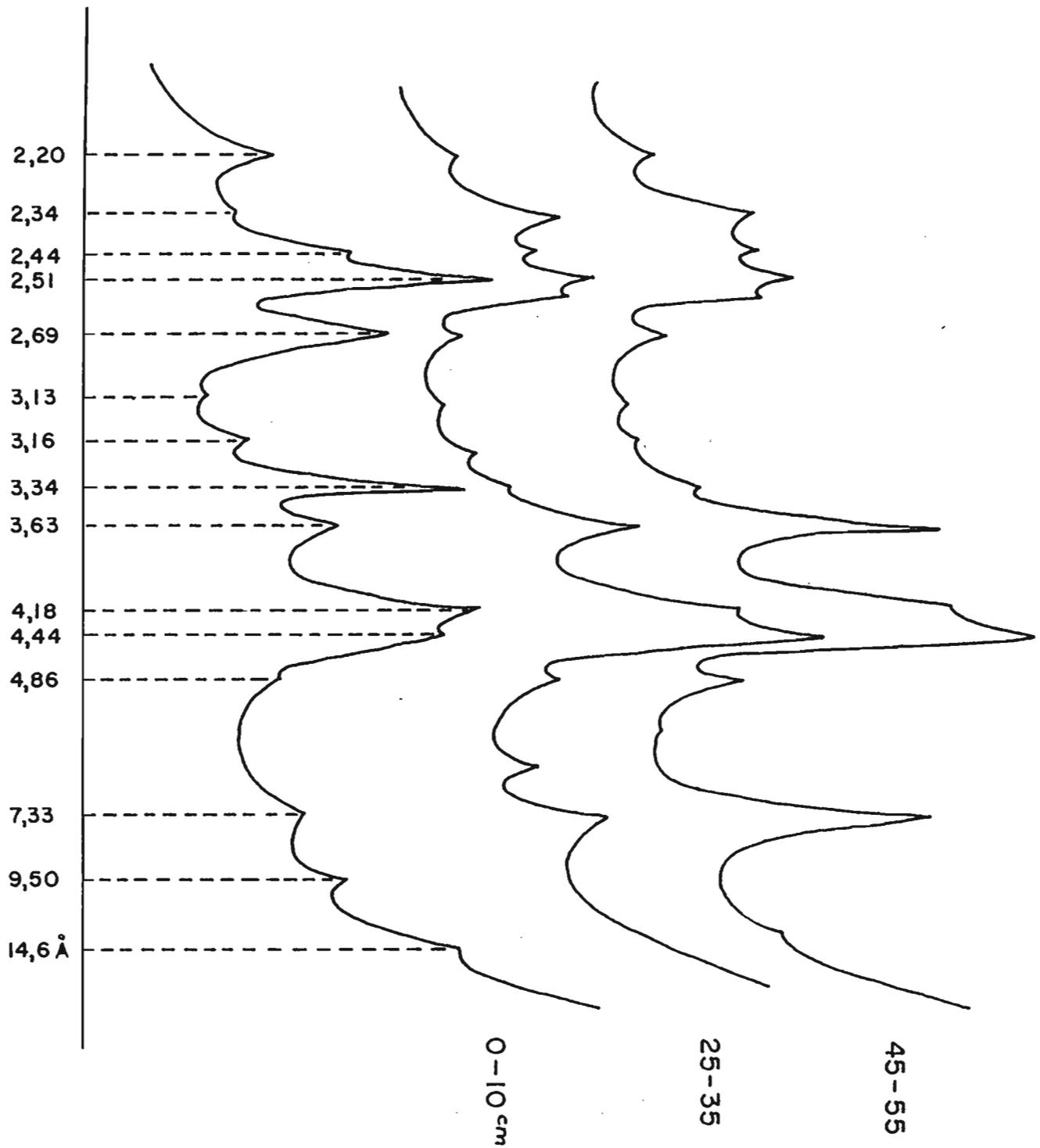
Sur les tableaux :

On peut observer que plus de 90% du fer du sol est à l'état libre ; Camacho et al (1979) ont trouvé que 52,0 à 60,0 % du fer total du sol, correspond à du fer libre lié aux particules les plus fines.

Il faut souligner que le constituant ferrugineux dominant est l'hématite, associée à la goethite, avec une répartition uniforme dans le profil.

Pour vérifier l'influence possible de péridotites sur la formation de ces sols dans la zone, on a mesuré les oxydes métalliques qui généralement les accompagnent, oxydes de chrome, oxydes de cobalt et oxydes de nickel, (tableau 30). On a observé des teneurs en ces oxydes très faibles, ce qui fait penser que les sols sur calcaire n'ont pas subi l'influence directe de péridotites. Lorsque celle-ci a lieu, les valeurs sont élevées (Profil TED-8).

Dans le tableau suivant, on peut observer la composition des minéraux des sables.



TED-9

Figure 10

Profil	Prof cm	Fraction Légère	Hor	And	Dis	St	G	Ep	Z	T	% Pondéral	
D-1	0-10	Q U A R T Z										
	20-30			12	17	45		5	16			
	50-60				17	49	17		17			
	85-95			+	+	++						
	120-130			+							++	
	170-180			29	14	45			14			
TED-9	0-10	Quartz Traces de Feldspath Quartz										
	25-35					tr	tr				1,51	
	45-55		tr					+	tr			3,10
	Résidu de Calcaire											

Tableau 31 : Constituants des minéraux des sables des sols ferrallitiques typiques modaux.

Hor : Hornblende ; And : Andalousite ; Dis : Disthène ; St : Staurotide ; G : Grenat ; Ep : Epidote ; Z : Zircon ; T : Tourmaline.
 +++ : très importante ; ++ : importante ; + : peu ;
 tr : traces.

La fraction légère est constituée par le quartz, on trouve des traces de feldspaths dans le résidu du calcaire.

Dans les minéraux lourds prédominent la staurotide et le disthène, en général on observe une distribution homogène des minéraux dans le profil.

Les minéraux plus facilement altérables comme le grenat et l'épidote ne s'observent qu'en très petite quantité.

4.4.2. SOLS FERRALLITIQUES FAIBLEMENT DESATURÉS EN (B), TYPICIQUES COMPACTS.

Ce sous-groupe des sols ferrallitiques, occupe une surface plus petite dans la zone étudiée, que les sous-groupes modaux et hydromorphes. Ils sont situés dans une position topographique plane. Le drainage interne peut-être ralenti. Parfois on observe des taches dans les horizons profonds.

Le profil est épais de 1 à 3 mètres, avec une couleur rouge, qui varie dans la gamme (10 R 2,5 YR, 5 YR).

Ils sont formés à partir de calcaire dur miscène et des matériaux argile-sableux transportés à partir des hauteurs environnantes.

Du point de vue de la morphologie, ils ne sont pas très différents des sols ferrallitiques modaux, on peut les différencier essentiellement par la structure, la compacité en saison sèche. On observe la présence de taches en profondeur.

PROFIL TED - 4 - JARUCO

- Topographie : Plane
- Drainage : externe bon, interne bon
- Végétation : *Roystonea regia*, *Psidium guajaba*
Calocarpum sapota
- * Roche-mère : calcaire dur
- Coordonnées : sur la carte 1/50.000
Lat N : 23° 03' 00"
Long W : 81° 58' 22"

- 0 - 20 cm Rouge foncé (2,5 YR 3/6 H) ; argileux ; structure polyédrique fine et moyenne ; friable ; poreux ; abondantes racines fines ; transition graduelle.
- 20 - 54 cm Rouge (2,5 YR 4/6 H) ; argileux ; structure polyédrique moyenne ; friable ; poreux ; contenu en racines moyen ; quelques concrétions (< 3,0 %) ; transition graduelle.
- 54 - 100 cm Rouge (2,5 YR 4/6 H) ; argileux ; structure polyédrique moyenne ; friable ; poreux ; quelques racines fines ; quelques concrétions (moins de 3,0 %) ; transition graduelle.
- 100 - 157 cm Rouge (2,5 YR 4/8 H) ; argileux ; structure polyédrique grossière ; compact ; moins poreux que l'horizon précédent ; peu de racines ; peu de concrétions ; on observe quelques petites taches autour des racines.

CARACTERISTIQUES PHYSIQUES.

Parmi les analyses physiques, on peut observer les caractéristiques suivantes (Tableau 32).

Profil	Prof cm	Perte au ClH %	% des fractions					D.R. g/cm ³	D.A. g cm ³
			S.G.	S.F.	L.G.	L.F.	A.		
TED-4	0-10	0,8	2,8	11,3	1,1	9,9	73,9	2,70	1,35
	10-20	1,64	1,8	7,8	5,3	7,5	74,6	2,73	1,34
	30-40	1,18	5,1	7,1	2,3	7,8	76,2	2,71	1,28
	75-85	0,13	3,8	10,2	3,3	4,2	79,0	2,74	1,24
	110-120	1,28	3,7	9,2	5,3	5,2	75,2	2,76	1,27
	142-152	1,34	6,8	8,1	2,7	5,6	75,3	2,78	1,26

Porosité %		% de l'Eau			
Totale	Pour l'Air	Capacité au Champ	Point Flétris- sement	Réserve	Utile
50,0	6,01	35,2	26,2	43,9	8,9
50,9	5,0	34,3	26,2	45,9	10,0
52,7	6,9	35,8	27,6	45,8	10,4
54,7	12,6	34,0	27,0	42,1	8,6
53,9	12,0	33,0	26,9	41,9	7,8
54,7	14,2	32,1	27,7	40,5	5,6

Tableau 32: Analyse granulométrique et propriétés hydrodynamiques des sols ferrallitiques typiques compacts.

Ce sont des sols argileux. On observe une légère augmentation de cette fraction dans les horizons intermédiaires, mais elle est trop faible pour être considérée comme traduisant un phénomène de lessivage.

La fraction sableuse est toujours supérieure à 10 %.

La densité réelle et la densité apparente sont élevées.

La porosité pour l'air est faible, surtout dans les premiers horizons.

En ce qui concerne les propriétés hydrodynamiques, on observe un comportement très semblable à celui trouvé par Camacho (1980), pour les mêmes sols de la péninsule Sud de la Havane.

Profil	Prof cm	% de fractions en mm					% argile	Coef. de Dispersion
		2,0-0,2	0,2-0,02	0,02-0,01	0,01-0,002	<0,002		
TED-4	0-10	3,42	35,41	8,59	18,79	40,79	73,9	55,19
	10-20	9,35	22,02	4,0	21,69	42,54	74,6	57,56
	30-40	14,33	24,39	1,11	14,71	44,66	76,2	58,60
	75-85	13,15	27,65	9,6	17,09	32,51	79,0	41,15
	100-120	10,43	25,18	5,19	10,47	47,73	75,2	63,7
	140-150	10,90	24,19	10,23	10,79	43,89	75,3	58,28

Tableau 33 : Microstructure d'un sol ferrallitique typique compact (traitement à l'eau sans dispersant)

Les valeurs du coefficient de dispersion sont assez variables dans les différents horizons.

Il existe une tendance à la formation de pseudosables

CARACTERISTIQUES CHIMIQUES.

Les caractéristiques chimiques de ces sols dans la zone étudiée sont semblables à celles trouvées par Camacho (1980), dans le Sud de La Havane pour des sols similaires.

Profil	Prof cm	M.O. %	N %	C %	C/N	p H		ΔpH
						H ₂ O	ClK	
TED-4	0-10	3,34	0,136	1,94	14,3	6,2	5,3	-0,9
	10-20	3,19	0,134	1,85	13,8	5,9	5,1	-0,8
	30-40	2,45	0,133	1,42	10,7	6,0	5,2	-0,8
	75-85	0,43	0,021	0,25	11,9	6,2	5,3	-0,9
	110-120	0,31	-	0,18	-	6,2	5,4	-0,8
	142-152	-	-	-	-	6,6	5,8	-0,8
	230-240	-	-	-	-	6,4	5,7	-0,7

Complexe absorbante me /100g						v %	% de Fe ₂ O ₃ dans le sol		
Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	Na ⁺	S	T		Libre	Total	T
8,37	1,32	0,48	0,12	10,29	13,4	76,8	12,4	13,1	94,6
6,25	1,40	0,51	0,16	9,32	12,3	75,8	11,9	12,8	93
7,50	1,51	0,23	0,13	9,37	12,12	77,3	12,0	12,85	93
4,34	1,72	0,07	0,18	6,31	9,37	67,3	12,5	13,2	95
5,40	1,11	0,09	0,17	6,77	9,50	71,3	12,7	13,5	94
3,75	1,25	0,07	0,12	5,19	8,37	62,0	12,5	13,0	96
5,00	0,21	0,08	0,09	5,38	8,0	67,3	-	-	-

Tableau 34 : Analyses chimiques d'un sol ferrallitique typique compact.

La matière organique varie peu d'un profil à l'autre avec une diminution en profondeur, cette diminution devient brusque autour de 50 cm de profondeur.

Le rapport carbone / azote est semblable dans les différents profils, il descend en profondeur fortement.

Le pH est légèrement acide.

La somme des bases échangeables est toujours dominée par le calcium, on observe que les valeurs obtenues dans les sols plus éloignés des calcaires, sont plus faibles que celles trouvées par Camacho (1980), dans la péninsule au Sud de la Havane. La capacité d'échange cationique, varie de la même façon que la somme des bases échangeables.

CONSTITUANTS MINÉRAUX

Les teneurs en fer libre et fer total varient très peu dans le profil. Le fer libre représente plus de 93 % de fer total du sol (Tableau 34).

Profil	Prof cm	P.F. %	% des oxydes									
			CaO	MgO	K ₂ O	P ₂ O ₅	TiO ₂	Na ₂ O	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	
TED- 4	0-10											
	40-60											
	75-85	15,49	0,64	2,54	0,17	0,47	0,65	0,19	35,64	31,17	13,05	
	230-240											

$\frac{\text{SiO}_2}{\text{Al}_2\text{O}_3}$	$\frac{\text{SiO}_2}{\text{Fe}_2\text{O}_3}$	$\frac{\text{SiO}_2}{\text{R}_2\text{O}_3}$	Minéraux argileux				
			FL-M	Gi	He	Go	Boe
			+++	+	+	tr	
			+++	++	+	tr	
1,94	7,28	1,54	+++	tr	+	+	
			+++	+	++	+	++

Tableau 35 : Analyses chimiques totales et rayons X de l'argile d'un sol ferrallitique typique compact.

FC-M : Fire-Clay - Métahalloysite ; Gi : Gibbsite ;
 He : Hématite ; Go : Goethite ; Boe : Boehmite ;
 +++ très importante ; ++ : importante ; + : peu
 tr : Traces.

L'analyse chimique et la diffraction de rayons X sur la fraction argile, montrent que ces sols sont formés par des minéraux argileux du type 1/1, ou le Fire-Clay est le plus abondant accompagné par la métahalloysite, la gibbsite, l'hématite et la goethite sont présents dans tous les horizons.

Profil	Prof cm	autres oxydes en ppm			
		Cr ₂ O ₃	NiO	CaO	MnO
TED-4	75-85	490	560	180	430

Tableau 36 : autres oxydes

Les teneurs oxydes de chrome, nickel et cobalt, sont plus élevées que dans les sols ferrallitiques modaux, mais plus faibles que dans les sols ferrallitiques ferritiques.

Dans l'analyse de la fraction sable, on observe les minéraux suivants :

Profil	Prof cm	Fraction légère	Minéraux lourds transparents							% Pondéral
			Hor	And	Dis	St	G	Z	T	
TED-4	0-10	Quartz		22	17	18		13	30	0,45
	75-85						++	tr	1,07	
	230-240		tr	tr	tr	+	tr		+	2,70

Tableau 37 : Constituants minéraux de la fraction sable d'un sol ferrallitique typique compact.

Hor : Hornblende ; And : Andalousite ; Dis : Disthène ; St : Staurotide ; G : Grenat ; Z : Zircon ; T : Tourmaline.

La fraction légère est constituée uniquement par le quartz.

Dans les minéraux lourds transparents, on observe essentiellement l'andalousite et la staurotide.

4.4.3. SOLS FERRALLITIQUES FAIBLEMENT DESATURES EN (B), TYPIQUES HYDROMORPHES.

Ces sols ont été décrits par Bennett et Allison (1928), comme série Trufin, série Hatuey, entre autres ; l'Institut des sols de l'Académie des Sciences de Cuba (1973), les ont appelés "*Latosolicos hidratados*" et plus tard comme *Ferralíticos hidratados* 1975 et 1979 ; Bosch (1978) comme Ferrallitiques hydromorphes.

Ce sous-groupe de sols occupe une surface assez importante dans la plaine.

Ils sont situés en position topographique plane, mais plus basse que celle des sols ferrallitiques modaux. Parfois, ils sont situés près de dépressions. Le drainage, surtout interne, est ralenti.

Le profil est profond, avec une couleur rouge (2,5 YR), qui varie en profondeur vers le rouge jaunâtre.

Ils présentent toujours des taches, qui peuvent commencer à apparaître à partir de 30 - 40 cm de profondeur. Elles ont une couleur différente de celle de l'horizon dans lequel on l'observe. Le contenu de ces taches est inférieur à 5,0 %.

Ces sols sont formés à partir de matériaux transportés des environs et des résidus non carbonatés des calcaires.

DESCRIPTION DU PROFIL D-8 - AGUACATE

- Topographie : plane
- Végétation : Culture de canne à sucre
- Drainage : Superficiel moyen, interne bon
- Roche-mère : Matériaux transportés et calcaire miocène.
- Coordonnées : sur la carte 1/50.000
 Lat N : 22° 58' 43"
 Long W : 81° 55' 30"

0 - 18 cm Horizon travaillé, rouge (2,5 YR 3/6 H) ; argileux ; structure grenue ; friable ; poreux ; racines abondantes ; peu de concrétions ; transition progressive.

18 - 33 cm Rouge (2,5 YR 4/6 H) ; argileux ; structure polyédrique fine ; friable ; poreux ; contenu moyen en racines ; peu de concrétions ; transition progressive.

- 33 - 90 cm Rouge (10 R 4/8 H) ; argileux ; structure polyédrique de 5 à 6 cm ; contenu moyen en racines ; concrétions petites ; à la base on observe des taches noires, tendres qui passent à des concrétions tendres, parfois les agrégats sont recouverts d'une pellicule mince et noire ; transition progressive.
- 90 - 140 cm Rouge (10 R 4/8 H) ; argileux ; structure polyédrique moyenne ; friable ; poreux ; peu de racines ; taches jaunâtres ; concrétions plus abondantes que dans l'horizon précédent ; une mince pellicule recouvre les agrégats qui ressemblent à des concrétions ; la distribution de ces taches est verticale ; il y a des canalicules laissées par les racines ; transition progressive.
- 140 - 210 cm Horizon argileux, avec des taches jaunes rougeâtres (7,5 YR 6/8 H) et rouge (10 R 4/8 H) ; structure fragmentaire à tendance polyédrique grossière ; friable ; peu de concrétions, les taches jaunes sont réparties verticalement.
- 210 - 250 cm Horizon tacheté ; compact ; avec des concrétions noires dans tout l'horizon, de plusieurs dimensions ; il y a des graviers abondants, dont la dimension varie entre 1 et 5 cm, polis, mais pas arrondis ; horizon à pseudo-gley.

CARACTERISTIQUES PHYSIQUES

Dans les tableaux, on peut observer les différentes caractéristiques physiques suivantes :

Profil	Prof cm	% des fractions				
		S.G.	S.F.	L.G.	L.F.	A
D-8	0-10	20,4	0,6	1,9	5,9	71,2
	20-30	17,4	0,9	4,9	6,8	70,0
	60-70	16,5	0	0,7	6,4	77,2
	110-120	26,3	0,6	2,7	3,8	66,6
	180-190	30,7	4,3	2,8	2,8	59,4
	240-250	11,7	8,9	2,9	2,1	74,4

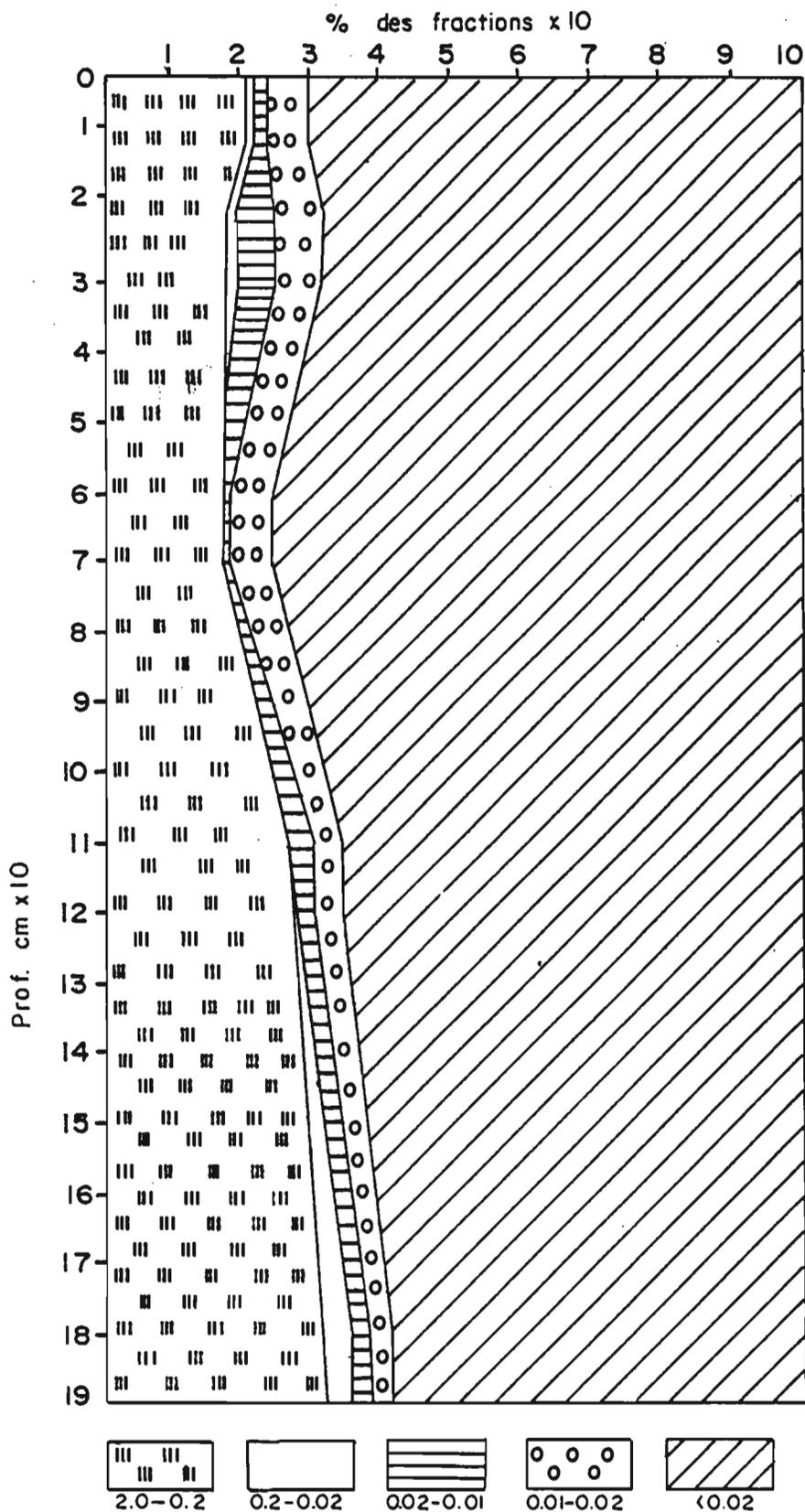
Tableau 38 : Analyse granulométrique d'un sol ferrallitique typique hydromorphe.

Il y a une prédominance de l'argile dans le profil. On observe une légère tendance à l'augmentation de cette fraction dans les horizons intermédiaires (Fig. 11) mais il n'existe pas de ventre caractéristique, ni de revêtements argileux sur les agrégats attribuables au lessivage.

Figure 11

PROFIL D-8

ANALYSE MECANIQUE



La fraction sableuse est importante, et surtout les sables grossiers.

Profil	Prof cm	D.R g/cm ³	D.A. g/cm ³	% Porosité	
				Totale	Pour l'Air
TED-8	0-10	2,77	1,10	49,46	11,6
	20-30	2,90	1,19	58,97	15,2
	60-70	2,89	1,28	55,71	10,3
	110-120	2,92	1,25	57,19	9,2
	180-190		1,37		
	240-250	2,88			

Cap. au Champ	% d' Eau			Stabilité Structurale %	
	Point de Flétrissement	Réserve	Utile	T.S.	T.H.
34,5	25,1	37,9	10,34	94,6	70,
36,7	25,7	43,7	13,09	95,0	75,0
35,5	24,6	45,4	13,95	95,5	74,2
36,6	25,2	45,7	14,25	93,9	58,0
				95,3	70,0

Tableau 39 : Propriétés hydrodynamiques et état poral d'un sol ferrallitique typique hydromorphe.

La densité réelle est élevée, elle n'est pas très différente de celle des sols ferrallitiques typiques modaux. La porosité totale est aussi élevée, avec une tendance à diminuer en profondeur.

La stabilité des agrégats supérieurs à 0,25 mm est supérieure à 90 % au tamis sec, mais diminue au tamis humide.

Les pourcentages d'eau au point de flétrissement et à la capacité au champ varient peu dans le profil, ils sont très semblables à ceux des sols ferrallitiques typiques modaux. La réserve d'eau et l'eau utile dans ces sols sont plus élevées que dans les sols ferrallitiques modaux.

CARACTERISTIQUES CHIMIQUES

Dans le tableau on peut observer les caractéristiques suivants :

Profil	Prof cm	M.O. %	N %	C %	C/N	pH	
						H ₂ O	ClK
D-8	0-10	4,53	0,195	2,63	13,4	4,9	4,1
	20-30	2,40	0,118	1,39	11,8	5,2	4,6
	60-70	0,88	0,061	0,51	8,4	5,7	5,5
	110-120	0,17		0,10		5,5	5,3
	180-190	0,12		0,07		4,5	3,7
	240-250	0,07		0,04		4,4	3,6

Complexe absorbant me / 100g						V %
Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	Na ⁺	S	T	
4,01	2,24	0,25	0,08	6,58	16,14	41
4,21	1,66	0,04	0,09	6,0	7,80	77
4,72	1,15	0,03	0,08	5,98	7,41	81
4,97	1,43	0,03	0,16	6,59	7,15	92
1,40	1,41	0,01	0,05	4,87	7,41	64
1,15	3,44	0,01	0,06	4,66	9,10	51

Tableau 40 : Caractéristiques chimiques d'un sol ferrallitique typiques hydromorphes.

La matière organique a une distribution régulièrement décroissante.

Le pH est légèrement acide à acide, dans le profil D-8 il devient nettement acide.

La somme de bases échangeables est toujours dominée par les cations bivalents, où le calcium est le plus important.

La capacité d'échange cationique est plus élevée en surface du fait de l'influence de la matière organique.

Les sols de ce sous-groupe sont plus désaturés que les sols ferrallitiques typiques modaux.

LES CONSTITUANTS MINÉRAUX

Profil	Prof cm	P.F. %	% des oxydes			$\frac{\text{SiO}_2}{\text{Al}_2\text{O}_3}$	$\frac{\text{SiO}_2}{\text{Fe}_2\text{O}_3}$	$\frac{\text{SiO}_2}{\text{R}_2\text{O}_3}$
			SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3			
D-8	0-10	15,5	32,84	32,17	16,08	1,74	5,44	1,32
	20-30	15,2	34,41	35,02	12,44	1,67	7,38	1,36
	60-70	13,6	36,57	34,36	12,43	1,81	7,88	1,47
	110-120	14,5	37,15	33,51	12,67	1,66	7,82	1,52
	180-190	13,5	36,58	32,63	11,47	1,91	5,51	1,56
	240-250	13,1	38,13	32,28	9,36	2,0	10,8	1,69

Minéraux argileux			
M-FC	Gi	He	Go
+++	+	++	++
+++	++	++	++
+++	++	+++	++
+++	++	+++	++

Tableau 41 : Analyses chimiques totales et rayons X de l'argile d'un sol ferrallitique typique hydromorphe.

M-FC : Métahalloysite - Fire-Clay ; Gi : Gibbsite ;
 He : Hématite ; Go : Goethite ;
 +++ : très importante ; ++ : importante ; + : peu.

La silice augmente en profondeur, tandis que l'aluminium et le fer varient peu dans le profil.

La rapport silice / alumine est inférieur à 2,0. Ceci est en accord avec les résultats obtenus par diffraction de rayons X, qui mettent en évidence la présence de minéraux argileux de type 1/1, où dominant la métahalloysite et le fire-clay, (Fig 12). Des oxydes et des hydroxydes de fer sont abondants, tandis que l'hydroxyde d'alumine est présent dans tous les horizons.

En ce qui concerne le fer dans le sol total, on peut observer dans le tableau que :

Profil	Prof cm	% de Fe ₂ O ₃		$\frac{\text{Fe}_2\text{O}_3^{\text{L}}}{\text{Fe}_2\text{O}_3^{\text{T}}}$
		Libre	Total	
D-8	0-10	12,8	15,2	84
	20-30	12,6	15,4	82
	60-70	12,2	14,6	83
	110-120	10,3	14,2	72

Tableau 42 : Contenu en oxydes de fer dans le sol - D-8

Les teneurs en fer libre et fer total varient peu dans le sol. Ces valeurs sont très semblables à celles des sols ferrallitiques typiques modaux, mais par contre, le rapport fer libre / fer total, est plus bas.

L'analyse des sables montre la présence des minéraux suivants :

Profil	Prof cm	Fraction légère	Minéraux lourds transparents							% Pondéral	
			Hor	And	Dis	St	Ep	Z	T		
D-8	0-10	Quartz	tr	tr					+		1,24
	60-70				16	28	14	28	14		1,15
	180-190			+		++	tr			tr	6,55
	240-250	Quartz, un peu de Feldspaths	tr	+	++	++					1,38

Tableau 43 : Constituants des minéraux des sables d'un sol ferrallitique typique hydromorphe.

Hor : Hornblende ; And : Andaloussite ; Dis : Disthène
 St : Staurotide ; Ep : Epidote ; Z : Zircon ;
 T : Tourmaline
 ++ : importante ; + : peu ; tr : Traces.

La fraction légère est formée par le quartz, avec un peu de feldspaths en profondeur.

Le minéral lourd qui prédomine est la staurotide, suivi par le zircon.

