

UNIVERSITÉ DE DIJON  
Institut des Sciences de la Terre

T H E S E

présentée à l'Université de Dijon

pour obtenir

LE GRADE DE DOCTEUR DE SPÉCIALITÉ PÉDOLOGIE

par

Eloy CAMACHO DIAZ

ÉTUDE DES SOLS DES PLAINES KARSTIQUES  
DE LA RÉGION OCCIDENTALE DE CUBA  
ÉTUDE DUNE ZONE OUVERTE SUR LA MER  
SITUÉE ENTRE SAN NICOLAS DE BARI ET GUANAJAY ET  
PARTICULIÈREMENT DES SOLS FERRALLTIQUES ROUGES COMPACTS

Soutenu publiquement le 18 octobre 1980 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.  
PARIS  
1980

## TABLE DES MATIERES

AVANT-PROPOS .....	3
1. INTRODUCTION .....	5
2. CONDITIONS NATURELLES.....	10
2.1. Situation et limites de la région étudiée.....	10
2.2. Le climat.....	11
2.3. Géologie et géomorphologie.....	12
1 - Les roches et leurs différents faciès.....	12
2 - Les formes du relief et leur rapport avec la nature des roches.....	17
3 - Caractéristiques hydrologiques de la région	21
2.4. Végétation.....	23
3. MATERIEL ET METHODES .....	25
3.1. Méthodes de travail sur le terrain.....	25
3.2. Méthodes analytiques.....	26
4. LES SOLS DE LA PLAINE .....	32
4.1. Les vertisols.....	32
4.2. Les sols calcimagnésiques.....	37
4.3. Les sols fersiallitiques.....	39
4.4. Les sols ferrallitiques.....	47
4.4.1. Modaux.....	49
4.4.2. Compacts.....	58
4.4.3. Hydromorphes.....	69
4.4.4. Concrétionnées.....	73
4.4.5. Jaunes.....	76
4.5. Les sols hydromorphes.....	79
5. DISCUSSION GENERALE .....	84
5.1. Comparaison entre les sols ferrallitiques rouges modaux et compacts.....	84
a). Morphologie ; b). Granulométrie ; c). Micro- agrégation et stabilité de la structure ; d). E- tat poral et comportement hydrodynamique ; e). Consistance et résistance à la pénétration ; f). Nature des minéraux argileux et assemblage interne du sol ; g). Conclusions	
5.2. Les facteurs qui peuvent intervenir sur la compa- cité des sols ferrallitiques rouges.....	91
a). L'influence de la granulométrie sur la compa- cité des sols ; b). Les formes du fer et leur répartition dans les sols compacts ; e). Compo- sition minéralogique et assemblage interne des sols ; d). L'influence des engins agricoles	

e). Conclusions.	
5.3. Caractéristiques du complexe absorbant des sols.....	97
5.4. Répartition du nickel, chrome et cobalt dans les sols.....	100
5.5. Répartition des sesquioxides dans les sols.....	102
a). La répartition du fer total ; b). le fer libre ; c). Le fer amorphe ; d). Répartition des constituants cristallisés ; e). L'influence du fer sur quelques propriétés du sol ; f). Conclusions	
5.6. Essai d'explication de la genèse des sols formés sur roches calcaires.....	107
A.- La mise en place des calcaires et l'évolution du relief.....	107
B.- La dissolution des calcaires.....	108
1. Mise en évidence de cette dissolution ;	
2. Constituants des résidus des roches carbonatés comparés à ceux des sols.	
C.- Reconstitution de la genèse des sols.....	113
5.7. Répartition des sols dans la plaine.....	117
1. Les hauteurs ; 2. La plaine ; 3. Zone côtière ; 4. Conclusions	
5.8. L'utilisation des sols.....	121
A. Fertilité des sols.....	121
B. Les contraintes qui peuvent limiter l'utilisation des sols.....	122
C. Potentialité agricole et utilisation des sols	124
D. Conclusions.....	125
6. CONCLUSIONS GENERALES.....	127
7. BIBLIOGRAPHIE.....	132

AVANT-PROPOS.

Ce travail a été réalisé à l'Institut des Sols de l'Académie des Sciences de Cuba ; certaines études (minéralogie des sables, microscopie électronique et quelques analyses d'argiles) ont été faites dans les laboratoires des Services Scientifiques Centraux de l'Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer (O.R.S.T.O.M.) à Bondy.

Qu'il me soit permis d'exprimer ma gratitude au Directeur Général de l'O.R.S.T.O.M. le Professeur G. CAMUS ainsi qu'au Président de l'Académie des Sciences de Cuba, le Docteur W. TORRES ; c'est grâce à l'accord de coopération en matière de recherches de base établie entre les deux institutions que ce travail a pu être accompli et mené à son terme.

Je tiens à exprimer mes remerciements à Monsieur le Professeur P. RAT, de l'Université de Dijon, qui a bien voulu présider le jury de cette thèse.

Je remercie vivement 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 a bien voulu être membre de ce jury et qui a suivi de très près le déroulement de mes travaux.

Je suis particulièrement reconnaissant à Monsieur P. SEGALIN, Inspecteur Général de Recherches de l'O.R.S.T.O.M. à qui je dois d'avoir donné un sens à ce travail et sans lequel je ne l'aurais certainement pas poursuivi. Je lui dois, en outre, toute mon admiration pour les longues heures consacrées aux corrections, aux critiques et aux discussions qu'il a su animer avec tant de patience et d'esprit ; ses conseils m'ont toujours été d'une précieuse utilité et il demeure pour moi un guide scientifique inoubliable.

J'exprime ma sincère reconnaissance à Monsieur M. LAMOUREUX, Directeur de Recherches de l'O.R.S.T.O.M. et Directeur des Services Scientifiques Centraux à Bondy, pour le soutien au déroulement de mes travaux à l'O.R.S.T.O.M. ; des critiques et observations apportées au

au texte et d'avoir bien voulu faire partie de ce jury.

Monsieur le Professeur G. AUBERT m'a enseigné la pédologie et communiqué la passion de l'étude des sols ; j'ai eu la chance de l'accueillir à Cuba et de bénéficier une fois encore de son enseignement. Je lui exprime ma très vive gratitude.

Je remercie le personnel de l'Institut des Sols de l'Académie des Sciences et tout spécialement son Directeur, l'Ingénieur A. CARDENAS, pour l'appui incessant et l'aide matérielle dont j'ai bénéficié auprès de lui et grâce auquel le travail de terrain et de laboratoire a pu être mené à bien. Mes remerciements vont tout particulièrement à J.R. PAULIN, R. MARTINEZ et D. BOSCH, pour l'aide qu'ils ne m'ont pas ménagée sur le terrain, au laboratoire ou au bureau.

Je remercie également le personnel des Services Scientifiques Centraux qui a participé à l'élaboration de ce travail sur le plan cartographique et surtout analytique. J'ai toujours trouvé auprès de lui une aide efficace, rapide et beaucoup de bonne volonté dans la solution des problèmes que je lui ai posés. Les remerciements s'adressent tout spécialement à : Mme A. BOULEAU, J. COMBROUX, B. DABIN, Mme D. DELAUNE, Mme E. GAVINELLI, M. KOUKOUI, B. KALOGA, Mme G. FUSIL, M. PINTA, P. QUANTIN, D. RAMBAUD, Mme M-L. RICHARD, G. SIEFFERMANN, P. VERDONI.

Je remercie bien sincèrement Monsieur N. FEDOROFF de l'Institut National Agronomique (Grignon) de son aide dans l'interprétation des lames minces de sols.

Cet ouvrage n'aurait pas vu le jour sans la contribution de Messieurs HIERNAUX et QUINET, du Service de Documentation de l'ORSTOM, et de leur équipe ; je leur en suis très reconnaissant.

Mme GILLON a réussi la présentation de ce manuscrit et je lui suis très reconnaissant de ses patients efforts.

Que tous ceux qui, de près ou de loin, m'ont aidé à réaliser ce travail, trouvent ici, l'expression de ma gratitude.

## 1. INTRODUCTION.

L'archipel de Cuba est caractérisé par une manifestation intense des phénomènes karstiques (NUNÉZ JIMENEZ et al. 1968). Des étendues considérables du territoire sont constituées par des calcaires d'âge et de composition très différents. Cette hétérogénéité des calcaires donne la mesure des conditions géologiques complexes dans lesquelles ces roches se sont formées. Il s'est produit un dépôt conjoint de sédiments carbonatés marins et d'éléments terrigènes provenant de l'altération et de l'érosion des hauteurs constituées principalement de roches métamorphiques et de péridotites serpentinisées.

La région qui fait l'objet de ce travail appartient à la plaine karstique occidentale de Cuba. Le substratum rocheux de cette plaine est formé principalement par des couches calcaires du Néogène, qui présentent une structure monoclinale simple avec une pente très faible vers la côte Sud ; ce qui détermine l'orientation des principales rivières.

Sur cette plaine karstique aux conditions climatiques très uniformes (précipitations de 1200 à 1600 mm et température moyenne annuelle de 24°,5 C), on observe des vertisols, des sols calcimagnésiques, des sols fersiallitiques, des sols ferrallitiques et des sols hydromorphes, associés à des calcaires et matériaux alluviaux anciens. Cependant, malgré les travaux pédologiques effectués sur l'ensemble de cette région, on ne connaît que peu de choses sur la genèse de ces sols et sur les conditions qui ont été à l'origine de leur répartition dans le paysage.

Dans cette plaine, les sols les plus largement répandus sont les sols ferrallitiques rouges, et c'est pourquoi MASSIP et IZALGUE (1942) ont été amenés à appeler cette région "*pénéplaine rouge*"<sup>(1)</sup> de Cuba ; alors que MARRERO (1950) proposait le nom de "*plaine rouge*"<sup>(2)</sup>.

(1). Penillanura roja ; (2). Llanura roja.

Les sols ferrallitiques rouges sont principalement associés aux roches calcaires dures du Miocène. Ces roches peuvent être observées en affleurement, ou bien au fond de certaines fosses pédologiques, mais ceci n'est pas la règle car, le plus souvent, les sols sont assez profonds (plus de 2 m) et on n'atteint pas la roche avec les moyens usuels de prospection. Lorsque le contact sol-roche est visible, il est assez brutal, ce qui amène à se poser la question des relations entre la roche sous-jacente et le sol qui la surmonte.

Actuellement, dans la littérature pédologique, le problème de la genèse des sols ferrallitiques sur calcaire est très discuté. A Cuba, depuis quelques années, des géologues, géomorphologues et pédologues ont avancé différentes hypothèses au sujet de la formation de ces sols et surtout de ceux qui se trouvent dans cette plaine karstique.

Dès le début des études pédologiques à Cuba, l'hypothèse dominante est celle qui a été proposée par BENNETT et ALLISON (1928, 1962) suivis par ALBEAR (1941) ; l'Institut des Sols de l'Académie des Sciences (1973) et BOSCH et al (1978).

Pour ces auteurs la formation de ces sols a lieu "in situ", c'est-à-dire qu'ils proviennent de l'altération des calcaires sous-jacents.

Une autre hypothèse qui est opposée à la première, a été proposée par différents spécialistes entre 1965 et 1976 (NUÑEZ JIMENEZ et al. 1965 ; NEMEC et al. 1967 ; ZONN, 1966, 1968 ; SHISHOV, 1973 ; FORMELL et al. 1974 ; DEL BUSTO et al. 1976). Ces auteurs considèrent que les sols ferrallitiques rouges ne dérivent pas des calcaires sous-jacents, mais que leur formation doit être en relation avec des dépôts d'alluvions mélangés à des produits d'altération des péridotites et des calcaires, et avec prédominance de matériaux issus des péridotites.

Finalement, KARTASHOV et al. (1976) ont remis en question toutes les hypothèses précédentes, en affirmant que les sols ferrallitiques rouges doivent être considérés comme des dépôts sédimentaires d'origine marine.

Il est certain que d'après l'histoire géologique et l'évolution géomorphologique du territoire cubain et tout spécialement celles de cette plaine, on peut être amené à envisager une formation complexe des sols ferrallitiques rouges. Cependant, il faut signaler que du point de vue pédologique, la plupart de ces hypothèses ont été avancées sans avoir pris en compte les relations qui peuvent exister entre les calcaires (par l'analyse de leurs résidus et par l'étude in situ des altérations des roches carbonatées) et les sols qui les surmontent. Toutefois, cet aspect a déjà été abordé dans la littérature pédologique et quelques résultats ont déjà été publiés (LEON VALLEJO et al. 1972 ; LAMOUREUX, 1972 ; HOYOS et al. 1977 ; ALIAS et al. 1977 ; BOSCH et al. 1980). Ils montrent une composition des résidus non carbonatés très variés, tant du point de vue de leur contenu, que de leur constitution minéralogique. Il existe, dans la plupart des cas, un rapport très étroit entre les minéraux des roches et ceux des sols qui les surmontent.

La compacité qui affecte certains sols a attiré depuis quelques années l'attention des pédologues. De nombreux auteurs ont montré que l'on pouvait provoquer, selon les techniques culturales, un tassement du sol (SINGH AMBIKA, 1964 ; WITSELL et HOBBS, 1965 ; GRADWELL, 1968 ; METWALLY et al. 1972 ; NICOU, 1974 ; de BLIC, 1976 ; AGAFONOV et al. 1976).

D'autres auteurs ont montré qu'en dehors de l'effet des engins agricoles, la nature de la phase argileuse, de la composition granulométrique, des formes du fer et les variations du degré d'humidité, peuvent influencer les phénomènes de tassement du sol (BANDER, 1970 ; IVANOV et TODOROVA, 1971 ; FIES, 1971 ; FAURE, 1971 ; NALOVIC et HUMBEL, 1971 ; NICOU, 1975 ; FAURE, 1976). En général, ces sols deviennent plus durs (à l'état sec) moins perméables, et leur porosité totale diminue.

Dans cette plaine karstique, les sols compacts occupent une surface très importante. Le processus de compaction a été mis en question à plusieurs reprises et diverses explications ont été données.

BENNETT et ALLISON (1928), le Ministère de l'Agriculture de Cuba (1975) ont classé ces sols dans la série de "Périco" ; ils ont pris pour les identifier, des caractéristiques morphologiques, leur consistance associée à la présence en profondeur d'un horizon marqué par l'hydromorphie. KLIMES SMITH (1969) a estimé que la seule explication qui pouvait être avancée sur les différences de comportement physico-mécanique entre les sols ferrallitiques rouges modaux ("*Matanzas*") et compacts (*Périco*), résidait dans les différentes qualités des minéraux argileux ainsi que les formes et les teneurs en sesquioxydes de fer et d'alumine.

HERNANDEZ et al. (1971) ont appelé ces sols *Latosolico plástico* en prenant comme caractéristiques fondamentales pour les classer leur morphologie, leur comportement physique et hydrodynamique ; mais aucune explication n'a été proposée.

Avec la publication de la deuxième classification génétique de Cuba (Institut des Sols de l'Académie des Sciences, 1975, 1979) est apparu le terme "*compact*". Ces sols sont définis par une accumulation relative d'argile et de sesquioxydes dans la partie intermédiaire du profil, ce qui lui confère une certaine consistance.

L'étude de sols effectuée à *Melena del Sur* (CAMACHO et RODRIGUEZ, 1977) a permis de mieux connaître les propriétés des sols ferrallitiques rouges compacts. L'auteur, en prenant pour base les études effectuées à *Melena del Sur*, a étendu la surface cartographiée et entrepris une étude approfondie des sols de cette plaine karstique.

A partir des conditions actuelles de l'environnement et des données pédologiques qu'on peut obtenir par l'observation des profils et l'étude de leurs propriétés, l'auteur va s'efforcer :

- de caractériser le mieux possible les différents sols de la plaine et en particulier les sols ferrallitiques compacts.

- de présenter des explications sur la genèse des différents sols et tout spécialement des sols ferrallitiques *compact*s en les comparant aux sols ferrallitiques *modaux*.

- d'expliquer certaines particularités des sols ferrallitiques comme l'état de leur complexe absorbant et leur contenu en oxydes métalliques particuliers (comme ceux de nickel, chrome et cobalt).

- de rendre compte de la répartition des différences en fonction de la nature des roches-mères et de leur position topographique.

- de montrer le rôle des facteurs limitants dans leur utilisation.

## 2. CONDITIONS NATURELLES.

### 2.1. SITUATION ET LIMITES DE LA REGION ETUDIEE.

La République de Cuba fait partie des grandes Antilles. Elle constitue un archipel formé de très nombreuses petites îles appelées "cayos" ; d'une île de taille moyenne, l'île des Pins (Fig.1), et de l'île de Cuba proprement dite. Celle-ci présente une longueur totale d'environ 1250 km. La largeur varie de 32 km à l'Ouest, à 191 km à l'Est.

L'archipel s'étend de 74° à 85° long. W et entre 20° et 23° lat. N. Il est donc situé juste au Sud du tropique du Cancer, et appartient tout entier à la zone intertropicale.

La zone étudiée se trouve dans la partie la plus étroite de l'extrémité Ouest de la grande île, au Sud de la province de La Havane entre les localités de "Guanajay" et "San Nicolás de Bari". Elle est située dans une grande plaine karstique (Photo 1) appelée "*Llanura occidental*" qui occupe une grande extension le long de la côte Sud de Cuba.

Cette région est limitée au Nord par une ligne de hauteurs calcaires (100 à 250 mètres) du Miocène (roches dures ou tendres) où ont été reconnus des sols variés : rendzines, sols bruns calcaires et sols ferrallitiques.

La plaine elle-même dont l'altitude est comprise entre 50 et 5 m est occupée par divers sols ferrallitiques. Elle est limitée au Sud par la mer près de laquelle on observe des vertisols et des sols hydromorphes.