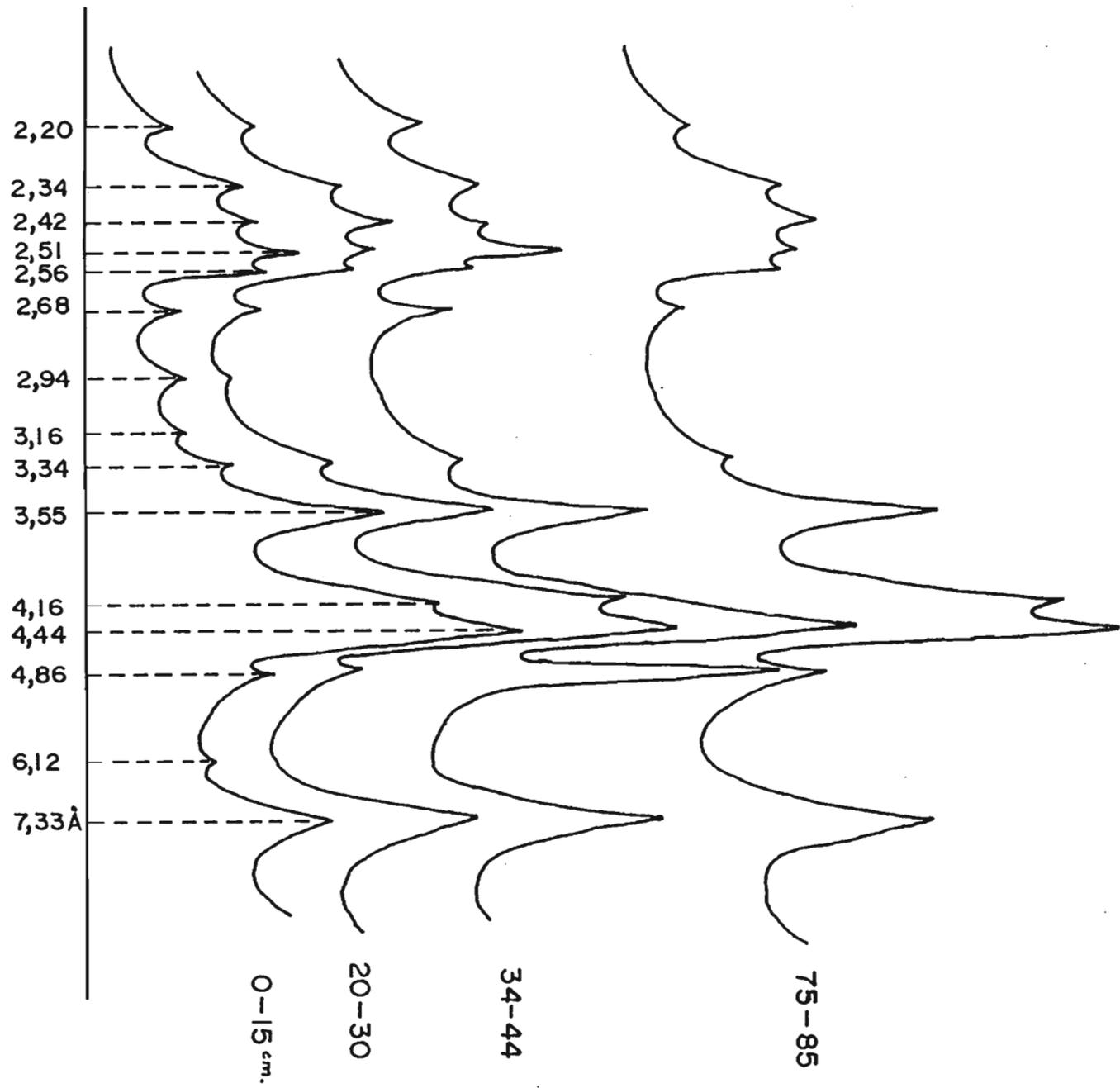


Figure 12

4.4.4. LES SOLS FERRALLITIQUES FAIBLEMENT DESATURES EN (B) FERRITIQUES MODAUX.

Ces sols ont été décrits par Bennett et Allison (1928), sous les noms de Série Nipe et Série Holguin. Dans la première classification des sols, l'Institut des Sols de l'Académie des Sciences de Cuba (1973), on les a appelés *Latosol*, plus tard (1975-1979) sols ferritiques, pour définir des sols qui contiennent plus de 50,0 % de sesquioxides de fer.

Ce sous-groupe de sol n'est pas très étendu dans la zone étudiée, on le trouve seulement sur le massif péridotitique. Il est situé sur une topographie ondulée. Le drainage est toujours bon.

Le profil est moyennement profond, (autour d'un mètre), avec une couleur rouge (10 R), plus foncée que celle des sols ferrallitiques typiques modaux. On observe des graviers de quartz de tailles diverses en surface et en profondeur. La roche-mère est une péridotite serpentinisée.

DESCRIPTION DU PROFIL TED-8

- Topographie : ondulée
- Drainage : Externe bon, Interne bon
- Végétation : *Tabebuia lepidophylla* ; *Trachypogon filifolius* ; *Comoclodia dentata*.
- Roche-mère : Péridotite serpentinisée
- Coordonnées : sur la carte 1/50.000
Lat N : 22° 55' 5"
Long W : 81° 51' 53"

Pris à 2 kms de MADRUGA

- 0 - 7 cm Rouge brúnatre (10 R 3/4 H) ; argilo-sableux ; structure grenue ; friable ; poreux ; racines abondantes ; concrétions petites ; graviers de quartz de tailles diverses ; humide.
- 7 - 24 cm Rouge foncé (10 R 3/6 H) ; argilo-sableux ; structure polyédrique fine ; friable ; poreux ; quelques racines ; concrétions petites ; abondants graviers de quartz de tailles diverses ; humide.
- 24 - 66 cm Rouge (10 R 4/6 H) ; argilo-sableux ; structure à tendance polyédrique fine ; abondantes concrétions et fragments de roches de plusieurs dimensions, humide.
- 66 cm Péridotite serpentinisée.

Profil	Prof cm	Perte au Hcl %	D.R. 9/cm'	% de fractions				
				S.G.	S.F.	L.G.	L.F.	A
TED-8	0-7	0,2	2,86	14,1	11,7	6,7	21,2	46,6
	10-20	0,2	2,91	12,3	13,8	6,1	18,6	48,5
	50-60	0,2	2,89	10,4	10,4	4,2	25,7	50,0

Tableau 44 : Analyse granulométrique d'un sol ferrallitique ferritique.

La fraction qui prédomine est l'argile, avec une légère augmentation en profondeur.

Le contenu en sable dépasse 20,0 %.

Il faut souligner que les sols de ce groupe sont beaucoup moins argileux et plus sableux que les sols ferrallitiques typiques modaux.

La densité réelle est élevée.

CARACTERISTIQUES CHIMIQUES

Profil	Prof cm	M.O. %	N %	C %	C/N	pH		Δ pH
						H ₂ O	KCl	
TED-8	0-7	5,5	0,193	3,17	16	5,7	5,4	-0,3
	10-20	1,02	0,04	0,59	14,7	5,8	5,5	-0,3
	50-60	0,40	0,018	0,23	12,8	6,1	5,6	-0,5

Complexe absorbant mé / 100g						V %
Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	Na ⁺	S	T	
3,86	3,69	0,05	0,20	6,80	9,62	70,0
3,08	2,68	0,14	0,14	6,04	8,87	68,0
5,02	2,05	0,07	0,12	7,26	11,62	62,0

Tableau 45 : Analyses chimiques d'un sol ferrallitique ferritique modal.

La matière organique a une distribution régulièrement décroissante avec la profondeur. Le pH est acide, avec un Δ pH qui augmente en profondeur.

La somme des bases échangeables est dominée par les cations calcium et magnésium. Le degré de saturation est un peu plus bas que celui de sols ferrallitiques typiques modaux.

CONSTITUANTS MINÉRAUX

L'analyse centésimale de la fraction argile pour ce groupe de sols montre que :

Profil	Prof cm	P.F. %	% des oxydes						
			CaO	MgO	P ₂ O ₅	TiO ₂	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃
TED-8	0-7								
	10-20								
	50-60	11,17	0,92	3,13	0,114	0,27	21,92	19,89	42,83

$\frac{SiO_2}{Al_2O_3}$	$\frac{SiO_2}{Fe_2O_3}$	$\frac{SiO_2}{R_2O_3}$	Minéraux argileux < 24						
			M	He	Gi	Go	V-C	Ta	Q
			+	++	+	+	tr	+	+
			+	+++	+	+++	tr	+	+
1,87	1,36	0,79	++	+++	tr	++	+	++	

Tableau 46 : Analyses chimiques et rayons X de l'argile d'un sol ferrallitique ferritique modal.

M : Métahalloysite ; He : Hematite ; Gi : Gibbsite
 Go : Goethite ; V-C : Vermiculite-Chlorite ;
 Ta : Talc ; Q : Quartz.
 +++ : très important ; ++ important ; + peu ;
 tr : Traces.

Le contenu en silice et alumine est beaucoup moins important que dans les autres sols de la même sous-classe. Le contenu en fer, au contraire est plus élevé.

Le rapport silice / alumine, est inférieur à 2,0. Ceci met en évidence la présence dans les sols de minéraux argileux de type 1/1, associés à de petites quantités d'hydroxydes d'aluminium. Le rapport silice / fer et silice / sesquioxydes sont faibles, si on les compare avec ceux des autres sols de la même sous-classe. Ceci indique une accumulation de sesquioxydes dans le profil, et surtout de fer.

Les résultats de l'analyse de rayons X sur la fraction argile sont très semblables à ceux obtenus par Gonzalez J et al (1980) dans des sols ferritiques sur peridotites de la partie Est de l'Ile et par

Baisre J, Bosch D et al (1978), dans des sols ferrallitiques typiques modaux sur péridotites.

En général, on constate que dans le profil, les oxydes et hydroxydes de fer sont les plus abondantes, accompagnées par la métahalloysite, la gibbsite, et des traces d'interstratifiés vermiculite-chlorite. Il faut tenir compte de la présence d'un peu de talc et de quartz très fin dans le profil, (Fig. 13).

En ce qui concerne les autres oxydes dans l'argile et le fer dans la masse du sol, on observe :

Profil	Prof cm	% de Fe_2O_3 dans le sol			ppm des oxydes dans l'argile		
		Libre	Total	$\frac{L}{T}$	Cr_2O_3	NiO	CoO
TED-8	0-7	22,3	22,8	97,8	-	-	-
	10-20	26,0	26,6	97,7	7000	4940	360
	50-60	25,1	25,6	98,0	-	-	-

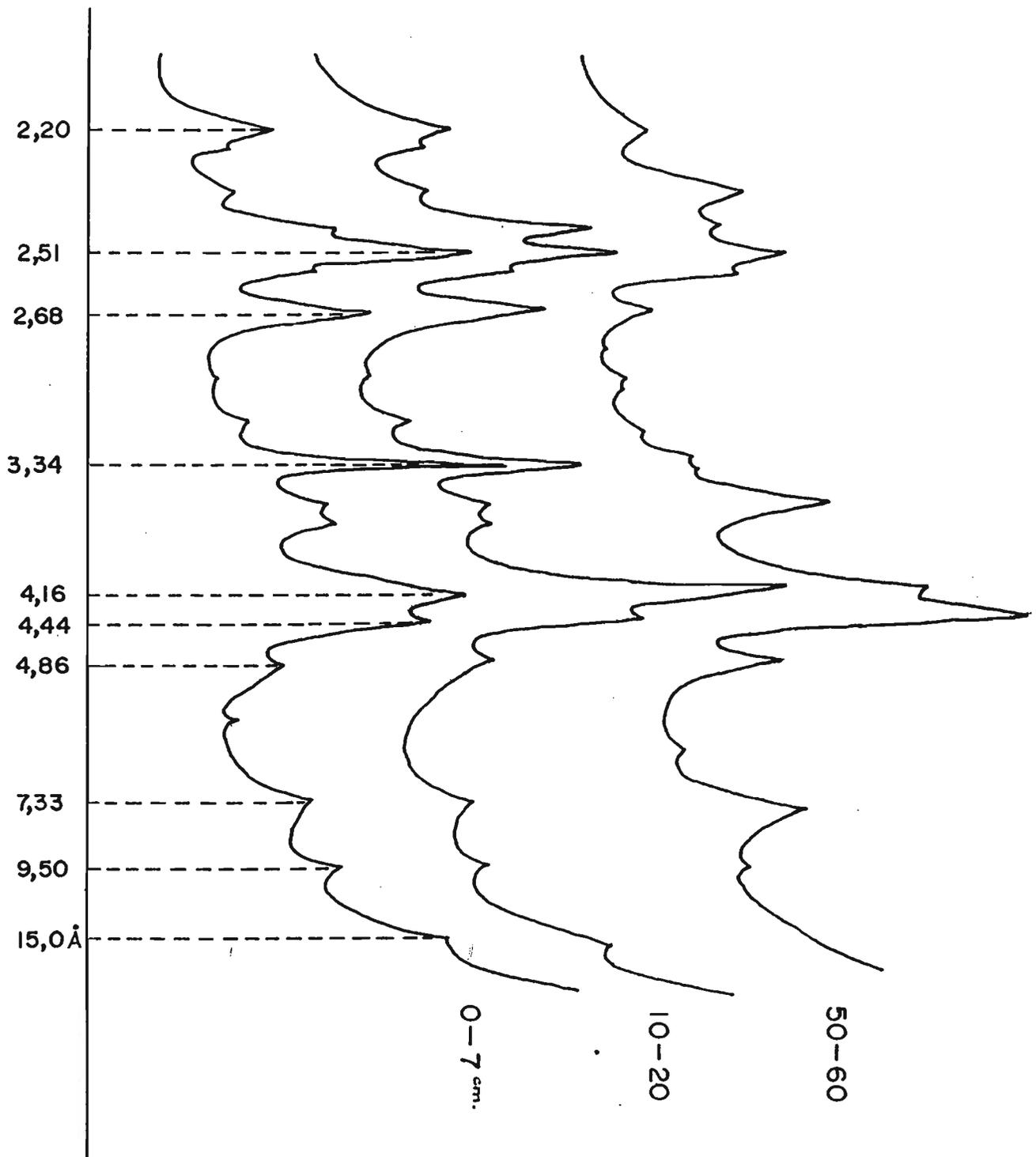
Tableau 47 : Contenu en oxydes des sols ferrallitiques ferritiques modaux.

Le contenu en oxydes de fer est plus élevé que dans les sols ferrallitiques typiques modaux.

Le rapport fer libre / fer total est supérieur à 97 %.

Le constituant ferrigineux dominant est l'hématite, associée à la goethite.

Les teneurs en chrome, nickel et cobalt, sont assez élevées.



TED-8

Figure 13

Analyses des minéraux des sables :

Profil	Prof cm	Fraction légère	Minéraux lourds opaques			Minéraux lourds transp.	% Pondéral
			Spi	He	Go	Hor	
TED-8	0-7	QUARTZ	+++	+++	+	100	3,15
	10-20		+++	+++	++	-	
	50-60		+++	+++	++	100	2,50

Tableau 48 : Constituants minéraux d'un sol ferrallitique ferritique modal

Spi : Spinelle ; He : Hématite ; Go : Gpéthite ;
Hor : Hornblende.

La fraction légère est constituée uniquement par du quartz.

Dans les minéraux lourds opaques, on trouve des oxydes et hydroxydes de fer, accompagnés par la spinelle et des traces d'amphiboles. Dans les minéraux lourds transparents, on observe que de l'hornblende.

En ce qui concerne le contenu en sesquioxydes de fer, (plus de 20,0 % et moins de 50,0 %), ces sols sont intermédiaires entre les sols ferritiques, (plus de 50,0 % de sesquioxydes de fer), et les sols ferrallitiques typiques (moins de 20,0 % de sesquioxydes de fer), décrits par l'Institut des Sols de l'Académie des Sciences de Cuba (1979).

4.4.5. SOLS FERRALLITIQUES MOYENNEMENT DESATURÉS EN (B) LESSIVÉS JAUNES

Les sols ferrallitiques moyennement désaturés en (B), lessivés, jaunes, occupent des surfaces assez importantes dans les provinces de la Havane, Matanzas et Ciego de Avilao. Ils occupent une topographie basse, entre 20,0 et 30,0 mètres d'altitude, à côté des sols hydromorphes proches des zones côtières, ou plus élevées entre 70,0 et 120,0 mètres sur des zones planes entourées par des hauteurs où le drainage est toujours ralenti.

A Cuba, ces sols ont été décrits par Bennett et Allison (1928) sous le nom de série Truffin, série Hatuey, série Bernal ect...

L'Institut des Sols de l'Académie des Sciences de Cuba, dans la première classification des sols (1973) les ont appelés *Latosolicos hidratados*, plus tard (1975), *Ferralíticos hidratados*; Bosch (1978) les a classés en, *Ferrallitiques jaunâtres lessivés*; dernièrement l'Institut des Sols (1979), les a appelés, *Ferralíticos amarillentos lixiviados*.

Dans la zone étudiée, ce sont les sols les plus répandus. Ils sont toujours situés sur la partie la plus basse de la topographie.

Il faut remarquer qu'ils sont très différents des autres sols ferrallitiques formés sur roches calcaires. Tout d'abord il faut tenir compte de la présence d'un horizon d'accumulation d'argile (Bt), dont les agrégats présentent des revêtements argileux visibles à l'oeil.

On peut remarquer toujours une influence de l'hydromorphie, dont l'intensité est assez variable. Parfois elle peut arriver jusqu'à 20 cm de la surface et se caractérise alors par l'apparition d'une couleur jaune rougeâtre à la partie supérieure de l'horizon Bt, ainsi que par des concrétions ferrugineuses variant de 5 à 50 %.

A la base du profil on trouve toujours un horizon tacheté, avec des taches grises, rouges, noires ect...

Plus en profondeur, cet horizon devient un véritable pseudo-gley

Pour bien caractériser ces sols, six profils ont été pris dans différentes zones de la plaine, mais on n'en décrira que deux.

DESCRIPTION DE PROFILS

DESCRIPTION DU PROFIL D-5 - AGUACATE

- Topographie : plane
- Drainage : superficiel bon, interne réduit
- Végétation : culture de canne à sucre
- Roche-mère : matériaux transportés et calcaire dur
- Coordonnées : sur la carte 1/50.000
 - Lat N : 22° 58' 45"
 - Long W : 81° 52' 15"

- 0 - 30 cm Brun jaunâtre (10 YR 4/4), argilo-sableux ; structure grenue ; friable ; poreux ; abondantes racines fines ; plus de 10 % de concrétions, limite nette.
- 30 - 45 cm Jaune rougeâtre (7,5 YR 6/8 H) ; argilo-sableux ; structure polyédrique moyenne ; poreux ; peu de racines ; concrétions abondantes et d'une taille plus grande que celles de l'horizon précédent ; on observe des revêtements argileux autour des agrégats.
- 45 - 75 cm Jaune rougeâtre (7,5 YR 6/8 H) ; argilo-sableux ; structure polyédrique grande, avec de petites taches (2,5 YR 4/6) ; poreux ; très peu de racines ; nombreuses concrétions et des revêtements argileux autour des agrégats.
- 125 - 190 - 290 cm Horizon à pseudo-gley rouge (10 R 4/8 H), gris (10 YR 6/1) ; structure fragmentaire ; friable ; faible contenu en petites concrétions ; les zones rouges sont plus compactes que les grises ; dans les zones rouges, les faces des agrégats sont brillantes ; dans les zones grises on observe du sable très fin tout le long des canalicules.

DESCRIPTION DU PROFIL TED-18 - JARUCO

- Topographie : plane
- Drainage : externe bon, interne réduit
- Végétation : culture de canne à sucre
- Roche-mère : matériaux transportés et calcaire dur
- Coordonnées : sur la carte 1/50.000
 - Lat N : 22° 59' 40"
 - Long W : 81° 59' 20"

- 0 - 10 cm Horizon travaillé ; brun jaunâtre (10 YR 4/4 H) ; argilo-sableux ; structure polyédrique moyenne ; légèrement compacte ; concrétions petites et moyennes, dures légèrement humide.
- 10-29 cm Brun jaunâtre (10 YR 5/8 H) ; argilo-sableux ; structure polyédrique fine ; légèrement compacté ; moyennement poreux ; plus de 20 % de concrétions petites et moyennes ; taches noires, revêtements argileux autour des agrégats ; légèrement humide.

29 - 50 cm jaune rougeâtre (7,5 YR 7/8 H) ; argilo-sableux ; structure polyédrique fine ; légèrement friable ; plus de taches et moins de concrétions que dans l'horizon précédent ; revêtements argileux autour des agrégats ; légèrement humide.

50 - 110 cm Horizon tacheté ; taches rouges (10 R 4/8), jaune rougeâtre (7,5 YR 6/8), et gris clair (10 YR 7/1) ; ces dernières sont en forme de veines ; quelques taches noires et petites concrétions tendres ; argileux ; humide.

CARACTERISTIQUES PHYSIQUES

En ce qui concerne l'analyse granulométrique, on observe :

Profil	Prof cm	% des fractions				
		S.G.	S.F.	L.G.	L.F.	A
D-5	10-20	17,2	15,4	5,6	6,9	54,9
	32-42	5,9	13,2	1,1	7,1	72,7
	55-65	18,9	9,7	3,1	2,8	65,5
	90-100	13,7	12,9	3,9	3,9	65,6
	160-170	7,9	12,4	5,8	4,7	69,2
TED-18	0-10	12,2	22,3	7,9	6,0	50,0
	18-28	8,1	10,3	10,2	8,1	65,0
	35-45	5,7	13,8	11,1	12,9	55,5
	100-110	2,5	7,8	8,6	5,8	74,4

Tableau 49 : Analyses granulométriques des sols ferrallitiques moyennement désaturés en (B), lessivés, jaunes.

Ce sont des sols argileux, avec un horizon Bt d'accumulation d'argile, marqué par un ventre d'argile (Figure 14). L'indice de lessivage A/B est égal à 1/1,3.

La fraction sable est importante (plus de 18 %), sauf dans le dernier horizon du profil TED-18.

Profil	Prof cm	D.R. g/cm ³	D.A. g/cm ³	% porosité		% de l'Eau			
				Total	d'air	Cap.au Champ	Point de Flé- trisse- ment	Eau Utile	Réser- ve
D-5	10-20	2,78	1,22	56,35	22,14	28,04	22,29	7,0	34,2
	32-42	2,78	1,28	52,59	9,21	33,89	27,15	8,6	43,4
	55-65	2,83	1,50	47,00	1,50	30,60	25,68	7,4	45,9
	90-100	2,82	1,47	47,87	3,02	30,51	24,50	8,8	44,8
	160-170	2,84	1,49	47,54	2,41	30,29	24,60	8,5	45,1
TED-18	0-10	2,76	1,26	54,3	17,60	29,13	24,02	6,44	36,70
	12-28	2,83	1,38	51,24	5,90	32,86	27,82	6,95	45,34
	35-45	2,85	1,40	50,9	9,63	29,48	25,60	5,43	41,27
	100-110	2,80	1,35	51,8	12,9	28,82	24,75	5,49	38,90

Microagrégation % de fraction en mm					% de l'argile	Coef.de disper- sion	Stabilité Structurale	
2,0-0,2	0,2-0,02	0,02-0,01	0,01- 0,002	<0,002			T.S.	T.H.
20,7	19,2	21,7	13,7	24,7	54,9	45,0	91,3	65,3
14,6	20,0	25,5	3,9	35,9	72,7	49,3	86,8	45,8
17,8	23,9	24,9	2,9	30,5	65,5	46,5	91,6	52,5
-	-	-	-	-	65,6	-	90,9	44,2
-	-	-	-	-	69,2	-	91,8	54,5
17,6	24,4	12,0	24,3	21,6	50,0	43,2	90,7	63,4
12,6	22,4	10,3	18,3	36,4	65,0	56,0	88,1	48,5
7,0	32,6	10,1	14,9	35,5	55,5	63,9	92,1	52,0
					74,4			

Tableau 50 : caractéristiques physiques de sols ferrallitiques moyennement désaturés en (B), lessivés, jaunes.

La densité apparente et la densité réelle sont élevées. La porosité pour l'air est faible, elle diminue à partir du deuxième horizon.

L'eau utile est faible.

On observe la plus forte microagrégation dans les horizons de surface.

La stabilité des agrégats au tamis sec est supérieure à 86 %, au tamis humide, elle devient très variable. La vitesse d'infiltration peut atteindre 150 mm/heure lorsqu'elle se stabilise, (Fig. 15).

CARACTERISTIQUES CHIMIQUES

Ces sols ont des caractéristiques chimiques assez différentes de celles des sols ferrallitiques typiques. On peut observer dans le tableau :

Profil	Prof cm	M.O. %	N %	C %	C/N	pH		A pH
						H ₂ O	KCl	
D-5	10-20	4,44	0,228	2,57	11,2	4,80	4,10	-0,70
	32-42	2,24	0,125	1,30	10,4	5,00	4,10	-0,90
	55-65	0,60	0,032	0,34	10,6	4,80	3,80	-0,10
	90-100	0,43	0,026	0,25	9,6	4,50	3,60	-0,9
	160-170	-	-	-	-	4,40	3,60	-0,8
TED-18	0-10	3,62	0,174	2,10	12,0	5,2	4,3	
	18-28	1,37	0,096	0,80	8,3	5,1	4,4	
	35-45	0,86	0,054	0,54	10,-	5,2	4,3	
	100-110	-	-	-	-	4,8	3,9	

acidité d'échange			Complexe absorbant mé /100g					V %	
H ⁺	Al ⁺⁺⁺	Total	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	Na ⁺	S		T
0,05	1,53	1,58	3,28	2,03	tr	tr	5,31	13,28	40
0,10	2,20	2,30	2,02	2,78	0,06	0,06	4,92	10,37	47
0,07	5,41	5,41	0,88	2,66	tr	tr	3,54	8,34	42
0,10	9,36	9,36	1,75	1,84	0,02	0,02	3,63	9,55	38
0,08	12,19	12,19	1,75	1,96	0,01	0,02	3,74	10,38	36
			3,40	1,86	0,08	0,03	5,37	12,5	43
			2,91	1,44	0,09	0,01	4,45	10,62	42
			2,08	1,07	0,01	0,10	3,26	7,90	41
			1,63	1,82	0,07	0,05	3,57	9,12	39

Tableau 51 : Analyses chimiques de sols ferrallitiques moyennement désaturés en (B), lessivés, jaunes

PROFIL D-5
INFILTRATION mm/h

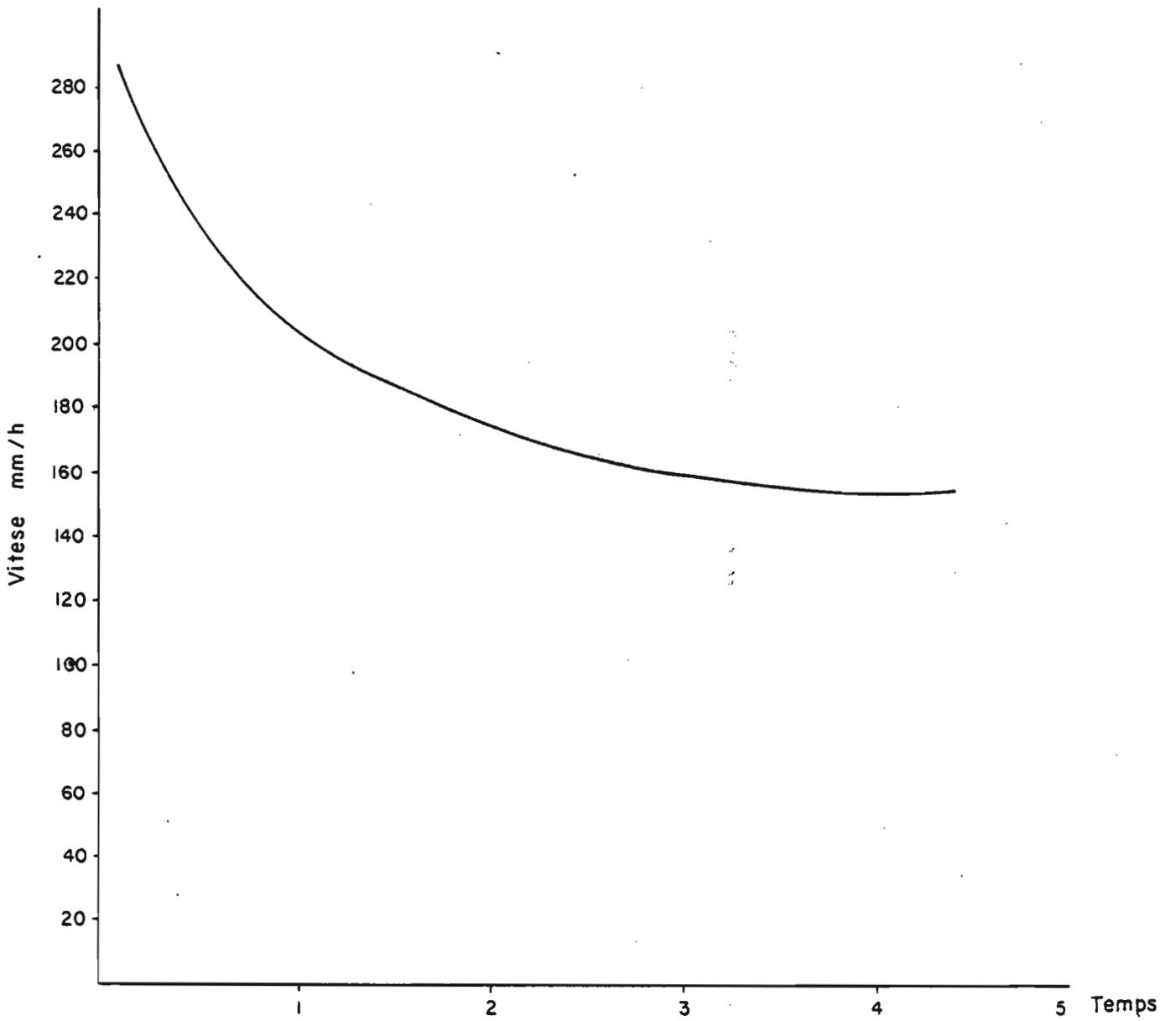
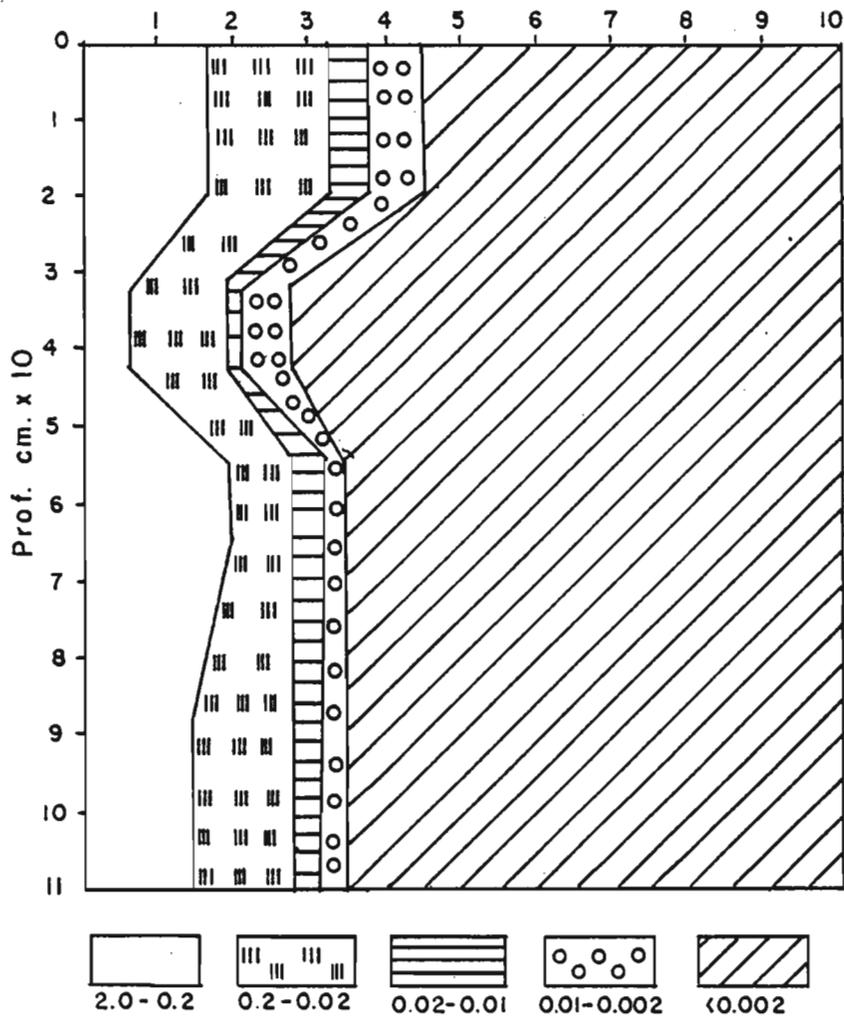


Figure 15

Figure 14

PROFIL D-5
ANALYSE MECANIQUE
% des fractions x 10



La matière organique descend brusquement à partir du troisième horizon.

Ce sont des sols acides, dû surtout aux ions Al^{+++} qui augmentent fortement en profondeur.

La somme de bases échangeables est faible, dominée par les cations calcium et magnésium, ce dernier devient le plus important en profondeur.

Le degré de saturation (V) ne dépasse pas 47 %, ces sols sont les plus désaturés de la plaine.

CARACTERISTIQUES MINERALOGIQUES

Profil	Prof cm	P.F. %	% des oxydes								
			CaO	MgO	K ₂ O	P ₂ O ₅	TiO ₂	Na ₂ O	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃
D-5	10-20	17,30	0,81	2,92	0,06	0,05	0,97	0,78	35,07	31,45	11,90
	30-45	15,25	0,72	2,60	0,06	0,06	1,16	0,64	37,39	31,85	11,40
	55-65	14,18	0,61	1,54	0,04	0,04	0,94	0,94	38,49	31,50	11,90
	90-100	13,67	0,62	2,68	0,04	0,04	1,12	0,85	40,49	31,27	10,80
	200-210										
	280-300										
TED-18	0-10										
	18-28										
	35-45	14,25	0,52	1,16		0,09	0,79		38,59	33,53	11,74
	100-110	12,18	0,38	1,13		0,07	0,50		42,57	33,14	10,32

$\frac{SiO_2}{Al_2O_3}$	$\frac{SiO_2}{R_2O_3}$	Minéraux argileux < 2 μ				
		M	M-FC	Gi	Go	He
1,90	1,53					
1,99	1,62	+++		+	++	
2,08	1,67					
2,08	1,88	+++		+	++	
		+++		tr	+	
		+++			tr	
			+++	+	++	+
			+++		++	+
1,96	1,60		+++	tr	+	
2,18	1,82		+++	tr	tr	tr

Tableau 52: Analyses centésimales et rayons X de l'argile de sols ferrallitiques moyennement désaturés en (B), lessivés.

M: Métahalloysite, FC: Fire-Clay, Gi: Gibbsite, Go: Goethite, He: Hematite.

Sur le tableau on observe une légère augmentation de la silice au fur et à mesure que l'on descend dans le profil.

L'alumine et le fer sont presque constants dans le profil. Les rapports silice / alumine varient autour de 2,0.

La diffraction de rayons X montre la présence de métahalloysite et de fire-clay. La goethite est présente dans tous les horizons, on observe également la gibbsite et l'hématite, (Fig. 16).

Le contenu en autres oxydes dans ces sols est le suivant :

Profil	Prof cm	% de Fe_2O_3 dans le sol			ppm des oxydes dans l'argile		
		Libre	Total	L/T	Cr_2O_3	NiO	CoO
D-5	30-45	11,0	13,0	84,6	1190	770	230
	90-100	15,0	16,0	93,7	-	-	-
	200-210	16,0	18,0	88,9	-	-	-
	280-300	11,0	12,0	91,7	-	-	-
TED-18	0-10	11,0	12,0	91,7	-	-	-
	18-28	10,5	10,5	100	810	520	670
	100-110	10,0	11,6	86,2	740	480	500

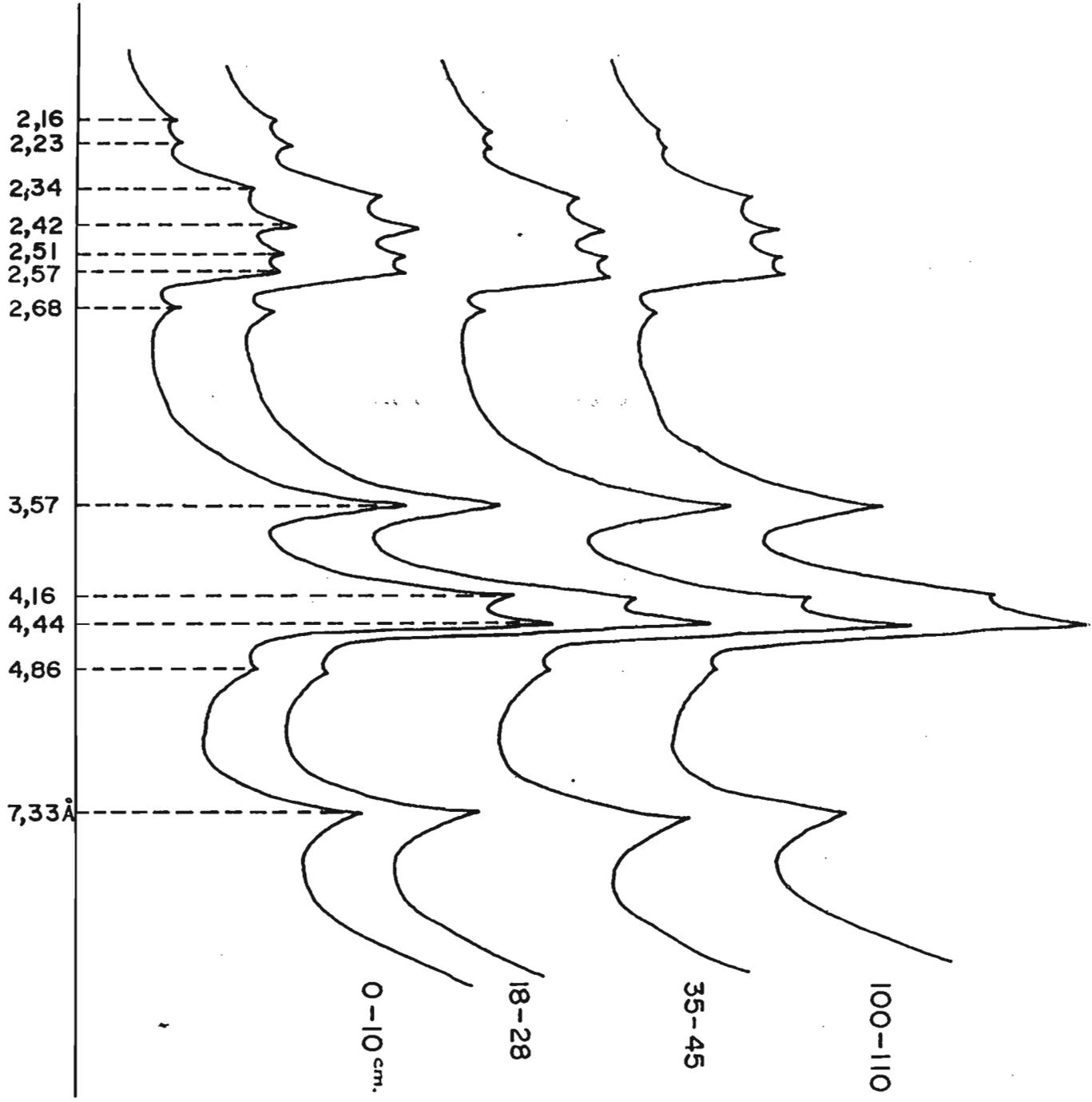
Tableau 53 : Teneurs en Fe_2O_3 (dans le sol) et autres oxydes (dans l'argile) des sols ferrallitiques moyennement désaturés en (B), lessivés, jaunes.

On observe une teneur plus élevée en fer libre et fer total, dans les horizons situés à un et deux mètres de profondeur du profil D-5 ; tandis que pour les autres horizons, les teneurs sont très semblables à celles qu'on trouve dans les sols ferrallitiques faiblement désaturés en (B), typiques.

Les rapports fer libre / fer total sont toujours supérieurs à 84 %.

Pour le contenu en chrome, nickel et cobalt, ces sols sont intermédiaires entre les sols ferrallitiques modaux et les sols ferrallitiques ferritiques modaux.

L'analyse des sables met en évidence les minéraux suivants :



TED-18

Figure 16

Profil	Prof cm	Fraction légère	Minéraux lourds opaques		
			Go	Il	Sp
D-5	30-45	Quartz	+++	++	++
	90-100		+++	++	++
	200-210		++	+++	++
	280-310			+	+
TED- 18	0-10	Quartz	++	++	++
	18-28				
	35-45	Quartz.- tr. feldspaths	++	++	++
	100-110	Quartz	++	++	++

Minéraux lourds transparents									% Pondéral
And	Dis	St	G	Ep	T	R	Pyr. Mono.	Z	
									2,87
									5,89
							++	++	4,46
++								++	8,60
20	32	22			26				1,32
28	25	44	3						1,13
19	13	37		5	21	5			1,30
36	23	25	3	3	10				0,81

Tableau 54 : Analyses des minéraux des sables de sols ferrallitiques moyennement désaturés en (B), lessivés, jaunes

La fraction légère est composée de quartz, des traces de feldspaths sont observées dans un horizon du profil TED-18.

Les minéraux lourds opaques sont importants, ils sont représentés par la goethite, l'ilmenite et la spinelle.

Les minéraux lourds transparents les plus importants sont l'andalousite, la staurotide, le zircon, l'épidote, le grenat et des pyroxènes monodiniques.

Le fort pourcentage pondéral est du à la présence d'oxydes de fer.

Ces sols présentent toujours une teneur assez variable en concrétions. Pour connaître la composition de ces concrétions, on a fait l'analyse chimique totale suivante :

Profil	Prof cm	Perte au feu %	Résidu Total %
D-5	30-45	12,7	7,40
	90-100	13,4	5,75
	200-210	1,1,5	4,50
	280-300	9,90	13,1

contenu en % de :									SiO ₂	SiO ₂
CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	TiO ₂	MnO ₂	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	R ₂ O ₃
0,30	0,14	0,01	0,16	1,04	1,26	16,4	17,5	42,5	1,59	0,62
0,24	0,14	0,01	0,14	1,28	2,22	17,0	20,5	39,5	1,40	0,63
0,34	0,14	0,01	0,22	0,74	0,04	13,8	14,3	53,5	1,64	0,48
0,24	0,14	0,01	0,22	0,68	0,04	13,1	12,5	50,0	1,78	0,50

Tableau 55 : Analyse chimique totale de concrétions d'un sol ferrallitique moyennement désaturé en (B), lessivé, jaune.

On peut observer que ces concrétions ont une composition complexe, dans laquelle le contenu en fer devient largement le plus important. Le contenu en silice est faible, d'où des rapports silice / alumine faibles, tandis que les rapports silice / sesquioxides ne dépassent pas 0,63.

4.4.6. QUELQUES CARACTERISTIQUES MICROMORPHOLOGIQUES DES SOLS FERRALLITIQUES

- Les sols rouges ferrallitiques modaux (Photos)

Une des premières caractéristiques de ces sols, est leur apparence opâque en lumière polarisée, tandis qu'en lumière naturelle, ils sont rouge à brun rouge foncé. Comme tous les sols formés sur roches carbonatées, ils sont très riches en plasma, ils ont un très grand développement poral. Les vides observés sur lames minces, sont très fins et très bien répartis sur l'ensemble de la lame, certains d'entre eux sont plus larges, isolant des unités structurales plus massives. Les micropeds sont nombreux, fins et arrondis, mais la tendance aux unités structurales plus massives croît avec la compacité des sols, ce que CAMACHO (1980) a parfaitement montré dans les sols ferrallitiques compacts.

La matière organique s'intègre très bien aux minéraux argileux dans les horizons supérieurs, tandis que le fer bien réparti dans la masse, commence à s'individualiser par point, formant parfois de petits nodules.

- Les sols ferrallitiques lessivés jaunes (Photos)

Toujours opâques en lumière polarisée, les lames des sols lessivés jaunes, sont brun-foncé en lumière naturelle, la matière organique paraissant intervenir surtout en surface. Des agrégats fins et arrondis sont bien développés en surface, mais en profondeur la structure est plus massive. Dominance de plasma, avec quelques grains de quartz, fortement altérés.

La porosité est nettement plus faible que dans les sols rouges modaux.

Bien que sur le terrain des "cutanes d'illuviations" aient été observés, nous n'observons aucune biréfringence en lame mince.

Une des caractéristiques micromorphologiques essentielles de ces sols jaunes est l'individualisation des sesquioxides de fer au sein même de la masse plasmique.

Les figures observées et photographiées, mettent en évidence des amas ferrugineux, formés par la coalescence de micropeds, enrichis en fer, et dont les limites avec le plasma environnant sont progressives.

Si le lessivage n'est pas évident sur les lames, l'influence de l'hydromorphie se manifeste par la déstabilisation du fer dans ses liaisons fer-argile, la transformation d'hématite en goethite qui n'apparaît qu'indirectement par le changement de couleur, tandis que la formation in situ d'amas et de nodules ferrugineux est parfaitement nette.

4.5. LES SOLS HYDROMORPHES MINÉRAUX OU PEU HUMIFÈRES À PSEUDOGLEY

Ces sols sont très répandus dans tout le pays. Ils sont situés dans les zones basses, près de la côte; à l'intérieur du pays on les trouve dans des zones planes et déprimées.

Ils sont caractérisés par un mauvais drainage superficiel et interne. Le matériel original argileux ou argilo-sableux, a été transporté.

Ces sols ont été étudiés à Cuba par Bennett et Allison (1963) qui les décrivent dans plusieurs séries nommées : Yaguajay, Maboá, Recreo, Alto Cedro, Herrera, Bernal etc... Zonn les a classés en sols "*Grisés plastiques alitico-sialiticos*" avec processus de pseudogley, "*Humicos gleyados alitico-sialiticos*" ; l'Institut des Sols de l'Académie des Sciences de Cuba (1973), les a classés comme "*Gley Tropical*" et plus tard, dans la classification des sols de Cuba (1979) comme sols Hydromorphes.

Dans la zone étudiée, ils occupent une petite surface, située dans une topographie basse. Le profil est profond (plus de 1 mètre), avec un drainage interne et superficiel mauvais. Le matériel original est argileux, et parfois argilo-sableux.

DESCRIPTION DU PROFIL TED-16

- Topographie : Plane et basse
- Drainage : Externe mauvais, interne mauvais
- Végétation : Culture de canne à sucre
- Roche-mère : Matériaux transportés argilo-sableux
- Coordonnées : sur la carte 1/50.000
 Lat N : 22° 56' 45"
 Long W : 81° 52' 37"

Situé entre MADRUGA et AGUACATE

0 - 20 cm Brun foncé (10 YR 3/3 H), lino-argileux ; structure fragmentaire à tendance prismatique ; légèrement plastique ; peu poreux ; contenu moyen en racines ; plus de 5 % de concrétions ; on observe des graviers de quartz ; quelques taches noires ; humide.

20 - 30 cm Brun jaunâtre (10 YR 5/6 H) ; argilo-sableux ; structure fragmentaire à tendance prismatique ; légèrement plastique ; peu poreux ; quelques racines fines ; concrétions abondantes autour de 20 % ; taches abondantes noires ; on observe des graviers de quartz ; très humide.

30 - 53 cm Brun jaunâtre (10 YR 5/6 H) ; argilo-sableux ; structure fragmentaire à tendance prismatique ; légèrement plastique ; peu poreux ; très peu de racines ; plus de concrétions que l'horizon précédent ; taches abondantes noires ; très humide.

53 - 70 cm Couleur (7,5 YR 5/8 H) ; avec des taches grises (10 YR 6/1 H) argilo-sableux ; structure fragmentaire à tendance prismatique ; plastique ; très peu poreux ; contenu en concrétions plus faibles que dans l'horizon précédent ; quelques taches noires, on observe des graviers de quartz ; trempé.

70 - 110 cm Gris (10 YR 6/1 H) ; avec des taches (10 YR 6/8 H) ; argileux ; trempé.

Profil	Prof cm	D.R. g/cm ³	D.A. g/cm ³	Porosité Totale %	% de fractions				
					S.G.	S.F.	L.G.	L.F.	A
TED- 16	0-10	2,76	1,16	58,0	21,9	16,8	10,5	6,3	43,9
	20-30	2,79	1,18	57,7	29,8	9,6	3,2	5,7	50,9
	35-45	2,81	1,23	56,2	30,3	10,7	4,5	8,8	44,6
	55-65	2,80	1,26	55,0	17,6	21,0	5,1	8,6	47,2
	90-100	2,83	1,29	54,4	12,2	13,3	5,5	2,2	63,2

Tableau 56 : Analyse granulométrique et porosité d'un sol hydromorphe.

La densité apparente et la densité réelle, sont élevées, avec une tendance à augmenter en profondeur.

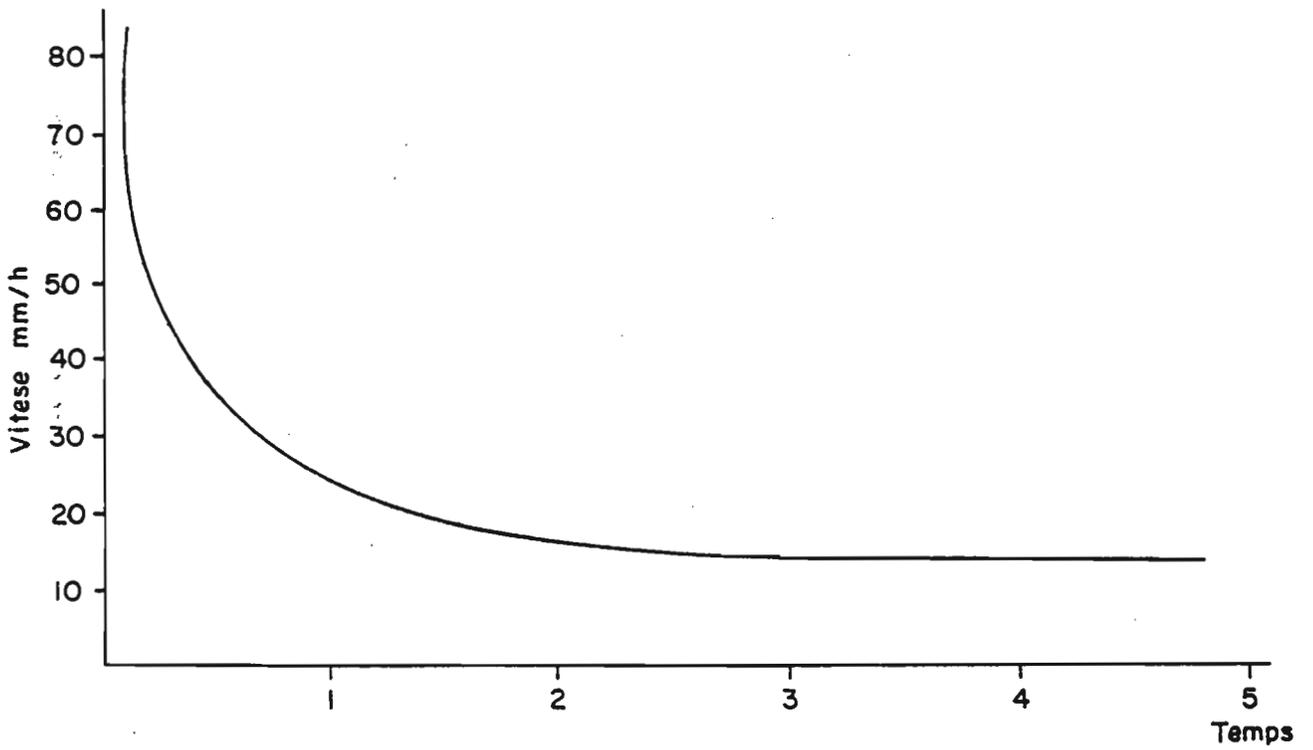
La porosité totale est toujours supérieure à 54 %, on peut expliquer ces valeurs par le contenu élevé en sable de ces sols.

L'analyse granulométrique montre une prédominance de l'argile avec une augmentation dans les horizons intermédiaires, mais on ne peut pas parler d'un processus de lessivage, cependant on n'observe pas de revêtements argileux à la surface des agrégats. La fraction sableuse dépasse 19 % dans tous les horizons, et dans le profil TED-16 elle devient plus importante encore avec des valeurs qui peuvent atteindre 40,0 %. Ceci met en évidence des apports de matériaux des hauteurs environnantes. La vitesse d'infiltration varie autour de 13 mm/h. (Fig. 17).

Figure 17

PROFIL TED-16

INFILTRATION mm/h



Profil	Prof cm	M.O. %	N %	C %	C/N	pH		Δ pH
						H ₂ O	ClK	
TED-16	0-10	3,15	0,165	1,83	11,8	5,5	4,4	-1,1
	20-30	0,67	0,028	0,39	13,9	5,4	4,2	-1,2
	35-45	0,60		0,35		5,4	4,3	-1,1
	55-65					5,5	4,5	-1,0
	90-100					5,4	4,5	-0,9

Complexe absorbant me /100 g						V %
Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	Na ⁺	S	T	
12,0	3,94	1,03	0,08	17,05	24,11	70,7
15,81	3,52	0,61	0,20	20,14	27,5	73,2
17,8	3,63	0,06	0,24	21,74	30,15	72,1
18,4	2,96	0,08	0,14	21,62	32,74	66,0
16,75	2,68	0,15	0,06	19,64	31,93	61,5

Tableau 57 : Caractéristiques chimiques d'un sol Hydromorphe.

On observe une diminution brutale de la matière organique à partir du deuxième horizon.

Le pH est acide dans tous les horizons.

La somme des bases échangeables est dominée par les cations bivalents, en général, elle ne dépasse pas 25 mé/100g. Ces sols sont faiblement désaturés.

CONSTITUANTS MINÉRAUX

Profil	Prof _{cm}	P.F.	% des oxydes			$\frac{\text{SiO}_2}{\text{Al}_2\text{O}_3}$	$\frac{\text{SiO}_2}{\text{R}_2\text{O}_3}$
			SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3		
TED-16	0-10	15,8	43,23	24,90	9,95	3,10	2,56
	35-45	14,0	47,44	26,0	9,56	3,25	2,56
	55-65	12,0	48,6	25,51	8,80	3,24	2,66
	90-100	12,0	48,5	25,5	9,31	3,0	2,63

Minéraux argileux < 2 μ			
M	Mont	Go	Talc
+	+	tr	+
++	+	tr	+
+	++	tr	tr
++	+++	tr	

Tableau 58 : Analyses chimiques totales et diffraction des rayons X sur la fraction argile d'un sol hydromorphe.

M : Métahalloysite ; Mont : Montmorillonite.
Go : Goethite; Talc.

La silice a tendance à augmenter en profondeur ; les oxydes de fer et aluminium sont presque constants dans tous les horizons.

Le rapport silice / alumine est supérieur à 3.

Les minéraux argileux prédominants sont la montmorillonite avec la métahalloysite, dans tout le profil, des traces de goethite et un peu de talc sont présentes, (Fig. 18).

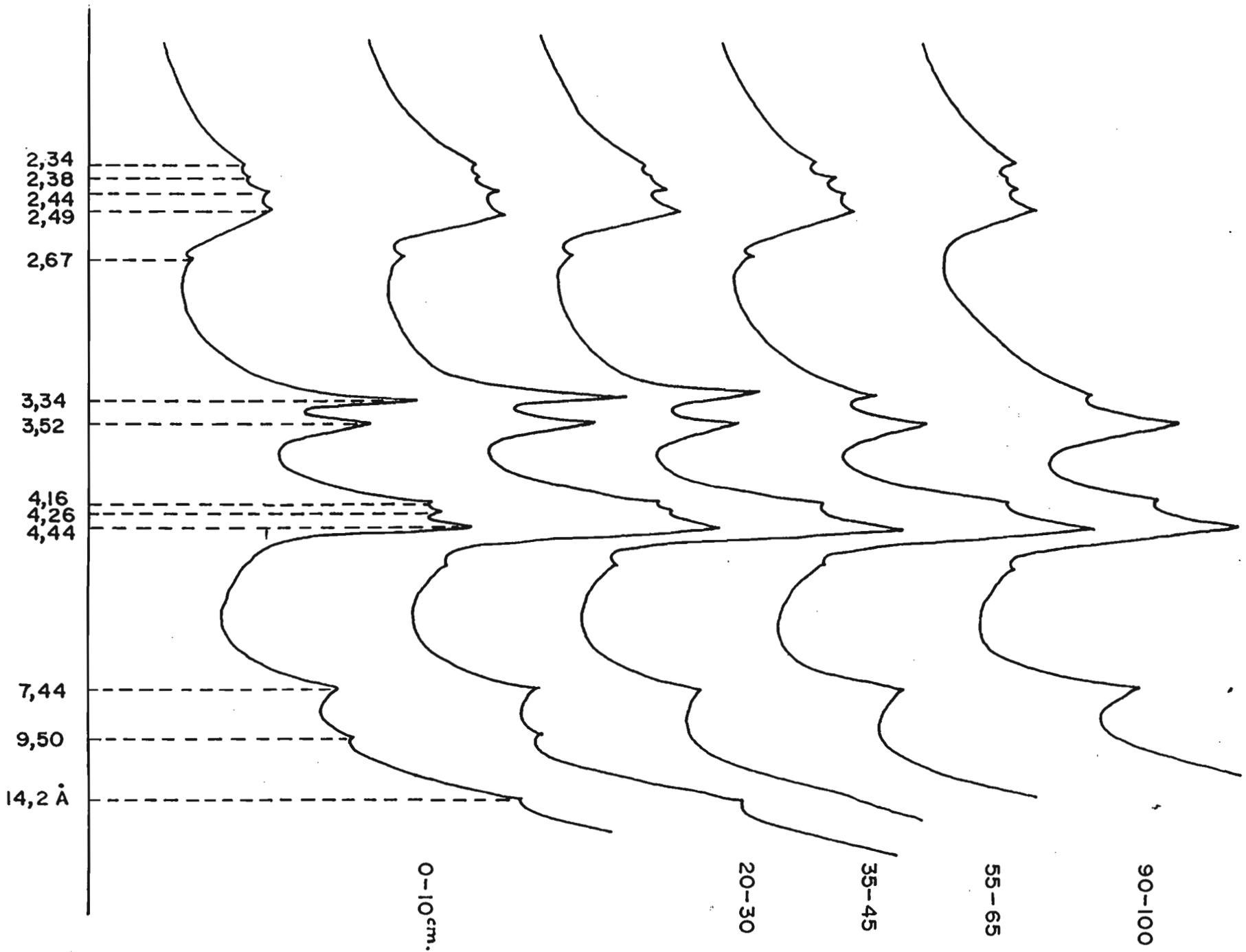


Figure 18

Profil	Prof cm	% de Fe ₂ O ₃ de sols		Fe ₂ O ₃ L Fe ₂ O ₃ T	Contenu ppm de l'argile		
		Libre	Total		Cr ₂ O ₃	NiO	CoO
TED-16	0-10	8,35	10,0	83,5	-	-	-
	35-45	10,0	11,4	87,7	1000	650	240
	55-65	12,5	13,5	92,5	-	-	-
	90-100	-	-	-	1030	660	290

Tableau 59 : Contenu en Fe₂O₃ dans le sol, et en oxydes Cr₂O₃, NiO et CoO dans l'argile.

Le fer libre et le fer total ont à tendance à augmenter en profondeur. Les teneurs sont plus faibles que dans les sols ferrallitiques. Le rapport fer libre / fer total est supérieur à 83 %.

En ce qui concerne les oxydes de chrome, nickel et cobalt, on peut observer des valeurs plus élevées que dans les sols ferrallitiques typiques.

Profil	Prof cm	Fraction légère	Minéraux lourds transparents						% Pondéral	
			Pyr	Hor	G	Ep	Z	R		Spi
TED-16	0-10	Quartz		65			35			3,62
	20-30									
	35-45	Traces de	25		25	25		25		3,00
	55-65			++						3,60
	90-100	Feldspaths		69					31	2,69

Tableau 60 : Analyses des minéraux des sables.

Pyr : Pyroxènes ; Hor : Hornblende ; G : Grenat ;
Ep : Epidote ; Z : Zircon ; R : Rutile ; Spi : Spinelle.

L'analyse des sables (tableau 60) montre que la fraction légère est formée par du quartz et des feldspaths.

Dans les minéraux lourds transparents, l'hornblende est prédominante, on peut observer aussi la spinelle, le zircon, des pyroxènes, le grenat, le rutile et l'épidote.

5 PROBLEMES SOULEVES PAR L'ETUDE DES SOLS

5.1. EVOLUTION DU RELIEF ET MISE EN PLACE DES MATERIAUX DE L'ENSEMBLE DE LA ZONE.

5.1.1. EVOLUTION DU RELIEF DE LA ZONE ETUDIEE.

Pour mieux se rendre compte de l'évolution du relief, on a préparé une carte hypsométrique de la zone à l'échelle de 1/100.000. Sur cette carte on observe, des formes de relief assez particulières.

Tout d'abord on constate quatre séries de hauteurs, constituées par divers types de calcaire, auxquels il faut ajouter une petite zone de péridotite. Elles sont formées par des anticlinaux, plus ou moins fortement tectonisés atteignant parfois 300 mètres.

Elles entourent une zone de 100 à 120 mètres d'altitude, à peu près plane, de forme presque circulaire, qui débouche vers le Sud, sur la pénéplaine Sud de La Havane (1). Cette plaine, qui occupe une partie basse, fait partie du synclinal SAN JUAN-ALMENDARES (Ducloz 1963).

Le fond de cette plaine est occupé par des sédiments calcaires déposés au Miocène moyen, alors qu'à cette époque, tout le pourtour était émergé. On suppose en outre, qu'il existait déjà au Sud, des zones soulevées, formées par des péridotites, des roches volcaniques et des schistes qui ont fourni des matériaux aux parties les plus basses.

Il semble que c'est à partir du Pliocène, que la totalité de la zone a été émergée. C'est à ce moment que débuta l'altération des roches et l'aplanissement du relief.

Pendant cette période, se sont produit des transgressions marines qui ont affecté des zones proches de la mer, (Bermudez 1963), (Ducloz 1963) ; mais elles ne semblent pas avoir affecté la zone étudiée. Il s'est produit également un léger soulèvement de la partie Nord, et un abaissement vers le Sud. Les roches sont disposées presque horizontalement, avec un léger pendage vers le Sud. Tout ceci, a amené Massip et Isalgue (1942), Ducloz (1963), à penser à des phénomènes d'aplanissement d'origine continentale sur la pénéplaine Sud de La Havane, hypothèse qui peut être extrapolée à la zone étudiée.

(1) : Déjà étudiée par E. CAMACHO.

Pendant le Plioquaternaire, il semble probable que des changements climatiques se sont produits, avec des périodes humides et sèches assez contrastées (N. Jiménez 1968), (Mayo et Kartashov 1972). Au cours des périodes sèches, l'érosion a agité fortement en amenant des matériaux vers les zones plus basses. Pendant les périodes humides, s'est installée une végétation qui a permis aux précipitations de s'infiltrer profondément dans les sols, produisant une dissolution des calcaires, abandonnant sur place des résidus non carbonatés, l'origine des matériaux des sols.

Depuis la dernière glaciation, un climat humide et chaud s'est installé. De telles conditions climatiques favorisent le développement du karst, tant en profondeur, qu'en surface (N. Jiménez 1968), (N. Llopis 1970). C'est ainsi, que diverses formes karstiques marquent le relief. Sur les zones plissées et soulevées en forme de horst des "Sierra del Grillo et de Camarones", constituées de calcaires durs, on observe un type de karst résiduel, représenté par des hauteurs reliées entre elles, par des petites zones planes, dues à l'accumulation de résidus non carbonatés provenant de calcaires. C'est le type de karst connu sous le nom de "karst à cockpit".