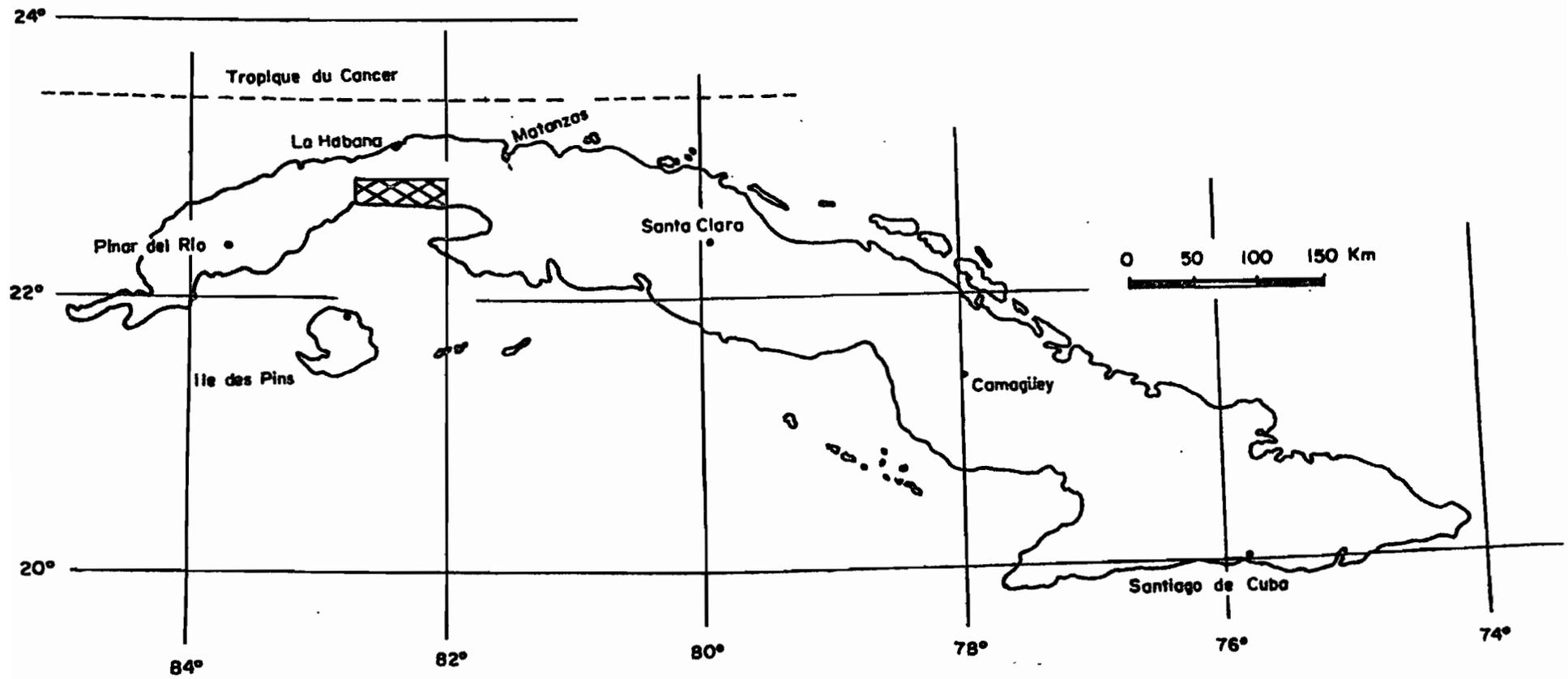


Fig. 1 Situation de la région étudiée

## 2.2. LE CLIMAT.

L'île de Cuba et les îles voisines, sont situées au Sud du Tropique du Cancer à l'intérieur de la zone intertropicale. L'ensemble des îles est exposé à l'action des vents alizés qui agissent constamment suivant une direction prédominante du Nord-Est en hiver et de l'Est-Nord-Est en été.

Le climat de la région étudiée est du même type que celui qui caractérise l'ensemble du pays et qui peut être considéré comme un climat tropical avec des périodes sèches plus ou moins longues. La saison des pluies dure de Mai à Octobre, la période la moins humide s'étend de Novembre à Avril.

Les variations des températures pendant l'année ne sont pas très fortes, l'amplitude mensuelle ne dépasse guère 6°C. Comme on peut le remarquer (Tableau 1), la température la plus basse est observée pendant la saison sèche (20 à 24°C). C'est au cours de cette période que Cuba - surtout la partie occidentale de l'île - est soumise à l'influence de masses d'air froid provenant du continent Nord américain.

Les températures les plus élevées se produisent entre Mai et Octobre ; les mois les plus chauds correspondent à Juillet et Août avec 27°C de température moyenne mensuelle. La température moyenne annuelle de la région est de 24,5°C, ce qui est légèrement plus faible que la moyenne nationale qui est de 25,5°C.

Les précipitations moyennes annuelles qui tombent dans cette partie de la plaine karstique, varient entre 1200 et 1600 mm (Tableau 2) ; on observe une certaine influence de l'altitude sur la pluviométrie. Vers la limite Nord de la région, où existent des hauteurs (jusqu'à 250 m), on observe une augmentation des précipitations qui peuvent atteindre 1700 mm (NUÑEZ JIMENEZ, 1968).

Du point de vue de la répartition, on peut observer que les diagrammes ombrothermiques (Fig.2), comportent deux maxima, l'un en Mai-Juin correspondant à la véritable saison des pluies et l'autre en Septembre dû à l'influence des *Cyclones*. On peut remarquer également que ces maxima se produisent au même temps dans presque toutes les stations sauf celle de "*La Luisa*" où ce maximum se produit en Août et Septembre.

C'est pendant la saison des pluies que tombent plus de 77% des précipitations. Ceci correspond au renforcement de l'alizé qui se produit à ce moment dans toute la région caraïbe.

Les précipitations les plus faibles ont lieu entre Novembre et Avril. Elles varient de 10 à 90 mm par mois, mais il existe d'assez longues périodes dépourvues de pluies.

Selon NÚÑEZ JIMENEZ (1968), le caractère des précipitations et leur distribution ont une influence importante sur l'évolution du relief karstique. La majeure partie des précipitations a lieu sous forme d'averses courtes mais violentes à la fin de la journée. A ce moment, se produit une forte évaporation<sup>(1)</sup>. On peut remarquer par exemple qu'à la station de "*Pulido*" l'évaporation annuelle est élevée 1945 mm ; l'évaporation maximale (216 mm) a lieu pendant la saison "sèche", quand le degré hygrométrique descend de 81 à 73-77% (Tableau 3), coïncidant aussi avec les plus fortes insolation et les plus grandes vitesses du vent dans cette période de l'année.

## 2.3. GEOLOGIE ET GEOMORPHOLOGIE.

### 2.3.1. LES ROCHES ET LEURS DIFFERENTS FACIES.

L'histoire géologique de Cuba (BERMUDEZ, 1963 ; ALBEAR et ITTURALDE, 1977 ; BUTTERLIN, 1977), nous enseigne que les premiers sédiments datés sont du Jurassique inférieur.

(1). Toutefois, DAVITAYA et al. (1965) donnent comme valeur moyenne de l'évaporation en plaine à Cuba 900 à 950 mm par an.

TABL. AU 1 : Température moyenne mensuelle

STATION	PERIODE	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	ANNUELLE
MELENA DEL SUR	1966-1973	21,4	20,9	22,4	24,8	26,0	26,5	27,1	27,1	26,8	25,5	23,2	21,7	24,4
PULIDO	1972-1977	22,2	21,2	23,4	24,5	25,8	26,5	27,3	27,5	26,9	25,4	21,7	21,6	24,7

**TABLEAU 2 : Données climatiques des principales stations de la région étudiée (Pluviométrie en mm.)**

STATION	LOCALISATION	ALTITUDE (m.)	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	ANNUELLE
SAINTE BARBARE (20 ans)	N° 324,7 E: 370,9	15	30,1	37,4	30,9	41,2	139,1	217,1	219,1	151,8	213,7	114,5	25,6	8,8	1229,3
LA LUISA (20 ans)	N° 322,5 E: 383,6	12	92,2	34,9	47,3	51,7	171,4	130,6	152,9	190,8	212,0	132,2	28,6	14,2	1195,8
LA TINAJA (10 ans)	N° 326,6 E: 402,2	18	21,9	41,3	77,8	88,0	235,4	295,9	210,2	188,4	233,8	147,0	20,7	9,0	1559,4
C. OSVALDO SANCHEZ (12 ans)	N° 328,20 E: 393,70	25	33,4	41,5	59,0	50,8	152,4	218,0	170,0	181,5	203,8	118,0	21,5	12,4	1262,3
MELEDA DEL SUR (7 ans)	N° 328,4 E: 385,3	24	39,8	28,5	55,3	63,8	161,7	357,5	244,6	183,7	249,6	146,8	67,2	31,6	1613,0
PULIDO (5ans)	N° 328,0 E: 353,3	5	43,4	28,6	20,5	111,4	188,0	285,3	183,0	214,5	177,0	79,2	48,0	34,5	1406,4
BARNET (18 ans)	N° 324,4 E: 340,4	5	41,4	51,2	23,7	32,9	162,8	238,6	145,7	182,3	204,8	168,7	37,9	11,5	1301,5
GUANAMON (13 ans)	N° 321,7 E: 402,3	5	26,3	47,8	39,3	55,8	217,7	222,2	190,2	168,5	170,6	126,6	28,5	14,7	1308,2

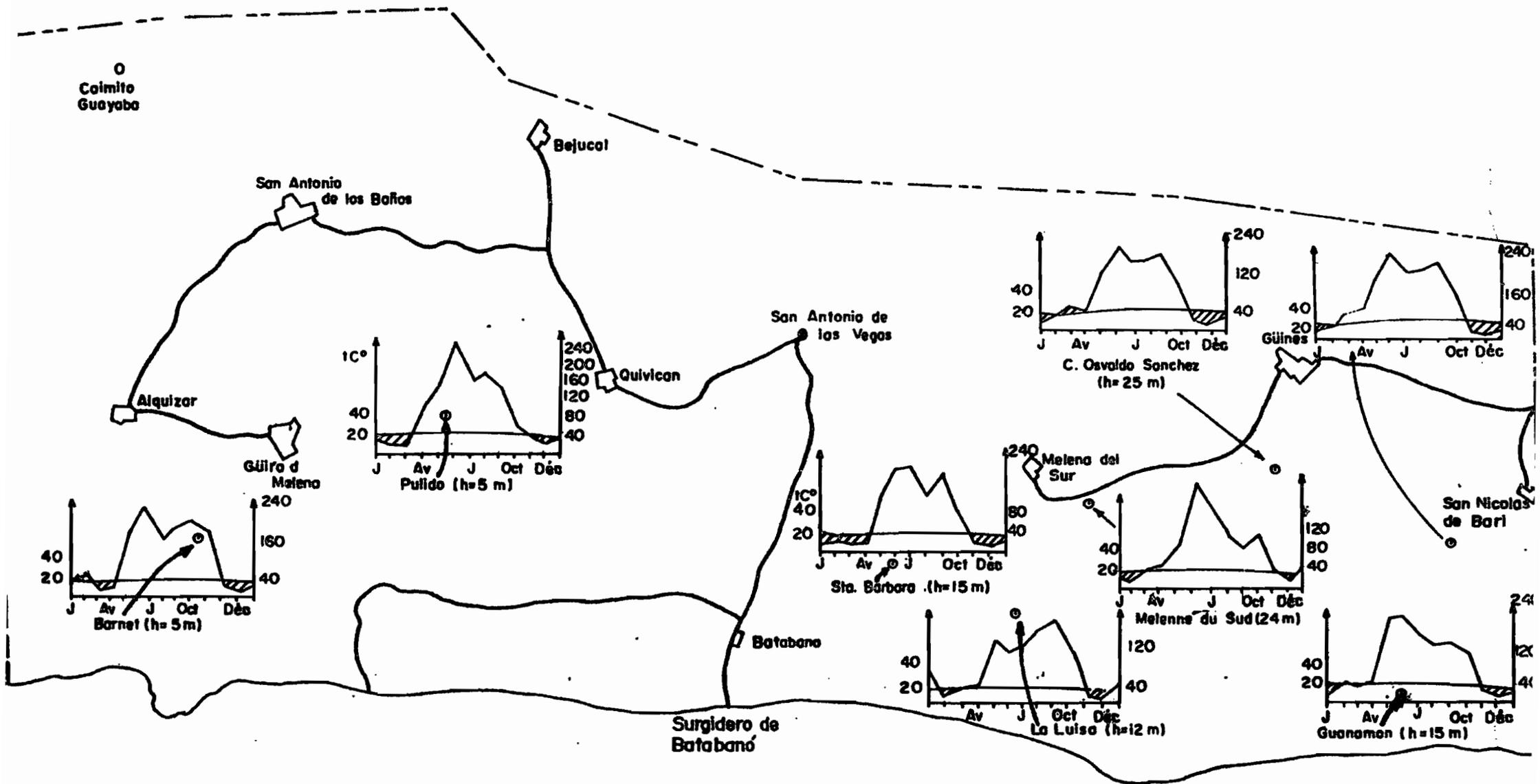


Fig. 2 Diagrammes ombrothermiques de la région étudiée

**TABLEAU 3** : Différentes données sur l'humidité relative, l'évaporation, l'insolation et la vitesse du vent dans la Région étudiée.

**HUMIDITE RELATIVE (%)**

STATION	PERIODE	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	ANNUELLE
PULIDO	1972-1977	78	77	76	75	77	80	79	80	82	79	79	80	79
MELENA DEL SUR	1968-1973	79	78	77	73	77	83	83	83	85	85	84	81	81

**EVAPORATION MOYENNE MENSUELLE (mm.)**

PULIDO	1972-1977	133,3	140,0	198,4	216,0	186,0	156,7	186,0	186,0	150,0	143,8	127,0	124,0	1944,7
--------	-----------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	--------

**INSOLATION MOYENNE MENSUELLE (Heure/jour)**

PULIDO	1972-1977	6,2	7,0	8,4	8,2	7,4	6,2	7,4	8,0	7,1	6,4	7,2	6,1	7,1
--------	-----------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

**VITESSE DU VENT (Km/h)**

PULIDO	1972-1977	6,8	8,0	8,3	9,0	6,5	5,8	5,3	5,4	4,0	6,5	6,8	6,5	6,5
--------	-----------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

**NOMBRE DE JOURS DE PLUIE**

MELENA DEL SUR	1968-1973	4	4	4	4	11	18	16	15	15	9	4	3	107
----------------	-----------	---	---	---	---	----	----	----	----	----	---	---	---	-----

Un certain nombre d'évènements importants comme : éruptions volcaniques, mise en place de roches ultrabasiques et métamorphiques, quatre séries de plissements, dont certains avec charriage, ont affecté l'ensemble du territoire cubain.

La structure de la zone étudiée dans ce travail résulte des évènements qui se sont déroulés à l'Eocène supérieur. A ce moment là, la quasi-totalité du territoire cubain était couverte par la mer, à l'exception de quelques régions émergées constituées par des roches anciennes : gneiss, schistes, calcaires, péridotites serpentinisées. Les gneiss résultent d'un métamorphisme modéré daté du Crétacé ; les péridotites se sont mises en place également au Crétacé. Ces reliefs devaient exister dans différentes parties des provinces de Pinar del Rio, de La Havane, à l'île des Pins, dans les provinces de Las Villas et de l'Oriente.

A cette période, dans les régions couvertes par la mer, se déposent des sédiments carbonatés, des argiles auxquels s'ajoutent des produits terrigènes grossiers provenant de l'érosion des reliefs émergés.

Entre l'Oligocène et le Néogène, les îles précitées sont recouvertes par la mer et tout spécialement les provinces occidentales. A cette période, des soulèvements se sont produits, mais aussi les dépôts de sédiments carbonatés et de produits argileux continuent.

Pendant le Miocène inférieur et une partie du Miocène moyen, la mer occupe de vastes étendues du territoire cubain, où se déposent des sédiments carbonatés et argileux, connus à Cuba sous le nom de formation de *Guines* (calcaire dur) et de *Cojimar* (calcaire moyennement dur).

D'après les travaux de ALBEAR et ITURRALDE (1977), pendant la deuxième partie du Miocène moyen se produit un épisode tectonique qui concerne le Centre et le Nord de la province de La Havane avec dépôt de sédiments carbonatés à faciès néritique. Le Miocène supérieur est caractérisé par un retrait presque total de la mer.

Au Pliocène, ces conditions se sont maintenues. Pendant le Quaternaire de nouvelles transgressions marines se sont produites, suite à des oscillations eustatiques (dues aux glaciations) et à des mouvements de l'écorce (léger soulèvement d'ensemble au Nord et enfoncement au Sud).

Le résultat est le relief actuel caractérisé au Nord par des hauteurs constituées de roches sédimentaires allant de l'Eocène au Miocène inférieur, plissées, faillées et soulevées, contrastant avec la partie Sud subhorizontale, constituée de formations miocènes présentant un léger pendage vers le Sud.

Afin de bien connaître la lithologie et surtout comment se disposent les différentes strates calcaires, trois sondages furent choisis parmi ceux qui ont été établis par "*Recursos Hidraulicos*" et représentatifs de la plaine étudiée.

Le sondage situé à "*Melena del Sur*" (Fig.3), montre une succession de couches de marnes et de calcaires durs peu épais qui se répètent constamment.

Une autre succession stratigraphique, caractéristique de la partie Sud de cette région, est située près de "*Batabanó*" (Fig.4). Dans celle-ci, c'est l'argile qui affleure, suivie d'une mince couche de calcaire dur, située au-dessous d'une argile très semblable à celle observée en surface.

Au contraire, le sondage situé tout près de "*Bejucal*" (Fig.5), présente une séquence d'argile assez homogène, qui est située sur une couche peu épaisse de marnes et de calcaires durs.

Ces différentes séquences mettent en évidence l'hétérogénéité des roches formant le substratum de la plaine étudiée.

La nature des roches et l'épaisseur des strates calcaires varient d'un sondage à l'autre. Ainsi, on peut se demander si les sols que l'on examine sont véritablement apparentés aux roches sous-jacentes; ils peuvent aussi bien dériver de roches qui ont disparu à l'heure actuelle et qui contenaient des résidus très différents.