En ce qui concerne les hauteurs de Bejuçal, Madrugá, Limonar, formées par de petites élévations aux pentes faibles, et constituées de calcaires tendres, peu perméables et riches en matériaux imperméables, elles ont un relief qui a été modelé par l'érosion. Dans ces régions, l'eau ne peut pas pénétrer en profondeur, elle va amener par de petites rivières, les résidus de calcaires dissous, et des matériaux argileux imperméables vers la plaine, où se forment les vertisols.

Le niveau de 100 - 120 mètres constitué de calcaires miocènes durs, a été au début plus élevé. Ici, la dissolution a agi, fortement, en dissolvant les calcaires moins résistants qui ont laissé des résidus non carbonatés, grâce auxquels la pédogénèse a pu former les sols actuels. On peut observer cette dissolution sur les diverses formes du karst qui dessinent le relief des dolines avec ou sans ponors, et surtout des mogotes isolés, formés de calcaires durs qui ont bien résisté à la dissolution.

La partie la plus basse, formée surtout par des calcaires miocènes, a la forme d'un golf, a été la dernière à être évacuée par la mer, qui s'est retirée vers le Sud. On peut constater qu'elle aussi a été soumise aux effets de la dissolution, et que diverses formes karstiques marquent le relief. Le nombre de dolines est particulièrement élevé.

A partir du quaternaire ont commencé à se déposer sur ces calcaires, des matériaux provenant des hauteurs environnantes. C'est dans cette partie que l'on retrouve des couches argileuses et argilo-sableuses qui peuvent atteindre jusqu'à 15 mètres d'épaisseur. Ils sont très semblables aux dépôts du quaternaire décrits par KARTASHOV et MAYO (1976).

Malgré ces apports, les formes karstiques en surface et en profondeur, ont continué à se former. Par conséquent, il n'existe pas de réseau hydrographique en surface. Les eaux de pluie disparaissent en profondeur par les dolines, les ponors, et parfois elles s'accumulent dans d'anciennes dolines qui ont été bouchées par les matériaux argileux, et aujourd'hui elles se comportent comme de petits lacs temporaires.

En général, on peut penser que les causes du développement du relief actuel de la zone, sont les suivantes :

- dissolution intense des calcaires, avec élimination des carbonates de calcium par les eaux, et accumulation des résidus non carbonatés.
- soulèvement des parties plus élevées.
- aplanissement des hauteurs sous les effets de l'érosion.
- développement intense de formes karstiques qui marquent le relief.
- accumulation dans les zones basses, des matériaux provenant des hauteurs environnantes.

5.1.2.MISE EN PLACE DES MATERIAUX. CAS DES SOLS FERRALLITIQUES LESSIVES JAUNES.

L'ensemble de la zone va être émergée à partir du Pliocène ; à cette période a commencé l'altération de roches et la formation des sols.

On pense que la zone occupée par ces sols a été toujours la plus basse, et la dernière a été évacuée par la mer, qui s'est retirée vers le Sud. Son soubassement est formé par des calcaires miocènes et des marnes. Ces calcaires n'ont pas échappé aux effets de la dissolution.

On observe des formes karstiques qui marquent le relief avec des dolines actives. On observe également de petits lacs temporaires, qui anciennement ont été des dolines, mais qui maintenant sont colmatées par des apports argileux provenant des hauteurs.

Les changements climatiques, qui semblent s'être produits pendant le Plioquaternaire, ont joué un rôle important sur l'altération des roches et l'accumulation des matériaux dans les zones basses.

Pendant les périodes humides l'altération des roches va être importante. L'installation d'une végétation dense, permettra une pénétration des eaux en profondeur, et va contribuer, elle aussi, à l'altération des roches et à la formation des sols. Cette végétation va freiner le développement des phénomènes d'érosion.

C'est aux périodes sèches où le sol reste sans protection, après la disparition de la végétation, que l'érosion agit avec le plus de vigueur. Elle amène alors de fortes quantités de matériaux, qui vont se déposer sur les calcaires des zones plus basses, en formant des couches argileuses ou argilo-sableuses, qui peuvent atteindre 15 mètres d'épaisseur.

Des dépôts semblables à ceux-ci ont été décrits par Kartashov et Mayo (1976), qui les ont appelés "*Formación Guevara*". Pour ces auteurs, il s'agit de dépôts quaternaires d'origine marine, qui se sont déposés au cours d'une transgression. S'il s'agit bien de dépôts quaternaires, l'origine marine apparaît bien peu probable, pour les raisons présentées antérieurement. Sur ces dépôts se sont formés les sols ferrallitiques lessivés jaunes.

5.2. CARACTERISTIQUES ET GENESE DES SOLS DE LA ZONE ETUDIEE

Dans la zone étudiée, et sous le même climat, on observe une grande diversité de sols. C'est ainsi, que l'on trouve des sols calcimagnésiques (rendzines, sols bruns calcaires, sols bruns calciques), vertisols, des sols fersiallitiques, des sols ferrallitiques et des sols hydromorphes.

Pour expliquer comment se sont formés sur une petite surface, des sols aussi différents les uns des autres, on va s'appuyer sur les caractéristiques morphologiques, les données analytiques, chimiques, physiques et minéralogiques, et sur leurs relations.

On attachera également de l'importance au rôle joué par les facteurs de formation des sols, et plus particulièrement à ceux de la roche-mère et de la topographie. La prise en compte de ces différentes données, va nous permettre de proposer des explications sur la formation et l'évolution des sols de cette zone.

5.2.1. LES VERTISOLS.

La présence d'argiles gonflantes, l'alternance de saisons sèches et humides, avec un ralentissement du drainage, favorisent la formation des vertisols (Dudal 1965).

L'argile gonflante dans les vertisols, peut avoir deux origines :

- Néof ormation, à partir d'un matériau de nature cristalline ou éruptive basique, riche en calcium et en magnésium. Sur ces matériaux, une altération chimique, complète et rapide, favorisée par un climat chaud et contrasté, favorisent la formation de la montmorillonite (Nguyen Kha 1973).

- Héritage à partir d'un matériau de nature sédimentaire (marne), les argiles proviennent directement du matériau, et vont se conserver dans le milieu (Duchaufour 1977, Aubert et Boulaine 1980).

Pour les vertisols de la zone étudiée, c'est la deuxième explication qui nous paraît convenir. En effet, situés au centre d'une zone occupée par des sols ferrallitiques, avec lesquels ils n'ont pas des relations génétiques, leur origine peut s'expliquer par la présence sur les hauteurs voisines de marnes, sur lesquelles se

développent des sols calcimagnésiques riches en montmorillonite. De ces hauteurs descend le Rio Américo qui va apporter ces minéraux dans la partie basse. On peut montrer, que les matériaux qui forment ces sols proviennent de ces hauteurs, quand on compare les minéraux des sables des vertisols, et ceux des sols calcimagnésiques. La composition est presque identique dans les deux cas. On observe que les minéraux les plus importants, l'épidote, les hornblendes, l'andalou-site, le staurotide, le grenat.

Une fois que les minéraux argileux gonflants sont déposés, les alternances de périodes sèches et humides jouent leur rôle, et permettent le développement des caractéristiques des vertisols : fentes de retrait, faces striées et luisantes, agrégats en forme de coin, couleur noire, dans la plupart des cas.

5.2.2. LES SOLS CALCIMAGNESIQUES

Les sols calcimagnésiques, sont des sols, dont la genèse est dominée par la présence des carbonates et des sulfates de calcium et de magnésium, (Aubert et Boulaine 1980).

Dans la zone étudiée, ces sols sont assez répandus et situés sur une topographie composée par des petites hauteurs de calcaires tendres et marnes.

La formation et l'évolution de chaque groupe de sols de cette classe, sont influencés par la roche-mère et par la position topographique. On a pu constater que dans la zone étudiée, les rendzines, les sols bruns calcaires et les sols bruns calciques, se développent sur le même type de calcaire, mais en positions topographiques différentes.

Pour comprendre l'évolution et la genèse de ces sols, il faut d'abord rappeler les études faites sur les minéraux argileux et les minéraux des sables du sol, et les comparer avec ceux trouvés dans les résidus non carbonatés de roches (Tableaux 10,11). ; (profils TED-21, TED-19, TED-23).

On observe une distribution des minéraux des sables et des minéraux argileux, assez homogènes dans le sol. Ils sont en outre, du même type que ceux trouvés dans les résidus non carbonatés de la roche.

On peut en conclure, que ces sols sont formés in situ à partir des calcaires sous-jacents.

La formation et l'évolution de ces sols se font d'une façon assez simple : la roche va assurer le maintien d'une quantité suffisante de carbonate de calcium actif dans le profil, au fur et à mesure que les calcaires sont dissous, laissant dans le profil des résidus, composés surtout par des argiles de type 2/1 (montmorillonite).

En période humide, ces argiles vont gonfler, d'abord à la surface du sol, et ainsi gêner la pénétration de l'eau en profondeur. Les dissolutions de carbonates seront donc freinées, et l'évolution du sol se trouvera ralentie.

Ce phénomène a été appelé par Hernandez et al (1976) ; Agafonov et al (1978), "Phénomène de autofreinage de l'évolution du sol".

Dans le cas des rendzines, ce phénomène uni à la topographie, favorisent le ruissellement superficiel et le développement de l'érosion, qui à la fin, produisent un rajeunissement constant du sol, qui va le maintenir peu profond et riche en carbonate de calcium. Au fur et à mesure que l'on descend dans la topographie, l'érosion est moins forte, et les sols deviennent plus profonds. Dans de telles conditions, l'eau peut pénétrer plus en profondeur dans le profil, ce qui va produire une dissolution des carbonates dans les premiers horizons du sol. On peut également observer une diminution du pH en dessous de 7,0, (tableau profil TED-23).

On peut conclure que les facteurs qui ont déterminé la formation et la différenciation de ces sols dans la zone étudiée ont été :

- une roche-mère, riche en carbonate de calcium, et en résidus argileux, qui ont apporté au sol, surtout de la montmorillonite.
- Une topographie assez variée qui a parfois, permis à l'érosion de jouer un rôle assez important sur l'évolution du sol.

5.2.3.LES SOLS FERSIALLITIQUES

Les caractéristiques les plus importantes que l'on prend en compte pour définir un sol comme fersiallitique sont :

- un mélange de minéraux argileux 2/1 et 1/1.
- la présence de sesquioxydes de fer libre qui donnent au profil des couleurs vives : jaune, rouge etc...

Des limites chiffrées ont été proposées par Segalen et al (1979), mais elles ne peuvent encore être considérées comme définitives. Ces limites nous paraissent convenables en fonction des conditions dans lesquelles se développent ces sols à Cuba.

Dans la zone étudiée, les sols fersiallitiques sont situés sur des hauteurs de calcaires durs et moyennement durs, ou sur calcaires moyennement durs et des marnes.

En fonction de ces types de roches-mères, le sol va être plus ou moins riche en carbonate de calcium, comme on peut observer dans le tableau suivant :

Profil	Prof cm	Perte ClH	p H		S	T	V
			H ₂ O	ClK			
TED- 12	0-10	23,6	6,9	6,0	33,7	34,8	97
	10-20	22,5	7,2	6,4	41,2	42,1	98
	25-35	34,8	7,4	6,9	38,9	39,5	99
TED- 22	0-8	6,0	6,7	5,6	22,1	25,6	86
	10-20	8,0	7,0	6,1	22,8	24,9	91

Tableau 61 : quelques caractéristiques chimiques des sols fersiallitiques.

Le profil TED-12 formé sur calcaire moyennement dur et marne, est plus riche en carbonate, cependant, il faut souligner que la forte perte à l'acide chlorhydrique est due, à un contenu assez élevé de petits graviers de calcaire, qui ont contaminé l'échantillon au moment de la préparation. On se rend compte, en examinant les pH des deux premiers horizons (6,9 et 7,2), que ceux-ci ne sont pas en correspondance avec des teneurs très élevées en carbonate de calcium.

Dans le profil TED-22, s'est produit une décarbonatation plus forte. Le degré de saturation élevé est dû au calcium. Celui-ci provient de la décomposition des carbonates. Il passe continuellement en solution et sature le complexe.

En ce qui concerne la composition minéralogique de ces sols, on peut observer :

Profil		Minéraux Argileux	Minéraux des sables
TED-12	Sol	Montmorillonite, metahalloysite, Boehmite, Hématite, Gibbsite, Fire-Clay.	Disthène, staurotide, grenat, Pyroxène, Epidote, andalousite.
	Résidu de calcaire	Montmorillonite Fire - Clay	Quartz, Feldspaths micas, Kaolinite
TED-22	Sol	Montmorillonite Fire-Clay, Hématite, metahalloysite, Gibbsite Boehmite	Hornblende, Andalousite, Disthène, Epidote, staurotide Zircon, grenat, Hématite, Goëhtite
	Résidu de Calcaire	Montmorillonite Fire-Clay, traces de illite et Boehmite.	Quartz, Feldspaths micas, Kaolinite

Tableau 62 : Composition minéralogique du résidu non carbonaté de la roche et du sol fersiallitique.

Les minéraux des sables sont issus de roches métamorphiques qui au moment du dépôt de calcaire l'ont contaminé.

On constate un mélange de minéraux argileux, de type 2/1 et 1/1, dans le sol et dans le résidu non carbonaté de la roche. En comparant la composition minéralogique du sol avec celle de la roche, on peut conclure que ces sols sont formés à partir des résidus non carbonatés apportés par la dissolution de ces calcaires.

Il est également important de noter les teneurs élevées de ces sols en sesquioxydes de fer libre.

Profil	Prof cm	Fe ₂ O ₃ Libre	Fe ₂ O ₃ Total	$\frac{\text{Fe}_2\text{O}_3^{\text{L}}}{\text{Fe}_2\text{O}_3^{\text{T}}}$	Oxydes de fer	Couleur
TED- 12	0-10	6,0	6,5	92,3	Hematite	2,5 YR 3/2 rouge brû- nâtre
	10-20	7,0	7,9	88,6	"	2,5 YR 3/4 rouge foncé
	25-35	3,35	4,2	79,8		5 YR 4/8 Rouge jau- nâtre
TED- 22	0-8	10,5	11,5	91	Hematite	10 R 4/6 Rouge
	10-20	11,5	11,7	98	"	10 R 4/8 Rouge

Tableau 63 : Teneurs en fer des sols fersiallitiques.

Le contenu en fer libre est toujours supérieur à 3,0 %. Ce qui confirme les résultats déjà obtenus par Camacho, Bosch et Paulin (1979), Camacho (1980), Bosch et al (1980), dans des sols fersiallitiques à Cuba. On observe les teneurs les plus élevées dans les horizons de surface, qui sont également les moins riches en carbonates. Il faut souligner que dans ces horizons, plus de 88,0 % du fer total est déjà à l'état libre. Le processus de rubéfaction (Lamouroux 1972), est bien évident, les couleurs sont rouges, dues à la présence de l'hématite dans tous les horizons.

Si nous comparons les caractéristiques de ces sols avec celles données pour des sols fersiallitiques, par différents auteurs (CPCS 1967; Lamouroux 1972 ; Institut des sols de Cuba 1979 ; Camacho et Bosch 1979 ; Bosch et al 1980), on peut penser qu'il s'agit bien ici de sols fersiallitiques.

Dans le cas du profil TED-12, si on s'adresse uniquement à la perte à l'acide chlorhydrique, sans tenir compte des autres caractéristiques, on peut penser qu'il s'agit d'un intergrade entre les sols calcimagnésiques et les sols fersiallitiques, mais, toujours plus proches de ces derniers.

On peut penser à des limites pour les différentes caractéristiques de ces sols, c'est ainsi qu'on retient un contenu en sesquioxydes de fer libre supérieur à 3,0 %, des valeurs supérieures ont été trouvées dans plusieurs sols ferrallitiques de Cuba, par Camacho et Bosch (1979), Bosch et al (1980) entre autres.

On constate que le rapport $\text{SiO}_2 / \text{Al}_2\text{O}_3$ est toujours supérieur à 2,2, ce qui est bien d'accord avec la proposition faite dans le projet de classification Segalen et al (1979).

Il y a une limite qui reste encore à fixer, celle du contenu en carbonates primaires. En effet, il existe à Cuba, un grand nombre de sols avec toutes les caractéristiques des sols ferrallitiques, mais avec des contenus notables en carbonates primaires. Dans la classification CPCS, ces sols sont difficilement classifiables ailleurs que dans la sous-classe des sols ferrallitiques, car il n'a pas été prévu dans les sols calcaires carbonatés, de groupe de sols rouges calcaires.

5.2.4. LES SOLS FERRALLITIQUES

Les sols ferrallitiques sont des sols où le processus de pédogénèse dominant (ferrallitisation), est caractérisé par une altération intense des minéraux, avec élimination de la plupart des bases alcalino-terreuses, et d'une partie de la silice, et surtout par la présence de minéraux argileux de type 1/1, d'oxydes de fer et d'aluminium (Aubert et Segalen 1966).

Dans la zone étudiée, ces sols sont très répandus. On en a décrit plusieurs groupes avec des caractéristiques assez différents les uns des autres. En tenant compte de leurs caractéristiques et surtout du matériau originel, on les a regroupés en trois groupes :

- ceux qui se sont formés à partir des calcaires miocènes ;
- ceux qui se sont développés sur des péridotites
- enfin ceux qui se sont développés sur des matériaux argileux ou argilo-sableux provenant des environs.

5.2.4.1. SOLS FERRALLITIQUES FAIBLEMENT DESATURÉS EN (B), MODAUX, FORMES SUR CALCAIRE DUR MIOCÈNE.

Ces sols ont des caractéristiques particulières assez différentes des sols ferrallitiques qui ont été décrits dans d'autres parties du monde par divers auteurs.

Pour la formation de ces sols à Cuba, plusieurs théories ont été proposées. La première considère qu'ils se sont formés directement à partir des calcaires durs, Bennet et Allison (1928, 1962), appuyés plus tard par, Segalen (1973), Bosch et al (1978), Bosch, Camacho et Segalen (1980), Camacho (1980).

Du fait d'un contenu relativement élevé en fer dans le sol, et des faibles quantités de ce constituant dans la roche calcaire, Zonn (1967) et Formell (1974), considèrent qu'il s'agit d'apports de péridotites déposés sur les calcaires, qui seraient à l'origine de ces sols. Récemment, Kartashov et Mayo (1976), considèrent qu'il ne s'agit pas de sols. Pour eux, il s'agit de dépôts marins, qui ont été apportés par les transgressions ayant eut lieu pendant le quaternaire.

Pour essayer de préciser l'évolution de ces sols, des analyses supplémentaires ont été faites. C'est ainsi que plusieurs échantillons de calcaires ont été dissous pour obtenir et analyser les résidus non carbonatés. Ce sont des calcaires miocènes durs (il faut plusieurs coups de marteau pour les briser). Les résultats obtenus sont les suivants :

Echantillon	Dureté de la roche	% de Résidu	Couleur du résidu	Composition du résidu	
				Sable F.+L.G.	Argile
TED-6	Dure	2,1	rouge	Quartz, un peu de feldspaths grenat, Epidote zircon, staurotite.	Metahalloysite, Gibbsite, Boehmite Hematite Illite
TED-9	Dure	2,3	rouge		Metahalloysite, Hematite, Goethite Boehmite
TED-10	Dure	2,6	rouge		Metahalloysite un peu de Gibbsite " " Boehmite traces de Goethite " Illite

Tableau 64 : Composition minéralogique des résidus non carbonatés de calcaire.

Ces calcaires ont été mis en place au cours du Miocène, et définitivement émergés au Pliocène. La nature des fossiles qui correspondent à certains niveaux, permet de penser à des dépôts de mer peu profonde, qui ont été influencés par les apports des terres émergées. Ces terres émergées ont été constituées par divers types de roches, mais surtout par des roches métamorphiques. Si on observe les minéraux des résidus, ils sont composés d'argiles de type 1/1, d'oxydes de fer et d'alumine, et aussi de minéraux non altérés, issus des roches méramorphiques (Fig. 19 et 20). On peut supposer, que ces terres émergées, portaient déjà, des sols très semblables aux sols ferrallitiques qu'on observe aujourd'hui.

L'érosion de ces terres a apporté à la mer, ces matériaux qui se sont mélangés avec le carbonate de calcium. Le calcaire est alors constitué par le carbonate de calcium et par ces résidus.

On connaît maintenant la formation et la composition des calcaires. Il est intéressant de faire une comparaison entre la roche (résidu non carbonaté) et le sol.

Profil	Sol/Résidu	Couleur	Minéraux des sables	Minéraux Argileux
TED-6	Sol	2,5 YR 3/6 à 2,5 YR 4/6 Rouge	Staurotide, Disthène, Andalousite, Tourmaline, Zircon.	Metahalloysite, Gibbsite, Hematite, Goethite, Boehmite, Magnetite.
	Résidu de calcaire	2,5 YR 4/6 Rouge	Staurotide, Disthène, Andalousite, Tourmaline, Zircon, Quartz, traces de Feldspaths.	Metahalloysite, Boehmite, Gibbsite, Hematite, Illite.
TED-9	Sol	2,5 YR 3/6 à 2,5 YR 4/6	Staurotide, Grenat Epidotes, Zircon Rutile.	Metahalloysite, Fire-Clay, Boehmite, Gibbsite, Hematite, Goethite.
	Résidu de calcaire	Rouge		Metahalloysite, Boehmite, Hematite, Goethite.
TED-10	Sol	2,5 YR 3/6 à 2,5 YR 4/6	Disthène, Staurotide, Andalousite, Tourmaline, Zircon, Rutile, quartz, Traces de Feldspaths.	Metahalloysite, Fire-Clay, Gibbsite, Hematite, Goethite, Magnetite, Boehmite.
	Résidu de calcaire	Rouge		Gibbsite, Fire-Clay, Hematite, Goethite, Metahalloysite, Boehmite, Illite.
D-1	Sol	2,5 YR 3/6 Rouge	Staurotide, Disthène, Andalousite, Epidote, Zircon, Grenat.	Metahalloysite, Gibbsite, Hematite, Goethite.

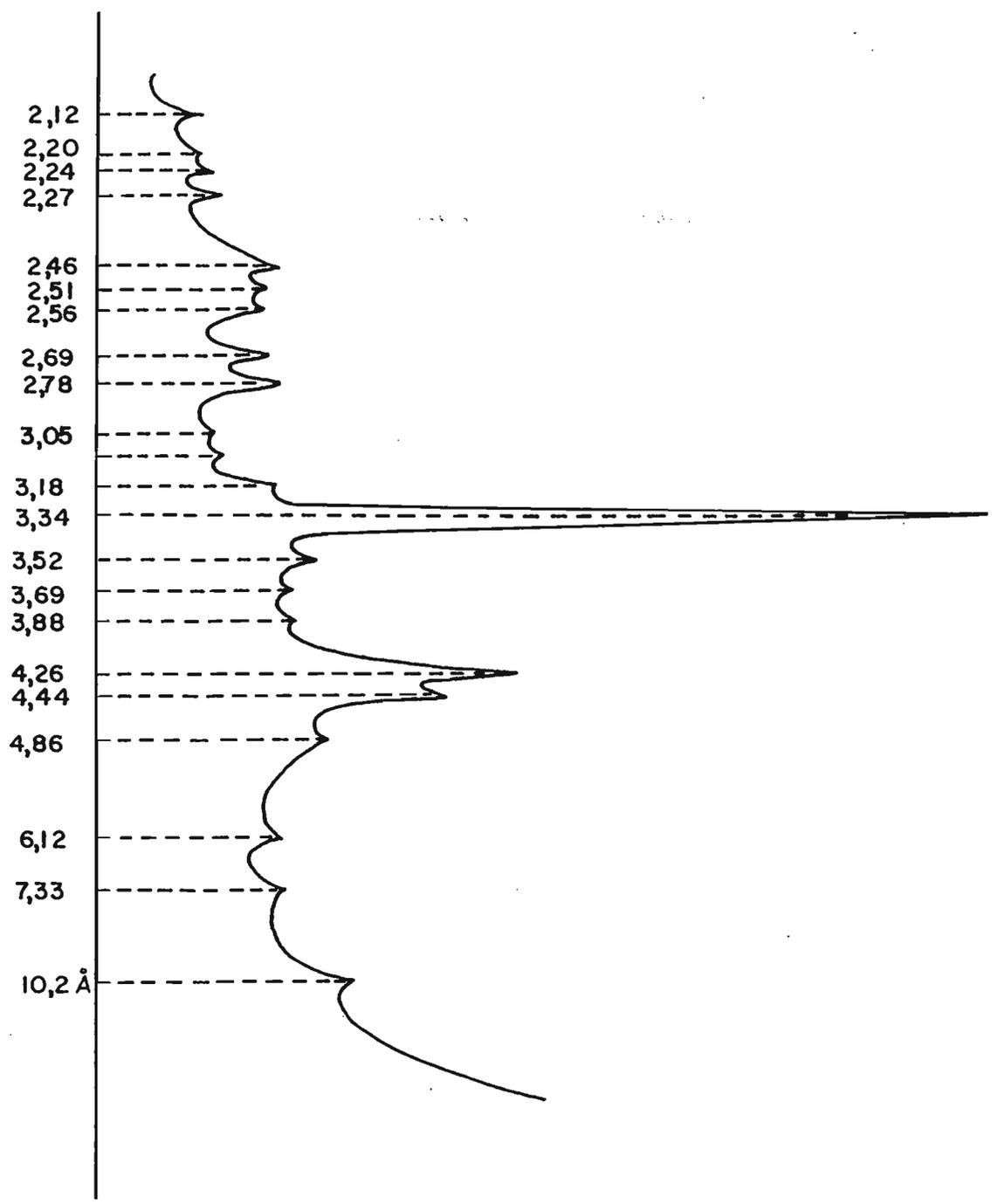
Tableau 65 : Constituants minéralogiques de résidus non carbonatés de calcaire et du sol.

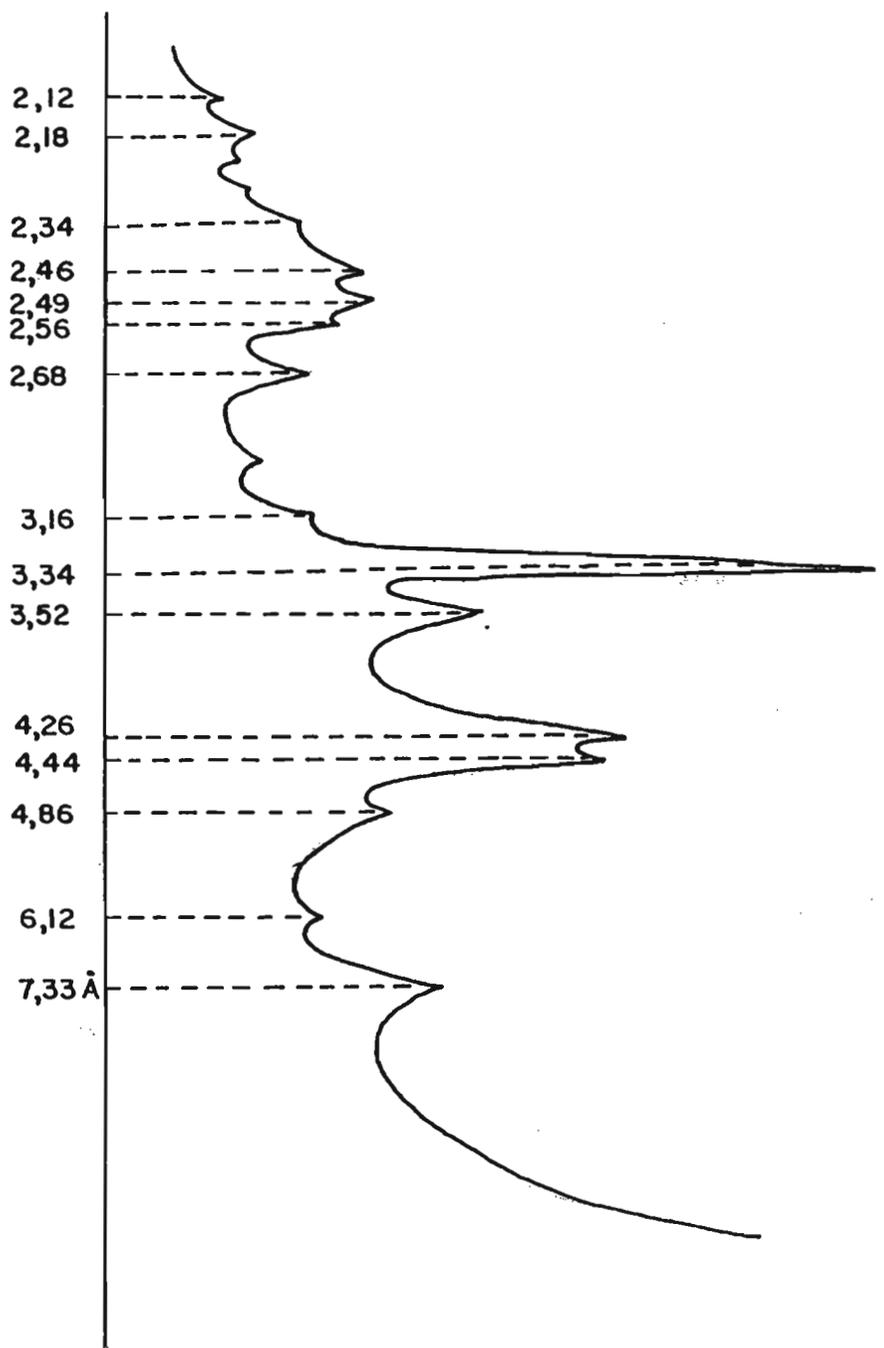
On peut constater d'après le tableau ci-dessus que les minéraux des sables et les minéraux argileux, qu'on trouve dans les résidus non carbonatés, sont les mêmes que ceux qui forment le sol. Il semble donc que ces sols sont formés par la dissolution des carbonates et par l'évolution in situ (pédoplasation) des résidus non carbonatés.

Pendant le Plioquaternaire, ces roches calcaires vont émerger définitivement et vont être soumises aux effets du climat. Il semble probable qu'à ce moment des changements climatiques se sont produits avec alternances de périodes humides et sèches, assez contrastées (N. Jimenez 1968), (Mayo et Kartashov 1972).

Figure 19

TED-6
EXTRAIT DE ROCHE





TED-10
EXTRAIT DE ROCHE

Figure 20

On prendra les résultats obtenus par Bosch (1978), sur différents profils, et on comparera les teneurs des sols formés sur calcaire, avec celles des sols formés sur un mélange de calcaire et de péridotites, et celles des sols formés directement sur péridotites. Les résultats sont rassemblés dans le tableau suivant :

Sol	Province	Ville	Roche	ppm des oxydes de		
				Cr ₂ O ₃	NiO	CoO
D-1 Ferrallit. Typique	Havane	Cataline de Güines	Calcaire dur	194	255	80
D-6 Ferrallit. Typique	Havane	Madruga	Calcaire dur	260	210	85
D-9 Ferrallit. Typique	Havane	Madruga	Calcaire dur	200	230	75
D-10 Ferrallit. Compact	Havane	Madruga	Calcaire dur	510	330	210
Ferrallit. Compact	Havane	Artemisa	Calcaire dur	620	310	140
Ferrallit. Typique	Matanzas	Limonar	Mélange calcaire + Péridotite.	6420	1780	170
TED-8 Ferrallit. Ferritique	Havane	Madruga	Péridotite	7000	4940	360
Ferrallit. Ferritique	Pinar del Rio	Bahia Honda	Péridotite.	27400	4880	990

Tableau 66 : Teneurs en oxydes de Cr, Ni et Co de sols ferrallitiques

On sait, d'après (Aubert et Pinta 1971), que ces oxydes s'accumulent relativement dans les sols.