Fig: 3

N: 333,50

E: 390,50

Puits. 242

Melanne du Sud

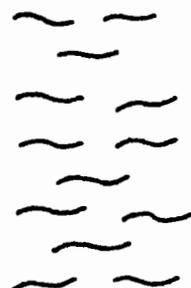
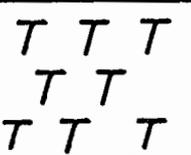
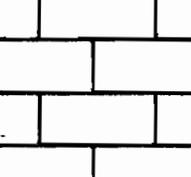
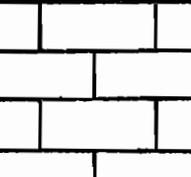
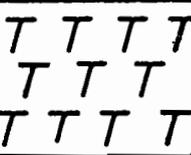
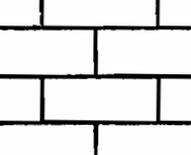
Prof. ms.	Lithologie	Description	Âge	Formation	Fossiles
6,00		Argile rouge calcaire avec fragments de calcaire et nodules ferrugineux 3-6 m de couleur brun foncé	Miocène au plus jeune	Non Définie	
9,00		Marne brun clair avec calcite et nodules ferrugineux			
12,00		Calcaire blanc-jaunâtre présentant de petits grains ferrugineux.			
15,00		Marne beige avec fragments de calcaire. et marques d'oxydation.			
21,00		Calcaire fragmentaire de couleur blanc-jaunâtre, avec grains de calcite.			
38,00		Marne beige avec fragments de calcaire			
44,00		Calcaire fragmentaire blanc-jaunâtre avec grains de calcite.			
47,00		Marne grise avec fragment de calcaire et quelques fossiles			

Fig:4

N: 334,300

E: 363,80

Puits 360

"Batabano"

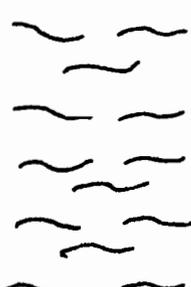
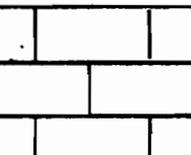
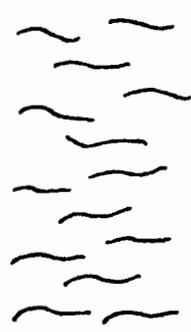
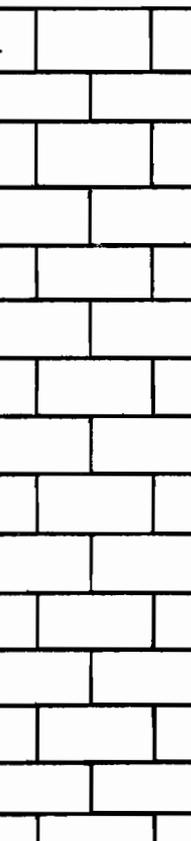
Prof. ms.	Lithologie	Description	Âge	Formation	Fossiles
5,00		Argile rouge très plastique compacte, présentant d'abondants nodules ferrugineux résiduels			
7,00		Calcaire dur de couleur blanche	Miocène inférieur	Guines	
13,00		Argile rouge plastique compacte avec grande quantité de fragments calcaires			
40,00		Calcaire cristallisé de couleur blanche, poreux, caverneux, dur, présence de matériaux rouge lixiviés dans les cavernes			

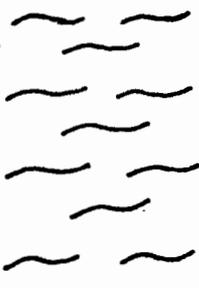
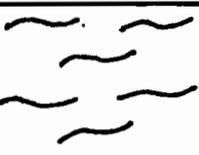
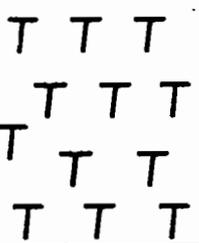
Fig: 5

N: 341,51

E: 358,20

Puits. 282

BejucaI

Prof. ms.	Lithologie	Description	Âge	Formation	Fossiles
5,00		Argile plastique rougeâtre, présentant abondants résidus de calcaire recristallisé, blancs avec marque d'oxydation. Sans fossiles.			Non
10,00		Idem mais beige rougeâtre avec microfossiles.	Miocène-Inférieure à moyenne	Non déterminée	
25,00		Marne beige-rougeâtre présentant d'abondants résidus calcaires, blanche avec oxydation et des microfossiles.			

Comme on peut le constater sur la coupe géologique établie à l'Est de cette région (Fig.6) ; les couches de calcaire miocène ont un pendage léger vers le Sud, elles ont été affectées par des failles locales de faible rejet, dues à des légers mouvements tectoniques. Dans la partie Ouest, on peut remarquer le même type de structure avec le même pendage vers le Sud. Ici les mouvements tectoniques récents ont été actifs, ce qui a amené des couches calcaires plus anciennes en affleurement.

Une esquisse géologique à l'échelle de 1/500.000 a été établie (Fig.8) ; qui permet d'apprécier la prédominance des calcaires du Néogène dans toute cette zone.

Parmi les calcaires du Néogène, les calcaires durs<sup>(1)</sup> du Miocène moyen sont les plus répandus. Ces calcaires sont de nature organogène, massifs, caverneux et avec des recristallisations de calcite. Ils sont le siège de phénomènes karstiques intenses.

Dans la surface occupée par les calcaires durs, il existe une grande variabilité de faciès. On trouve les couleurs suivantes : beige-jaunâtre, gris clair, jaune et beige foncé ; les teneurs en résidus non carbonatés varient entre 1 et 4% (Tableau 4).

Les calcaires moyennement durs et les marnes du Miocène inférieur et moyen sont moins étendus.

Ils se trouvent répartis surtout dans la partie Nord-Ouest tout près de "Guanajay" et autour de "Güines". Ils sont constitués de calcaires massifs, organogènes, argileux et généralement peu cristallisés ; dans ceux-ci le développement des phénomènes karstiques est très semblable à celui des calcaires durs. Dans ce type de calcaire, la variabilité est encore plus marquée, avec des couleurs gris,

(1). Le calcaire dur : lorsqu'on le frappe avec un marteau, il rend un son clair et les fragments présentent des bords aigus.

Le calcaire moyennement dur : un coup de marteau rend un son sourd et les fragments présentent des bords émoussés.

Le calcaire tendre : est un calcaire friable qu'on peut effriter à la main, ou avec un faible coup de marteau.

jaune et rouge-jaunâtre, et avec une teneur en résidus non carbonatés qui peut atteindre 13% dans les calcaires rougeâtres et 2% dans les gris.

Les calcaires moyennement durs du Miocène inférieur à moyen occupent une place relativement réduite, localisée au centre de la zone. Ils diffèrent des calcaires durs par une moins bonne cristallisation et sont généralement fortement diaclasés. La plupart des calcaires sont blancs et gris, avec une teneur en résidus non carbonatés de l'ordre de 1,2%.

Ce type de calcaire est caractérisé par un développement important de phénomènes karstiques.

Les calcaires tendres et les marnes de l'Eocène, sont des roches plus anciennes. Elles sont localisées dans le bloc "*Bejucaí*" situé au Nord de la région étudiée. Ces roches sont constituées par des calcaires argileux et des marnes, friables mais parfois un peu durcies. Elles sont généralement de couleur gris blanc.

La teneur en résidus non carbonatés est assez variable, celle des roches analysées est de l'ordre de 7%. Dans ce type de roche, en raison de leur perméabilité réduite, les phénomènes karstiques sont moins développés.

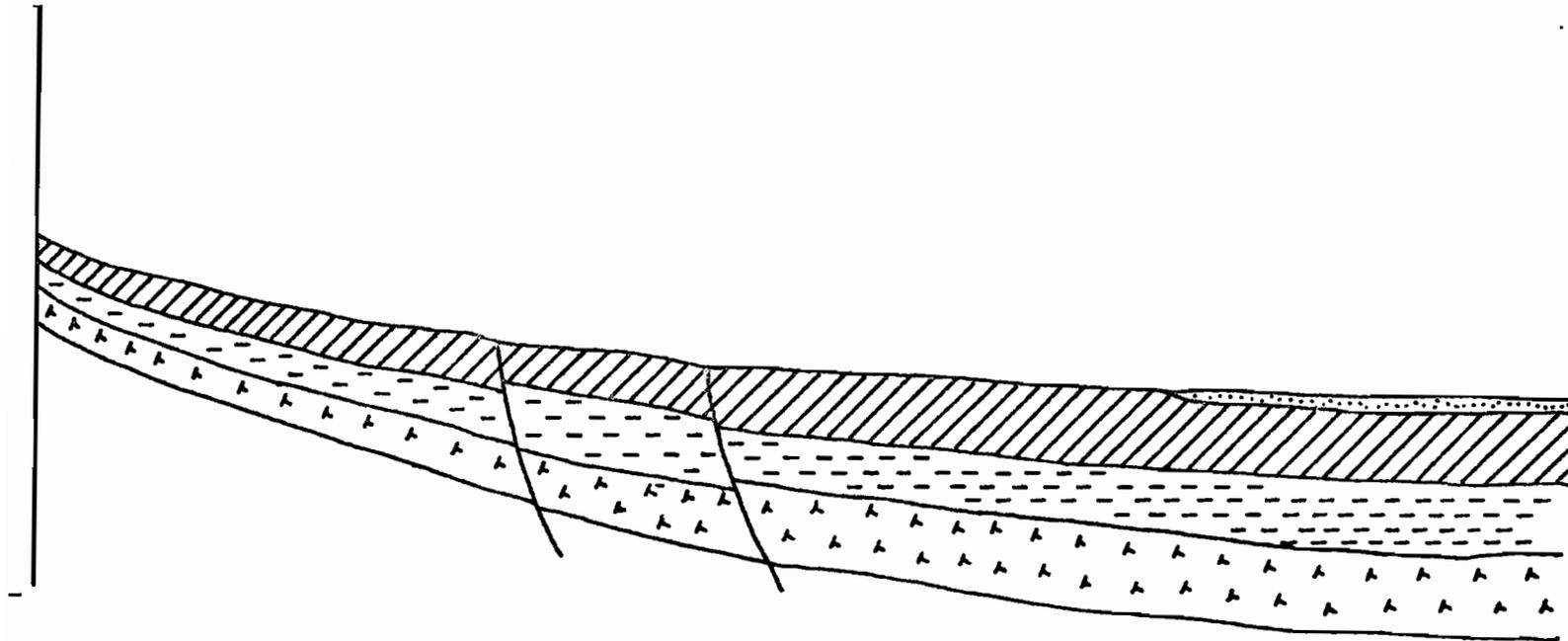
Enfin, le long de la côte Sud, existe une frange qui correspond à des dépôts plus récents. Ces matériaux sont de nature organique et minérale et ils se trouvent situés au-dessus des calcaires durs du Miocène inférieur et moyen.

Comme on peut le remarquer, cette plaine est entièrement formée à partir de roches calcaires, mais différents faciès apparaissent qui se traduisent par des couleurs, des duretés, différentes par leur composition, en particulier leur teneur en résidus non carbonatés. Cette variabilité fait que la roche est un des facteurs de formation des sols particulièrement important, car elle influe fortement sur la répartition des sols dans cette plaine.

Fig:6

Coupe Géologique. A - A' Echelle V. I:5000

H. I:100 000



Légende

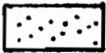
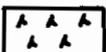
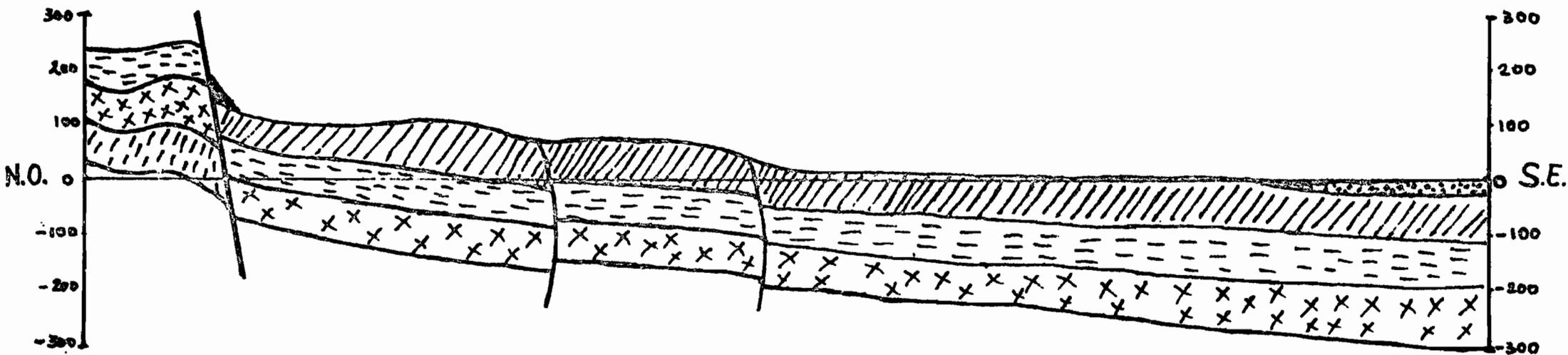
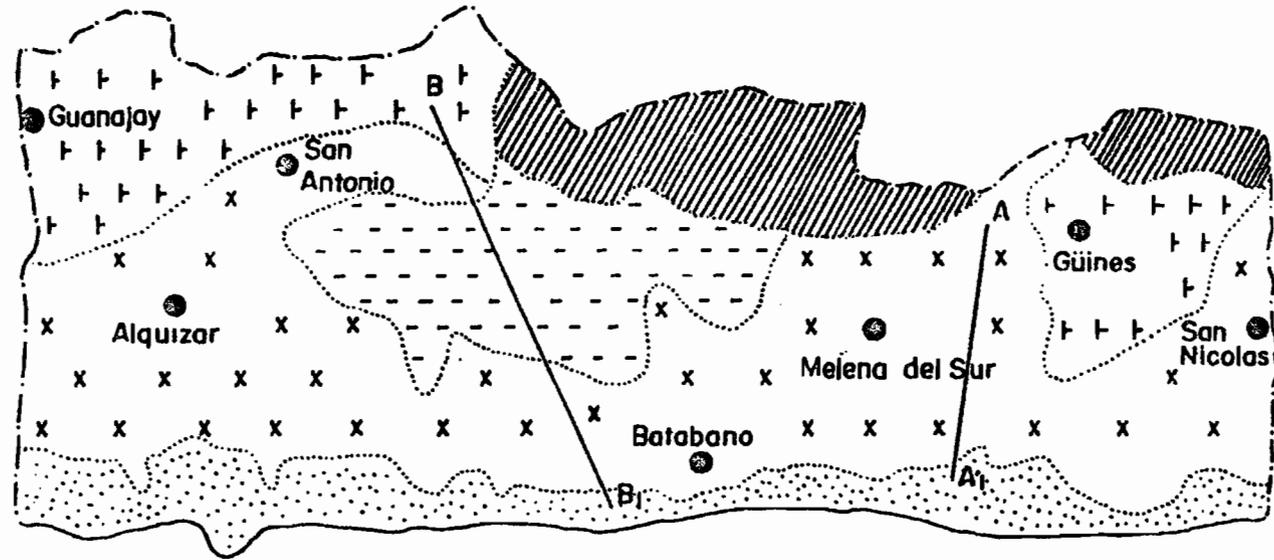
-  Q<sub>4</sub> Dépôt récent. (Quaternaire)
-  N<sub>1</sub><sup>2</sup> Calcaire dur. (Miocène moyen)
-  N<sub>1</sub><sup>1+2</sup> Calcaire moyennement dur et marnes. (Miocène inférieure et moyen)
-  P<sub>03</sub> Marnes. (Oligocène)
-  Faille.

Fig.7 Schéma géologique - échelles : V=1:10 000 ; H=1:100 000



-  Quaternaire
-  Miocène Moyen.
-  Miocène Inférieure et Moyen.
-  Oligocène.
-  Eocène.
-  Failles.

Fig. 8 Esquisse Géologique de la région étudiée



Legende

-  Q<sub>4</sub>.- Dépôt récent argileux (Quaternaire)
-  N<sub>1</sub><sup>2</sup>.- Calcaire dur (Miocène moyen)
-  N<sub>1</sub><sup>1+2</sup>.- Calcaire moyennement dur et marnes ( Miocène inférieure et moyen)
-  N<sub>1</sub><sup>1</sup>-N<sub>1</sub><sup>2</sup> Calcaire moyennement dur ( Miocène inférieure à miocène moyen)
-  Pg<sub>2</sub>.- Calcaire tendre et marnes (Eocène)
-  — Coupe géologique

**TABLEAU 4 : Caractéristiques des roches carbonatées.**

ECHANTILLON	TYPE DE CALCAIRE	RESIDU (Z)	COULEUR DE LA ROCHE	CARACTERISTIQUES GENERALES DES ROCHES
TE-1	Calcaire dur	0,75	Beige Clair	Organogène avec beaucoup de fossiles
TE-4	Calcaire dur	2,32	Gris-jaunâtre	Bien cristallisé et peu fossilifère
TE-6	Calcaire dur	1,07	Jaune	Bien cristallisé et non organogène
TE-18	Calcaire dur	1,88	Beige	Bien cristallisé et peu organogène
TE-19	Calcaire dur	1,41	Beige	Bien cristallisé et peu organogène
TE-25	Calcaire dur	4,5	Beige foncé	Bien cristallisé et peu organogène
TE-2	Calcaire moyennement dur	10,05	Jaunâtre	Organogène, fossilifère et peu cristallisé
TE-5	Calcaire moyennement dur	2,00	Gris	Organogène
TE-7	Calcaire moyennement dur	56,5	Rouge jaunâtre (zone d'altération)	Peu cristallisé et fossilifère
		13,2	Rouge (calcaire sain)	
TE-14	Calcaire moyennement dur	12,2	Rouge jaunâtre	Organogène avec beaucoup de fossiles. La partie extérieure est cimentée par CO <sub>2</sub> CA secondaire
TE-15	Calcaire moyennement dur	1,20	Blanc	Peu organogène
TE-11	Calcaire tendre	7,30	Blanc	Friable

### 2.3.2. LES FORMES DU RELIEF ET LEUR RAPPORT AVEC LA NATURE DES ROCHES.

Pour caractériser géomorphologiquement cette plaine karstique et dans le but d'établir les rapports possibles entre les formes du relief et la nature des roches, une carte à l'échelle de 1/100.000 a été établie (carte hors texte).

La partie de la plaine qui fait l'objet de notre travail a pour limite Nord, les formes du relief les plus élevées de la région. Ces hauteurs ont influencé la pédogenèse dans la plaine, en y introduisant des matériaux alluviaux et de nombreux ruisseaux.

La majeure partie de la limite Nord est occupée par la ligne de hauteurs s'étendant à l'Est de "Bejucał"<sup>(1)</sup> où dominent les calcaires tendres et les marnes de l'Eocène.

Structuralement ces hauteurs sont constituées par des anticlinaux et des horsts avec des sommets très aplanis.

On y trouve différents niveaux d'aplanissement.

Le passage de cette structure vers la plaine peut se faire graduellement lorsque l'on a affaire à des roches tendres, comme dans le Centre et l'Est de la zone étudiée où les escarpements sont peu importants et limités. Par contre, dans le cas de calcaires durs (Sierra Anafe plus à l'Ouest), on observe un escarpement assez brutal.

La "Sierra Anafe" constitue la limite Nord-Ouest. Par les caractéristiques qu'elle présente, elle peut être considérée comme un bloc synclinal soulevé et limité vers le Sud par des failles. Sur le sommet complètement aplani, les calcaires durs du Miocène affleurent, tandis que sur les versants on trouve des calcaires de l'Oligocène et du Miocène. Sur cette structure on observe différents niveaux d'aplanissement constituant de vastes surfaces aux altitudes de 150, 200 et 250 mètres.

(1). Il s'agit du système dit de "Bejucał-Madruga".

Ces surfaces sont karstiques et partiellement couvertes par des sols rouges de caractéristiques très semblables à ceux que l'on trouve dans la plaine située en contrebas. On y observe aussi différentes formes du relief karstique.

Le passage entre cette structure et la plaine se fait brutalement, parce que l'érosion n'a pu adoucir l'escarpement constitué par le calcaire dur.

Le lac "*Ariguanabo*" peut être considéré comme une dépression tectonique, comblée par des sédiments quaternaires apportés par l'érosion des hauteurs environnantes. Il est situé entre deux blocs formant horst avec des altitudes supérieures à 250 m et se trouve à environ 60 m au-dessus du niveau de la mer. Il faut souligner cependant que l'effondrement de cette zone a été graduel, ce qui a donné le temps nécessaire à la rivière "*San Antonio*" de s'enfoncer et ainsi entailler l'escarpement qui sépare cette dépression de la plaine.

La partie Est de la plaine est parcourue par le "*Rio Mayabeque*" qui traverse le bloc anticlinal "*Bejucaal-Madruga*" et relie ainsi à la mer la plaine karstique intérieure située plus au Nord.

Sur les couches calcaires légèrement inclinées vers le Sud, se développe une surface karstique très étendue, dans laquelle on a séparé six niveaux topographiques d'origine semblable, mais d'âge différent. Ces niveaux doivent être en correspondance avec les différentes oscillations du niveau marin pendant les périodes Pliocène à Quaternaire.

Les différents profils topographiques établis du Nord au Sud dans la région étudiée (Fig. hors texte), montrent la similitude présentée par le relief de cette plaine d'Est ou Ouest et aussi la répartition des différents niveaux. Le passage d'un niveau au suivant correspond à une dénivellation d'environ un à deux mètres, particulièrement bien visible, en raison de la dureté du calcaire.

On trouve sur les différents niveaux des caractéristiques du karst couvert et semi-couvert<sup>(1)</sup>. Celles-ci se traduisent par la présence de dolines et dépression karstiques (Collectif d'auteurs, 1979) de tailles très différentes ; on y trouve également un nombre considérable de cavernes, ponors et lacs karstiques qui sont très répandus surtout dans les calcaires durs et moyennement durs.

Cette situation est favorisée par la constitution géologique, mais surtout parce que les couches calcaires sont très faillées (avec un faible rejet et diaclasées par suite d'oscillations tectoniques faibles. Il en découle une infiltration rapide de l'eau et un développement actif des phénomènes karstiques sous les conditions climatiques actuelles.

Sur ces différents niveaux on trouve au centre du karst couvert et semi-couvert des affleurements de karst nu, avec des lapiéz, associés à des dolines dues à l'action conjointe de la dissolution souterraine et d'effondrement. Généralement, cette morphologie est couverte par une végétation de type arbustif et de pâturage spontané.

Entre les zones de karst semi-couvert existent des vastes surfaces où l'épaisseur des sols est supérieure à 2 m et où n'affleurent aucun élément rocheux. Ces zones constituent des bandes orientées en gros Nord-Sud, observées au Sud de "*Caimito*", de "*Bejuca*"; de "*Guara*", "*San Nicolas de Bari*".

Entre ces bandes, le karst est généralement couvert.

Vers la partie Ouest de la région, les lapiéz affleurent en lignes parallèles Est-Ouest ; ils atteignent une hauteur variable de 10 à 30 cm. Ces lignes se trouvent séparées par 1 à 2 m de sol rouge (DEL BUSTO et al. 1976) avec des profondeurs comprises entre 20 et 50 cm.

(1). Karst couvert : les phénomènes karstiques se développent à l'abri d'une couverture de sols ; karst semi-couvert, ils se développent partiellement en profondeur, partiellement en surface.

Cette disposition correspond à des ondulations analogues à celles décrites par ITURRALDE (1977). Dans les parties élevées, affleure le calcaire lapiézé où le karst est presque nu, tandis que les parties inférieures sont accompagnées d'un épaissement des sols.

Les lacs karstiques sont situés sur les surfaces entre 0 et 40 m. Ils sont de petite taille et développés dans d'anciennes dolines obstruées, où le niveau des eaux souterraines se trouve assez proche de la surface.

L'origine de cette plaine est encore très discutée, trois hypothèses fondamentales ont été formulées :

1. L'origine est due à l'aplanissement continental (MASSIP et IZALGUE, 1942 ; DUCLOZ, 1963).

2. Le modèle a également une origine continentale mais est dû en grande partie aux processus de dissolution des calcaires ; les faibles ondulations topographiques sont dues aux faibles mouvements de strates calcaires (NÚÑEZ JIMENEZ, 1972).

3. Le façonnement du relief a été produit par les variations du niveau de la mer, conduisant à la formation d'un système de terrasses marines classiques (LILLIEMBERG, 1973 ; DEL BUSTO et al. 1976 ; MAYO et al. 1976).

En tenant compte de ces hypothèses et la morphologie actuelle de cette plaine, on se rattache plutôt à ce qui a été signalé par MASSIP et IZALGUE (1942) et NÚÑEZ JIMENEZ (1972).

En effet, il ne semble pas que ces terrasses soient marines, car il n'y a pas de débris de coquilles, de coraux ni accumulation d'éléments grossiers (sables, galets, etc.) qui pourraient correspondre au façonnement de cette plaine par la mer.

Cependant, il est certain que le relief a subi l'influence des différentes oscillations plioquaternaires du niveau de la mer. A cette période, se sont aussi produits des changements climatiques importants (MAYO et al. 1972), avec des périodes sèches et humides

qui ont influencé l'intensité du développement (sur les calcaires exondés) du karst et l'aplanissement du territoire.

Alors on est amené à penser que l'origine et la morphologie de cette région peuvent être rattachées à la manifestation de ces facteurs, auxquels viennent s'ajouter de faibles mouvements tectoniques qui ont produit de faibles ondulations Est-Ouest, déterminant ainsi un relief pratiquement plat, légèrement ondulé avec une pente très faible vers le Sud.

### 2.3.3. CARACTERISTIQUES HYDROLOGIQUES DE LA REGION.

Généralement, les caractéristiques les plus visibles, d'une région karstique sont, avant tout, la pauvreté du réseau hydrographique superficiel.

Avec cette structure légèrement inclinée vers le Sud, sur un autre type de roche se développerait un réseau hydrographique superficiel. Mais dans cette plaine, en raison de la perméabilité des calcaires, le réseau de surface est remplacé par un écoulement souterrain.

On peut constater (voir carte) que dans la zone étudiée, seule la partie Ouest correspond à une région proprement karstique. On ne peut pas en dire autant de la partie Est, où il y existe un certain développement du réseau hydrographique superficiel, surtout dans les zones les plus élevées.

Cette partie orientale présente un nombre assez important de rivières permanentes et de petits ruisseaux intermittents, localisés principalement sur les surfaces comprises entre 80 et 120 m. Au-dessous de 80 m, le nombre des cours d'eau est extrêmement réduit, et seulement ceux qui ont un caractère permanent arrivent à traverser la plaine pour atteindre la côte Sud. Parmi ceux-ci, la rivière "Guara" qui n'est en eau que pendant la saison des pluies ; la rivière "Mayabeque" qui coule toute l'année ; ainsi que les rivières "Quivicán", "San Nicolas" et "Rio Seco".

On peut expliquer la permanence de ces rivières par le fait qu'elles apportent depuis la plaine de Madruga et des régions, situées plus au Nord, des alluvions montmorillonitiques imperméables.

Malgré l'apport d'eau fourni par les hauteurs "*Bejucał-Madruga*", les autres rivières et ruisseaux n'arrivent pas à traverser la plaine et se perdent dans le calcaire à travers des cavernes et des ponors situés à l'altitude de 30 à 60 m et vont rejoindre le réseau souterrain.

Dans la partie Ouest le réseau hydrographique superficiel est très peu développé. Cela peut être dû à deux causes : tout d'abord parce que il n'y existe pas d'alimentation en eau suffisamment abondante, comme dans la partie Est, et ensuite parce que les calcaires y sont plus perméables.

Cette région présente un développement plus intense des phénomènes karstiques : une densité plus forte des diverses formes de relief, surtout un nombre plus important de dolines, de cavernes de différentes origines (érosion, effondrement, etc.) avec en particulier celle où se perd la rivière "*San Antonio*" dans la ville du même nom.

Une région, tout à fait différente de celle qu'on vient de voir, correspond à la partie située le long de la côte Sud. Dans celle-ci, le réseau hydrographique redevient superficiel et très développé. C'est là que le niveau de la nappe phréatique atteint la surface favorisant la résurgence de la plupart des rivières qui se sont perdues dans la partie plus élevée de la plaine. C'est pour cela qu'à ce niveau, il existe dans les sols un engorgement quasi-permanent qui s'accompagne d'une végétation à espèces hygrophiles.

Il faut signaler également que les sédiments miocènes, qui affleurent près de la mer, sont essentiellement argileux.

Toutes les rivières qui ont un caractère permanent sont actuellement presque entièrement canalisées et leurs eaux servent à l'irrigation. Un appoint d'eau est fourni par des eaux souterraines, grâce à des puits creusés à différents niveaux, répartis selon les besoins et l'importance des cultures.

## 2.4. VEGETATION.

### REPARTITION ACTUELLE DANS LA PLAINE.

Assurément, il est difficile de parler de végétation primaire dans la zone de notre étude, parce que les sols y ont été cultivés de manière intensive depuis longtemps.

Il en résulte que la végétation primaire a été progressivement remplacée par la végétation secondaire et les cultures. Cela s'est produit à un tel degré qu'aujourd'hui, non seulement dans cette zone, mais encore dans l'archipel de Cuba tout entier, la partie couverte par la forêt ne représente plus que 13% du territoire (BORHIDI et HERRERA, 1977).

Afin d'établir la répartition actuelle de la végétation dans cette partie de la plaine une carte à l'échelle de 1/500.000 a été établie (Fig.11).

Les cultures sont les plus étendues avec environ 1320 km<sup>2</sup>, et se trouvent réparties principalement dans le centre de la zone, sur les sols ferrallitiques. Dans cette région, l'activité agricole est intense, on y trouve principalement des cultures de canne à sucre (*Saccharum officinarum*), de bananiers (*Musa paradisiaca*) et de légumes. Toutefois, dans certains endroits isolés, on peut observer des témoins d'une végétation forestière naturelle caractérisée par quelques espèces comme : Ceiba (*Ceiba pentandra*), Palma real (*Roystonea regia*) et Guásima (*Guazuma tomentosa*), qui dénotent que, dans le passé, il y avait là une forêt de type semi-caducifolié à sempervirent.

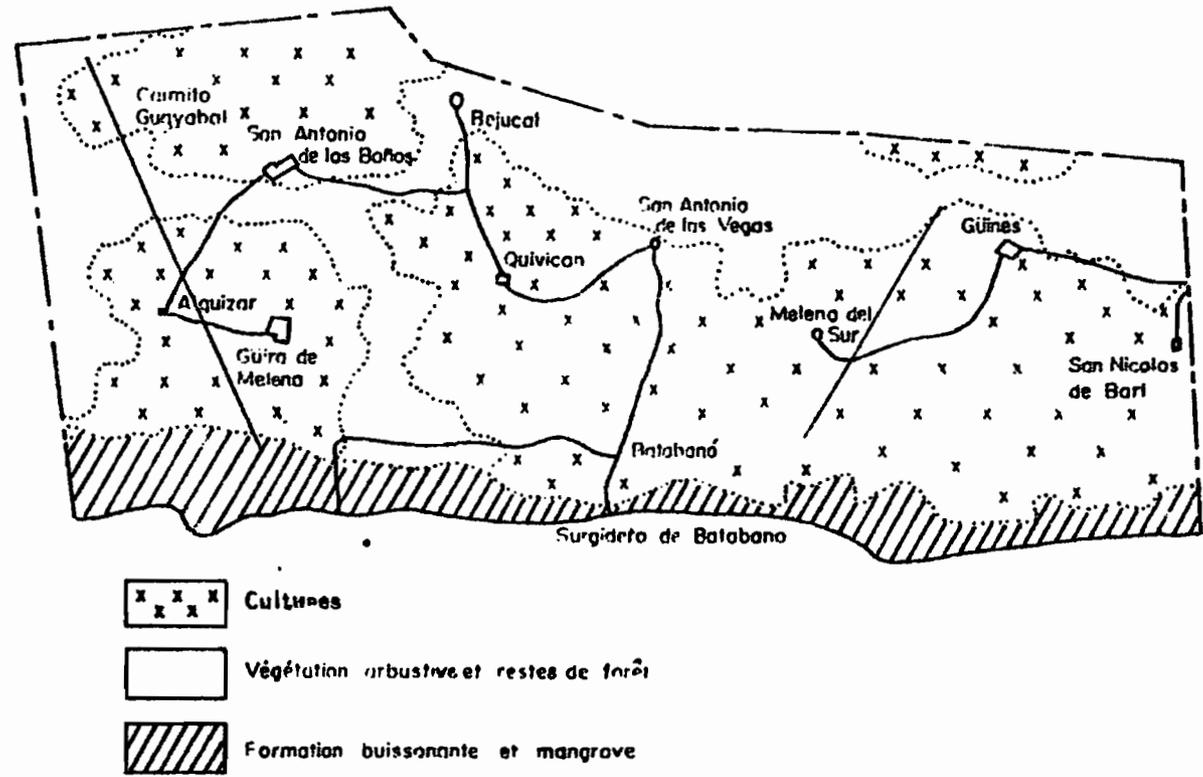
La végétation arbustive et les résidus de forêts ont une extension d'environ 594 km<sup>2</sup>. Dans celle-ci les espèces plus importantes sont : Palma real (*Roystonea regia*), Jaguey (*Ficus membranacea*), Guásima (*Guazuma tomentosa*), Cedro (*Cedrela mexicana*) et Almacigo (*Bursera simaruba*). On y trouve aussi assez souvent des pâturages spontanés à Sacasebo (*Paspalum notatum*). Cette végétation est située principalement sur des sols peu et très peu profonds avec affleurements de calcaires lapiézés.

L'utilisation actuelle de ces sols est surtout le pâturage et dans quelques endroits la culture d'agrumes.

La végétation buissonnante et la mangrove occupent une extension d'environ 234 km<sup>2</sup>, le long de la côte Sud, sur des sols hydromorphes organiques et moyennement humifères. Dans la composition de cette végétation, on trouve les espèces suivantes : Mangle (*Rhizophora mangle*), Palma real (*Roystonea regia*) dans la partie plus élevée, Junco (*Eleocharis interstinctu*) et Guano prieto (*Copernicia wrightii*).

L'utilisation actuelle des sols est avant tout le pâturage avec des espèces herbacées résistant à la salinité.

Fig:11 RÉPARTITION ACTUELLE DE LA VÉGÉTATION  
 échelle 1:500 000



### 3. MATERIEL ET METHODES.

#### 3.1. METHODES DE TRAVAIL SUR LE TERRAIN.

Le travail de prospection a commencé par une reconnaissance de toute la zone afin d'obtenir une vue générale de la topographie, des roches-mères, de la végétation ainsi que de la distribution des sols en fonction de ces facteurs. Un fond cartographique au 1/50.000 a été utilisé ainsi que des photographies aériennes au 1/37.000 et 1/60.000.

Tous les travaux sur les sols de cette région ont été consultés. Parmi ceux-ci : les cartes 1/50.000 de l'Institut des Sols de l'Académie des Sciences (1973), les cartes des sols par séries (1/50.000) du Ministère de l'Agriculture et la carte géologique au 1/250.000 de la province de La Havane d'ALBEAR et ITURRALDE (1977). Ces travaux nous ont apporté beaucoup de renseignements concernant surtout les unités inférieures que nous avons utilisées tout en vérifiant sur le terrain leur correspondance avec les différents types des sols.

Pour se rendre compte du rôle de la topographie et pour examiner la distribution des sols en fonction de celle-ci, 27 profils furent choisis le long de cinq toposéquences orientées généralement du Nord vers le Sud. De plus six autres profils furent prélevés entre les toposéquences.