Parmi les résultats obtenus, on peut observer que les sols sur calcaire, présentent des teneurs faibles en oxydes de chrome, de nickel et de cobalt ; de même, ces teneurs sont inférieures à celles trouvées par Lamouroux (1972), au Liban, dans des sols formés sur calcaire, où aucune influence des péridotites n'est possible.

Pendant les périodes humides, s'est produit une dissolution assez poussée des calcaires, libérant les résidus non carbonatés qui se sont accumulés sur place.

Une partie des résidus, en particulier les minéraux 2/1, vont être transformés en minéraux 1/1, tandis que les Kaolinites et les oxydes de fer et d'alumine vont s'accumuler relativement.

L'érosion prend le relais, pendant les périodes sèches, en amenant les produits érodés vers les parties les plus basses.

Le retour des conditions climatiques chaudes et humides qu'on observe aujourd'hui, favorise de nouveau la reprise de la dissolution et l'accumulation des résidus. On observe des produits de dissolution rouges, à l'intérieur de certains blocs de calcaire (photo). De plus on peut observer pendant la période sèche, au contact du sol et de la roche, une fine pellicule de quelques millimètres qui reste sur les agrégats du sol (photo). Cette pellicule est l'aboutissement d'un processus d'altération des roches carbonatées dures que Lamouroux (1972), a appelé "altération pelliculaire".

Pour avoir une idée, de l'importance des résidus non carbonatés, et de la vitesse de l'altération, dans la formation des sols ferrallitiques sur calcaire, on va reprendre les calculs faits par (Lamouroux 1967, Lamouroux et al 1968, Goldich et Bergquist 1945), cités par Camacho (1980). Il semble que 33,5 mètres de calcaires durs, avec un contenu en résidus de 2,24 % comme moyenne, soient suffisants pour donner 2,0 mètres de sol, et dans les conditions du Liban, il faudrait 300.000 à 500.000 ans pour former ces deux mètres de sol, Camacho (1980) s'est basé également sur les calculs faits par Corbel (1957), pour évaluer le temps nécessaire à la formation de 2 mètres de sol par la dissolution de calcaire. Il a trouvé, qu'il suffirait de 1 100 000 ans, pour dissoudre les 33,5 mètres de calcaire dur. En tenant compte du moment où ont définitivement émergé les calcaires, on s'aperçoit que le temps est suffisant pour avoir permis la dissolution du calcaire et la formation des sols.

On a fait également des analyses d'oxydes de chrome, de nickel et de cobalt, dans plusieurs profils, pour vérifier une possible influence des péridotites dans la formation de ces sols.

Dans les sols formés sur un mélange de calcaire et de péridotites, les valeurs sont plus fortes, mais intermédiaires entre celles des sols formés sur calcaire et celles des sols formés à partir de péridotites, où on constate une augmentation brutale de ces oxydes. Il paraît évident, que les sols formés directement sur calcaire n'ont pas reçu d'apports des péridotites.

CONCLUSION

Les sols ferrallitiques rouges typiques de la zone étudiée, sont formés après dissolution, sous un climat chaud et humide, des calcaires durs miocènes qui apportent les résidus non carbonatés sur lesquels agit la pédogenèse.

La dissolution se produit par le processus d'altération féliculaire (Lamouroux 1972), et la pellicule d'altération peut être observée pendant la période sèche.

Les résidus non carbonatés des roches, sont constitués de minéraux issus des roches métamorphiques.

Aucune influence des péridotites dans la formation de ces sols, n'a été observée.

5.2.4.2. LES SOLS FERRALLITIQUES COMPACTS

Les sols ferrallitiques rouges compacts, se développent essentiellement sur des roches calcaires dures du Miocène.

Ils ont un certain nombre de caractéristiques différentes de celles des sols ferrallitiques modaux ; ils présentent au moins un horizon compact, consistance ferme à l'état sec, densité apparente plus élevée, moins poreux, et drainage interne ralenti.

On constate dans le tableau 32, une réduction importante de la porosité pour l'air. De même, il se produit une microagrégation (tableau 33) qui peut être due à l'influence de sesquioxydes de fer et de calcium.

Dans les caractéristiques chimiques, on observe (tableau 34) qu'ils sont peu désaturés. Le calcium est le cation le plus important, il est apporté par la roche-mère calcaire, par apports latéraux, et aussi, il est également apporté par les eaux d'irrigation qui proviennent de la nappe phréatique située toujours sur des calcaires.

Les teneurs trouvées en fer libre et fer total (tableau), sont très semblables à celles des sols ferrallitiques modaux.

On observe que le rapport fer libre / fer total est toujours supérieur à 93,0 %. Ceci donne une idée de l'importance relative du fer libre dans ces sols.

En ce qui concerne les minéraux des sables et les minéraux argileux, ils sont donnés par le tableau suivant :

Profil	Minéraux des sables	Minéraux argileux
TED-4	Tourmaline, Andaloussite Staurotide, Zircon, Rutile, Disthène, Traces hornblende	Metahalloysite, Hematite Goethite, Gibbsite, Boehmite en profondeur
TED-14	Zircon, Staurotide Epidote, Grenat, Tourmaline, Disthène Hornblende.	Metahalloysite, Fire-Clay Gibbsite, Hematite, Goethite.

Tableau 67 : Minéraux des sables et minéraux argileux des sols ferrallitiques compacts.

Les minéraux des sables et les minéraux argileux, sont les mêmes que ceux observés dans les sols ferrallitiques modaux, mais il faut souligner que la metahalloysite devient le minéral argileux le plus important dans ces sols.

Pour les caractéristiques de ces sols, on est amené à penser qu'ils se sont formés d'une manière indentique à celle des sols ferrallitiques modaux, c'est à dire, par une dissolution de la roche calcaire, avec accumulation des résidus non carbonatés, sur lesquels a agit la pédogénèse pour former les sols.

Pour expliquer l'origine de la compactation qui présentent ces sols, on peut penser à plusieurs facteurs.

Tout d'abord, pour la compacité qui apparait parfois dans les horizons de surface, on pense qu'elle résulte essentiellement d'une utilisation intense des engins agricoles. Des travaux faits sur ces sols à Cuba par Agaponov et al (1976) et Fonseca et al (1979) ont montré cette influence.

Dans les horizons de profondeur, il semble que d'autres facteurs peuvent intervenir pour créer une compactation. Plusieurs auteurs ont fait état de l'influence de la granulométrie sur les propriétés physiques des sols, Faure (1971), de Blic (1976) etc.. Dernièrement Camacho (1980), a montré l'influence de la granulométrie sur la compactation de ces sols.

On peut citer de nombreux auteurs, Oades (1963), Segalen (1964), Agafonov (1968), Camacho (1980), entre autres, qui ont constaté l'influence du fer libre sur un certain nombre de caractéristiques physiques, dont la comparaison.

Récemment, Camacho (1980), a constaté que les facteurs qui interviennent sur la compactation des sols ferrallitiques rouges sont les suivants :

La nature des minéraux argileux (metahalloysite, fire-clay), la teneur plus élevée en sable et la répartition des formes de fer.

5.2.4.3. LES SOLS FERRALLITIQUES FAIBLEMENT DESATURÉS EN (B), TYPIQUES HYDROMORPHES.

Les sols ferrallitiques hydromorphes, correspondent à une topographie basse.

L'hydromorphie est un processus pédogénétique très général dans les sols. Elle affecte un grand nombre de types de sols, avec une intensité variable.

Dans les sols ferrallitiques, l'influence de l'hydromorphie se traduit par l'apparition de taches jaunes, grises etc., ou alors, quand elle devient plus importante, par l'apparition d'un horizon tacheté en profondeur.

Dans la zone étudiée, ces sols sont formés sur des roches calcaires durs et des matériaux provenant de l'érosion des hauteurs environnantes.

On se rend compte des apports reçus par ces sols, en regardant le contenu en sables, et surtout celui des sables grossiers, qu'on montre dans le tableau suivant :

Profil	Prof.	Sables Grossiers %	Sables Fins %
D-8	0-10	20,4	0,6
	20-30	17,4	0,9
	60-70	16,5	0
	110-120	26,3	0,6
	180-190	30,7	4,3
	240-250	11,7	8,9
TED-15	0-10	15,2	12,1
	20-30	15,0	13,4
	34-44	14,0	10,4
	75-85	16,6	13,4

Tableau 68 : Contenu en sables des sols ferrallitiques hydromorphes.

En général, la plupart des autres caractéristiques physiques sont semblables à celles des sols ferrallitiques modaux.

Dans les caractéristiques chimiques, on peut observer sur le tableau suivant :

Profil	Prof cm	p H		V %
		H ₂ O	ClK	
D-8	0-10	4,9	4,1	41
	20-30	5,2	4,6	77
	60-70	5,7	5,5	81
	110-120	5,5	5,3	92
	180-190	4,5	3,7	64
	240-250	4,4	3,6	51
TED-15	0-10	6,4	5,6	74
	20-30	6,2	5,4	81
	34-44	6,2	5,5	72
	75-85	5,5	4,7	55

Tableau 69 : Le pH et le degré de saturation de sols ferrallitiques hydromorphes.

Le pH est légèrement acide, à nettement acide, le degré de saturation dans les horizons de surface, est inférieure à celui des autres sols formés sur le calcaire, de la même sous-classe. La rochemère, dans les sols hydromorphes, est profonde, ceci limite la fourniture de calcium pour saturer le complexe, d'autre part, la texture sableuse favorise une élimination des bases et une augmentation de l'acidité dans le profil.

En ce qui concerne les teneurs en fer libre et en fer total dans ce type de sol, on peut observer dans le (tableau 42), qu'elles sont très semblables à celles des sols ferrallitiques modaux ; mais on constate que le rapport fer libre / fer total, est un peu plus faible, il ne dépasse pas 84,0 %. On observe l'influence du fer dans ces sols, par l'apparition de concrétions, de taches jaunes ou rouges dans l'horizon tacheté. La présence des hydroxydes de fer, peut être attribuée à divers phénomènes qui ont été étudiés par plusieurs auteurs : Martin (1966), Demolon et Bastisse (1944 a et b), Bachelier (1959), Beadle et Burgess (1955), Bosch (1973) etc..

On peut citer une simple ségrégation, sans apports extérieurs, sous l'influence des périodes d'imbibation par l'eau :

- apport de fer par une nappe phréatique fluctuante, à partir des horizons profonds.

- apport de fer verticalement ou obliquement ; ici, l'horizon tacheté, arrête le fer qui migre.

En ce qui concerne les minéraux des sables, on constate dans le (tableau 43), que les minéraux qu'on observe, sont les mêmes que ceux des sols ferrallitiques modaux.

Pour les minéraux argileux, le comportement est presque identique, sauf qu'on ne trouve pas de boehmite, et aussi que la goethite devient plus importante dans les sols ferrallitiques hydro-morphes.

On est amené à penser pour la formation de ces sols, un même processus que pour les sols ferrallitiques modaux, c'est à dire, à une dissolution des calcaires qui ont libéré les résidus non carbonatés. De même, on pense que les matériaux transportés qu'on trouve ici, proviennent également des zones des sols ferrallitiques.

La topographie a joué dans la formation de ces sols, un rôle particulier. Elle a permis l'installation d'une nappe perchée, qui va marquer la morphologie, déterminer la formation de taches, de concrétions ou d'un horizon tacheté. Parfois, cet horizon tacheté empêche l'évacuation des eaux de pluies, et il va se produire un engorgement pendant la période de pluie. Cet engorgement produit les taches jaunes, qu'on observe dans les horizons intermédiaires.

5.2.4.4. LES SOLS FERRALLITIQUES FAIBLEMENT DESATURÉS EN (B) FERRITIQUES.

Dans la zone étudiée, on trouve ces sols exclusivement sur des roches péridotitiques.

Ils ont été étudiés récemment à Cuba, par Baisre, Bosch et Camacho (1978), Gonzalez et al (1980), Bosch, Camacho et Segalen (1980).

Leurs caractéristiques particulières, leur confèrent une place intermédiaire, entre les sols dits Ferritiques de la classification cubaine (1979), qui ont plus de 50 % de sesquioxydes de fer, et les sols Ferrallitiques formés à partir de calcaires qui ne dépassent guère 18 % de sesquioxydes de fer.

Ils sont nettement moins argileux que les sols ferrallitiques modaux. Ceux-ci présentent des teneurs en argile qui peuvent varier entre 70 et 90 % ; tandis que dans les sols ferritiques, la valeur la plus forte observée, est de l'ordre de 50 %. La densité réelle est influencée par les oxydes de fer qui donnent des valeurs élevées comprises entre 2,86 et 2,91 g/cm³.

En ce qui concerne les caractéristiques chimiques, on observe tout d'abord un pH acide (5,7 à 6,1), avec une légère tendance à l'augmentation en profondeur. Le degré de saturation ne dépasse pas 70 %. Il faut souligner que les pH / eau, sont proches des valeurs de pH / KCl ; le A_{pH} , ($pH/KCl - pH/H_2O$) approche de -0,3. Ce qui est caractéristique de sols à forte teneurs en hydroxydes de fer et à faible teneurs en minéraux argileux.

L'analyse centésimale de la fraction argile, montre des teneurs en silice et alumine (21 et 19 %), respectivement, donc plus faibles que pour les sols ferrallitiques, tandis que le fer dépasse 42 %. Le rapport silice/alumine est inférieur à 1,9, ce qui indique la présence des minéraux argileux 1/1 et des hydroxydes d'aluminium.

Le contenu en fer total dans le sol varie de 22,8 à 26,6 % et le fer libre varie de 22,3 à 26,0 %. Ces valeurs représentent le double de celles de sols ferrallitiques modaux, formés sur calcaire dur. Le rapport fer libre / fer total est supérieur à 97 %.

On observe également, des teneurs en oxydes de chrome, de nickel et de cobalt, beaucoup plus fortes, que celles des sols ferrallitiques formés sur calcaire. C'est ainsi que l'on observe 7000 ppm d'oxyde de chrome, 4940 ppm d'oxyde de nickel et 360 ppm d'oxyde de cobalt, tandis que dans les sols ferrallitiques formés sur calcaire, les teneurs les plus élevées sont 35 fois inférieures pour l'oxyde de chrome, 19 fois inférieures pour l'oxyde de nickel et 4,5 fois inférieures pour l'oxyde de cobalt.

Dans les minéraux des sables des sols ferritiques, on observe des quantités importantes de quartz. On observe également, des spinelles, des hornblendes, de l'hématite et de la goethite ; des traces d'amphiboles sont présentes. Ces minéraux sont issus de la roche péridotitique.

Dans l'analyse faite au rayons X, sur la fraction inférieure à 2 μ , les constituants les plus importants sont l'hématite et la goethite. Dans les minéraux argileux de type 1/1, on observe la métahalloysite, ainsi que un peu de gibbsite et des traces d'interstratifiés vermiculite-chlorite ; le talc et le quartz peuvent être observés.

Ces sols sont formés par l'altération de la roche péridotitique. Cette altération évacue une grande partie de la silice et tout le magnésium. Une partie de la silice va se combiner avec l'aluminium pour donner les minéraux argileux, l'autre partie va précipiter sous forme de quartz, qui d'ailleurs est très important dans le profil. Le fer qui est en petite quantité dans l'olivine et l'hypersthène, par la suite de l'altération va être oxydé et précipité. Le contenu d'oxyde de fer va augmenter relativement dans le profil au fur et à mesure que la silice et le magnésium sont évacués.

Ces caractéristiques sont différentes de celles des sols ferrallitiques formés sur calcaire, et des sols ferritiques de la classification cubaine (1979, où les teneurs en oxydes sont encore plus élevées et les teneurs en minéraux argileux plus faibles. On a donc été amené à établir dans la sous-classe des sols ferrallitiques faiblement désaturés en (B), le groupe de sols ferritiques, pour tenir compte de cette position intermédiaire.

5.2.4.5. LES SOLS FERRALLITIQUES MOYENNEMENT DESATURÉS EN (B) LESSIVÉS, JAUNES.

Dans la zone étudiée, ces sols sont toujours situés dans la partie la plus basse de la topographie. L'hydromorphie va donc y jouer un rôle très important.

Ils se développent sur des matériaux argileux et argilo-sableux provenant de l'érosion des hauteurs environnantes.

Ces sols ferrallitiques moyennement désaturés en (B), lessivés jaunes, présentent des caractéristiques très différentes de celles des sols ferrallitiques formés sur calcaire.

Parmi les plus importantes, on peut citer : l'apparition de la couleur jaune, une plus forte désaturation, une acidité forte, la présence du lessivage, un concrétionnement important. Le profil est toujours marqué par l'hydromorphie avec des intensités variables.

On observe un certain nombre de caractéristiques physiques important.

La densité réelle est élevée (tableau 50), avec une légère augmentation en profondeur, différenciation qui peut être en relation avec la variation de la granulométrie et du contenu en sesquioxides de fer, Veredchenko (1968). La densité apparente, est également élevée, avec une augmentation dans les horizons intermédiaires. Ceci peut s'expliquer par l'accumulation d'argile dans ces horizons, consécutive à un lessivage.

La porosité pour l'air diminue brutalement à partir de l'horizon jaune, parallèlement à une humidité persistante.

En ce qui concerne la texture de ces sols, on observe dans le tableau suivant :

Profil	Prof cm	SG + SF	Argile
D-5	10-20	32,6	54,9
	32-42	19,1	72,2
	55-65	28,6	65,5
	90-100	26,6	65,6
	160-170	20,3	69,2
TED-18	0-10	34,5	50,0
	12-28	18,4	65,0
	35-45	19,5	55,5
	100-110	10,3	74,4
TED-5	0-10	32,4	49,7
	35-45	22,6	61,5
	60-70	30,4	53,6
	125-140	28,0	58,5
TED-13	0-10	35,2	45,6
	25-35	23,2	62,0
	50-60	22,6	63,2
	90-100	42,6	46,0
	160-180	32,0	56,0
TED-17	5-15	41,7	31,9
	27-37	48,8	40,6
	40-50	40,2	52,7
	110-120	35,8	47,2

Tableau 70 : Contenu en sable et argile, des sols ferrallitiques, lessivés.

Le contenu en sables est souvent élevé, donnant au sol une texture argilo-sableuse. Ces teneurs font penser à des apports importants de minéraux provenant des hauteurs environnantes, où on observe des grès calcaires.

Les argiles varient entre 31,0 et 74,0 %. Dans chaque profil, on observe un horizon B textural. Les conditions qui favorisent le processus de lessivage (désaturation du complexe absorbant et forte acidité), Leneuf (1966), sont présents dans ces sols. On observe des revêtements argileux autour des agrégats et un rapport des teneurs en argile de l'horizon A, sur celui de l'horizon B, égal et nettement supérieur à 1,3. On pense également que le fort contenu en sables, facilite le mouvement des argiles de l'horizon A, vers l'horizon d'accumulation.

La vitesse d'infiltration mesurée sur le terrain, peut atteindre 150 mm/heure, lorsqu'elle est stabilisée. On pense que cette forte infiltration est due à la texture argilo-sableuse des horizons de surface. Lorsque l'eau arrive aux horizons profonds, plus argileux, et moins poreux, va se produire un écoulement latéral des eaux, au-dessus de cette couche argileuse.

Une des caractéristiques de ces sols les plus importantes, est leur forte acidité (tableau 51). Le pH en eau varie de 5,8 à 4,4. Cette acidité, va permettre l'apparition d'aluminium échangeable, Segalen (1973). Elle augmente vers les horizons de profondeur.

Dans cette région, on applique des engrais ammoniacaux pour améliorer les rendements de la canne à sucre. L'ammonium va s'oxyder en nitrites et en nitrats, et va libérer des ions H^+ , qui s'échangent avec les ions Ca^{++} . Cette augmentation d'acide va favoriser l'apparition des ions Al^{+++} sur le complexe d'échange.

Contrairement aux autres sols ferrallitiques formés sur calcaire, saturés surtout par le calcium provenant de la roche sous-jacente ou des environs, dans les sols ferrallitiques lessivés jaunes, cette influence est limitée, et on observe des sommes de bases échangeables faibles (7,3 à 3,2 mé/100g). La capacité d'échange cationique varie de 15,6 à 7,9 mé/100g.

Le tableau 71 montre qu'il s'agit de sols moyennement désaturés, alors que tous les autres sols ferrallitiques formés sur calcaire, présentent un degré de saturation supérieur à 80 %.

Profil	Prof cm	pH		S mé /100g	T mé /100g	V %
		H ₂ O	ClK			
D-5	10-20	4,8	4,1	5,31	13,2	40
	32-42	5,0	4,1	4,92	10,3	47
	55-65	4,8	3,8	3,52	8,3	42
	90-100	4,5	3,6	3,63	9,5	38
	160-170	4,4	3,6	3,74	10,3	36
TED-18	0-10	5,2	4,3	5,37	12,5	43
	18-28	5,1	4,4	4,45	10,6	42
	35-45	5,2	4,3	3,26	7,90	41
	100-110	4,8	3,9	3,57	9,12	39
TED-5	0-10	5,3	4,5	7,14	15,62	45
	35-45	5,8	4,8	5,84	12,37	47
	60-70	4,9	4,4	4,99	9,25	53
	125-140	4,5	3,8	3,79	8,75	43
TED-17	5-15	5,2	4,3	6,37	13,0	49
	27-37	5,5	4,7	5,15	11,87	43
	40-50	5,1	4,6	5,08	10,37	48
	110-120	4,9	4,1			

Tableau 71 : Caractéristiques chimiques des sols ferrallitiques, moyennement désaturés, lessivés.

En ce qui concerne les constituants minéraux de ces sols, on observe des teneurs en oxydes de fer libre, qui varient de 10,0 à 16,0 % ; tandis que le fer total varie de 10,5 à 18,0 %. (Tableau 53) avec une tendance à migrer en profondeur, Segalen (1966), et à s'accumuler dans l'horizon situé à 2 mètres de profondeur (Profil D-5).

Il semble que des apports de fer puissent se faire, soit latéralement, soit par les eaux de la nappe. Ces accumulations de fer ont été signalées par plusieurs auteurs : D'HOORE (1954), MAIGNIN (1954, 1958, 1961), JACKSON et SHERMAN (1953), BACHELIER (1959) etc...

Les concrétions ferrugineuses sont toujours présentées, avec les pourcentages qui varient entre 5 et 40 %. Ces concrétions commencent à se former dans les horizons profonds, affectés par l'hydromorphie. On observe d'abord des taches rouges, plus ou moins durcies. Au fur et à mesure que l'on monte vers les horizons de surface, où l'oxygène pénètre plus facilement et oxyde le fer, des concrétions apparaissent dures.

Celles du profil D-5, ont été prélevées jusqu'à une profondeur de 3 mètres. L'analyse centésimale a été réalisée (tableau 55). Les teneurs en silice varient de 13,0 à 17,0 % et celles d'alumine de 12,0 à 20,0 %.

Les rapports silice / alumine sont compris entre 1,40 et 1,78 , ceci fait penser à la présence de minéraux argileux de type 1/1 qui s'associent aux oxydes. Cependant, ce sont les oxydes de fer qui prédominent, avec des teneurs comprises entre 39,0 et 53,0 %. Le contenu le plus élevé en fer de ces concrétions, est observé à 2 mètres de profondeur. C'est également à cette profondeur que l'on trouve dans la terre fine, les teneurs en oxydes de fer les plus élevés.

La composition de ces concrétions est très semblable à celle trouvée par Ségalen (1951-1956), dans des concrétions des sols ferrallitiques de Madagascar.

Pour l'accumulation en profondeur, on peut penser à une migration depuis la partie supérieure au profil, et à des apports latéraux et par la nappe phréatique, comme on l'a signalé précédemment.

Une autre caractéristique de ces sols, est leur couleur jaune. Le rôle que joue le fer sur la coloration du sol a été étudié par divers auteurs : Schaufelderger (1951) ; Kamoshita et Yamada (1966) ; Daniels et al (1960). Pour Ségalen (1966), les couleurs vives, rouges ou jaunes, sont dûes à ces oxydes ou hydroxydes ferriques. La couleur rouge est provoquée par la présence d'hématite, la couleur jaune à la goethite. Plus récemment, Ségalen (1969), Lamouroux (1972), confirment que la couleur du sol dépend surtout des formes cristallisées du fer.

Dans les sols étudiés, la goethite prédomine dans les horizons jaunes, et si l'hématite est présente, elle est moins abondante.

Pour ce qui est des oxydes de chrome, nickel et cobalt, on observe des teneurs beaucoup plus élevées, que dans les sols ferrallitiques formés sur calcaire. L'oxyde de chrome varie de 740 à 1190 ppm ; l'oxyde de nickel varie de 480 à 770 ppm ; et l'oxyde de cobalt varie de 230 à 670 ppm. Ceci amène à penser, à une possible influence des péridotites dans la formation de ces sols. On reviendra plus tard sur cette influence, en étudiant les minéraux des sables.

La composition minéralogique des sols ferrallitiques moyennement désaturés, lessivés, jaunes, a été étudiée par diffraction de rayons X, sur la fraction argile, et par des méthodes optiques sur la fraction sableuse, les résultats sont donnés par le tableau suivant :

Profil	Minéraux argileux (rayons X)	Minéraux des Sables
D-5	Métahalloysite, Goethite très peu de Gibbsite.	Quartz, Goethite, Ilmenite, Spinelles à la base du pro- fil sont présentes, Zircon Andalousite, Pyroxène.
TED-18	Métahalloysite, Fire-Clay Goethite, peu d'Hématite traces de Gibbsite	Quartz, Goethite, Ilmenite Spinnelle, Andalousite, Dis- thène, Staurotide, Tourma- line, grenat, épidote, ru- tile, traces de Feldspaths.
TED-5	Métahalloysite, Fire-Clay Goethite, Hématite, peu de Gibbsite	Quartz, Tourmaline, Stauro- tide, Zircon, Andalousite, Disthène, Epidote, Rutile, traces de Hornblende et pyroxènes.
TED-13	Métahalloysite, Fire-Clay Goethite, Hématite, traces de Gibbsite.	Quartz, Zircon, Epidote, Staurotide, Disthène, Anda- lousite, Hornblende, Spinel- le, Ilmenite, Pyroxènes.
TED-17	Métahalloysite Fire-Clay, Goethite Hématite, traces de Gibbsite.	Quartz, Spinnelle, Ilmenite, Disthène, Andalousite, Staurotide, Zircon, Tourma- line, Epidote, Hornblende.

Tableau 72 : Constituants minéraux des sols ferrallitiques, moyennement désaturés en (B), lessivés, jaunes.

Le minéral argileux qui prédomine, est la Métaballoysite, suivi par le Fire-Clay. Les oxydes et hydroxydes de fer et d'aluminium, sont représentés par la Goethite, très importante, l'Hématite en moindre quantité et des traces de Gibbsite. Il est important de souligner que ces minéraux ont été retrouvés également dans les sols ferrallitiques formés sur calcaire, et dans ceux formés sur péridotite.

Dans les sables, on observe des minéraux qui ont été trouvés aussi dans les sols formés à partir de péridotites, tels que spinelle, grenat et hornblende. On trouve également en abondance, les minéraux qui ont été observés dans les sols ferrallitiques formés sur calcaire et retrouvés dans les résidus non carbonatés de ces roches. On peut en citer un certain nombre, comme, la staurotite, le disthène, l'andalousite, la tourmaline, le zircon etc... Ceci permet de penser que ces sols sont formés à partir d'un mélange de matériaux érodés des hauteurs environnantes, où affleurent des calcaires variés et des péridotites.

Afin de proposer une explication de l'évolution de ces sols, il faut retenir les trois facteurs suivants qui déclenchent l'hydromorphie :

- Leur position topographique basse.
- La couche argileuse ou argilo-sableuse à partir de laquelle se sont formés ces sols, et qui peut atteindre une profondeur variant entre 3 et 15 mètres.
- Une nappe phréatique variable.

L'hydromorphie est un phénomène très courant et même très important dans ces sols. Cette hydromorphie est favorisée par la position topographique basse. Il va se former un horizon tacheté à la base du profil, sous l'action d'une nappe phréatique qui monte dans le profil, pendant la saison des pluies. Cette eau maintient l'horizon engorgé, condition essentielle invoquée par Martin (1966), pour qu'il puisse se former. Parfois cette nappe peut monter à quelques dizaines de centimètres de la surface pendant la saison des pluies.

La couche argileuse va limiter l'évacuation rapide de l'eau, et on peut observer l'influence d'un engorgement temporaire de surface produite par les eaux de pluie sur l'horizon Bt.

Cet horizon va prendre une couleur jaune, due aux formes cristallisées du fer, Segalen (1969). C'est l'hydratation liée à la goethite signalée par Lamouroux (1972). Par contre, en profondeur l'hydromorphie va aboutir à la formation d'un horizon tacheté, et à la formation des concrétions, comme cela a été signalé par Blume (1968) et Lamouroux (1972).

Il est intéressant de noter la présence des sables très fins, dans les canalicules de l'horizon tacheté. Harrison (1933) et Lévêque (1966), pensent que ces sables peuvent être dus à l'accumulation de silice et cristallisation du quartz.

CONCLUSION

Les sols ferrallitiques moyennement désaturés en (B), lessivés, jaunes de la zone étudiée, se sont formés à partir d'un mélange de matériaux provenant de péridotites et de résidus non carbonatés des calcaires, des hauteurs environnantes.

La désaturation du complexe absorbant, et une forte acidité du sol, ont favorisé la formation d'un horizon Bt. Cet horizon contribue à une hydratation de surface, et au développement de la couleur jaune du sol, tandis que l'hydromorphie est responsable de la formation de l'horizon tacheté, et de la formation des concrétions.

5.2.5. LES SOLS HYDROMORPHES MINÉRAUX OU PEU HUMIFÈRES À PSEUDOGLEY

Ils occupent une partie zone basse, où le drainage superficiel et interne sont très réduits.

La composition granulométrique est dominée par l'argile, avec des teneurs qui varient de 44 à 63 %, avec une augmentation forte en profondeur. Le contenu en sables est élevé, et varie de 25 à 41 %, avec une prédominance des sables grossiers.

On observe également dans les horizons de surface, des graviers de quartz, très semblables à ceux qu'on trouve dans les sols ferrallitiques formés sur péridotites. Ces graviers et le contenu élevé en sables, font penser à des apports des hauteurs voisines. Malgré la composition granulométrique relativement sableuse, le drainage est réduit, par suite de la présence d'une couche très argileuse en profondeur qui empêche la circulation de l'eau.

Le pH du sol analysé, est proche de 4,5, le degré de saturation varie de 62 à 73 %. Cette forte acidité a peut-être été augmentée par l'addition d'engrais ammoniacaux, destinés à améliorer la culture de canne à sucre.

Les minéraux argileux présents (Tableau 58), sont la montmorillonite et la métahalloysite, on observe également la goethite et le talc.

Dans l'analyse des sables (Tableau 60), on constate un mélange des minéraux trouvés dans les autres sols étudiés ; c'est à dire : quartz, traces de feldspaths, pyroxènes, hornblende, grenat, épidote, zircon, rutile et spinelle.

Les teneurs en oxydes de chrome, nickel et cobalt, (tableau 59) sont intermédiaires entre celles des sols ferrallitiques formés à partir de calcaire, et celles de sols ferrallitiques formés à partir de péridotites.

Après les résultats qu'on vient de discuter, il semble que ces sols se sont formés à partir de matériaux provenant des hauteurs environnantes, et sur lesquels, l'hydromorphie due à la présence d'une nappe phréatique peu profonde a agi. Il faut souligner que cette nappe, n'est pas permanente.

Pendant la saison des pluies, elle monte presque à la surface, et maintient les conditions réductrices dans le profil, pendant une période plus ou moins longue de l'année. Dans la période la plus sèche, cette nappe va descendre, permettant l'oxydation et en conséquences la formation de concrétions dans les horizons de surface.