Afin d'établir les limites des sols, des points d'observation ont été effectués à la tarière à des distances variant avec l'échelle de la carte.

Sur tous les échantillons prélevés, on a effectué des analyses physiques, chimiques et minéralogiques afin de permettre la caractérisation des sols et de les situer à l'intérieur de la classification des sols.

L'ensemble des observations faites sur le terrain et des résultats analytiques a permis d'établir une carte des sols de la région à l'échelle de 1/100.000.

L'étude des photographies aériennes et les cartes topographiques au 1/50.000 ont permis d'établir une carte géomorphologique au 1/100.000 de cette zone ; les différents niveaux et formes du relief établis ont été vérifiés sur le terrain.

Avec l'information géologique dont on disposait, une esquisse géologique a été élaborée, la répartition des différents types de roches a été vérifiée sur le terrain.

De plus, l'étude des photographies aériennes a permis d'établir une carte de la répartition actuelle de la végétation de cette région.

### 3.2. METHODES ANALYTIQUES.

Les différentes méthodes utilisées pour la caractérisation physique, chimique et minéralogique des sols, sont les suivantes :

#### 3.2.1. METHODES CHIMIQUES.

La détermination du pH a été faite par la méthode potentiométrique avec un rapport sol-solution 1/2,5.

Le dosage du carbonate de calcium fut effectué par gazométrie avec l'acide chlorhydrique à 10%.

Pour l'analyse des sels solubles totaux, on a employé un rapport sol-solution 1/5, la détermination de la conductivité des extraits a été effectuée avec un conductimètre.

L'acidité d'échange a été déterminée par percolation au chlorure de potassium N à pH 7, l'acidité totale des extraits a été titrée par acidimétrie en présence de phénolphthaléine et hydroxyde de sodium ; ensuite, l'hydrogène a été dosé en complexant d'abord l'aluminium avec du fluorure de sodium.

Les bases échangeables (S) ont été déterminées après percolation du sol par l'acétate d'ammonium N à pH 7. Pour la détermination de la capacité d'échange on a employé la méthode de GEDROIZ (1963). L'échantillon est traité avec de l'acétate de sodium N à pH 5. Après avoir saturé avec du chlorure de calcium N à pH 7, on élimine le chlore par lavage à l'alcool et le calcium est déplacé par l'acétate d'ammonium N à pH 7, ensuite on dose le calcium par titration au complexon III.

Le dosage de l'azote total a été fait par la méthode microchromique de TIURIN : l'échantillon est traité par un mélange d'acide sulfurique et de bichromate de potassium de manière à amener tout sous forme minérale. La distillation se fait en milieu basique (hydroxyde de sodium) ; l'ammoniaque libérée est recueillie dans une solution d'acide borique ; le dosage se fait avec de l'acide chlorhydrique 0,02 N.

Le carbone total a été dosé par la méthode TIURIN, l'oxydation de l'échantillon se fait avec un mélange acide sulfurique concentré et de bichromate de potassium, avec titration au sel de Mohr.

La composition de l'humus a été déterminée suivant KONONOVA. L'extraction se fait au pyrophosphate de sodium 0,1 M ; les acides humiques et fulviques sont séparés par l'acide sulfurique 1/1 ; finalement on dose le carbone de chaque fraction comme précédemment.

**FRACTION I.** - Correspond à la fraction d'acides humiques et/ou fulviques liés aux éléments alcalino-terreux et aux sesquioxydes.

**FRACTION II.** - Fractions des acides humiques et/ou fulviques liés au calcium et au magnésium.

**FRACTION Ia.** - Fraction d'acides fulviques dits "agressifs".

Le degré de polymérisation des acides humiques est déterminé par électrophorèse sur l'extrait global au pyrophosphate de sodium 0,1 M selon la méthode d'extraction de la matière humique suivie par les S.S.C. de l'O.R.S.T.O.M. à Bondy (DABIN, 1966).

L'extraction du fer libre est effectuée par la méthode de DE ENDREDY (1963). Le réactif de TAMM (acide oxalique + oxalate d'ammonium) en contact avec l'échantillon est soumis à l'influence d'une lampe à ultraviolet pendant trois heures. Le dosage du fer dans la solution oxalique est effectué par absorption atomique (CAMACHO et al. 1980).

La détermination du fer amorphe se fait selon la méthode SEGALEN (1968), par extraction fractionnée (8 traitements) faisant alterner l'acide chlorhydrique 8 N et l'hydroxyde de sodium 0,5 N. Le dosage du fer est effectué avec l'auto-analyseur par colorimétrie à l'orthophénanthroline.

Le fer total est extrait par attaque à l'acide chlorhydrique concentré suivant la méthode utilisée aux S.S.C. de l'O.R.S.T.O.M. à Bondy. Le dosage est effectué à l'auto-analyseur, comme précédemment.

L'analyse chimique totale effectuée sur la fraction argile de quelques profils a été réalisée par fusion alcaline.

La détermination des microéléments totaux tels que : manganèse, chrome, nickel et cobalt, des sols et résidus de calcaire, a été réalisée par une attaque fluoro-perchlorique. Après élimination de la silice, les différents éléments sont dosés par absorption atomique.

Le phosphore total est dosé après fusion alcaline à 760° C. Le phosphore est déterminé à l'auto-analyseur par colorimétrie du complexe phosphomolybdique.

Pour la détermination du potassium total, la fusion à l'aide d'un mélange de carbonate de calcium et de chlorure d'ammonium à 780°C a été effectuée. Le dosage du potassium se fait par photométrie de flamme.

L'extraction du phosphore et du potassium assimilable a été faite par la méthode dite de ONIANI<sup>(1)</sup> qui utilise une solution d'acide sulfurique 0,1 N, qui solubilise les deux éléments ; de cette solution on prend une aliquote pour doser le phosphore à l'auto-analyseur

(1). ONIANI.. mise au point aux laboratoires de l'Institut des sols de l'Académie des Sciences.

par colorimétrie du complexe phosphomolybdique et le potassium se détermine par photométrie de flamme.

Les réserves d'éléments tels que : matière organique, azote, phosphore et potassium, déterminés dans les différents sols de cette région, ont été calculées selon la formule suivante :

$$\% \text{ d'éléments} \times \text{densité apparente} \times \text{profondeur} = \text{Tn/Ha.}$$

### 3.2.2. METHODES PHYSIQUES.

Afin de bien caractériser l'état physique des profils choisis, on a procédé à la détermination au laboratoire de la densité réelle par la méthode au pycnomètre ; la densité apparente a été mesurée sur le terrain par la méthode au cylindre.

La granulométrie a été déterminée par la méthode acide-alcaline de KACHINSKI (1958). Les échantillons sont soumis à un pré-traitement avec de l'acide chlorhydrique 0,05 N pour enlever de fines particules d'oxydes de fer. Ensuite, on disperse avec de l'hydroxyde de sodium et sépare les particules à l'aide de la pipette de Robinson.

L'état de micro-agrégation du sol a été déterminé sur les sols ferrallitiques rouges modaux et compacts, par la méthode de KACHINSKI: l'échantillon est soumis à un traitement à l'eau et on sépare les particules par la pipette de Robinson.

Le coefficient de dispersion est calculé en effectuant le rapport entre l'argile dispersée à l'eau et l'argile obtenue par l'analyse mécanique normale.

La stabilité structurale a été déterminée, suivant une méthode en usage à l'Institut des Sols, sur plusieurs profils de sols ferrallitiques rouges modaux et compacts. La méthode consiste à passer les échantillons par un ensemble de tamis de diamètre différent. Après quoi, on soumet les agrégats obtenus au tamisage sous l'eau pour mesurer leur stabilité. L'indice de stabilité est le rapport entre le poids obtenu par tamisage à l'eau et celui obtenu par tamisage à sec.

Pour mesurer la capacité au champ et le point de flétrissement, on a utilisé la presse à membrane de Richards. On a également mesuré la capacité au champ, sur le terrain, par la méthode de la surface noyée, en prélevant les échantillons après 48 heures pour doser l'humidité.

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

La résistance qu'offrent les sols à la pénétration, a été déterminée sur les sols ferrallitiques rouges modaux et compacts, à l'aide d'un pénétromètre comportant une tige qui s'enfonce dans le sol. La résistance à la pénétration est traduite sur un graphique qui donne en Kg/cm<sup>2</sup> la force nécessaire à la pénétration. Les résultats obtenus sont la moyenne de dix mesures par m<sup>2</sup>.

### 3.2.3. METHODES MINERALOGIQUES.

Afin de suivre l'évolution des minéraux des roches, le calcaire a été broyé, les résidus non carbonatés extraits par une solution d'acide acétique amenée à pH 4,2 avec de l'ammoniaque, de manière à dissoudre le calcaire sans trop altérer les minéraux argileux, les hydroxydes et les minéraux primaires.

Les fractions argile des différents types de sols ont été extraits par la méthode internationale. Les constituants de ces fractions ont été identifiés par diffraction de rayons X, analyse thermique différentielle et au microscope électronique à transmission.

Les fractions sableuses et les résidus de calcaire ont été traitées par une liqueur dense ( $d = 2,9$ ) pour obtenir les minéraux lourds et les minéraux légers. L'identification des minéraux lourds transparents a été faite sous le microscope et les minéraux opaques de cette fraction déterminés aux rayons X. Les constituants de la

fraction légère ont été identifiés aux rayons X.

De même, des lames minces ont été préparées sur des échantillons naturels de sols ferrallitiques rouges modaux et compacts, en observant sous le microscope polarisant toutes les structures pédologiques des différents horizons étudiés.

#### 4. LES SOLS DE LA PLAINE.

Dans la zone étudiée, sont associés différents types de sols, parmi lesquels on trouve : vertisols, sols calcimagnésiques, sols ferrallitiques, sols ferrallitiques et sols hydromorphes.

Dans ce travail, la classification française CPCS (1967) a été utilisée. En général, les sols se placent bien à l'intérieur de celle-ci, mais il existe quelques difficultés surtout pour les sols ferrallitiques sur calcaire, car le degré de saturation de ces sols est très élevé en comparaison de celui qui est fixé dans la classification. De plus, il a fallu envisager deux sous-groupes supplémentaires pour les sols ferrallitiques, afin d'y inclure les sols ferrallitiques concrétionnés et compacts.

Un grand nombre de profils ont été prélevés pour chaque unité de sols. On ne présente, dans ce travail, qu'un petit nombre d'entre eux, considérés comme les plus représentatifs de l'ensemble.

##### 4.1. LES VERTISOLS.

Les sols regroupés dans cette classe ont une teneur élevée en minéraux argileux gonflants, principalement de la montmorillonite. Ils présentent dans les horizons profonds des faces de glissement (slickenside) et les agrégats en forme de coin.

Les vertisols étudiés dans cette région appartiennent à la sous-classe des vertisols à drainage externe nul ou réduit, avec deux groupes : à structure arrondie et à structure anguleuse.

On ne présentera ici qu'un vertisol à structure arrondie.

Il est situé sur un relief plan qui correspond à une zone d'alluvionnement avec une altitude variant entre 5 et 15 m. Ce sol est affecté par l'hydromorphie, tantôt en profondeur, tantôt en surface.

Il s'est formé à partir de matériaux alluviaux anciens ; en profondeur, on trouve une couche argileuse de couleur rouge-jaunâtre déposée sur le calcaire miocène et qui ne semble pas en rapport avec la pédogenèse actuelle.

Groupe : Vertisol à structure arrondie.

Sous-groupe : Modal.

Ce sous-groupe occupe une extension assez importante. Il est caractérisé par le profil E-9.

DESCRIPTION DU PROFIL :

- Localisation : N. 322.540  
E. 380.400 au Sud de Méléna del Sur.
  - Altitude : 5,5 m
  - Topographie : plane
  - Drainage : externe et interne mauvais
  - Végétation : canne à sucre (*Saccharum officinarum*).
- 0 - 15 cm - Brun-grisâtre foncé (2,5 Y 4/2H) avec des taches rouge-jaunâtre (5 YR 4/8H) ; argileux, plastique et non poreux ; structure nuciforme fine bien définie ; présence de 2% de concrétions ferrugineuses.
- 15 - 63 cm - Gris (5 Y 5/1H) avec des taches brun-jaunâtre clair (10 YR 4/4E) ; argileux, plastique et non poreux ; structure prismatique large bien définie, avec faces de glissement et agrégats en forme de coin ; moins de 2% de concrétions.
- 63 - 94 cm - Gris (5 Y 6/1H) avec taches brun olive clair (2,5 Y 5/6E) ; argileux, non poreux ; structure prismatique large avec slickensides et agrégats en forme de coin ; quelques concrétions.
- 94 - 106 cm - Brun foncé (2,5 Y 4/2H) avec des taches brun olive clair (2,5 Y 5/6) ; argileux, plastique, non poreux ; structure prismatique moyenne ; présence de petits nodules de calcaire tendre.
- 106 - 155 cm - Horizon tacheté de couleur olive (5 Y 5/3H) et rouge-jaunâtre (5 YR 5/6H) ; argilo-sableux, plastique et peu poreux ; structure nuciforme fine peu définie ; présence de concrétions ferro-manganiques ; les nodules calcaires à surface irrégulière augmentent.

- 155 - 200 cm - Matériau rouge-jaunâtre (5 YR 5/8H) avec des taches gris-verdâtre ; argilo-sableux ; environ 5% de concrétions, le contenu en nodules calcaires reste identique.
- 200 - 260 cm - Matériau rouge (2,5 YR 5/8H) avec des taches brum-jaunâtre (10 YR 6/8) ; argileux, plastique ; pas de nodules ni de concrétions ; la roche sous-jacente est un calcaire du Miocène.

#### 4.1.1. CARACTERISTIQUES PHYSIQUES.

Les résultats analytiques (Tableau 5) mettent en évidence, dans la composition granulométrique, la prédominance de la fraction argile. Celle-ci décroît avec la profondeur. Les carbonates sont abondants dans ces horizons. Dans la fraction sable, les sables fins dépassent les sables grossiers.

La densité réelle augmente avec la profondeur à mesure qu'augmente le contenu en concrétions ferrugineuses et que la texture se fait plus grossière. Dans ce sol, la porosité totale reste élevée, elle est surtout constituée par des micropores.

L'indice de plasticité est celui qui correspond habituellement aux minéraux argileux gonflants. Il prend sa valeur la plus élevée dans les horizons intermédiaires (53,4%), et diminue très brutalement en profondeur. Des résultats identiques ont été trouvés par AGAFONOV et al. (1978), dans l'étude des vertisols de Cuba. Ils mettent l'accent sur la diminution de l'argile en profondeur et sur la variation de la composition minéralogique.

La vitesse d'infiltration de l'eau est très faible ; suivant les résultats trouvés par AGAFONOV et al (1978) elle est de l'ordre de 0,3 à 0,7 mm/heure.

#### 4.1.2. PROPRIETES CHIMIQUES.

Le sol est caractérisé par une teneur assez faible en matière organique en surface (2,16%) qui décroît brusquement (0,40%) dans les horizons intermédiaires.

Le pH est neutre (6,9) en surface et devient légèrement alcalin(7,7) en profondeur.

Tableau ; 5 RESULTATS ANALYTIQUES VERTSOL A STRUCTURE ARRONDIES MODAL SUR ALLUVION

Profil	Prof. en cm.	Perte à CLH %	Granulométrie (%)					Plasticité % w	DR <sub>3</sub> g/cm <sup>3</sup>	DA <sub>3</sub> g/cm <sup>3</sup>	P Totale %	Mat. org. %	C Total %	N Total %	C/N	pH H <sub>2</sub> O	Bases échangeables me/100g				S me/100g	T me/100g	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> libre %
			S.G	S.F.	LG	L.F	Argile										Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K*	Na*			
E-9	0-10	r	0,6	18,4	6,4	16,4	58,2	41,5	2,64	1,23	53,0	2,16	1,25	0,03	12,1	6,90	28,1	13,67	0,58	0,97	43,30	43,16	1,40
	45-55	-	0,9	19,6	5,5	13,3	60,7	53,3	2,63	1,22	53,6	0,40	0,23	0,022	10,5	6,60	15,93	25,30	0,41	2,31	43,95	43,55	3,00
	67-77	-	1,8	17,9	3,8	6,4	70,1	53,1	2,67	1,32	50,6	-	-	-	-	6,30	15,66	27,59	0,43	2,53	45,26	47,06	8,00
	115-130	21,5	0,1	18,0	7,1	4,9	48,4	38,9	2,71	-	-	-	-	-	-	7,70	39,12	17,83	0,27	2,53	59,05	68,12	10,00
	200-260	14,2	8,5	14,0	5,6	2,9	54,8	30,7	2,71	-	-	-	-	-	-	7,70	12,37	19,13	0,11	1,84	33,45	42,00	16,00

ANALYSE CHIMIQUE TOTALE DE LA FRACTION ARGILE

Profil	Prof. en cm	P.F %	%							SiO <sub>2</sub> R <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub> AL <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
			SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	TiO <sub>2</sub>		
E 9	0-10	15,14	47,41	9,66	20,93	1,02	2,94	0,046	0,56	2,98	3,85
	45-55	11,01	51,15	8,93	21,99	2,62	3,77		0,72	3,14	3,95
	67-77	10,10	51,08	9,66	21,73	1,15	1,66	0,021	0,69	3,11	4,00
	200-260	11,93	43,53	12,99	24,64	3,19	1,91	0,030	0,75	2,25	3,00

La somme des bases échangeables et la capacité d'échange de cations présentent des valeurs très semblables (44 mē/100g), les valeurs sont plus faibles (33,5 mē/100g) dans l'horizon profond. Cette diminution est due dans l'association des minéraux argileux, à l'augmentation de minéraux 1/1.

Ces sols sont fortement saturés ; les cations prédominants sont le calcium et le magnésium. Le magnésium a ses teneurs les plus élevées (27,0 mē/100g) dans l'horizon intermédiaire. Le sodium échangeable varie entre 0,97 et 2,5 mē/100g, en général, il augmente de la surface vers la profondeur.

L'augmentation du sodium échangeable présent dans les horizons intermédiaires (environ 5% de la somme des bases) s'accompagne de teneurs élevées en magnésium échangeable, ainsi que d'une augmentation de la compaction qu'on observe dans cet horizon (densité apparente 1,32).

#### 4.1.3. CONSTITUTION MINÉRALOGIQUE.

Le contenu en fer libre de la partie supérieure du profil varie entre 1,40 et 8,0% ; il augmente régulièrement avec la profondeur, pour atteindre 10,0 à 16,4%.

Une variation aussi forte dans le contenu en fer libre confirme qu'il n'y a pas de continuité lithologique entre la partie supérieure du profil et la couche sous-jacente plus riche en fer (PANEQUE et OLMEDO, 1971). Cette couche apporte une grande partie du fer qui est mobilisé et redistribué dans le profil suivant les oscillations de la nappe phréatique.

D'après l'analyse de la fraction argile, on observe que, les rapports moléculaires silice/sesquioxides (2,25 à 3,14) et silice/alumine (3,0 à 4,0) sont élevés. En général, il ne se produit pas de diminution caractéristique en profondeur.

L'étude de l'argile par diffraction aux rayons X (Fig.12) montre qu'il existe de la montmorillonite dans tout le profil avec

présence de métahalloysite. En profondeur (200-265) la teneur en métahalloysite augmente, mais la montmorillonite reste dominante.

Les formes du fer qui accompagnent les argiles sont : la goethite dans la partie supérieure du profil ; en profondeur l'hématite devient plus importante en présence de traces de goethite.

Tous ces résultats montrent une certaine homogénéité du profil ; sauf en ce qui concerne le contenu et le nature du fer libre, qui augmente à partir de 115-130 cm.

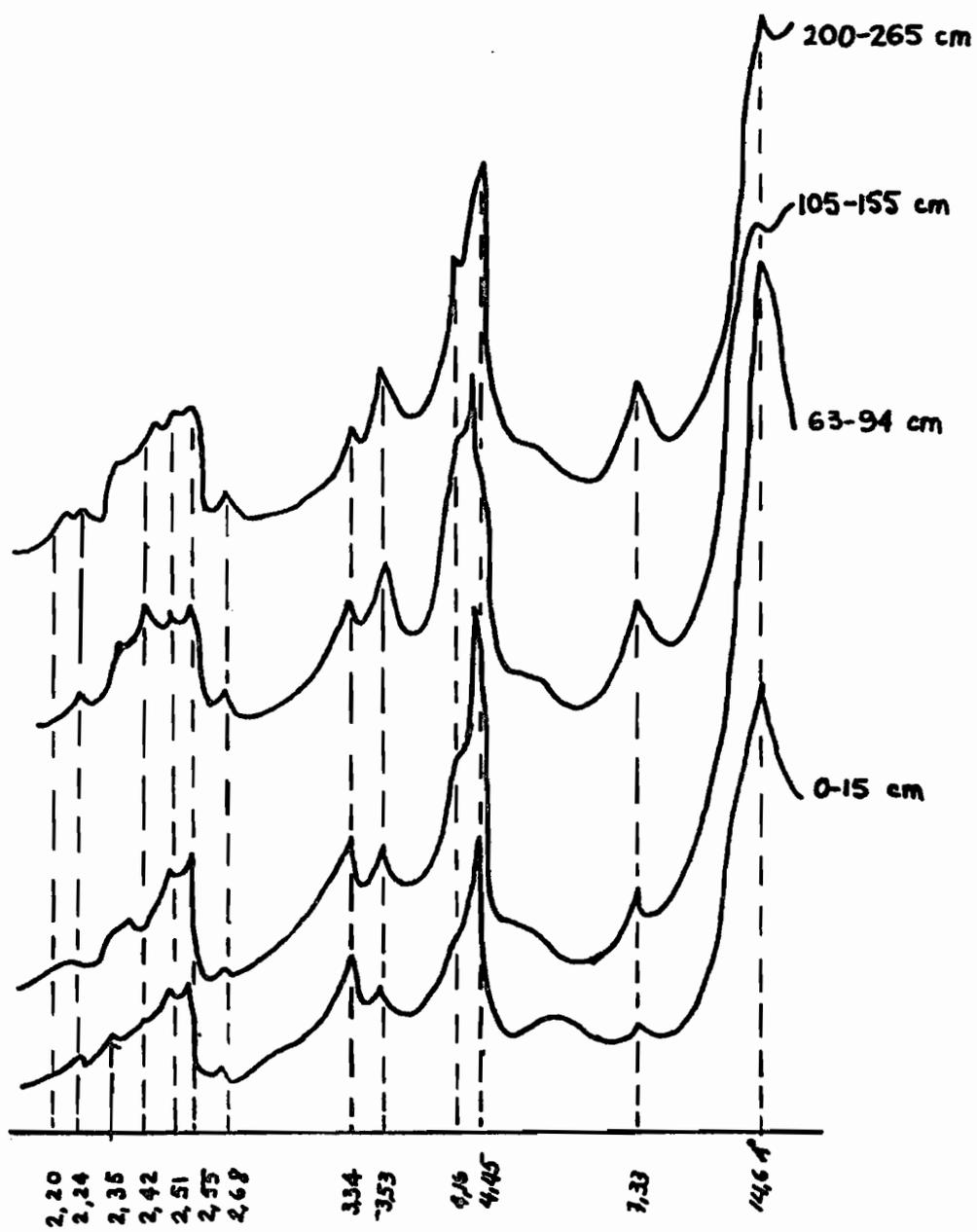


Fig: 12 Composition minéralogique. profil E-9 sur alluvion.

## 4.2. LES SOLS CALCIMAGNESIQUES.

Les sols calcimagnésiques de la zone d'étude sont formés uniquement sur des roches-mères calcaires tendres, à teneurs variables en résidus.

Les groupes suivants ont été distingués : rendzines et sols bruns calcaires.

### 4.2.1. SOLS CALCIMAGNESIQUES CARBONATES : RENDZINES.

Les sols présentent un profil AD (Photo 2), ils sont associés à l'affleurement des calcaires tendres (calcaires argileux et marnes) de l'Eocène, et localisés sur le bloc "*Bejucał-Madruga*". Ils occupent une surface importante dans la partie Nord-Est de la région. Ils sont situés sur une topographie ondulée et sont très souvent affectés par l'érosion.

Le profil TE-II est représentatif des rendzines :

#### DESCRIPTION DU PROFIL :

- Localisation : N.336.250  
E.383.850 Gregorio Mañalich
- Altitude : 102,3 m
- Topographie : ondulée
- Drainage : Bon
- Végétation : Pâturage à *Andropogon pertusus* ; *Leucaena glauca* ; *Cailliea glomerata* et *Roystonea regia*.

0 - 31 cm - Brun (10 YR 5/3H) à brun (10 YR 5/3S) ; argileux ; plastique et poreux avec des pores très petits, structure grumeleuse moyenne ; présence de graviers calcaires de différentes tailles ; l'effervescence à l'acide est très forte. Système racinaire bien développé.

à 31 cm - On passe graduellement au calcaire tendre.

Dans ce milieu riche en carbonate de calcium libre, le contenu en matière organique joue un rôle important sur la morphologie et les propriétés physiques du sol. Le pH est alcalin (7,6) et le complexe absorbant est saturé en calcium (Tableau 6).

#### CONSTITUANTS MINÉRALOGIQUES.

Le contenu en fer total de la masse du sol est assez élevé (11,2%); cependant la proportion du fer libre reste basse (environ

1,3%) donnant un rapport fer libre/fer total très faible ; ceci montre que très peu de fer appartient aux oxydes et hydroxydes.

Les minéraux lourds des sables présentent très peu d'espèces minérales qui se trouvent à l'état de traces. La fraction légère sableuse du sol et celle du résidu du calcaire sont très semblables, constituées principalement par quartz, feldspaths et traces d'argile.

Il faut remarquer les teneurs assez fortes en nickel, chrome et cobalt dans le résidu de ce calcaire tendre et aussi dans les sols.

Le minéral argileux, prédominant dans le sol et le résidu non carbonaté de la roche, est la montmorillonite.

#### 4.2.2. SOLS CALCIMAGNESIQUES, CARBONATES, SOLS BRUNS CALCAIRES.

Les sols carbonatés calciques, ayant un horizon (B) structural, de couleur gris brunâtre à brun foncé dans l'horizon A, sont moyennement profonds avec une texture limo-argileuse. La structure de l'horizon de surface est nuciforme à finement polyédrique.

Ils sont associés aux affleurements de calcaire tendre de l'Eocène, observés sur le bloc "*Bejucal-Madruga*".

Ils occupent une surface moins importante dans la partie Nord-Est de la région. On les trouve situés sur une topographie ondulée à légèrement ondulée. Ils sont très susceptibles à l'érosion surtout quand ils sont cultivés.

#### DESCRIPTION DU PROFIL 56 (Inst. des Sols A.C., 1973) :

- Localisation : N. 363.600  
E. 383.300 au Sud de Güines
- Altitude : 50 m
- Topographie : Ondulée
- Drainage : Interne et externe, bon
- Végétation : Pâturage

- 0 - 25 cm - Brun grisâtre, argileux, moyennement friable et poreux ; structure nuciforme moyenne ; réaction à l'acide chlorhydrique, teneur en matière organique environ 4%
- 25 - 40 cm - Brun clair ; argileux, moyennement friable et poreux ; structure nuciforme bien définie, réaction à l'acide plus forte

Profil	Prof.en cm.	pH		CO <sub>3</sub> Ca %	Bases échangeables mē/100g				S mē/100g	T mē/100g	Mat. org. %	CT %	NT %	C/N	F <sub>2</sub> O <sub>3</sub> libre %	F <sub>2</sub> O <sub>3</sub> total %	$\frac{F_2O_3 L}{F_2O_3 T} \times 100$
		H <sub>2</sub> O	ClK		Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>									
TE-11	0-31	7,60	6,60	24,0	43,86	12,7	0,33	0,29	57,18	58,00	3,15	1,83	0,139	13,2	1,34	11,20	11,9

Tableau 6 : Résultats analytiques, sols calcimagnésiques carbonatés, rendzines.

Minéralogie des sols et résidus non carbonatés de la roche.

Profil	Prof.en cm	Fraction légère étudiée aux rayons X	Minéraux lourds Fraction (50-500 microns)			%	Minéraux argileux pondéral	F <sub>2</sub> O <sub>3</sub> total %	Microélément (ppm)			
			AN	Di	Gr				Cr	Ni	Co	Mn
TE - 11	(sol) 0 - 31	Quartz et Feldspaths	Tr	Tr	Tr	0,33	Montmorillonite, un peu d'illite ; traces de kao- linite ; traces de chlo- rite et calcite.	11,20	(sur sol total) 36   115   34   750			
	(roche) Résidu du calcaire	Quartz, traces d'argiles	Indosable				Montmorillonite ; traces d'illite et traces de kaolinite.	12,10	284	200	156	-

40 - 80 cm et plus - Calcaire tendre de couleur crème avec quelques fragments de grès calcaires de couleur jaunâtre.

Le sols bruns calcaires présentent une bonne structure ; ils sont saturés et ont un pH supérieur à 7 (Tableau 7). On observe une certaine lixiviation du calcaire dans l'horizon de surface, mais il en reste encore des quantités importantes.

Le contenu en matière organique est de 3,2% mais des valeurs plus fortes sont observées en relation avec le type de végétation. Ceci est important car dans ce milieu riche en calcaire avec des teneurs aussi élevées en argile, la matière organique permet la formation d'une bonne structure.

L'analyse mécanique montre la prédominance des fractions inférieures à  $2\mu$ , la valeur la plus élevée (73%) est en surface ; elle diminue à mesure que le contenu en calcaire augmente. Les argiles sont héritées de la roche-mère après dissolution du calcaire. Ceci a été montré par ASCANIO et al. (1979). Dans ce cas là, il s'agit de minéraux argileux du type 2/1 : smectites avec un peu d'illite et presque toujours des traces de chlorite.

#### 4.3. SOLS FERSIALLITIQUES.

Sous cette dénomination sont regroupés des sols qui présentent les caractéristiques fondamentales suivantes :

- Mélange de minéraux argileux 2/1 et 1/1, les minéraux 2/1 sont les plus souvent largement dominants (smectites, vermiculites et illites) ; les minéraux 1/1 peuvent être présents en quantité variable.

- Sesquioxydes de fer libre avec des teneurs supérieures à 3%, qui donnent aux horizons une couleur rouge ou jaunâtre suivant la nature des constituants ferrugineux.

- Présence ou non de carbonates de calcium dans les profils.

Les sols fersiallitiques rouges formés sur calcaire ont été observés par divers chercheurs en différentes régions du monde sous des conditions climatiques diverses, ainsi ALEIXANDRE (1967) les a décrits en Espagne ; LAMOUREUX (1972) au Liban ; RICHE (1975) les a étudiés en Ethiopie et CAMACHO et al. (1979) les ont caractérisés à Cuba.

#### 4.3.1. SOLS FERSIALLITIQUES ROUGES.

Généralement, ces sols sont situés sur une topographie ondulée à plane, sur la partie la plus élevée du relief.

Le sol présente un profil A(B)C ; en surface, la couleur est brun rouge à rouge (5 YR 3/4 à 4/4 et 2,5 YR 3/4 à 4/6), et, en profondeur, elle est rouge-jaunâtre. Le contenu en concrétions ferrugineuse est inférieur à 2%.

Le sol est associé aux affleurements de calcaires durs. Il en résulte que la profondeur est variable, rarement plus d'un mètre.

Dans la région étudiée, ce sol couvre une superficie assez importante. Pour caractériser ce type de sol quatre profils ont été choisis (E-3, TE-2, TE-15 et TE-25). La description du profil E-3 estimé très représentatif, sera seule présentée.

##### DESCRIPTION DU PROFIL E-3 :

- Localisation : N. 331.100  
E. 380.400 près de Gregorio Mañalich
  - Altitude : 43,5 m
  - Topographie : Légèrement ondulée
  - Drainage : Externe et interne : bon
  - Végétation : Pâturage
- 0 - 17 cm - Brun rougeâtre foncé (2,5 YR 3/4H), argilo-sableux ; moyennement plastique et poreux ; structure polyédrique fine ; abondants grains de quartz et aussi quelques concrétions et petits graviers de calcaire ; effervescence faible à l'acide chlorhydrique ; système racinaire bien développée avec des racines fines.

**TABLEAU 7 : Résultats analytiques : Sol brun calcaire**

Profil	Prof. en cm	Perte à C/H Z	Z des Fractions en (mm)					pH H <sub>2</sub> O	Mat. org. Z	Nt. Z
			2-0,2	0,2-0,002	0,02-0,01	0,01-0,002	<0,002			
56	0 - 25	14,9	0,5	2,5	2,5	5,9	73,7	8,00	3,24	0,210
	25 - 40	33,9	0,2	4,1	2,0	6,6	53,4	8,32	1,80	0,113
	40 - 80	51,8	0,3	6,4	2,3	8,0	31,2	8,55	0,91	-

- 17 - 34 cm - Rouge (2,5 YR 4/6H) ; argileux ; moyennement friable et poreux ; structure polyédrique moyenne ; présence de quelques concrétions et grains de quartz ; effervescence faible à l'acide chlorhydrique ; système racinaire développé.
- 34 - et plus - Rouge-jaunâtre ; argileux ; effervescence forte à l'acide chlorhydrique ; présence de morceaux de calcaire à différents états d'altération ; on passe à la roche dure bien cristallisée.

#### 4.3.1.1. CARACTERISTIQUES PHYSIQUES.

Les résultats analytiques (Tableau 8), montrent que ces sols présentent une texture où prédomine la fraction argile qui varie entre 40 et 68%. En général, elle augmente légèrement dans l'horizon (B) alors que dans les horizons riches en carbonates, la teneur diminue très fortement.

La perte de poids après traitement à l'acide chlorhydrique dépasse 10% dans quelques cas. Celle-ci représente la dissolution de carbonates très fins qui se trouvent dans l'horizon et aussi une partie importante d'hydroxydes de fer mal cristallisés donc facilement solubles<sup>(1)</sup>.

La densité réelle est assez semblable dans tous les profils ; elle varie entre 2,52 et 2,77. La densité apparente est de l'ordre de 1,10 à 1,30, tandis que la porosité totale est très élevée (52,0 à 59%).

#### 4.3.1.2. CARACTERISTIQUES CHIMIQUES.

Les sols fersiallitiques observés dans la région étudiée sont presque toujours sous une végétation arbustive plus ou moins dense et aussi sous pâturage ; les teneurs en matière organique peuvent y atteindre de 3,8 à 9% dans l'horizon de surface. La diminution des teneurs en matière organique est généralement assez régulière ; en particulier sous pâturage. Les C/N sont toujours compris entre 9 et 12,8.

(1). Technique développée par RIVERO et AGAFONOV (1978).

En ce qui concerne la composition de l'humus, on observe malgré la richesse en calcium de ces sols, une matière organique pas très polymérisée. La fraction d'acides humiques et fulviques la plus importante est celle liée aux éléments calcium et magnésium.

En général, les acides fulviques l'emportent sur les acides humiques, ils augmentent en profondeur.

Le pH du sol est neutre en surface et devient légèrement alcalin en profondeur (7,0 à 7,8). Le contenu en carbonates est variable. On observe des profils, où la lixiviation des carbonates est plus intense. Les teneurs sont de l'ordre de 0,7 à 8% en surface et augmentent très fortement tout près du calcaire.

En raison de leur teneur plus élevée en carbonates de calcium, les profils TE-2 et TE-15 peuvent être considérés comme des intergrades avec les sols calcimagnésiques.

La somme de bases échangeables est très variable, elle est comprise entre 27,2 et 74,8 mé/100g. Tous les sols sont saturés en calcium.