5.3.LA REPARTITION DES SOLS

Après avoir fait la carte de sol, on a constaté une répartition des sols, déterminée fondamentalement par le matériau originel, et par la topographie. Parfois, d'autres facteurs comme l'érosion et l'hydromorphie ont joué un rôle sur la formation et la distribution des sols. C'est ainsi, qu'on observe que certains sols sont formés sur les hauteurs, "sols calcimagnésiques", que d'autres sont exclusifs de certaines hauteurs avec une roche-mère spécifique "sol ferrallitique ferritique sur péridotite". On trouve également des sols qui se forment sur les hauteurs ou dans la plaine, mais toujours sur le même type de roche-mère, comme c'est le cas des sols ferrallitiques modaux, sur calcaires miocènes durs. Enfin d'autres sont formés exclusivement dans la plaine : vertisols, sols ferrallitiques compacts, sols ferrallitiques hydromorphes, sols ferrallitiques lessivés, jaunes, et sols hydromorphes.

5.3.1.LES SOLS FORMES SUR LES HAUTEURS

Sur les hauteurs, la répartition des sols est assez nettement dépendante de la roche-mère.

- Sur les hauteurs les plus fortes, soulevées, plissées et faillées, (Sierra del Grillo et Sierra de Camarones), constituées de calcaires miocènes durs et organogènes, on trouve des sols ferrallitiques saturés modaux peu profonds, dans les petites zones planes.

- Dans les parties où il y a un mélange de calcaire dur et moyennement dur, ce sont les sols ferrallitiques riches en carbonate de calcium qui prédominent.

- Les sols ferrallitiques ferritiques sont limités aux hauteurs de la partie Sud, constituées par des péridotites. Ils sont souvent érodés et jamais très profonds (autour d'un mètre).

- Les sols calcimagnésiques se développent sur les autres hauteurs qui entourent la plaine, et qui sont constituées par des calcaires tendres, peu perméables, et surtout par des marnes, avec la disposition suivante :

- des rendzines se développent sur les parties les plus élevées des hauteurs, ou sur des pentes fortes. Ici l'érosion agit

fortement, produisant un rajeunissement constant du sol. Il en résulte un contenu en carbonate de calcium élevé et un sol peu profond.

- Des sols bruns calcaires sont situés sur les mêmes hauteurs, mais dans une position plus basse, avec des pentes moins prononcées que pour les rendzines. L'érosion y est aussi moins forte.

- Les sols bruns calciques s'observent sur une topographie encore plus basse, avec des pentes douces et toujours sur le même type de calcaire. Ici, l'érosion est faible et les sols sont alors plus profonds. On observe à la partie supérieure du profil, une décarbonatation poussée. De plus, en raison de l'abondance de la montmorillonite, on observe certains caractères des vertisols.

5.3.2.LES SOLS FORMES DANS LA PLAINE

Dans la plaine elle même, la répartition des sols est plus complexe. Il existe plusieurs types de sols, déterminés essentiellement par les variations du matériau originel, les variations du microrelief, l'influence de dépressions et aussi par les apports de matériaux provenant de l'extérieur de la plaine. C'est ainsi qu'on trouve les types de sols suivants:

- Les vertisols sont situés au milieu d'une zone occupée par des sols ferrallitiques. Ils correspondent à une petite frange disposée du Nord vers le Sud, le long du cours du Rio Américo.

La présence de ces sols dans cette zone, est provoquée par les apports des matériaux argileux, imperméables (riches en montmorillonite), provenant des hauteurs de calcaire tendre et de marnes convertis, de sols calcimagnésiques riches en ce minéral.

- Les sols ferrallitiques ont été différenciés en groupes, d'après les caractéristiques du matériau (constituants et perméabilité), et la position topographique:

- des sols ferrallitiques typiques modaux occupent la position topographique la plus élevée et la mieux drainée de tous les sols ferrallitiques. Ils sont toujours associés à des calcaires miocènes durs et perméables. Ils se situent tout près des hauteurs calcaires miocènes, ou dans une petite zone du centre de la plaine.

- des sols ferrallitiques typiques compacts sont associés d'une part aux sols ferrallitiques typiques modaux et d'autre part, aux sols ferrallitiques typiques hydromorphes.

On peut les observer parfois, en association avec les sols ferrallitiques lessivés jaunes. La topographie sur laquelle on les observe, est plus basse que celles des ferrallitiques modaux. On note un ralentissement du drainage interne, qui se traduit par la présence de taches à la base du profil.

- des sols ferrallitiques typiques hydromorphes sont associés aux sols ferrallitiques typiques compacts. Leur position topographique, est la plus basse de celle des autres sols de cette sous-classe. Ils sont situés presque toujours entre les sols ferrallitiques compacts et les sols ferrallitiques lessivés jaunes. Parfois, on les trouve dans des zones proches des dépressions. La position topographique et la présence de matériau originel peu perméable, ont permis à l'hydromorphie de jouer un rôle assez important sur la différenciation morphologique de ce groupe de sols. On peut observer différentes intensités d'hydromorphie, qui se traduit par la présence de taches jaunes ou brunes, dans le profil, parfois cette influence peut arriver jusqu'à 20-30 centimètres de la surface. Les concrétions ferrugineuses sont également toujours présentes, avec des contenus assez variables.

- des sols ferrallitiques lessivés jaunes. Les sols de cette sous-classe, sont différents des autres sols ferrallitiques. Ils sont les plus répandus dans la zone étudiée. Ils occupent presque tout le centre de la plaine, et sont associés aux sols ferrallitiques hydromorphes. La position topographique qu'ils occupent est la plus basse de l'ensemble de la zone. Ceci joint à la présence d'un matériau originel argileux ou argilo-sableux, peu perméable, permet à l'hydromorphie de marquer profondément la morphologie. La présence de petits lacs, est courante dans les zones où on observe ces sols. Les concrétions sont toujours présentes en quantités assez importantes (5 à 40 %).

- Les sols hydromorphes. Ces sols occupent une petite surface de la partie Sud de la plaine, proches des dépressions. Ils sont associés à des matériaux argileux imperméables, qui ont été apportés par des ruisseaux qui descendent des hauteurs voisines.

CONCLUSION :

La répartition des sols dans la zone étudiée, est en étroite relation avec la topographie, le type et la nature de la roche-mère. Le type et la perméabilité du matériau originel, apportés des hauteurs environnantes, conjointement avec l'hydromorphie, ont une influence sur la différenciation morphologique et le développement pédogénétique des sols de la plaine.

La présence des vertisols peu surprendre, ou milieu des sols ferrallitiques. Ils sont présents en raison de l'alternance saisonnière, en agissant sur des matériaux montmorillonitiques provenant des hauteurs voisines, constituées par des marnes et des calcaires tendres, riches en minéral argileux. La séquence des sols, la plus répandue, est la suivante :

Sols ferrallitiques ferrallitiques typiques modaux →
 ferrallitiques typiques compacts → ferrallitiques typiques
 hydromorphes → ferrallitiques lessivés jaunes (Fig. 21).

Sur les calcaires tendres on trouve :

Rendzines → brun calcaire → brun calcique → vertisol
 (Fig. 22).

Dans d'autres régions du pays, a été observée cette séquence de sols, Institut de Sols (1973), Camacho (1980).

5.4. COMPARAISON ENTRE LES SOLS FERRALLITIQUES TYPIQUES MODAUX, FORMES SUR CALCAIRE DU CENTRE DE LA PLAINE, ET CEUX FORMES SUR LES HAUTEURS CALCAIRES VOISINES.

Il existe un certain nombre de caractéristiques semblables entre ces sols, parmi lesquelles on peut citer :

- la couleur, elle est située dans la planche Munsell (2,5 YR), avec des intensités qui varient entre 3/6 et 4/6.
- une structure polyédrique moyenne fine.
- le contenu en concrétions inférieur à 5 %.
- une forte porosité.
- la friabilité
- la vitesse d'infiltration élevée, supérieure à 120 mm/heure.
- la présence de pseudosables qui dépassent 30 %.
- la stabilité structurale élevée au tamis sec ou tamis humide.

Ceci peut être en relation avec la présence de particules stables dues à l'effet du fer, sur certaines caractéristiques de l'argile (Pedro, Tissier et Chauvel 1966).

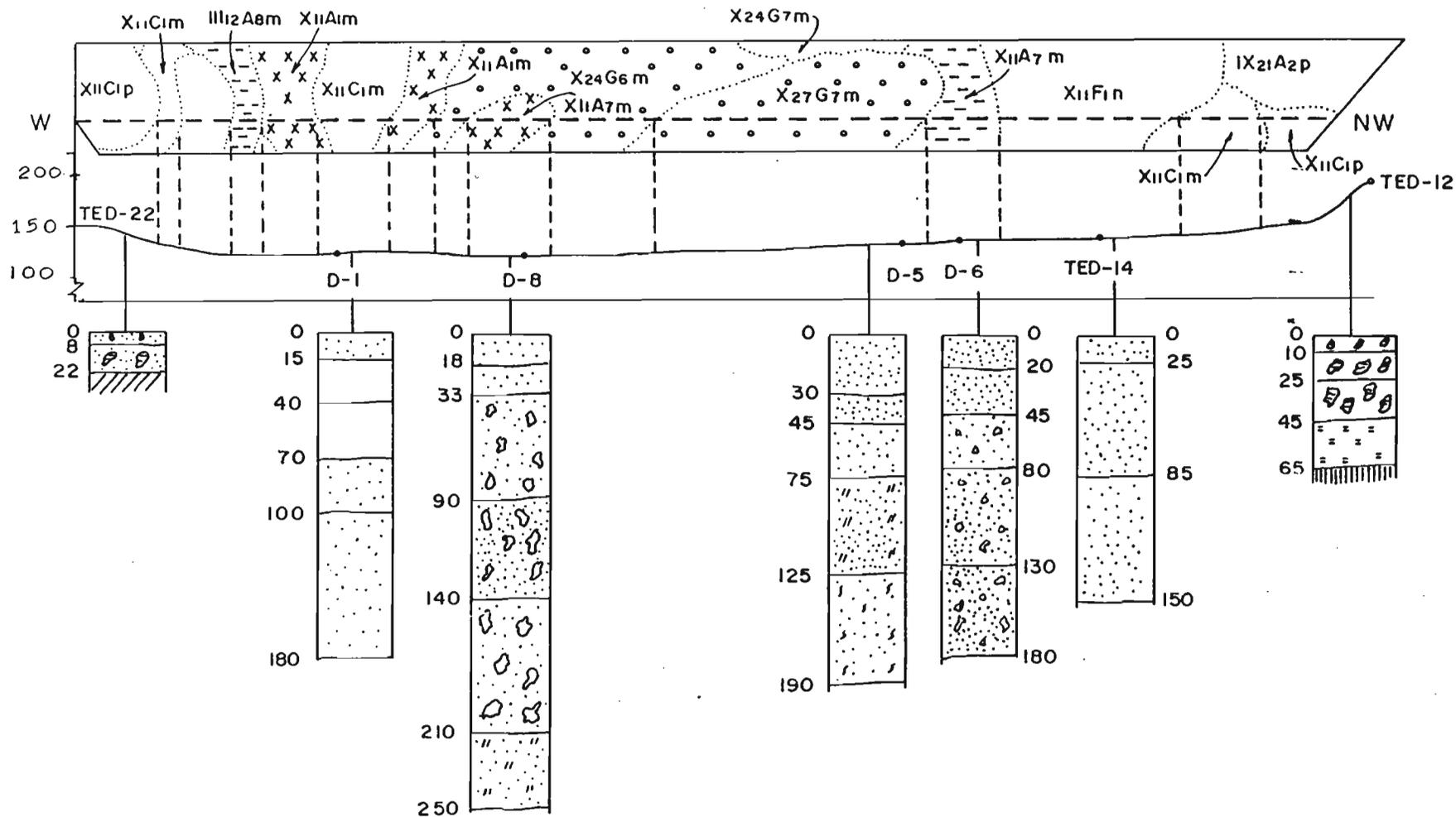
Cependant, un grand nombre de caractéristiques sont assez différentes. Parmi celles-ci, on peut observer :

Caractéristiques	Sols de la plaine	Sols des hauteurs
Profondeur	plus de 3 mètres	moins de 1,5 mètre
Densité réelle	2,80 à 2,88	2,67 à 2,73
Densité apparente	1,18 à 1,35	1,16 à 1,24
Acidité pH/H ₂ O	5,4 à 6,2	6,4 à 6,7
pH / KCl	4,6 à 5,7	5,5 à 5,9
Complexe absorbant meg / 100g Ca ⁺⁺	4,06 à 5,31	9,02 à 13,3
Somme de bases S	5,20 à 9,20	11,07 à 14,80
Cations échangeables T	6,02 à 12,41	12,25 à 15,66
Degré de saturation V%	inférieur à 90%	supérieur à 90%
SiO ₂ / Al ₂ O ₃	1,48 à 1,60	1,94 à 2,08
SiO ₂ / R ₂ O ₃	1,14 à 1,26	1,55 à 1,62

Tableau 73 : Différences entre les sols ferrallitiques de la plaine et des hauteurs.

TOPOSÉQUENCE DE SOLS

Figure 21

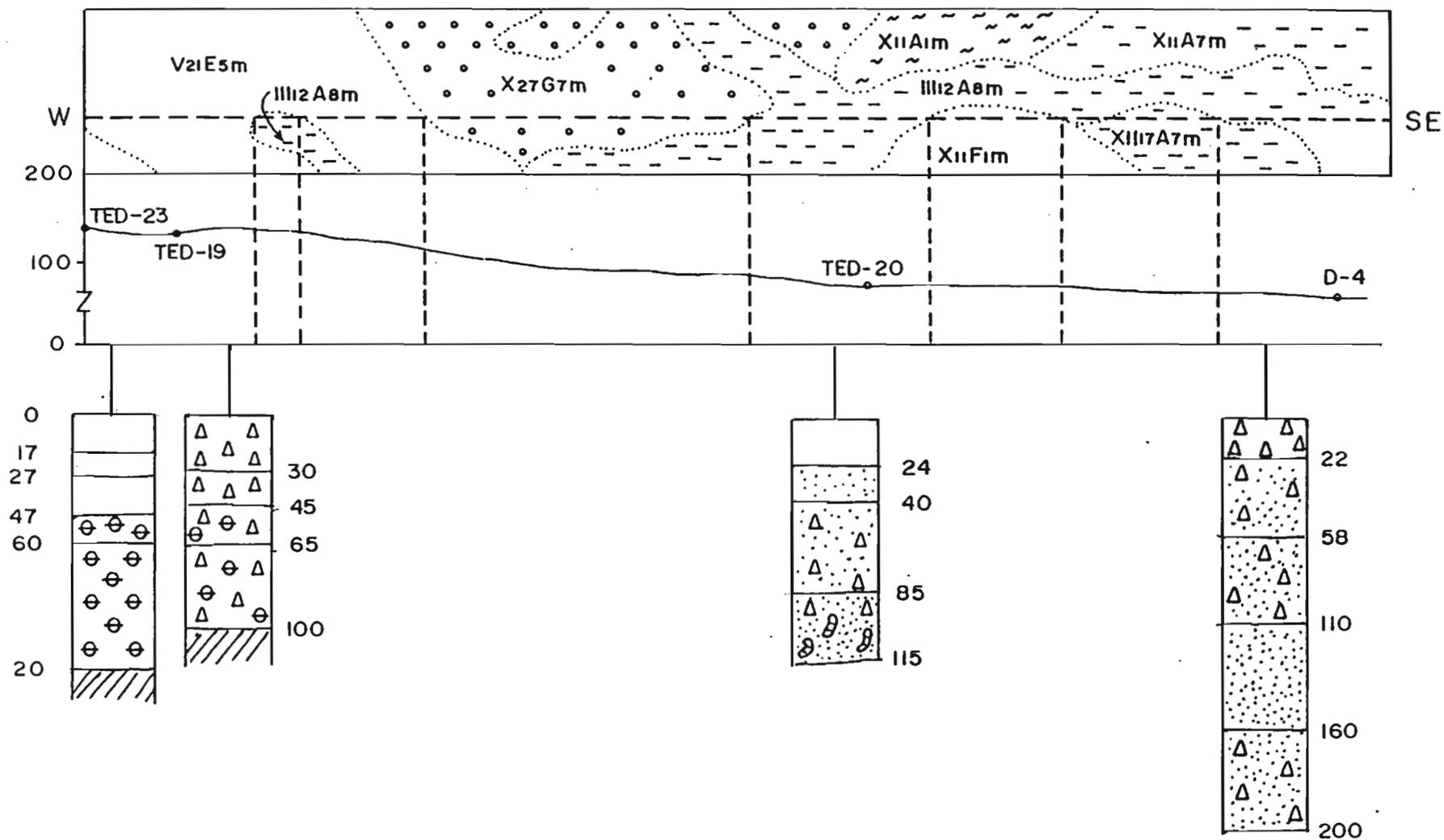


TED-22 Sol Ferrallitique faiblement désaturé en (B), typique, modal sur calcaire dur, peu profond. D-1 Sol ferrallitique faiblement désaturé en (B) typique, modal, sur calcaire, désaturé, profond. D-5 Sol Ferrallitique moyennement désaturé en (B) lessivé, jaune, sur matériau alluvial argilo-sableux et calcaire dur, profond, D-6 et D-8, Sol Ferrallitique, faiblement désaturé en (B), typique, hydromorphe sur matériaux transportés argilo-sableux et calcaire dur, profond. TED-14 Sol ferrallitique faiblement désaturé en (B) typique, modal sur calcaire dur, profond. TED-12, Sol Ferrallitique à réserve calcique et peu lessivé, modal sur calcaire dur et marne, peu profond.

° Forte hydromorphie (20-50 cm), -- Moyennement hydromorphe (50-100 cm), ∴ Concrétions, Ⓟ Gravier, Ⓝ Taches, // Horizon tacheté, // Pseudo gley, /// Calcaire dur, III Marne. = Zone d'altération. Echelle V 1:5000, H 1:50000

TOPOSEQUENCE DE SOLS

Figure 2.2



TED-19 et TED-23 Sols Calcimagnésiques saturés. Brun calciques, vertiques, sur marne et grés calcaire profond
 D-4 et TED-20 Vertisols à drainage externe nul ou réduit et à structure anguleuse, hydromorphes, sur matériaux alluvial argileux, profond.

⊕ Forte hydromorphie (20-50 cm), - - - Moyenne hydromorphie (50-100 cm), ∴ Concrétions, ⊕ Nodule de Co_3Ca ,
 //// Grés calcaire, Δ Graviers non calcaires, ⊕ Graviers calcaires, Echelle V:1:5000, H 1:50000

Sur les sols des hauteurs, la roche-mère calcaire, est peu profonde, moins de 1,50 mètre, parfois on trouve des blocs isolés de cette roche dans le profil.

La présence de calcaire à faible profondeur, va avoir une influence importante sur un certain nombre de caractéristiques chimiques. On observe sur le tableau suivant :

Sol	Profil	Prof cm	pH		Complexe absorbant mé/100g				V %
			H ₂ O	KCl	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	S	T	
Sol de la plaine	D-1	0-10	5,8	4,8	5,31	3,54	9,20	12,41	74
		20-30	5,4	4,6	4,78	2,28	7,25	9,36	77
		50-60	6,0	5,3	5,43	0,14	5,76	6,78	84
		85-95	5,9	5,6	5,31	0,51	6,00	6,98	85
		120-130	6,1	5,7	4,30	0,76	5,20	6,10	85
		170-180	6,2	5,6	4,06	1,00	5,21	6,02	86
Sol des hauteurs	TED-9	0-10	6,7	5,7	13,3	0,9	14,38	15,66	92
		25-35	6,3	5,3	11,55	0,31	12,11	13,12	92
		45-55	6,6	5,9	10,50	0,93	12,17	12,79	95
	TED-6	0-10	6,5	5,8	9,02	3,34	12,50	13,75	91
		30-40	6,4	5,7	9,22	1,47	11,07	12,25	90
		70-80	6,6	5,9	10,48	0,95	11,60	12,60	91
	TED-10	0-10	6,6	5,7	13,20	1,19	14,80	15,25	97
		30-40	6,4	5,5	11,88	0,99	13,04	14,37	91
		85-95	6,4	5,5	11,25	1,15	12,56	13,75	91

Tableau 74 : caractéristiques chimiques des sols ferrallitiques de la plaine et des hauteurs.

Le pH dans le sol de la plaine est acide, il varie de 5,4 à 6,2, avec une tendance à augmenter en profondeur, tandis que dans les sols des hauteurs, ces valeurs sont plus élevées (6,3 à 6,7). On observe également dans ces derniers sols, des teneurs en calcium qui varient de 9,02 à 13,3 mé/100g, tandis que dans le sol de la plaine, ces teneurs sont voisines de 5 mé/100g. La somme des bases échangeables et la capacité d'échange cationique, sont beaucoup plus élevées dans les sols des hauteurs, comme on peut le voir sur le tableau 74 .

Une autre différence assez importante, est celle qui concerne le degré de saturation : pour le sol de la plaine, il est inférieur à 86 %, valeur moyenne, tandis que dans les sols des hauteurs, il dépasse toujours 90 %.

Ces valeurs élevées sont liées au calcaire qui est situé à moins de 1,50 mètre de profondeur, et on observe même des blocs isolés dans le profil des sols des hauteurs. Ce calcaire va saturer le complexe absorbant de calcium. Dans les sols de la plaine, cette influence est limitée tout d'abord parce que la roche calcaire est située à plus de 3 mètres de profondeur. On sait également que dans la zone étudiée, il y a un fort développement du karst, favorisant les écoulements rapides vers la profondeur des solutions du sol.

Les constituants minéralogiques sont presque identiques dans les deux sols. Cependant il existe des différences importantes que l'on peut observer sur le tableau 75, ainsi la gibbsite est plus importante dans le sol de la plaine.

Sol	Profil	Prof cm	$\frac{\text{SiO}_2}{\text{R}_2\text{O}_3}$	$\frac{\text{SiO}_2}{\text{R}_2\text{O}_3}$	Minéraux argileux
Sol de la plaine	D-1	0-10	1,48	1,14	Métahalloysite
		20-30	1,55	1,21	Gibbsite
		50-60	1,56	1,22	Fire-Clay
		85-95	1,48	1,15	Hematite
		120-130	1,60	1,26	Goethite
		170-180	1,48	1,15	
Sol des hauteurs	TED-6	70-80	1,94	1,55	Métahalloysite
					Fire-Clay
	TED-10	25-35	1,98	1,59	Boehmite
		30-40	1,98	1,59	Hematite
	85-95	2,08	1,62	Gibbsite	
				Goethite	

Tableau 75 : Constituants minéraux des sols ferrallitiques de la plaine et des hauteurs

Le rapport silice / alumine et silice / sesquioxydes, sont plus faibles dans le sol de la plaine. On peut penser à une élimination plus forte de la silice, ainsi qu'une accumulation plus importante de sesquioxydes. Ceci peut peut-être s'expliquer par un degré d'évolution plus avancé de ces sols.

5.5. CLASSIFICATION DES SOLS

Dans ce travail a été utilisée comme base, la classification française CPCS (1967). Les sols ont été séparés en cartographie jusqu'au niveau de la phase.

On fera une corrélation entre la classification CPCS (1967), et la classification cubaine (1979). Egalement, on donnera à chaque sol, le nom correspondant à la classification F.A.O. et à la soil Taxonomy.

On évoquera de même, les difficultés rencontrées au moment de classer quelques sols, pour lesquels n'existe pas de place convenable dans la classification CPCS et dans la classification cubaine. Des propositions seront faites pour les harmoniser.

La classification cubaine comprend les niveaux suivants : groupement, type, sous-type, genre, espèce, et variété.

- le groupement : correspond à la classe de la classification CPCS.
- le type : correspond au groupe de la classification CPCS.
- Le sous-type : correspond au sous-grade de la classification CPCS.
- Le genre : est utilisé pour tenir compte des matériaux originels du degré de saturation, de la carbonatation, du degré de salinisation etc..
- La variété : tient compte de la texture du contenu en graviers et en pierres à la surface du sol.

On classera les sols jusqu'au sous-groupe dans la classification française et jusqu'au genre dans la classification cubaine.

Les sols décrits ont été les suivants :

5.5.1. VERTISOLS :

CPCS : (C1) vertisols, (S. C1), à drainage externe nul ou réduit, (gr) à structure anguleuse sur au moins les 15 cm supérieurs, (s.gr) hydromorphe.

Cubaine : (.Agrp) vertisoles (tipo) oscuro plastico gleyzoso (s. tipo) gris amarillento (genero) materiales deluviales arcillosos y arcillo-limosos.

FAO : vertisols chromiques.

Soil taxonomy : Chrom udert.

5.5.2.SOLS CALCIMAGNESIQUES

En ce qui concerne la classe de sols calcimagnésiques, deux sous-classes et trois groupes ont été décrits :

Dans la sous-classe de sols carbonatés on a décrit, le groupe des rendzines et le groupe des sols bruns calcaires. Dans la sous-classe de sols saturés on a décrit le groupe de sols bruns calciques.

5.5.2.1.RENDZINES

CPCS : (Cl): sols calcimagnésiques ; (s. cl.) ; carbonatés ;
(gr.) : rendzines ; (s.gr.) à très forte effervescence
(riches en calcaire actif).

Cubaine : (Agrp) : Humicos calcimorpicos ; (tipo) : rendzinas
negras ; (S. tipo) ; tipico ; (género) : carbonata-
do sobre marga.

F.A.O. : Rendzines

Soil taxonomy : Tpypic rendoll.

5.5.2.2.SOLS BRUNS CALCAIRES

CPCS : (Cl) sols calcimagnésiques ; (s. cl) : carbonatés ;
(gr) : bruns calcaires ;(s.gr) : modaux.

Cubaine : (Agrp) : Suelos pardos ; (tipo) : con carbonatos ;
(S.tipo) : típico ; (género) : sobre marga y
arenisca calcarea.

F.A.O. : Calcaric cambisol.

Soil Taxonomy : Eutrochrept.

5.5.2.3.SOLS BRUNS CALCIQUES

CPCS : (Cl) : sols calcimagnésiques ; (S. Cl) : saturés ;
(gr) : bruns calciques ; (s.gr) : a) épais
b) vertiques

Cubaine : (Agrp) : Suelos pardos ; (típo) : con carbonatos ;
 (S.tipo) : plastogénico ; (género) : carbonatado
 lavado, sobre marga y arenisca calcarea.

F.A.O. : Cambisol eutrique ou cambisol vertique

Soil Taxonomy : vertic eutropept.

Dans la classification française, on a été amené à créer dans ce groupe, le sous-groupe vertique, pour classer des sols qui présentent quelques caractéristiques vertiques, (fentes de retrait, présence dans les horizons profonds d'agrégats qui proviennent d'horizons de surface.

5.5.3.SOLS A SESQUIOXYDES DE FER

CPCS : (Cl) : sols à sesquioxydes de fer ; (s. cl) :
 fersiallitiques ; (gr) : à réserve calcique et peu
 lessivés ; (s. gr) : modaux.

Cubaine : (Agrp) : Fersialiticos ; (tipo) : pardo rojezo ;
 (S. tipo) : típico ; (género) : saturado, sobre
 caliza.

F.A.O. : Cambisol chromique

Soil taxonomy : Eutropept.

Pour classer ces sols dans la classification CPCS, on a rencontré quelques difficultés, dues à ce qu'ils contiennent dans la masse du sol, des graviers de clacaire qui donnent les taux assez élevés de Co_3Ca à l'acide chlorhydrique.

Ces sols présentent une couleur rouge, un mélange des minéraux argileux 1/1, et 2/1. Le contenu en fer libre est supérieur à 3% dans tout le profil. Le rapport fer libre / fer total est supérieur à 88 % dans les horizons A et (B).

On peut penser, que ces sols par leur contenu en carbonates appartiennent à la classe de sols calcimagnésiques. Mais, dans cette classe, il n'existe aucun groupe de sols carbonatés et rouges. On peut les considérer comme un intergrade entre les sols calcimagnésiques et les sols fersiallitiques, mais, ils sont plus proches de ces derniers.

La classification cubaine (1979), pour classer un sol comme fersiallitique, prend en compte les caractéristiques suivantes :

- Profil A (B) C, ABC ou ABL.
- Mélange des minéraux argileux 2/1 et 1/1.
- Accumulation de fer libre.
- Rapport $\text{SiO}_2 / \text{Al}_2\text{O}_3$ supérieur à 2, et $\text{SiO}_2 / \text{R}_2\text{O}_3$ autour de 2.
- Matière organique entre 3 et 5 %.
- Capacité d'échange cationique entre 20-45 me/100g.
- pH de neutre à légèrement acide.

On peut observer qu'il y a des caractéristiques qui ne sont pas limitées. En ce qui concerne le contenu de fer libre, on va ralentir à titre provisoire, plus de 3 % dans le sol ; des teneurs supérieures ont été trouvées dans d'autres sols fersiallitiques à Cuba par Camacho, Bosch et Paulin (1979), Bosch et al (1980).

Il semble nécessaire pour la classification cubaine de prévoir des sols fersiallitiques rouges, mais contenant du carbonate de calcium et faisant effervescence à l'acide chlorhydrique.

5.5.4.SOLS FERRALLITIQUES

5.5.4.1.SOLS FERRALLITIQUES FAIBLEMENT DESATURES EN (B)

CPCS : (Cl) : sols ferrallitiques ; (S. Cl.) faiblement désaturés en (B) ; (gr) : a) typique, b) ferritiques ; (S.gr) : modaux, hydromorphes, compacts.

Cubaine : (Agrp) : Ferralíticos ; (tipo) : rojo ; (s.tipo) : típicos ; compactos ; hidratados ; ferríticos ; (género) : sobre caliza y sobre peridotitas.

5.5.4.2.SOLS FERRALLITIQUES MOYENNEMENT DESATURES EN (B)

CPCS : (Cl) : sols ferrallitiques ; (S.Cl) : moyennement désaturés en (B) ; (gr) : lessivés ; (s.gr) : jaunes et hydromorphes.

Cubaine : (Agrp) : Ferralíticos ; (tipo) : amarillento lixiviado ; (s.tipo) : típicos ; (género) : desaturado, sobre materiales transportados y caliza.

D'une manière générale, les sols ferrallitiques de Cuba, correspondent dans la légende FAO aux : Ferralsols ocriques ou Acrisols ferriques.

Dans la soil taxonomy : Eutrorthox ou tropudult.

En ce qui concerne la situation de plusieurs sols dans la classification CPCS, des difficultés ont été rencontrées. Ainsi, il n'existe pas de sols ferritiques dans la classe de sols ferrallitiques. On peut observer dans la description du profil TED-8, ainsi que sur les tableaux de propriétés physiques, chimiques et minéralogiques, des caractéristiques différentes de celles des sols ferrallitiques formés sur calcaire. On peut citer parmi les plus importantes, une teneur en oxydes de fer, qui est le double de celle des autres sols ferrallitiques, (22 à 26 %). Le contenu en minéraux argileux est corrélativement moins important que dans ces derniers. Cependant, ce contenu en oxydes de fer est encore loin de celui proposé par la classification cubaine, pour les sols du groupement des sols ferritiques, qui doivent contenir plus de 50 % en oxydes de fer. Ces sols représentent un intergrade entre les sols du groupement ferritique et celui des sols ferrallitiques de la classification cubaine. On a été amené à proposer dans la sous-classe des sols ferrallitiques faiblement désaturés en (B), de la classification CPCS, le groupe ferritique.

Il faut également établir dans le groupement des sols ferrallitiques de la classification cubaine, le sous-type ferritique.