La capacité d'échange cationique est très voisine de la somme des bases. Elle dépend de la teneur élevée en matière organique, ainsi que de la teneur et du type de minéral argileux.

#### 4.3.1.3. CONSTITUANTS MINÉRALOGIQUES.

Les teneurs en fer total et libre des sols sont très semblables dans les différents profils (Tableau 9). Le fer libre varie entre 4,1 et 8,6%, avec en général une légère tendance à la diminution dans les horizons riches en carbonates. Le fer amorphe déterminé sur le profil TE-2 n'est pas très élevé, il représente de 17,1 à 28% du fer total. Les formes du fer qui prédominent sont donc les formes cristallisées.

Les rapports fer libre/fer total dans tous les cas, sont supérieurs à 70%. Ceci veut dire, que dans tous les profils, même en présence de carbonates, la majeure partie du fer peut être déjà sous forme libre.

Tableau : 8 RESULTATS ANALYTIQUES. SOLS FERSSIALITQUES SUR CALCAIRE

Profil	Prof. en cm.	Perte à CLH %	Granulométrie (%)					DR g/cm <sup>3</sup>	DA g/cm <sup>3</sup>	Porosité Totale %	Mat. org. %	C <sub>t</sub> %	N <sub>t</sub> %	C/N	pH		CO <sub>2</sub> Ca %	Bases échangeables me/100g				S me/100g	T me/100g	V %
			SG	SF	LG	LF	Argile								H <sub>2</sub> O	clk		Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>			
TE-2	0-10	10,07	4,12	7,90	3,04	7,54	67,33	2,62	1,25	5,20	3,95	2,29	0,25	10,2	7,60	6,40	20,0	65,48	8,60	0,39	0,37	74,84	78,52	95,4
	10-18	11,00	3,97	4,26	4,09	8,33	83,5	2,77	1,35	50,0	3,29	1,91	0,196	9,7	7,80	6,50	25,0	67,8	26,0	0,19	0,31	70,38	72,28	97,4
TE-15	0-10	7,10	0,34	13,14	8,75	1,05	59,62	2,57	1,10	57,2	12,6	7,35	0,75	9,8	7,30	6,40	26,0	63,7	7,09	0,38	0,37	71,59	74,00	96,7
TE-25	0-12	6,81	0,66	19,8	11,38	20,22	41,13	2,63	1,00	57,0	9,5	5,51	0,450	12,2	7,20	6,60	1,5	21,25	6,6	0,35	0,13	28,33	29,38	96,4
	12-23	8,40	0,22	14,50	3,95	15,13	57,70	2,71	1,12	59,0	3,2	1,84	0,159	11,5	7,00	6,60	3,0	24,13	3,0	0,32	0,16	27,61	28,75	96,0
E-3	0-10	-	7,60	2,50	2,70	6,50	58,20	2,69	-	-	3,84	2,23	0,207	10,7	7,05	-	0,71	25,10	1,89	0,11	0,21	27,23	27,60	98,0
	20-30	-	8,40	2,160	4,20	5,00	60,80	2,71	-	-	3,10	1,800	0,180	10,0	7,40	-	0,70	25,90	1,92	0,13	0,21	28,16	28,90	97,7
	34-•	-	2,90	4,280	5,60	0,60	48,10	-	-	-	2,09	1,23	-	-	7,80	-	23,5	33,39	3,08	0,17	0,82	37,46	49,25	76,1

COMPOSITION DE L'HUMUS SUIVANT KONONOVA

Profil	Prof. en cm	C Total %	Humine C %	ACIDES HUMIQUES			ACIDES FULVIQUES				H/F
				I	II	Σ	I	II	Ia	Σ	
TE 2	0-10	2,29	36,68	0	$\frac{16}{0,37}$	$\frac{16}{0,37}$	$\frac{6}{0,14}$	$\frac{11}{0,26}$	$\frac{3}{0,07}$	$\frac{20}{0,47}$	0,80
	10-18	1,91	27,75	0	$\frac{5}{0,09}$	$\frac{5}{0,09}$	$\frac{5}{0,09}$	$\frac{17}{0,33}$	$\frac{1}{0,02}$	$\frac{23}{0,44}$	0,20

Profil	Prof. en cm	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> total %	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> libre %	Fer amorphe		Fer cristallisé		Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> L
				%	% du total	%	% du total	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> T %
TE-2	0 - 10	8,80	7,70	2,50	28,41	5,20	59,09	87,50
	10 - 18	11,02	9,00	2,20	19,96	6,80	61,71	81,67
	20 - 30	5,25	3,92	0,90	17,14	3,02	57,52	74,67
TE-15	0,10	7,75	7,10	-	-	-	-	91,6
	16 - 36	7,25	6,82	-	-	-	-	94,1
TE-25	0 - 12	8,25	7,20	-	-	-	-	87,3
	12 - 23	10,25	8,64	-	-	-	-	84,3
	23 - 45	7,80	6,53	-	-	-	-	83,7

**Tableau 9 : Constituants ferrugineux des sols fersiallitiques.**

Le constituant dominant du fer est l'hématite, celle-ci est toujours associée à de faibles quantités de goethite. Toutefois, près de la zone d'altération du calcaire c'est la goethite qui l'emporte sur l'hématite.

L'étude des minéraux des sables et des résidus non carbonatés des roches (Tableau 10), nous permet de faire les constatations suivantes :

- Dans la fraction lourde totale, les minéraux qui prédominent sont les minéraux opaques, constitués par des oxydes et hydroxydes de fer et titane (spinelles, goethite, hématite, ilménite et rutile). Parmi ceux-ci, les minéraux les moins abondants sont les spinelles, mais quand ils sont présents dans le sol on les retrouve distribués dans tous les horizons.

L'extraction de minéraux lourds transparents, à l'aide d'une liqueur au bromoforme ne met en évidence que des quantités très faibles de ces minéraux. Ils sont représentés principalement par le disthène, le grenat et l'épidote. On les retrouve aussi bien dans les sols que dans les résidus non carbonatés des calcaires sous-jacents.

La fraction légère est dominante ; les minéraux varient d'un profil à l'autre. Ils sont en relation avec ceux de la roche sous-jacente. En général, le minéral prédominant dans le sol et les résidus du calcaire est le quartz.

De plus, on y trouve aussi des traces de minéraux argileux à  $17 \text{ \AA}^{(1)}$ , de la boehmite et dans quelques résidus de calcaire (TE-15) il y a des feldspaths très altérés.

L'étude de la fraction argile par diffraction aux rayons X (Fig.13) montre la présence de la montmorillonite comme minéral argileux prédominant et aussi l'existence de métahalloysite. Ces deux minéraux se maintiennent à travers tout le profil. Cette composition à prédominance de montmorillonite et métahalloysite est semblable à celle qui a été signalée par LEON VALLEJO et al. (1972) dans les sols fersiallitiques sur calcaire au Mexique.

(1). les quantités de produits sont trop faibles pour permettre l'identification.

Dans les résidus non carbonatés, on constate la prédominance de la montmorillonite toujours associée à des traces de métahalloysite ; l'illite peut être présente mais elle n'est pas très fréquente. Cette composition change dans le cas du profil TE-15 où il y a des minéraux de type 1/1 (métahalloysite-Fire-clay), associés à la vermiculite. On peut trouver également la gibbsite déjà présente dans le calcaire.

L'analyse de nickel, chrome et cobalt effectuée sur le sol et les résidus non carbonatés des calcaires sous-jacents (Tableau 11), met en relief tout d'abord : dans le calcaire dur et moyennement dur, contrairement à ce qui a été signalé par FORMELL CORTINA et al. (1974), il existe des teneurs appréciables en ces microéléments qui varient d'une roche à l'autre : chrome (188 à 235 ppm) ; nickel (85 à 226 ppm) et cobalt (134 à 230 ppm).

#### 4.3.2. SOLS FERRALLITIQUES A CARACTERE HYDROMORPHE.

Dans la région étudiée, ces sols sont peu répandus. La surface concernée semble avoir été une zone de dépôt sur le calcaire. Celle-ci a été postérieurement soulevée par des mouvements tectoniques récents et correspond aujourd'hui à une topographie ondulée où affleurent des calcaires du Miocène (calcaire dur).

Ces sols sont connus dans la classification de BENNETT et ALLISON (1928) sous le nom de série "Trufin", phase peu profonde sur calcaire. Dans la carte des sols à l'échelle du 1/250.000 de Cuba levée par l'Institut des Sols de l'Académie des Sciences (1973), ils apparaissent sous le nom de sols ferrallitiques rouges hydromorphes<sup>(1)</sup>.

Ces sols présentent un profil A (B) C, de couleur d'ensemble rouge ; leur profondeur est très variable et liée à l'affleurement

(1). "Suelos ferralíticos rojos hidratados".

Tableau 10 MINÉRALOGIE DE LA FRACTION SABLE ET DES ARGILES, SOLS FERRIQUES SUR CALCAIRES

Prof.	Prof en cm.	Fraction lourde totale étudiée aux rayons X	Fraction légère étudiée aux rayons X	Minéraux lourds transparents									% Pondéral	Minéraux argileux								
				And	Sil.	Dis	St.	Gr.	Ep.	Z.	T.	Sph.		Mont.	Illite.	Ver.	M.	M-Fc.	He.	Go.	Gi.	Boe.
E-2	0-10	spindle, Go, Ilmenite, He, traces Anastase, et rutile.	Quartz et traces d'argiles			24	19	22	20		10	5	4,46	+++			++		++	+		
	10-18	Go, He, traces de spinelle	Idem.			7	39	46			8		6,75									
	Residu calcaire	—	Quartz, traces de Micas			+		+++	+			++	1,58	+++	++		+			+++		
E15	0-10	Go, Ilmenite traces de magnetite	Quartz, traces de Boehmite	+		+			++				4,0			+		+++	+++	+	++	
	16-36	Go, Ilmenite, traces de magnetite	Quartz, traces de Boehmite			+		+					15,0			++		+++	+++	+	++	+
	Residu calcaire	Quartz traces de Kaolinite et Perovskite				INDOSABLE										++		+++	+	+++	++	
E 25	0-12	—	Quartz	tr.		++	tr.		tr.				0,48	+				+++	++	+	++	++
	12-23	Presence de Lithiophorite	Calcite et Quartz			++	tr.			+++			0,39									
	23-45	—	Calcite et Quartz			++	tr.		tr.				0,35	++			+++		++	+	++	+
	Residu calcaire	—	Quartz et Lithiophorite			INDOSABLE								+++			+		+	+++	+	

And-Andalousite, Sil-Sillimanite, Dis-Disthène, St-Staurotide;  
 Gr. Grenat, Ep-Epidote; Z-Zircon; T-Tourmaline; Sph-Sphene.  
 +++-Abondant  
 ++-Peu abondant  
 +-Rare  
 tr.Traces

Mont-Montmorillonite, Illite; Ver-Vermiculite;  
 M-Metahalloysite; M-Fc-Metahalloysite-Fire - Clay;  
 He-Hématite; Go-Goethite; Gi-Gibbsite;  
 Boe-Boehmite.  
 +++- Important. ++- Peu ++-Traces

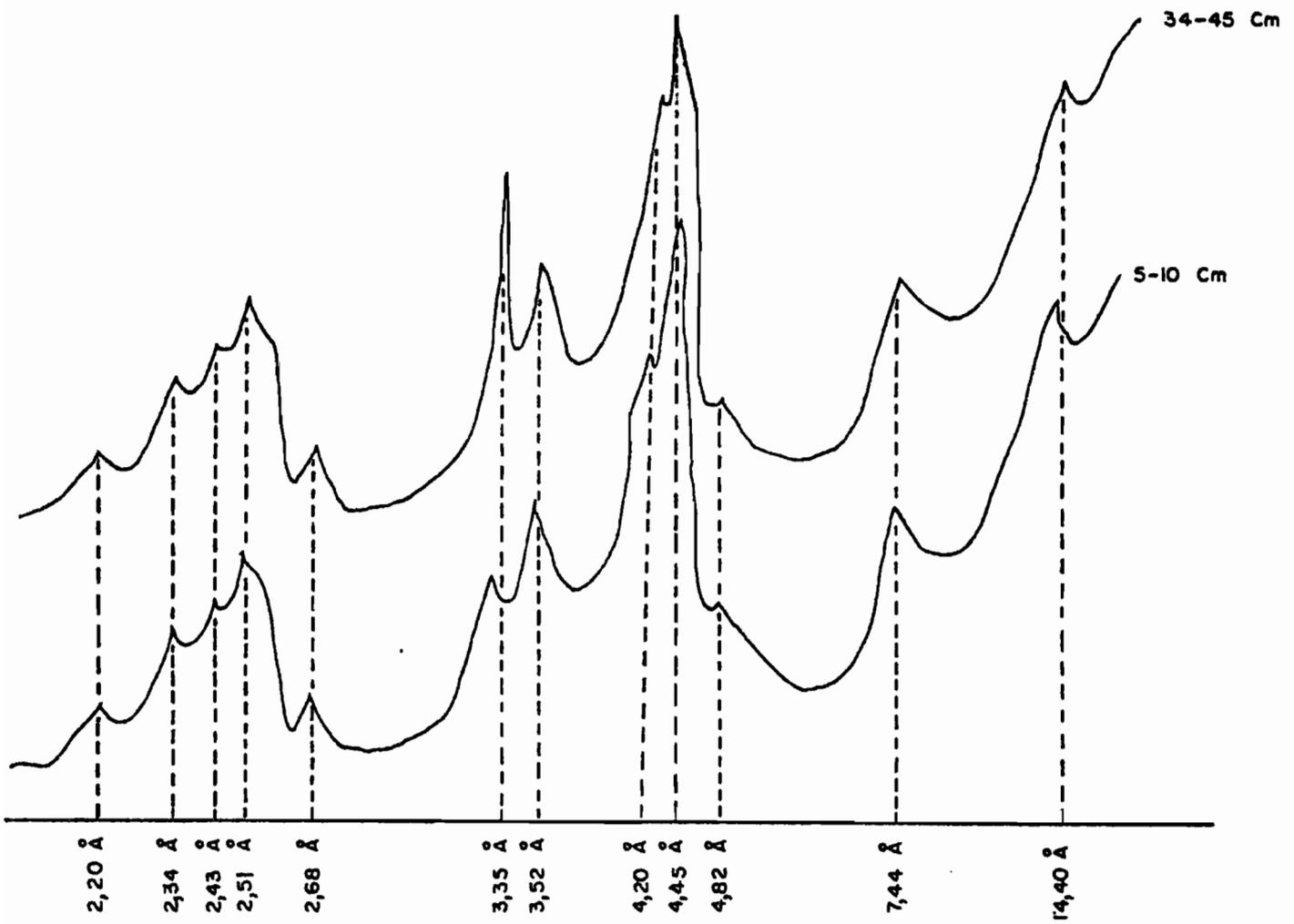


Fig: 13 Composition minéralogique profil E-3 sur calcaire dur

**TABLEAU 11 : Contenu en microéléments totaux, sols et roches**

Profil	Prof. en cm.	F <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	Cr ppm.	Ni ppm.	Co ppm.	Mn ppm.
TE-2	0 - 10	8,80	157	130	60	1270
	10 - 18	11,02	145	140	60	1265
	Résidu du calcaire	9,50	216	130	134	-
TE-15	0 - 10	7,75	153	100	65	1950
	16 - 36	7,25	157	95	57	1550
	Résidu du calcaire	7,38	235	85	135	-
TE-25	0 - 12	8,25	144	155	76	2500
	12 - 23	10,25	-	-	-	-
	23 - 45	7,80	113	125	66	1775
	Résidu du calcaire	9,70	188	226	230	-

des calcaires. Ils présentent un horizon (B) avec une structure polyédrique moyenne bien développée. Au-dessus de cet horizon, en raison du ralentissement du drainage interne du sol, il y a manifestation d'un processus d'hydromorphie qui se traduit par la présence de taches brun foncé à jaune rougeâtre (10 YR 3/3 à 7,5 YR 6/8) sans présenter de directions préférentielles.

Il est caractérisé par le profil TE-30.

- Localisation : N. 334.550  
E. 368.100 près de San Antonio de Las Vegas
  - Altitude : 55 m
  - Topographie : Ondulée
  - Drainage : Externe bon, interne moyen à médiocre
  - Végétation : Pâturage spontané (*Paspalum notatum* ; *Andropogon pertusus*).
- 0 - 19 cm - Brun rougeâtre foncé (5 YR 3/4H) à brun rougeâtre foncé (5 YR 3/4S) ; argileux, plastique et poreux ; structure nuciforme moyenne nette ; présence de quelques concrétions ferrugineuses. Pas d'effervescence à l'acide ; système racinaire bien développé ; transition régulière et nette.
- 19 - 32 cm - Rouge jaunâtre (5 YR 4/8H) avec taches brun foncé (10 YR 3/3H), passe à rouge jaunâtre (5 YR 4/8S) et brun foncé (10 YR 3/3 S), les taches sont petites ; argileux, plastique et moyennement poreux ; structure polyédrique moyenne nette ; pas d'effervescence à l'acide ; système racinaire peu développé ; transition régulière et nette.
- 32 - 45 cm - Rouge jaunâtre (5 YR 4/8H) avec taches jaune rougeâtre (7,5 YR 6/8H), la couleur se maintient à l'état sec, les taches sont petites ; argileux, plastique et moyennement poreux ; structure polyédrique fine peu nette ; effervescence faible à l'acide chlorhydrique.
- 45 - et plus - Le passage au calcaire dur se fait à travers une couche mince d'argile rouge jaunâtre, avec une forte effervescence à l'acide.

D'après les résultats analytiques (Tableau 12), on constate que le sol présente une texture argilo-sableuse ; la fraction argile présente une légère augmentation dans l'horizon (B), cependant on n'observe pas de revêtement argileux à la surface des agrégats.

Le pH du sol est légèrement acide en surface et il s'approche de la neutralité au fur et à mesure qu'on s'approche du calcaire ; on n'observe pas de carbonates dans le profil sauf tout près de la roche où il y a une forte effervescence à l'acide chlorhydrique.