Il existe d'autres sols ferrallitiques, difficiles à ranger dans la classification CPCS (1967). Ces sols présentent entre autres, les caractéristiques suivantes :

- pH entre 6,5 et 7,0.
- Somme de bases échangeables (S), supérieure à 10 me/100g.
- Degré de saturation (V), supérieur à 90 %.

La sous-classe plus proche de ces sols, est celle des sols ferrallitiques faiblement désaturés en (B). Mais il faut tenir compte pour cette sous-classe, des limites suivantes :

- pH 5,5 à 6,5.
- Somme de bases échangeables de 2 à 8 me/100g.
- Degré de saturation de 40-70 %, qui parfois peut monter jusqu'à près de 80 %.

On peut observer qu'il s'agit de sols avec des caractéristiques assez différentes. Il est suggéré de créer une nouvelle sous-classe pour eux, celle des "sols ferrallitiques non désaturés".

Dans la classification cubaine existe également un problème de degré de saturation, que ne comprend que deux niveaux :

- des sols saturés, qui présentent un degré de saturation supérieur à 75 %.
- des sols désaturés qui présentent moins de 75 %.

On a pu constater une variabilité assez importante du degré de saturation dans la zone étudiée, pour la plus part des sols, par exemple :

- Sols calcimagnésiques ; degré de saturation supérieur à 96%.
- Sols fersialliques : supérieur à 96 %.
- Sols ferrallitiques modaux : supérieur à 90 % et entre 74 % et 86 %.
- Sols ferrallitiques compacts : entre 62 % et 76 %.
- Sols hydromorphes : entre 61 et 70 %.
- Sols ferrallitiques moyennement désaturés et lessivés : entre 39 et 47 %.

Il semble nécessaire dans cette classification d'établir des limites plus précises pour définir le degré de saturation.

5.5.5.SOLS HYDROMORPHES

CPCS : (Cl) : sols hydromorphes ; (S.cl) : minéraux ou peu humifères ; (gr) : à pseudogley ; (s.gr) : à nappe perchée.

Dans le "*Agrupamiento*" des sols hydromorphes de la classification cubaine, n'existe pas un type dans lequel on peut les classer. Il est suggéré de créer un nouveau type qui peut être, celui des sols "*hidromorficos poco humificado con pseudogley*".

FAO : Gleysols eutriques.

Soil taxonomy : Tropaquept.

CONCLUSION :

On a pu constater, que dans la zone étudiée, il existe des sols difficiles à classer dans le système français CPCS (1967) et dans la classification cubaine (1979).

Ceci nous a amené, en tenant compte de leurs caractéristiques, de suggérer de nouveaux sous-classes, groupes et sous-groupes, pour la classification française ; tandis que des types et sous-types sont proposés pour la classification cubaine. De même on retient une teneur en fer libre, supérieure à 3 % dans les sols fersiallitiques sur calcaire.

Il paraît nécessaire pour la classification cubaine, d'établir des limites pour le contenu en carbonates dans les sols fersiallitiques formés sur calcaire.

Il semble que les limites actuelles pour le degré de saturation (supérieur à 75 % et inférieur à 75 %), doivent être réexaminées.

5.6.UTILISATION DES SOLS

Dans la zone étudiée, on observe un certain nombre de caractéristiques assez importantes, qui permettent un développement intense de l'Agriculture ; on peut citer en autres : une topographie plane, qui favorise la mécanisation des cultures, une réserve en eau très importante qui assure l'irrigation pendant les périodes sèches, et la présence de sols productifs.

Ce sont les caractéristiques qui ont permis un développement intense de la culture de la canne à sucre, avec trois sucreries dont la capacité de production est de 1.380.000 t de canne à sucre, pendant une période de 130 jours de récolte.

Cependant, il existe d'autres caractéristiques qui limitent les rendements des cultures dans la plaine. On peut citer l'hydromorphie qui affecte une surface assez importante et une forte acidité dans certains sols.

Sur les hauteurs qui entourent la plaine, ce sont les phénomènes d'érosion dont il faut tenir compte.

On discutera sur les caractéristiques qui peuvent limiter l'utilisation de chaque type de sols, et quelques recommandations seront faites.

5.6.1.LES VERTISOLS

Ce sont des sols souvent riches sur le plan chimique. Cependant, ils présentent des mauvaises propriétés physiques, parmi lesquelles on peut citer : une structure en gros blocs prismatiques à l'état sec, et massive à l'état humide, très plastiques avec une prédominance de micropores, une vitesse d'infiltration très faible, il faut ajouter une position topographique basse et un mauvais drainage interne et superficiel. Tous ces caractères et propriétés limitent leur possibilité d'utilisation.

Dans la zone étudiée, ils sont cultivés en canne à sucre et en riz sur des petites zones. Le développement le plus important du système racinaire de la canne à sucre dans ces sols, va se produire jusqu'à 50 cm de profondeur. Pendant la période des pluies, des conditions d'humidité excessives se produisent et affectent fortement le

système racinaire de cette culture. Ceci a été observé par Berkeley (1944).

Cependant, pendant la période sèche, le sol va se dessécher, et des fentes de retrait vont apparaître, la plante va être affectée par un manque d'eau. C'est alors que s'impose l'irrigation. Celle-ci devra être calculée jusqu'à une profondeur de 50 cm (profondeur du développement maximal du système racinaire de la canne à sucre dans ces sols), avec une norme d'eau de 650 m³/ha.

Agafonov et al (1978), suggère qu'au moment de planter la canne à sucre, après la récolte, l'irrigation soit calculée jusqu'à la profondeur des fentes, c'est à dire entre 1 et 1,50 mètre. Les normes d'irrigation sont alors comprises entre 1500 à 2000 m³/ha d'eau. Le même auteur a constaté que l'irrigation sur cette culture dans les vertisols augmente les rendements de 30 à 50 %.

Pour améliorer les propriétés physiques de ces sols, il semble utile de recourir aux engrais verts, ceci a été observé par Denisov (1971), dans des vertisols d'Afrique. Il faut souligner que ces sols ne doivent pas être labourés quand ils sont secs, (les labours sont difficiles et font apparaître de gros blocs etc), ni quand ils sont très humides (les engins agricoles vont dégrader les propriétés physiques).

Pour améliorer ces sols, et en conséquence pouvoir les utiliser plus efficacement, il est suggéré d'établir un système de drainage, qui éliminera l'eau excédentaire. Pendant la saison sèche, on devra procéder à des irrigations contrôlées, et les sols doivent être labourés à l'humidité la plus favorable. Si l'on prend de telles précautions, la canne à sucre peut donner de bons rendements.

5.6.2.LES SOLS CALCIMAGNESIQUES

Ces sols présentent des caractéristiques chimiques et physiques convenables pour diverses cultures. Cependant, ils sont situés dans une position topographique qui favorise le développement de l'érosion. Dans la zone étudiée, on a pu observer, avec des rendzines cultivées en maïs, manioc etc, et fréquemment labourés, l'apparition en surface d'un horizon blanchi par les carbonates de calcium, provenant des horizons plus profonds.

Ici, une grande partie de l'horizon A, a été éliminée par l'érosion. Il est évident que ces sols doivent être cultivés de façon à lutter contre l'érosion.

On peut suggérer le maintien du pâturage avec *Digitaria decumbens*. Cette graminée développe un système racinaire dense, qui empêche l'érosion.

Pour l'utilisation de ces sols pour d'autres cultures, telles que maïs, manioc etc, il est conseillé de labourer perpendiculairement à la pente. Ceci peut limiter un peu les effets de l'érosion. Les plantations doivent être effectuées avant la saison des pluies, pour éviter que pendant cette période, le sol reste labouré et sans protection contre l'érosion.

5.6.3.LES SOLS FERSIALLITIQUES

L'utilisation de ces sols dans la zone étudiée, va être fortement limitée par la topographie, la faible profondeur, et les blocs de calcaire présents en surface. Actuellement la plupart de ces sols sont occupés par une végétation arbustive secondaire, et de petites surfaces sont consacrées au pâturage (*Digitaria decumbens*). La protection de ces sols contre l'érosion doit être poursuivie. Sur les zones plus élevées on peut planter des espèces comme le *Cedrela mexicana*. Dans les zones moins élevées, on peut maintenir le pâturage avec la *Digitaria decumbens*.

5.6.4.LES SOLS FERRALLITIQUES

5.6.4.1.LES SOLS FERRALLITIQUES MODAUX

Parmi les sols les plus productifs de Cuba, il faut citer les sols ferrallitiques modaux.

Ils présentent un certain nombre de caractères et de propriétés favorables au développement intense de l'Agriculture. On peut citer une topographie plane, une grande réserve en eau, alimentée par une nappe phréatique, qui chaque fois s'enrichit par les pluies qui pénètrent en profondeur dans les zones karstiques.

Le complexe absorbant est saturé. Le contenu en argile est élevé (plus de 70 %). En outre, ils sont bien structurés, très poreux, et très perméables, (24 heures après une averse, ils peuvent être labourés sans difficulté). Malgré ces bonnes caractéristiques, pendant la période sèche, il se produit un manque d'eau pour les cultures. Il faut alors irriguer. Si on tient compte que dans la zone étudiée, il s'agit de canne à sucre, on peut calculer une norme d'irrigation jusqu'à 50 cm de profondeur, soit entre 488 à 551 m³/ha pour amener la capacité au champ à 75 %. Si on fait l'irrigation jusqu'à 1 mètre, la quantité d'eau sera alors de 1000 m³/ha.

En ce qui concerne les propriétés chimiques de ces sols, et en particulier des sols ferrallitiques modaux du centre de la plaine, divers problèmes peuvent apparaître. On observe déjà un pH acide.

D'après les travaux Chan et Chu (1961), Pratt et al (1969), Dabin (1971) etc... On sait au pH inférieur à 6, le phosphore a tendance à se combiner avec le fer, et à être moins disponibles pour les plantes. De même, des travaux fait à Cuba sur ces sols, par Vantour et al (1980), Matos et al (1980), ont montré que les formes de phosphates qui prédominent sont celles liées au fer, avec des teneurs qui varient entre 40 et 73 % du phosphate total du sol. Ceci fait penser à la nécessité d'appliquer des engrais phosphatés. Cependant, Matos et al (1980), ont observé que 74 à 91 % du phosphore appliqué sous forme de superphosphate, vont être fixés par le sol. La nature, la quantité et les périodes d'application du phosphore dans ces sols, pour éviter la fixation, restent à trouver.

Plusieurs auteurs ont constaté des améliorations de rendements sur diverses cultures tropicales (maïs, manioc, bananier etc..) en relevant le pH du sol : Dabin (1956), Champion et al (1958), Dabin et Leneuf (1960), Bayer (1978). Ces auteurs suggèrent le chaulage dans ces sols acides. Medina (1980) a constaté que l'application de carbonates de calcium améliorerait le pH et le complexe absorbant, cependant, il n'a pas été observé d'augmentation dans les rendements de la canne à sucre.

Les principales mesures à retenir pour ces sols sont :

- L'irrigation pendant les périodes sèches.
- L'amélioration du pH dans les sols acides du centre de la plaine.

- Garantir aux plantes une quantité suffisante de phosphore assimilable.

On peut alors pratiquer les cultures suivantes : canne à sucre, légumes, agrumes, bananes etc...

5.6.4.2.LES SOLS FERRALLITIQUES COMPACTS

Dans ces sols la compacité va limiter le développement des cultures, il faut alors faire des labours profonds, comme l'a proposé Camacho (1980), tandis que l'irrigation pendant les périodes sèches, semble nécessaire. On peut établir les mêmes cultures que dans les sols ferrallitiques modaux.

5.6.4.3.LES SOLS FERRALLITIQUES HYDROMORPHES

Pour ce sols, le facteur qui limite l'utilisation est l'hydromorphie, et parfois l'acidité. L'hydromorphie présente divers degrés d'intensité, parfois les excès d'eau se font sentir à quelques dizaines de centimètres de la surface, on observe alors des rendements en canne à sucre inférieurs à ceux obtenus sur les sols ferrallitiques modaux. La mise en place d'un système de drainage est alors conseillée. Pour améliorer les effets de l'acidité, les mesures dans le cas des sols ferrallitiques modaux et dans les sols ferrallitiques lessivés jaunes, restent valables. Les cultures les plus couramment pratiquées sur ces sols sont la canne à sucre et les légumes.

5.6.4.4.LES SOLS FERRALLITIQUES FERRITIQUES

Ces sols moins productifs que les sols ferrallitiques modaux, car ils sont affectés par l'érosion. On a pu constater dans la zone étudiée que l'Eucalyptus sp, se développe assez bien dans les parties où le sol est moins affecté par l'érosion et en conséquence plus profond. On peut également penser à la culture des caféiers.

5.6.5. LES SOLS FERRALLITIQUES MOYENNEMENT DESATURES EN (B), LESSIVES JAUNES

Ces sols présentent un certain nombre de caractéristiques qui empêchent un développement normal des cultures. On peut citer : une forte acidité, une hydromorphie assez forte, qui parfois arrive à quelques dizaines de centimètres de la surface, la présence d'abondantes concrétions etc...

Dans la zone étudiée, et sur ces sols, on observe que la canne à sucre se développe plus difficilement que dans les autres sols ferrallitiques.

Ce faible développement de la canne à sucre peut être dû à divers facteurs :

- à l'hydromorphie : pendant la périodes des pluies, le système racinaire va être affecté par un excès d'humidité, d'où un mauvais développement de la plante.
- au pH très acide (inférieur à 5) : avec de tels pH, l'apparition de l'ion aluminium toxique pour les plantes est très probable, ce qui a été signalé par Kamprath (1972), Ségalen (1973), Bayer (1976). Dans ces sols Medina (1979), a observé que l'application de carbonate de calcium, augmente le pH, le degré de saturation etc.. mais, non le rendement de la canne à sucre. Ce même auteur, suggère de ne pas appliquer de carbonate de calcium dans les sols cultivés en canne à sucre, quand ils ont moins de 1 mé/100g d'aluminium échangeable. L'influence d'un pH acide sur les rendements d'autres cultures tropicales, ainsi, que la fixation du phosphore par le fer ont été déjà évoqués à propos des sols ferrallitiques modaux du centre de la plaine.

Pour améliorer les propriétés physiques et chimiques de ces sols, il faut procéder aux travaux suivants :

- établir un système de drainage qui permette l'évacuation de l'eau excédentaire.
- faire des applications de carbonate de calcium pour relever le pH.
- réaliser des labours profonds.

Après de tels aménagements, la canne à sucre peut continuer à se cultiver.

5.6.6.LES SOLS HYDROMORPHES

Ces sols présentent une forte hydromorphie et aussi un pH acide, (autour de 5). Ils sont également cultivés en canne à sucre. Il est évident que pour améliorer cette culture dans ces sols, il sera indispensable de mettre en place un système de drainage, qui assurera l'élimination de l'excès d'eau.

Des mesures pour relever le pH doivent être prises. Cependant, Paneque (1977), a observé que l'application de carbonate de calcium améliore les propriétés physiques et chimiques de ces sols, mais non les rendements de la canne à sucre. Le même auteur a constaté que l'application de 240 t /ha de bajasses fraîches ou de planter la canne à sucre, produit des rendements élevés.

CONCLUSION

La zone étudiée est presque entièrement cultivée en canne à sucre, dont la production est sous la dépendance du type de sols.

Pour améliorer les propriétés physiques et chimiques des divers sols, ainsi que pour obtenir des productions plus élevées, il faudra prendre les précautions suivantes :

- Implantation des systèmes de drainage.
- Application de carbonate de calcium pour augmenter le pH.
- Labours profonds.
- Implantation de certaines espèces végétales permettant de limiter l'érosion.
- Irrigation pendant la période sèche.
- Applications plus équilibrées des doses d'engrais chimiques et en particulier du sulfate d'ammonium.

6 CONCLUSIONS GENERALES

L'étude présentée dans cette thèse a permis de dégager un certain nombre d'observations et de formuler des hypothèses. Celles-ci prennent en compte les influences de différents facteurs, tels que géomorphologie, roche-mère, topographie et hydromorphie, sur la formation, la genèse et la répartition des sols dans la zone étudiée. Les questions de classification et d'utilisation de ces sols ont également été traitées.

La zone étudiée est formée par une plaine dont l'altitude varie de 80 à 120 mètres, et par des hauteurs environnantes qui peuvent atteindre 300 mètres. Dans cette plaine, les formes karstiques sont fortement développées : dolines, lacs temporaires, mogotes etc... Ces formes karstiques témoignent d'une forte dissolution de calcaires, qui constituent le soubassement géologique de la plaine. Suite à cette dissolution, les résidus non carbonatés des roches, se sont accumulés, et ont constitué des sols sous l'influence des processus de pédogenèse.

L'étude des minéraux des roches et la comparaison avec ceux des sols, ont permis de mettre en évidence l'influence des roches-mères, sur la formation des sols. Ainsi, les sols calcimagnésiques sont toujours formés à partir de calcaires tendres, de marnes ou de grès calcaires. Les vertisols sont formés à partir d'apports de matériaux provenant des sols calcimagnésiques, riches en minéraux argileux de type 2/1, en particulier montmorillonitiques. Les sols fersiallitiques se forment à partir des calcaires moyennement durs.

Dans la zone étudiée, les sols ferrallitiques formés sur calcaire, sont les plus répandus, aussi avons nous insisté sur ces sols en tentant d'expliquer leur genèse, par comparaison des minéraux constitutifs des sols, et des résidus non carbonatés des roches. Ainsi, des minéraux issus de roches métamorphiques (staurotide, disthène, andalousite, tourmaline, zircon etc...), des minéraux argileux de type 1/1 et des oxydes de fer et d'alumine, sont présents des points de vue qualitatifs et quantitatifs dans les matériaux comparés. Seuls les minéraux argileux 2/1, constituants des roches, ont subi des transformations dans les sols.

Par ailleurs, l'étude d'oxydes de chrome, nickel et cobalt, ne permet pas d'établir des liens, comme certains le pensent, entre ces sols et les massifs de péridotite de la zone. Par contre, sur péridotite, ont été observés des "sols ferritiques", dont le contenu en oxydes de fer est double de celui des sols ferrallitiques modaux.

Une catégorie de sols ferrallitiques: "les sols moyennement désaturés en (B), lessivés, jaunes", ont fait l'objet d'une étude poussée. Ces sols occupent une surface importante de la plaine, et sont situés sur une topographie basse, favorisant l'hydromorphie.

Ces sols présentent un certain nombre de caractéristiques différentes de celles des autres sols ferrallitiques. On peut citer entre autres : une couleur jaune, un pH très acide, un lessivage important etc... C'est au cours du Plioquaternaire, que les variations climatiques ont favorisé la mise en place dans la plaine, de matériaux variés sur lesquels se sont formés ces sols ferrallitiques lessivés, et jaunes. L'étude des minéraux des sables met en évidence les origines variées des matériaux de ces sols : spinelle et hornblendes viendraient des péridotites, tandis qu'une partie des constituants phylliteux et autres seraient issus des calcaires. La désaturation du complexe absorbant, et une forte acidité du sol, ont favorisé la formation d'un horizon Bt. L'hydromorphie est responsable de la formation d'un horizon tacheté. La couleur jaune de ces sols est due à l'abondance de goethite.

La répartition des sols dans la zone étudiée, est déterminée par le type de roche-mère et par la topographie. Sur les calcaires durs, la séquence de sols la plus courante, en partant l'amont vers l'aval, est la suivante :

sols ferrallitiques → sols ferrallitiques modaux → sols ferrallitiques compacts → sols ferrallitiques hydromorphes → sols ferrallitiques lessivés, jaunes.

Sur les calcaires tendres ou marnes, on observe la séquence :
rendzines → bruns calcaires → bruns calciques → vertisols.

Les sols de la zone étudiée, ont été classés suivant la classification française CPCS (1967) et corrélés avec la classification cubaine (1979), et aux niveaux supérieurs, avec la légende FAO et la Soil Taxonomy. Dans les deux premières, des difficultés ont apparu pour classer certains sols. C'est ainsi, que dans le cas de la classification CPCS, nous avons été amenés à proposer une nouvelle sous-classe de sols "ferrallitiques non désaturés", et dans la sous-classe des sols ferrallitiques faiblement désaturés en (B), nous avons suggéré d'introduire le groupe "ferritique". Pour la classification cubaine, c'est un nouveau type de sols "*hidromorficos poco humificados con pseudogley*" qui devrait être introduit, ainsi qu'un sous-type "*ferritico*" dans le type de sols ferrallitiques.

Enfin, sur le plan de l'utilisation des sols, nous avons mis en évidence un certain nombre de facteurs qui limitent une meilleure utilisation des sols. C'est ainsi qu'un système de drainage devrait être mis en place, pour éliminer les excès d'eau dans les sols affectés par l'hydromorphie. L'application de carbonate de calcium améliorerait le pH très acide et limiterait les risques d'apparition d'alumine échangeable. Par contre, dans les zones plus élevées, il faudrait planter certaines espèces végétales pour limiter l'érosion.

7 BIBLIOGRAPHIE

- ACADEMIA DE CIENCIAS DE CUBA Y ACADEMIA DE CIENCIAS DE LA U.R.S.S.,
1970 - Atlas nacional de Cuba, 132 p.
- AGAFONOFF (V), 1936 - Les sols de France au point de vue pédologique.
Dunod édit., Paris, 154 p.
- AGAFONOV (O), ROLDOS (J.E.), 1968 - Régimen de aeración del suelo y
métodos de estudiarlo, Acad. Cien. Cuba, Ser. Caña azúc,
20 : 14-23.
- AGAFONOV (O), ROLDOS (J.E.) et ALFONSO (F), - 1976 - Influencia de la
quema de la caña y el corte mecanizado sobre las propiedades
físicas del suelo. Memoria de la 39 conferencia de la A.T.A.C.,
pp. 507 - 538.
- AGAFONOV (O), DELGADO DIAZ (R), RIVERO RAMOS (L), et TATEVOSIAN (G),
1978 - Propiedades físicas de los vertisuelos de Cuba,
relacionadas con las particularidades de su génesis.
Ciencias de la Agricultura, Acad. Cien. 3 : 47-80.
- ALBEAR Y ITURRALDE VINENT (M.), 1977 - Texto explicativo del mapa
geológico de La Habana. Escala 1/250.000.
Instituto de Geología Acad. Cienc. de Cuba.
- ALEIXANDRE (T). 1967 - Estudio de un suelo rojo méditerranéo en Almagro
(Ciudad Real). Anal. Edaf. y Agrob. 26 : 1200-1209.
- AUBERT (G), 1954 - les sols latéritiques.
Congr. Sci. du sol (Léopolville), 5 pp 103-118.
- AUBERT (G), 1966 - Observations sur la classification des sols ferral-
litiques.
Cah. ORSTOM, sér. Pédol., 4 (4) : 89-90.
- AUBERT (G) et SEGALÉN (P), 1966 - Projet de classification des sols
ferrallitiques. Cah. ORSTOM, sér. Pédol., 4 (4) : 97-114.
- AUBERT (G) et PINTA (M), 1971 - Les éléments traces dans le sol.
Travaux et Documents de l'ORSTOM, 11, 104 p.
- AUBERT (G) et BOULAINÉ (J), 1980 - La pédologie. Presses universitaires
de France, Paris, 126 p.
- BACHELIER (G), 1959 - Etude pédologique des sols de Yaoundé (contribu-
tion à l'étude de la pédogénèse des sols ferrallitiques).
Agron. Trop. 14, 3, 279-305.
- BAISRE (J), 1972 - Caracterización química de tres tipos de suelos de
Cuba.
Acad. Cien. Cuba sér. Suelos 15 : pp.1 - 23.

- BAISRE (J), BOSCH (D), CARDENAS (A), CAMACHO (E), 1978 - Nuevo género de suelos ferralíticos Rojos cubanos.
Ciencias de la Agricultura. Acad. Cien. Cuba. 3 : pp 41-46.
- BEADLE (N.C.W) et BURGESS (A), 1953 - A further note on laterites
Aust. J. Sc., 15 : pp 170-171.
- BENNETT (H.H) Y ALLISON (R.V.), 1928 - Los suelos de Cuba. Algunos nuevos suelos de Cuba. Ed. Revolucionaria, La Habana, 1962, 375 p.
- BERKELEY (O.H.), 1944 - Roof-Rots of certain monocereal crops. Bot. Rev. 10 : pp 67-123.
- BERMUDEZ (P.J.), 1963 - Las formaciones geológicas de Cuba. Ministerio de Industrias. Instituto cubano de recursos minerales. La Habana. 177 p.
- BLIC (P), 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. ORSTOM, Sér. Pedol., 14 (2) : pp 113-130.
- BLUME (H.P.), 1968 - Zum mechanismus der Marmorierung und Konkretionsbildung in Stauwasserböden. Z. Pflanz. Düng. Bodenkunde, Bd., 119, 2, 124 p.
- BORDAS (J), 1950 - Contribution à l'étude des facteurs de la production agricole du Bas-Rhône.
Thèse Sci., Aix-Marseille, 183 p.
- BOSCH (D), GOMEZ (D), DELGADO (R), CASTRO (N), - 1967 - Informe sobre los suelos de la parte sur de la Sierra Maestra.
(Inedito). 20 p.
- BOSCH (D), Y RUIZ (J), 1973 - Los suelos Mocarreros, en el libro, Génesis y clasificación de los suelos de Cuba.
Academia de Ciencias de Cuba. pp 242-252.
- BOSCH (D), Y CASTRO (N), 1976 - Informe sobre los suelos y pedregosidad del plan lechero sureste de La Habana.
mecanografiado : 10 p.
- BOSCH (D), 1978 - Génèse classification et cartographie de la zone de Catalina de Guines, Thèse pour obtenir diplôme de Pédologue de l'ORSTOM 49 p.
- BOSCH (D), et al, 1978 - Informe sobre los suelos ferralíticos rojos de Cuba. Instituto de suelos. Acad. Cien. Cuba : 78 p.
- BOSCH (D) et al 1980 - Nuevo tipo y género de suelos ferralíticos cubanos.
II. Jornada Científica, Inst. de Suelos. Acad. Cien. Cuba. La Habana, Febrero 1980.

- BOSCH (D), 1980 - Características morfológicas, químicas y químico - mineralógicas, de los suelos ferralíticos amarillentos lixiviados.
II. Jornada Científica, Inst. de suelos.
Acad. Cien. Cuba. La Habana, Febrero 1980.
- BOSCH (D), CAMACHO (E), et SEGALEN (P), 1980 - Les sols ferrallitiques rouges typiques à Cuba.
Cah. ORSTOM, ser. Pédol. (à paraître).
- BOSCH (D), CARDENAS (A), CAMACHO (E), GUENIN (D), BOULEAU (A), RAMBAUD (D) et SEGALEN (P), - 1980 - Aspects minéralogiques et pédogénétiques de deux sols dérivés de péridotites dans l'Ouest de Cuba.
Cah. ORSTOM, Sér. Pédol. (à paraître).
- BOTELHO DA COSTA (J.V.), 1959 - Ferrallitic, tropical fersiallitic and tropical semi arid soils. Definitions adopted in the classification of the soils of Angola.
3è Conf. Interaf. Sols, Dalaba, pp 317-319.
- BOTELHO DA COSTA (J.V.), et al. 1959 - Grey brown and reddish brown semi arid soils of southern.
Angola 3è Conf. Interf. Sols, Dalaba, pp 245-252.
- BOTELHO DA COSTA (J.V.), 1964 - Generalized soil maps of Angola (2 nd approximation). 8th Inter. Congress of soil Sci.
Bucarest, V, 18 : pp 153-162.
- BOYER (J), 1976 - L'aluminium échangeable : incidences agronomiques, évaluation et correction de sa toxicité.
Cah. ORSTOM, sér. Pédol., IX, 4 : pp 259-269.
- BOYER (J), 1978 - Le calcium et le magnésium dans les sols des régions tropicales humides et sub-humides.
Init. Doc., Tech. ORSTOM, 35 : 173 p.
- BUTTERLIN (J), 1956 - La constitution géologique et la structure des Antilles.
C.N.R.S. Paris, 453 p.
- BUTTERLIN (J), 1977 - Géologie structurale de la région des Caribes (Mexique, Amérique Centrale, Antilles, Cordillère, Caribe)
Masson, Paris, 259 p.
- CAMACHO (E), BOSCH (D), et PAULIN (J.R.), 1978 - Diferenciación de los suelos de una catena de una región ferralítica.
Ciencias de la Agricultura. Acad. Cien. Cuba. 2 : pp 77-88
- CAMACHO (E), BOSCH (D), y PAULIN (J.R.), 1979 - caracterización de un suelo fersialítico formado a partir de caliza dura.
Ciencias de la Agricultura. Acad. Cien. Cuba. H : pp 69-77.

- CAMACHO (E), BOSCH (D) y RUIZ (J), 1980 - Continido y formas del hierro en los suelos feralíticos rojos de Cuba.
Ciencias de la Agricultura. Acad. Cien. Cuba. 5 : pp 73-87.
- CAMACHO (E), 1980 - Etude des sols des plaines karstiques de la région occidentale de Cuba. Etude d'une zone ouverte sur la mer, située entre San Nicolas de Bari et Guanajay, et particulièrement des sols ferrallitiques rouges compacts.
Thèse spécialité, Pédologie. ORSTOM 143 p.
- CHAMPION (J), et al, 1958 - Les sols de bananeraies et leur amélioration en Guinée Française. Fruits, 13,9-10 : 415-462.
- CHANG (S.C.), CHU (W.K.), 1961 - The fate of soluble phosphate applied to soils. Jour. Soil Sci. (Oxford), 12, 2 : pp 286-293.
- CHATELIN (Y), 1972 - Les sols ferrallitiques t.I. Historique. Développement des connaissances et formation des concepts actuels
ORSTOM, sér. Init. Doc. Techn. 20 : 98 p.
- CHATELIN (Y), 1974 - Les sols ferrallitiques, t. 3. L'altération.
ORSTOM, sér. Init. Doc. Techn., 24 : 144 p.
- CELTON (J), ROCHE (L), VELLY (J), 1973 - Acidité du sol et chaulage.
l'Agron. Tropic., 28, 2 : pp 123 - 130.
- COLMET-DAAGE (F), et al. 1969 - Caractéristiques et nature de la fraction argileuse de quelques sols rouges d'Haiti situés sur calcaires durs.
Cah. ORSTOM, SER. Pédol, 7 (3) : pp 345-413.
- COMEL (A), 1931 - La "Terra Rossa" del carso a un vero terreno climatico
J. du Ann. Agro., II, 4 : pp 277-287.
- CORBEL (J), 1957 - Les Karsts du N.O de l'Europe et quelques régions de comparaison. Etude sur le rôle du climat dans l'érosion calcaire.
Inst. des étu. Rhodan de l'Univ. de Lyon, 541 p.
- COMMISSION DE PEDOLOGIE et DE CLASSIFICATION DES SOLS (C.P.C.S.), 1967 - Classification des sols. Laboratoire de Géologie-Pédologie
E.N.S.A. Grignon. Multi. 87 p.
- DABIN (B), 1956 - Considérations sur l'interprétation agronomique des analyses de sols en pays tropicaux.
Cong. Int. Sci. Sol (Paris), 1956, 6, IV, 58 : pp 403-409.
- DABIN (B) et LENEUF (N), 1960 - Les sols de bananeraies en Côte d'Ivoire.
Fruits, 15, 3 : pp 117-127.
- DABIN (B), 1971 - Evolution des engrais phosphatés dans un sol ferrallitique dans un essai de longue durée.
Phosphore et Agriculture, 58 : pp 1 - 14.

- DANIEL (R.B), et al. 1960 - Ferrous content and color of sediments.
Soil Sci. : pp 378-382.
- DAVITAYA (F.F.) et TRUSOV (I.I.), 1965 - Los recursos climáticos de Cuba.
Acad. Scien. Cuba, 68 p.
- DE BLIC (P.), 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. ORSTOM, sér. Pédol., 14 (2) : pp 113-130.
- DEL BUSTO (R), INÍGUEZ (L) y MATEO (J), 1976 - Sobre la tipología del carso de la provincia de La Habana.
Ciencias. Sér. 7 Geografía , 12. Agosto de 1976. Universidad de La Habana pp. 3 - 23.
- DEMOLON (A), BASTISSE (E.M), 1944 - Observations sur la géochimie du fer C.R. Ac. Agric., 30 : pp. 501-502.
- DENISOV (I.A.), 1971 - Fundamentos de la pedología y de la agronomía en los trópicos Kolos, Moscú, 256 p.
- D'HOORE (J), 1954 - L'accumulation des sesquioxydes libres dans les sols tropicaux.
Publ. I.N.E.A.C., sér. Scient., 62, Bruxelles, 132 p.
- D'HOORE (J), FRIPIAT (J.J), GASTUCHE (M.G.), 1954 - Les argiles tropicales et leurs oxydes de fer de recouvrement C.R. 2è Conf. Interaf. des sols, Leopoldvilles 1 : pp. 257-260.
- DUCLOZ (C), 1963 - Etude géomorphologique de la région de Matanzas, Cuba, avec une contribution à l'étude des dépôts quaternaires de la zone Habane - Matanzas.
Genève, Suisse, 16 (2) : pp. 351-402.
- DUCHAUFOR (Ph.), 1970 - Précis de Pédologie.
Masson, Paris. 480 p.
- DUCHAUFOR (Ph.), 1977 - Pédologie I Pédogenèse et Classification.
Masson, Paris, 477 p.
- DUDAL (R.), 1965 - Dark clay soils of tropical and subtropical regions (FAO, agr. Developm. Paper) Food Agr., OUN, 83, 161 p.
- F.A.O., 1968 - Approaches to soil classification. World soils, resources, 32, 143 p.
- FAURE (A), 1971 - Contribution à l'étude du mécanisme du compactage des sols. Notion de potentiel de lubrification.
Ann. Agron., 22 (5) : pp. 487-513.

- FERRAZOLA (C), JUDOLEY (C), MIJAILOVSKAIA (Y), MIROLINBOV (Y), NOVOJATSKY (I), NUNEZ JIMENEZ (A), SOLSONIA (J), 1964 - Geología de Cuba.
Min. Indust., Editora del Cons. Nac., Univ. La Habana, 259 p.
- FONSECA (M) et al., 1979 - Influencia del corte mecanizado de la caña de azúcar sobre las propiedades físicas del suelo ferralítico rojo compactado
ATAC, 2 : pp 15-25.
- FORMELL CORTINA (F), et BUGUELSKIY (Y.Y), 1974 - Contribución a la geología de Cuba. Inst. de Geología Acad. Cien. de Cuba.
Publicación especial, La Habana, 2 : pp. 117-139.
- FUNDORA (A), ASCANIO (O), TATEVOSIAN (G), 1978 - Composición mineralógica de las fracciones arenosas de los suelos húmicos carbonáticos de Cuba.
Ciencias de la Agricultura. Acad. Cien. Cuba. 3 : pp 87-98.
- GOLDICH (S.S) et BERGQUIST (H.R.), 1945 - Aluminous lateritic soil of the sierra de Bahorico arca Dominican Republic. W.I.
Géologie Investigation in the American republics. Bulletin 953 C.
- GONZALEZ (J), et FUNDORA (A), 1980 - Constituyentes mineralógicos de los vertisuelos de la región Oriental de Cuba, comparados con otros tipos de suelos.
Ciencias de la Agricultura Acad. Cien. Cuba. 5 : pp 89-98.
- GUERASIMOV (I.P), 1972 - Ensayo sobre el enfoque génitico en la clasificación de los suelos tropicales, cortezas de intemperismo y productos de su redeposición. IZV. ANSSSR, sér. geogr., 5 pp. 21-33.
- GUTIERRES DOMECH (R), et RIVERO (F.R.), 1975 - Estudio geológico - geomorfológico de la zona de Cayajabos, Madruga, Habana, Acad. Cien. Cuba, Sér. Geografica 12 : 34 p.
- GVOZDIETSKI (N.A.), MATEO (J), DELBUSTO (R), 1974 - Algunas particularidades de la geomorfología de la región Cársica de la Sierra de Camarone.
Ciencias. Sér. 7, Geografia 7, 8 p.
- HARRISON (J.B), 1933 - The katamorphism of igneous rocks under humid tropical conditions. Imp. Bur. Soil. Sc., Harpenden, Herts (G.B.) 79 p.
- HERNANDEZ (A), 1973 - Los suelos Pardos Tropicales. En génesis y clasificación de los suelos de Cuba, Acad. Cien. Cuba, La Habana, pp 106-148.

- HERNANDEZ (A), CARDENAS (A), OBREGON (A), MARRERO (A) y BOSCH (D), 1973 - Estudio de los suelos en la región de Campo Florido. Acad. Cien. Cuba, sér. suelos, 18 : 57 p.
- HERNANDEZ (A), TATEVOSIAN (G), AGAFONOV (O), 1976 - Características genéticas de los suelos Pardos Sialíticos de Cuba, Rev. Agr., 9, 1 : pp. 50 - 64.
- HERNANDEZ (A), HERRERA (L.M.), IZANAGA (E), TATEVOSIAN (G), 1980 - La erosión en los suelos Pardos con carbonatos de Cuba. Ciencias de la Agricultura. Acad. Cien. Cuba, 5 : pp 39-50.
- HOYOS (A), GONZALEZ (J), 1969 - Estudio genético de algunos suelos de la Sierra de Guadarrama. An. Edaf. Agribiol., 28, 5 : pp 631-652.
- 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. sér. Suelos, 23 , 25 p.
- INSTITUTO DE SUELOS, 1980 - Clasificación genética de los suelos de Cuba, 1979. Inst. Suelos. Acad. Cien. Cuba. La Habana., 28 p.
- ITURRALDE VINENT (M.A.) 1977 - Los movimientos tectónicos de la etapa desarrollo platafórmico en Cuba. Acad. Cien. La Habana, Inst. geología y paleontología, Informe 20 : 24 p.
- JACKSON (M.L.) et SHERMAN (G.D.), 1953 - Chemical weathering of minerals in soils. Adv. in Agron, pp. 219-318.
- KACHINSKI (N.A.), 1958 - Composición mecánica y microestructura de los suelos. Métodos de su estudio. M. Edi, Academia de Ciencias, URSS, 192 p.
- KAMOSHITA (Y) et YAMADA (Y), 1956 - The effect of free iron on soil colour. J. Sci. Soil. Tokyo, 27 : pp 77-78.
- KAMPRATH (E.J.), 1972 - Soil acidity and liming. In soil of the humid tropics. Edit. Nat. Acad. of science (Washington) : pp. 136-149.
- KARTASHOV (P.I.), NESTOR (M), CHERNIAKOVSKI (A), PENALVER (L), 1976 - Description de algunas formaciones geológicas del sistema cuaternario de Cuba, reconocidas recientemente. Acad. Cien. Cuba. sér. Geológica., 26 : 12 p.
- KUBIENA (W.L), 1953 - The soils of Europe, Th. Murby ans sons. London 318 p.

- LAMOUREUX (M), 1967 - Alétartion des roches dures carbonatées.
Hannon, Revue Libanaise de Géographie, Vol II : pp. 25-34.
- LAMOUREUX (M), 1967 - Contribution à l'étude de la pédogenèse en sols rouges méditerranéens. Sci. du sol, 2 : pp 55-86.
- LAMOUREUX (M), 1968 - Les sols bruns méditerranéens et les sols rouges partiellement brunifiés du Liban.
Cah. ORSTOM, sér. Pédol., VI, 1 : pp 63-93.
- LAMOUREUX (M), 1972 - Etude des sols formés sur roches carbonatées. Pédogenèse fersiallitique au Liban.
Mémoires ORSTOM, 56, Paris, 266 p.
- LENEUF (N), 1959 - L'altération des granits calco-alcalins et des granodiorites en Côte d'Ivoire forestière et les sols qui en sont dérivés. Th. Sci. Paris Publ. ORSTOM. 210 p.
- LENEUF (N), 1966 - Exposé introductif sur le processus de lessivage dans les sols ferrallitiques.
Cah. ORSTOM, sér. Pédol., 4 (4) : pp. 25-28.
- LEVEQUE (A), 1966 - Etude des principaux critères de la classification des sols ferrallitiques de Guyane Française.
Cah. ORSTOM, sér. Pédol., 4 (4) : pp 61-74.
- LILIMBERG (D.A.), 1973 - Algunos problemas de la formación del relieve del archipiélago Cubano.
Inst. de Geografía, sér. espeleologica y carsológica, 48, 15 p.
- LLOPIS LLADÓ (N), 1970 - Fundamentos de Hidrología Cárstica.
Edit. Blume. Madrid. 269 p.
- MAIGNIEN (R), 1954 - La formation de cuirasses des plateaux, région de Labé, (Guinée Française).
C.R. 5° conf. Intern. Sc. sol 4 : pp. 13-18.
- MAIGNIEN (R), 1958 - Le cuirassement des sols en Guinée (Thèse Dr. Sc.),
Mém. serv. Carte géol. Als. Lorraine, n° 16, 239 p.
- MAIGNIEN (R), 1961 - Le passage des sols ferrugineux tropicaux, aux sols ferrallitiques dans les régions Sud-Ouest du Sénégal, sols africains, VI, 2 - 3, : pp. 113-172.
- MAIGNIEN (R), 1969 - Manuel de prospection pédologique. Indication
Doc. Tech.,
ORSTOM n° 11, Paris, 124 p.
- MARCELIN (P), 1942 - Sur le problème de terres rouges.
Bull. Soc. lang. de Géogr., t. XIII, 2è série. fasc. 1.
- MARTIN (D), 1966 - L'hydromorphie dans les sols ferrallitiques.
Cah. ORSTOM, sér. pédol., vol IV, n° 4 : pp. 39-43.
- MASSIP (S), YSALGUES (S), 1942 - Introducción a la geografía de Cuba.
La Habana, 250 p.

- MATOS, (A), LOPEZ (M), GOMEZ (U), y MORALES (M), 1980 - Determinación del grado de fijación del fósforo de los fertilizantes por los suelos utilizando el isótopo de P^{32} . II. Jornada Científica, Inst. de Suelos.
Acad. Cienc. Cuba. La Habana, Febrero 1980.
- MATOS (A), et al., 1980 - Composición fraccionaria de las formas minerales de fosfatos y método de determinación de sus formas asimilables en suelos ferralíticos rojos.
II. Jornada Científica, Inst. de Suelos.
Acad. Cien. Cuba. La Habana, Febrero 1980.
- MAYO (A.N.), ISMAEL (P), KARTASHOV (P.I.), 1972 - El problema de las oscilaciones climáticas en el pleistoceno de Cuba. Actos nº2 Resumen del IV, Consejo científico. Inst. de Geología.
Acad. Cienc. Cuba. La Habana.
- MEDINA (N), 1979 - Estudio comparativo de los efectos del encalado y la aplicación de cachoza sobre el mejoramiento de suelos ferralíticos amarillentos y los rendimientos de la caña de azúcar.
Resúmenes 42, Conferencia ATAC, La Habana, 1979.
- MEDINA (N), 1980 - Característica de la acidez del suelos y sus efectos sobre los rendimientos de la caña de azúcar en algunos suelos ferralíticos.
II Jornada Científica, Inst. de Suelos. Acad. Cien. Cuba, La Habana. Febrero 1980.
- NEMEC (F), PANOS (V), STELCL (O), 1967 - Contribution to geology of western Cuba.
Acta univ. Palackional Olomuc, Fac. R.N., 26, Olomuc, pp 83-123.
- NUNEZ JIMENEZ (A), 1965 - Geografía de Cuba, La Habana, 526 p.
- NUNEZ JIMENEZ (A), PANOV (V), et STELCL (O), 1968 - Carso de Cuba
Acad. Cienc. Cuba. Sér. Espeleología, carsología, nº 2, 47 p.
- NUNEZ JIMENEZ (A), 1972 - Geografía de Cuba, Segunda parte, las regiones naturales.
Ed. Pueblo Nuevo, La Habana, 282 p.
- OADES (J.M.), 1963 - The nature and distribution iron compounds in soils, and Fert., 26 (2) : pp. 69-80
- PANEQUE (V), et al, 1980 - Estudio del uso de la cachaza y yeso como enmiendas para suelos gley amarillentos y sus efectos sobre el cultivo de la caña de azúcar.
II Jornada Científica. Inst. de suelos.
Acad. Cienc. Cuba. La Habana. Febrero 1980.
- PRATT (P.F.), et al, 1969 - Qualitative mineralogy and chemical properties of a few soils from Sao Paulo, Brazil. Turrialba, 19, 4: pp. 491 - 496.

- REIFENBERG (A), 1947 - The socle of Palestine.
Th. Murby, Londres, pp. 72-91.
- RIVERO (L), AGAFONOV (O), 1978 - Comparación de dos métodos de dispersión en algunos suelos de Cuba, en relación con su estructura y el contenido en óxidos de hierro y materia orgánica.
Ciencias de la Agricultura
Acad. Cien. Cuba, 2 : pp. 107-120.
- RUELLAN (A), 1971 - Les sols à profil calcaire différenciés des plaines de la basse Moulouya (Maroc Oriental).
Mém. ORSTOM 54, 302 p.
- SCHAUFFELBERGER (P), 1951 - La arcilla de los suelos tropicales.
Bol. Tec. Fed. Nac. Caf. Columbia. 1,5, : pp 29-46.
- SEGALEN (P), 1951 - Etude des sols du périmètre forestier de Ampaherana.
Mém. Inst. Sci. Mad. D. III, 1 : pp. 147-162.
- SEGALEN (P), 1956 - Notice sur la carte pédologique de reconnaissance au 1/200.000. Feuille 13 - Marovoay-Mahajamba.
Mém. Inst. Sci. Mad. D, VII, 162-259.
- SEGALEN (P), 1964 - Le fer dans les sols.
Initiation Docum. Tec. ORSTOM, 4, 181 p.
- SEGALEN (P), 1969 - Contribution à la connaissance de la couleur des sols à sesquioxides de la zone intertropicale : sols jaunes et sols rouges.
Cah. ORSTOM, sér. Pédologie, 7 (2) : pp. 225 - 236.
- SEGALEN (P), 1973 - L'aluminium dans les sols.
Initiation Docum. Tec. ORSTOM, n° 22, 281 p.
- SEGALEN (P), BOSCH (D), CAMACHO (E), 1976 - Generalidades sobre los suelos ferralíticos de Cuba.
Conf. Inst. de suelos. Acad. Cien. Cuba. Noviembre 1976.
- SEGALEN (P), et al, 1979 - Projet de classification des sols.
ORSTOM, mimeo. 301 p.
- SHISHOV (L.L.), 1968 - Sobre la clasificación de los suelos de las plantaciones de caña de azúcar en Cuba.
Acad. Cien. Cuba. sér. caña de azúcar, 21. pp 1-16.
- SHISHOV (L.L.), SHISHOVA (V.S.), VILLEGAS (R), 1973 - Fertilidad de los suelos de algunas áreas cañeras de Cuba.
Acad. Cien. Cuba. La Habana. 102 p.
- STACE (M.C.T.), et al, 1968 - A Handbook of Australian soils. Rellins Technical Publications Glenside Souths.
Australia, XII, 435 p.

- TATEVOSIAN (G), et al, 1974 - Vertisoles de Cuba.
Rév. Agr., 8 (2) : pp. 75-81.
- U.S.D.A., SOIL SURVEY STAFF, 1975 - Soil Taxonomy. A basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys. Agriculture Handbook, 436, 754 p.
- VANTOUR (A), et al, 1980 - Las reservas de fósforo en los suelos ferralíticos rojos.
II Jornada Científica, Inst. de Suelos, Acad Cien. Cuba; La Habana, Febrero 1980.
- VEREDECHENKO (P), 1968 - Propiedades físicas y régimen hídrico y térmico de los suelos ferralíticos cálcicos de Cuba.
Pochvovedenie, 12 : pp. 29-38.
- ZONN (S.V.), GARCIA (R), CABRER (P), 1966 - Ensayo de clasificación de los suelos de Cuba.
Pochvovedenie, 2 : pp. 17-30.
- ZONN (S.V.), 1968 - Particularidades de la formación del suelo y principales tipos de suelos de Cuba.
Academia de Ciencias , U.R.S.S. Ed. Nauka, Moscu (traducción).

PLANCHE I



Photo n° 1 : Vue générale de la zone étudiée.



Photo n° 2 : Vue des hauteurs de calcaires

PLANCHE II



Photo n° 1 : Doline active

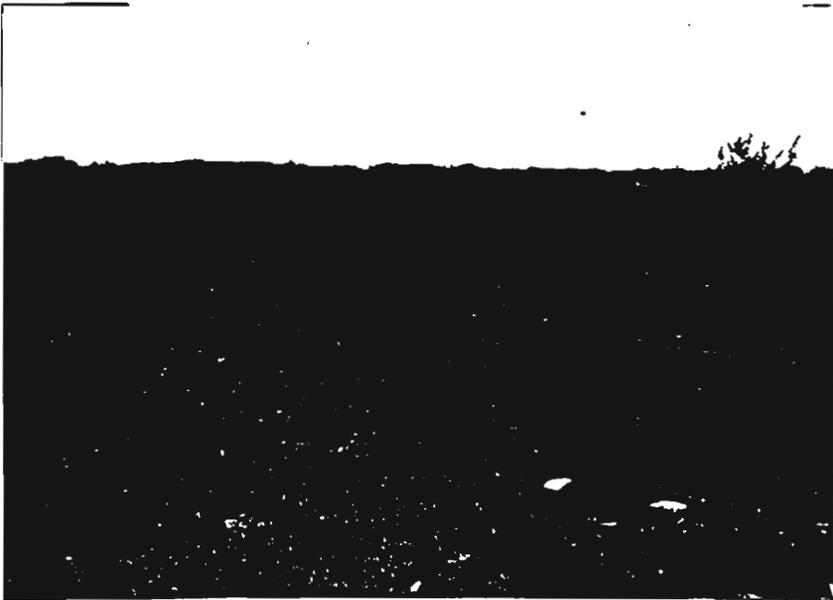


Photo n° 2 :
Doline bouchée



Photo n° 3 : petit lac temporaire

PLANCHE III



Photo n° 1 : Topographie de vertisols



Photo n° 2 : Vertisol



Photo n° 3 : Echantillon
TED-20, (0-20cm) x 10.000
M: Montmorillonite



Photo n° 1 : Rendzines



Photo n° 2 : Sol brun calcique



Photo n° 3 : Topographie des sols bruns calciques

PLANCHE V



Photo n° 1 : Sol fersiallitique sur calcaire
(TED-12)



Photo n° 2

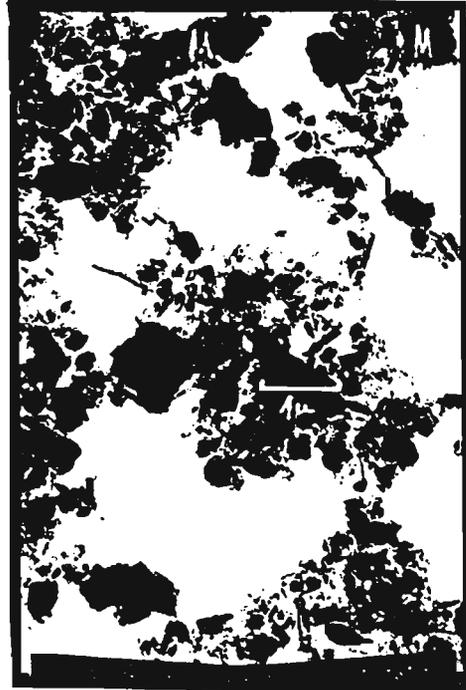


Photo n° 3

Photo n° 2 : Echantillon de sol fersiallitique (TED-12), (0-10 cm) x 10.000
M: Montmorillonite, He: Hematite, F.C: Fire-Clay, Go: Goethite
Hall: Metahalloysite, Gi: Gibbsite.

Photo n° 3 : Echantillon (TED-12), 29-55cm, x 10.000. M: Montmorillonite,
Hall: Metahalloysite, F.C: Fire-Clay, Ca: Calcite.



Photo n° 1: Sol ferrallitique modal sur calcaire (TED-9)



Photo n° 2: Bloc calcaire miocène à la base du profil de sol ferrallitique (TED-6).

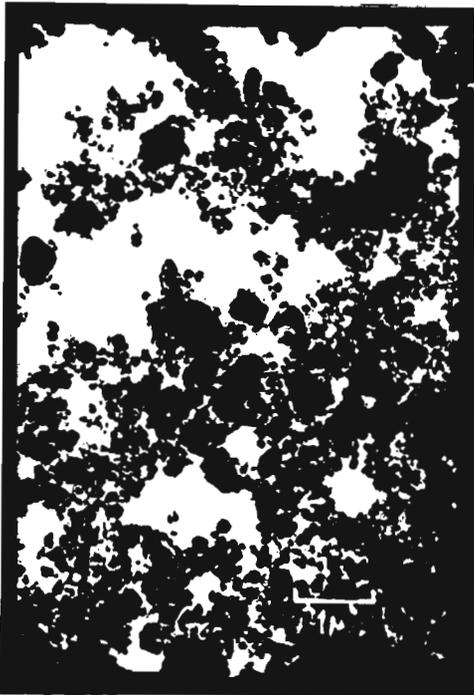


Photo n° 3: Echantillon (TED-9), 0-10cm, x 10.000, Gi: Gibbsite, F.C: Fire-Clay, Go: Goethite.

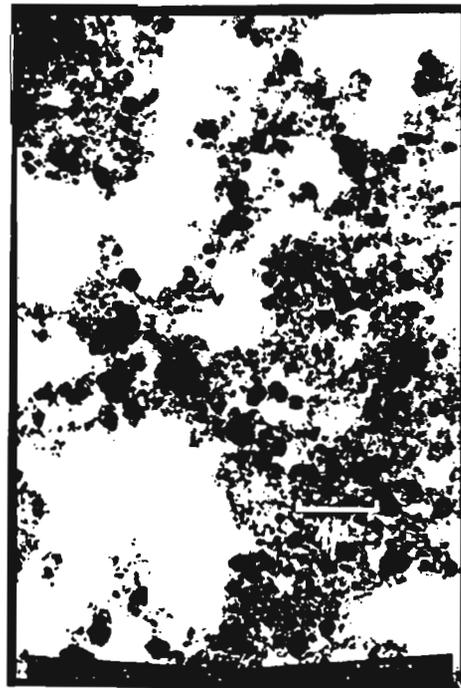


Photo n° 4: Echantillon (TED-9), 25-35cm, x 10.000, F.C: Fire-Clay, Go: Goethite, Gi: Gibbsite.



Photo n° 1: Sol ferrallitique
modal, sur calcaire (TED-1)



Photo n° 2: Sol ferrallitique
hydromorphe, (TED-15)

PLANCHE VIII

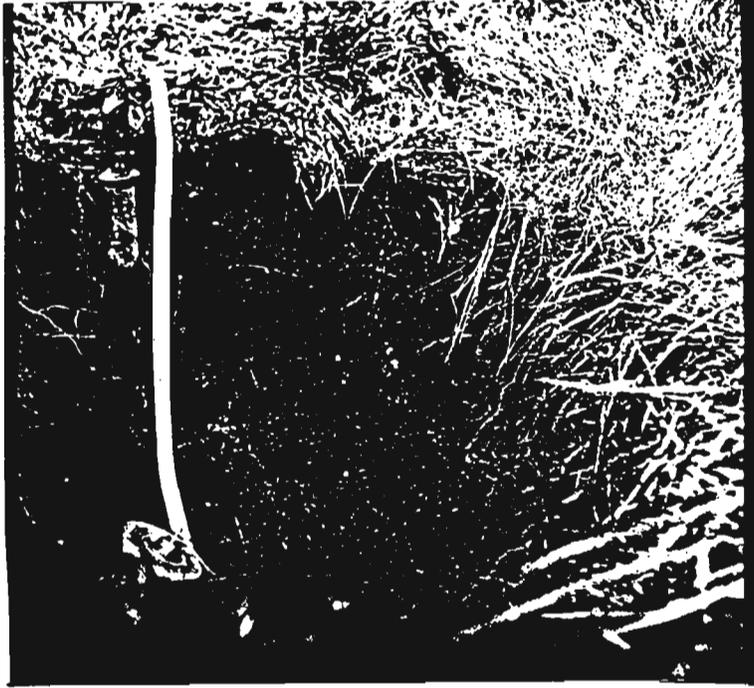


Photo n° 1 : Sol ferrallitique ferritique sur
péridotite (TED-8).



Photo n° 2



Photo n° 3

Photo n° 2 : Echantillon (TED-8), 0-7 cm, x 10.000,
He: Hematite, Go: Goethite.

Photo n° 3 : Echantillon (TED-8), 50-60cm, x 10.000
He: Hematite, F.C.: Fire-Clay, Go: Goethite, V: Vermiculite.



Photo n° 1: Topographie d'un sol ferrallitique lessivé jaune.

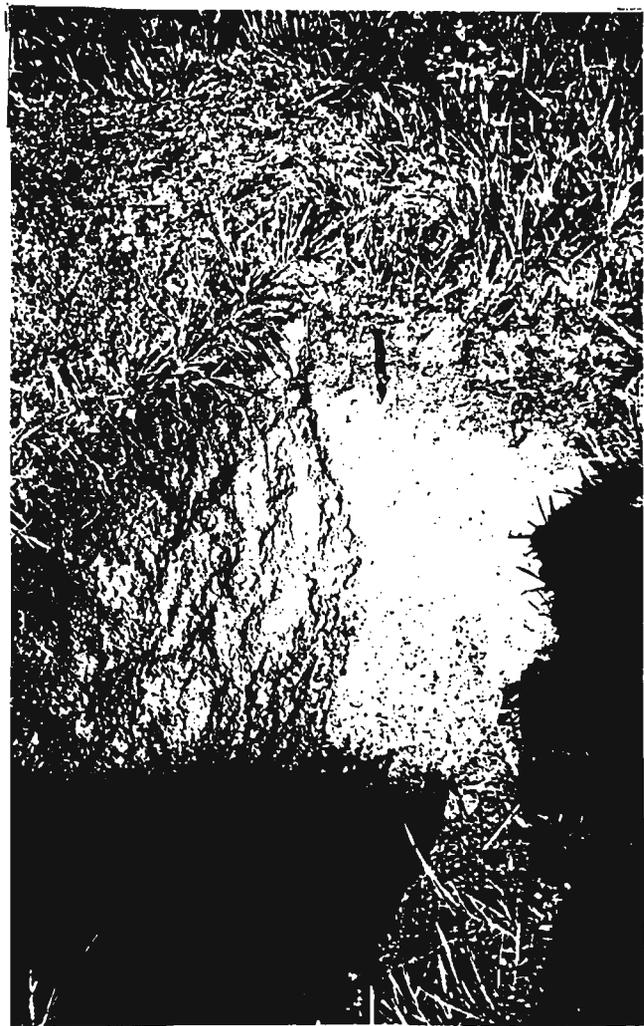


Photo n° 2: sol ferrallitique lessivé
jaune (D-5)



Photo n° 3: Sol ferrallitique
lessivé jaune, avec hydromorphie
forte (TED-18).

PLANCHE X

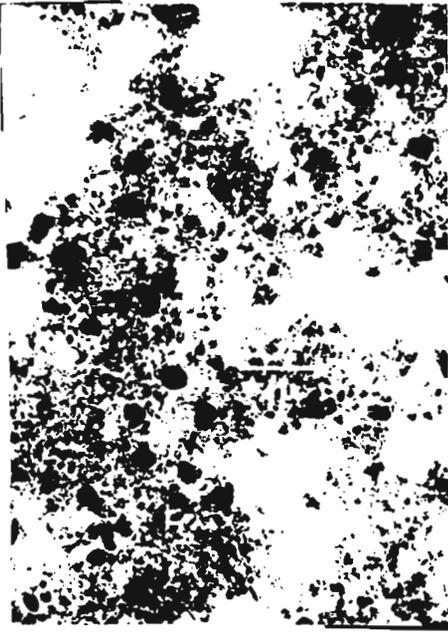


Photo n°1

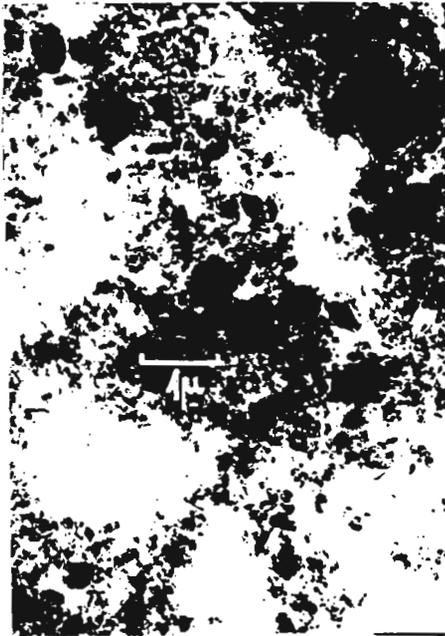


Photo n°2



Photo n°3

Photo n°1 : D-5, (30-40cm), Go: Goethite, Hall: Metahalloysite, F.C: Fire-Clay
Gi: Gibbsite.

Photo n°2 : D-5, (280-300cm), K: Kaolinite, He: Hematite, Go: Goethite
Gi: Gibbsite.

Photo n°3 : TED-18 (0-10cm), Go: Goethite, F.C: Fire-Clay, K: Kaolinite
Gi: Gibbsite.



Photo n° 4 : Zone rouge dans
l'intérieur d'un bloc de calcaire
dans un sol ferrallitique modal.

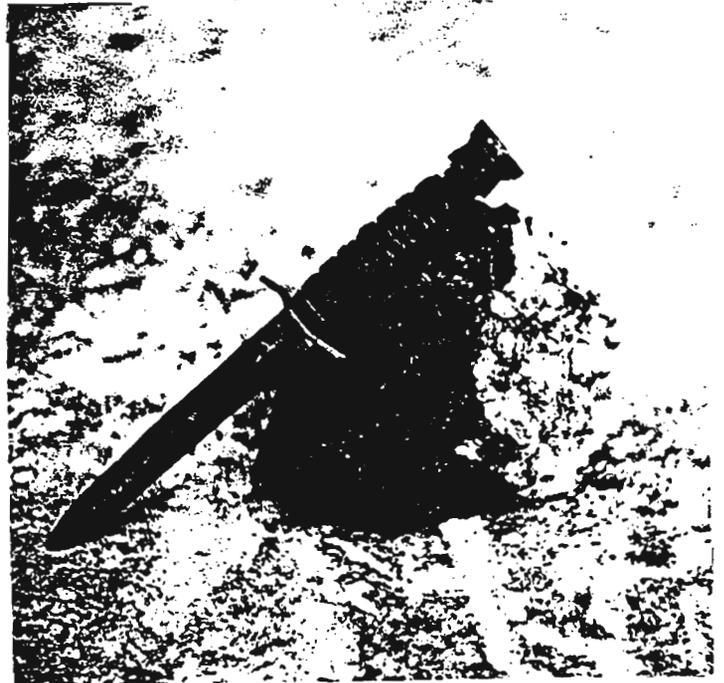


Photo n°5 : Pellicule calcaire
d'altération sur un bloc de sol
ferrallitique modal.

Micromorphologie d'un sol ferrallitique rouge modal
(Horizon A et B)

PLANCHE XII

Micromorphologie d'un sol ferrallitique lessivé jaune
(Horizons A et B)