La somme des bases échangeables varie entre 20 et 24,4 mé/100g ; elle augmente très légèrement avec la profondeur. Le sol est saturé en calcium mais on peut constater que son degré de saturation est voisin (85,5 à 94%) de celui des autres sols fersiallitiques.

Le contenu en fer libre et total est très semblable à celui des sols précédents (fer libre 6,3 à 8,7%) ; le rapport fer libre/fer total est toujours supérieur à 70%, mais ce rapport est faible par rapport aux autres sols fersiallitiques de la région. Les constituants cristallisés du fer sont l'hématite et la goéthite. Les diagrammes X restent semblables dans le profil.

La minéralogie des sables (Tableau 13) met en évidence les minéraux issus des roches métamorphiques à dominance de disthène, staurotide et grenat.

La répartition des minéraux lourds dans le profil montre une diminution très forte de ces minéraux dans l'horizon profond. La fraction légère, prédominante, contient surtout du quartz.

Les minéraux argileux les plus abondants en surface sont la métahalloysite et la montmorillonite associées à travers tout le profil à des traces de gibbsite. En profondeur, c'est la montmorillonite qui l'emporte sur la métahalloysite, mais il semble qu'en général dans ce sol, les minéraux argileux de type 1/1 sont beaucoup plus importants que les 2/1.

Tableau: 12 RESULTATS ANALYTIQUES SOLS FERRALLITIQUES A CARACTER HYDROMORPHE

Profil	Prof. en cm	Perte a CLH %	Granulométrie (%)					Mat. org. %	C <sub>t</sub> %	N <sub>t</sub> %	C/N	pH		Bases échangeables me/100g				S mé/100g	T mé/100g	V %
			SG	SF	LG	LF	Argile					H <sub>2</sub> O	CLK	Cd <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>			
TE-30	0-19	2,40	7,12	19,80	3,72	11,92	55,04	3,95	2,29	0,224	10,2	6,7	5,8	16,2	6,3	0,15	0,10	22,75	26,50	85,85
	19-32	3,50	7,60	18,30	4,25	8,65	60,70	1,63	0,95	0,086	11,1	6,8	5,9	15,5	4,2	0,23	0,11	20,04	22,25	90,10
	32-45+	4,75	5,70	19,50	5,45	6,20	58,40	0,72	0,42	0,037	11,4	7,2	6,5	18,2	5,5	0,20	0,12	24,37	25,87	94,20

CONSTITUANTS FERRUGINEUX

Profil	Prof. en cm	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Total %	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Libre %	$\frac{Fe_2O_3L}{Fe_2O_3T}$	CONSTITUANTS CRISTALLISÉS
TE-30	0-19	9,85	7,20	73,10	Go(++) ; He(++)
	19-32	11,50	8,75	76,10	He(++) ; Go(+)
	32-45	8,90	6,25	73,30	He(++) ; Go(++)

Profil	Profondeur en cm.	Fraction légère étudiée aux rayons X	Minéraux lourds Fraction (50-500 microns)									Z pondéral	Minéraux argileux
			Ho.	An.	Sil.	Di.	St.	Gr.	Ep.	Z.	T.		
TE - 30	0 - 19	Quartz	1	11	2	43	11	1	8	7	16	0,12	Métahalloysite, Montmorillonite, Traces de Gibbsite
	19 - 32			1		55	9	9		7	19	0,12	Montmorillonite, Métahalloysite, traces d'interstratifié M-C. Traces de Gibbsite.
	32 - 42			Tr.		++	Tr.	Tr.	Tr.			0,19	Montmorillonite, Métahalloysite, Traces de Gibbsite

**Tableau 13** : Constituants minéraux. Sols ferriallitiques à caractère hydromorphe

Ho : Hornblende ; An : Andalousite ; Sil : Sillimanite ;  
 St : Staurotide ; Gr : Grenat ; Ep. Epidote ; Z : Zircon  
 T : Tourmaline ; Tr. : Traces ; ++ : abondant.

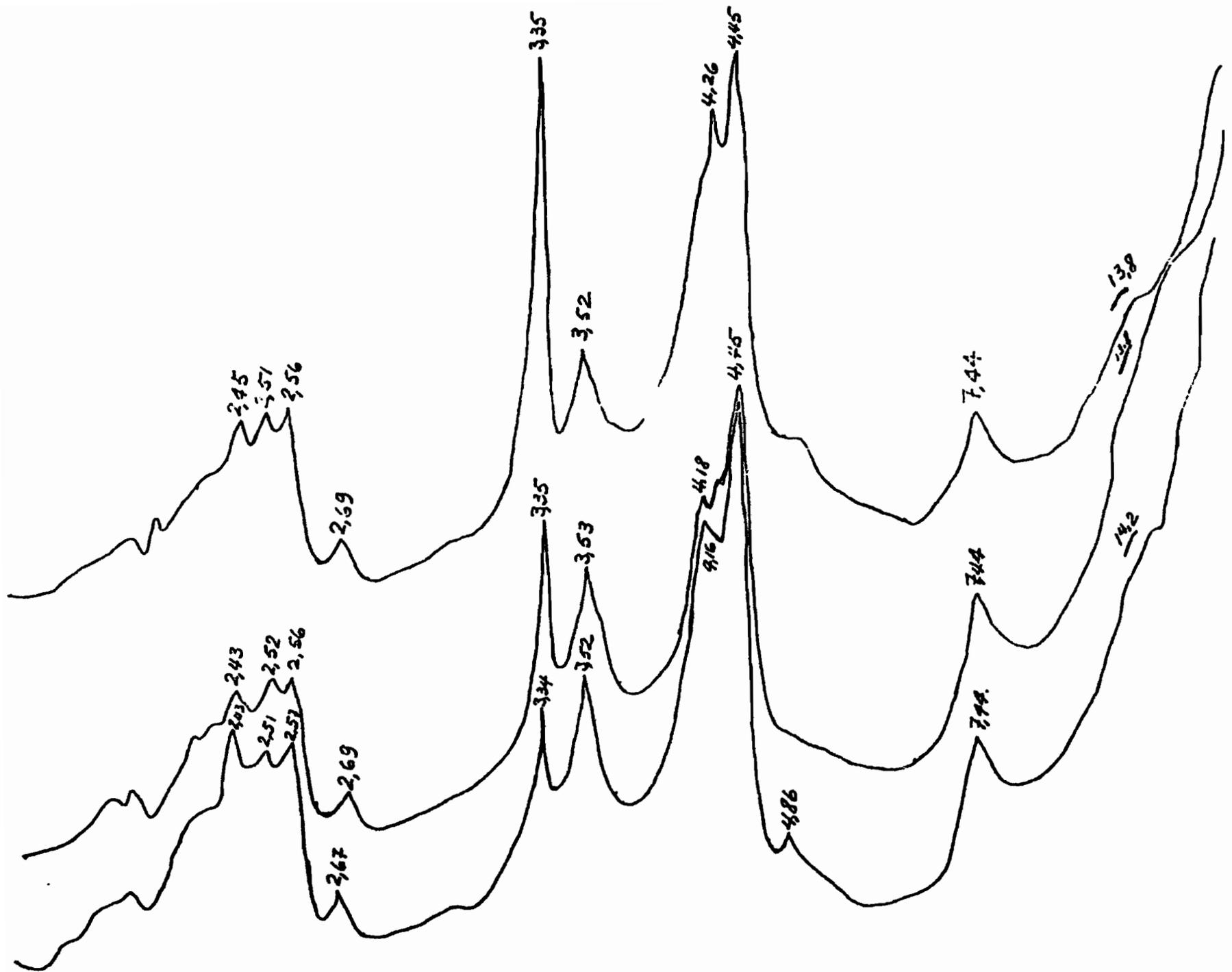


Fig: 14 Constituants Argileux, Sols Ferrallitiques à Caractere hydromorphes (TE-30).

#### 4.4. SOLS FERRALLITIQUES.

Les sols ferrallitiques<sup>(1)</sup> sont des sols qui présentent une altération intense des minéraux primaires et une élimination de la plus grande partie de la silice. La matière organique est bien évoluée. Les sols ferrallitiques qui se développent dans la région étudiée, se trouvent essentiellement sur des roches calcaires dures et des matériaux sédimentaires provenant des hauteurs environnantes.

Les sols ferrallitiques se reconnaissent par :

a). L'existence de constituants minéraux de la famille de la kaolinite (fire-clay et métahalloysite) ainsi que d'oxydes et hydroxydes de fer et d'aluminium.

b). L'absence de minéraux argileux de type 2/1.

c). Une morphologie très variée pour laquelle SEGALEN, BOSCH et CAMACHO (1976) ont essayé de distinguer les propriétés essentielles des horizons caractéristiques des profils observés, valable pour la région.

**HORIZON HUMIFERE** : Horizon superficiel présentant une teneur de matière organique variant de 3 à 5%. Pour les sols rouges, les changements de couleurs sont très graduels. Pour les sols jaunes, le passage de l'horizon humifère à l'horizon minéral sous-jacent est plus tranché. L'épaisseur de cet horizon humifère est de l'ordre de 20 cm. Il peut parfois contenir des concrétions ferrugineuses

**HORIZONS MINERAUX** : Horizons situés sous l'horizon humifère et dont la couleur dépend de la nature des constituants minéraux. Parmi les différents horizons observés, les appellations suivantes ont été retenues :

**HORIZON MODAL** : Il présente les caractéristiques morphologiques suivantes :

a). Couleur rouge (7,5 R, 10 R, 2,5 YR, 5 YR) au jaune (7,5 YR, 10 YR, 2,5 Y). Ces couleurs doivent être homogènes.

(1). AUBERT, 1954 ; AUBERT et SEGALEN, 1966 ; CHATELIN, 1972, 1974.

- b). Structure fragmentaire, très fine à moyenne.
- c). Pas de revêtements argileux sur les agrégats ; l'augmentation de la teneur en argile par rapport à l'horizon A, est telle que le rapport A/B des teneurs en argile reste inférieur à 1,2.
- d). Poreux à très poreux.
- e). Consistance à l'état sec, fragile ; à l'état humide, friable.
- f). Il doit contenir moins de 5% en poids de concrétions ou gravillons (généralement ce sont de petites concrétions ferrugineuses).
- g). Il doit présenter moins de 2% de taches de couleurs différentes de celles de l'horizon.
- h). Il ne doit pas faire d'effervescence à l'acide chlorhydrique.

**HORIZON COMPACT** : Horizon analogue au précédent à l'exception de b, d et e. Il a une structure polyédrique moyenne à large. La consistance à l'état sec est dure à très dure, à l'état humide elle est plastique. Il est peu poreux.

**HORIZON CONCRETIONNÉ** : Identique à l'horizon modal à l'exception de f, toutefois, il doit contenir moins de 50% de concrétions. <sup>(1)</sup>

**HORIZON TACHETÉ** : Il diffère de l'horizon modal par la caractéristique g ; il présente plus de 5% de taches de couleurs différentes de celles de l'horizon, autres que le gris.

**HORIZON A PSEUDO-GLEY OU GLEY** : Diffère de l'horizon modal, par les caractéristiques a, b, d, g. La couleur est caractérisée par l'apparition du gris. S'il y a plus de 5% de taches rouges ou jaunes, il s'agit d'un pseudo-gley ; s'il y en a moins de 5%, il s'agit d'un gley.

**HORIZON LESSIVÉ** : Identique à l'horizon modal, mais il en diffère par la caractéristique c ; il présente des revêtements argileux sur les agrégats.

(1). S'il y a plus de 50%, on passe à un horizon "latéritique" suivant la deuxième classification des sols de l'Institut des Sols de Cuba.

#### 4.4.1. SOLS FERRALLITIQUES FAIBLEMENT DESATURES EN (B) TYPICIQUES MODAUX.

Les sols ferrallitiques rouges modaux sont distribués dans presque toute l'île de Cuba ; mais la surface la plus importante occupée par ces sols se trouve surtout dans la "*penillanura roja*"<sup>(1)</sup> *Habana-Matanzas* et dans la plaine rouge de *Ciego de Avila* à *Camaguey*. Ils occupent, au niveau national, une surface d'environ 7000 km<sup>2</sup> (Institut des Sols de l'Académie des Sciences, 1973).

Dans la région étudiée qui fait partie de la "*penillanura roja*", ces sols sont largement répandus, dans une topographie plane à légèrement ondulée, occupant toujours une position élevée, associée à la zone de meilleur drainage.

Pour bien caractériser ce sous-groupe, sept profils ont été sélectionnés en différents endroits de cette plaine, mais on ne présentera ici que la description du profil E-1, estimé le plus représentatif.

##### A. - MORPHOLOGIE.

Du point de vue morphologique, on est loin de la variété et du grand développement d'horizons que l'on reconnaît souvent aux sols ferrallitiques dans d'autres parties du monde intertropical.

Les sols présentent un profil profond à horizon peu différencié de couleur rouge (2,5 YR) d'intensité variable (3/4, 3/6, 4/5 et 4/8) à travers tous les profils (Photos 3 et 4).

Un caractère remarquable est le passage du sol à la roche-mère, il n'existe pas d'horizon C et on passe assez brutalement de l'horizon (B) au calcaire sous-jacent. Ceci se produit dans la plupart des cas, à travers une couche très mince (déterminée par réaction à l'acide)

(1). "*penillanura roja*" MASSIPS et IZALGUE (1942).

qui ressemble beaucoup à l'altération pelliculaire décrite par LAMOUROUX (1972) au Liban et par BOSCH et al. (1978) dans les sols ferrallitiques de Cuba.

Les roches sous-jacentes sont des calcaires miocènes dures qui apparaissent à différentes profondeurs dans les profils et parfois affleurent en surface (habituellement dans la zone intensément cultivée. Leur profondeur varie de 2 à 5 m).

#### DESCRIPTION DU PROFIL E-1 :

- Localisation : N. 330.340  
E. 385.400 près Gregorio Manalich.
  - Altitude : 35 m
  - Topographie : Légèrement ondulée à plane
  - Drainage : Interne et externe, bon
  - Végétation : Cultivée en canne à sucre (*Saccharum officinarum*)
- 0 - 22 cm - Brun rougeâtre clair (2,5 YR 3/4H) ; argileux, friable ; structure grumelleuse fine ; avec quelques petites concrétions ferrugineuses, racines bien développées, transition graduelle.
- 22 - 39 cm - Rouge foncé (2,5 YR 3/6H) ; argileux, moyennement friable et poreux ; structure nuciforme ; quelques concrétions ; racines peu développées ; transition graduelle.
- 39 - 73 cm - Rouge foncé (2,5 YR 3/6H) ; argileux, friable et poreux ; structure nuciforme ; système racinaire peu développé ; transition graduelle.
- 73 - 130 cm - Rouge foncé (2,5 YR 3/6H) ; argileux, friable et poreux, avec de grands pores sans direction définie ; structure nuciforme peu développée ; sans concrétions.
- 130 - 163  
180cm - Rouge (2,5 YR 3/6H) ; argileux, friable et poreux ; structure non développée, avec quelques petites concrétions.
- 163 - 180 cm - Roche (calcaire dur caverneux).

#### B. - CARACTERISTIQUES PHYSIQUES.

##### 1). Texture.

Les résultats de l'analyse mécanique (Tableau 14) montrent la prédominance absolue des fractions fines, à l'intérieur desquelles la fraction inférieure à  $2\mu$  varie de 71 à 91%.

Profil	Prof. en cm	Perte à ClH %	Z des fractions en mm.				L 0,002
			2 - 0,2	0,2 - 0,02	0,02 - 0,01	0,01 - 0,002	
TE - 4	0-10	1,34	0,36	6,19	4,69	10,50	78,26
	22-32	1,44	0,32	5,87	3,10	6,14	83,19
	40-50	1,92	0,29	5,20	2,00	5,48	85,11
	90-100	1,40	0,48	4,83	5,42	3,52	84,35
	7-17	-	0,5	4,70	1,10	8,20	85,5
	26-96	-	0,5	2,50	5,70	3,90	87,4
	50-60	-	0,5	2,60	1,50	3,60	91,8
	90-105	-	0,9	4,20	3,80	3,80	87,3
	140-150	-	0,7	3,20	5,20	5,40	85,5

Tableau 14-A : Analyse mécanique des sols ferrallitiques faiblement désaturés, modaux

Profil	Prof. en cm	D.r g/cm <sup>3</sup>	D.a. g/cm <sup>3</sup>	Porosité %		Capacité au champ	Pt flé- trissement %	Réserve d'eau %	L'eau utile %
				Total	Pour l'air				
TE-1	0-10	2,73	1,22	55,00	13,73	33,83	25,37	41,27	8,46
	22-32	2,83	1,14	60,00	19,83	35,24	26,96	40,17	8,28
	40-50	2,77	1,16	58,00	17,00	35,34	27,40	41,00	8,24
	65-75	2,76	1,13	59,00	19,11	35,30	26,86	39,89	8,44
	90-100	2,77	1,15	58,00	15,74	36,75	26,84	42,26	9,91
E-1	7-17	2,79	1,14	59,14	22,68	31,99	23,57	36,47	8,42
	26-36	2,79	1,24	55,56	16,36	31,61	23,92	39,20	7,69
	50-60	2,76	1,22	55,80	16,48	32,23	24,58	39,32	7,65
	90-105	2,80	1,23	56,07	17,60	31,27	23,44	38,46	7,83
	140-150	2,86	1,30	54,60	12,10	32,67	23,39	42,50	9,34

Tableau 14-B : Résultats concernant l'état poral et propriétés hydrodynamiques.

Profil	Prof. en cm	% des fractions en mm					% d'argile	Coef. de dispersion %
		2,0-0,2	0,2-0,02	0,02-0,01	0,01-0,002	L 0,002		
TE-4	0-10	16,73	19,72	10,59	18,92	34,04	78,26	43,5
	22-32	31,05	16,71	3,40	8,80	39,96	83,19	47,6
	40-50	26,94	11,24	14,95	8,22	38,65	85,11	45,4
	90-100	9,35	31,84	50,13	1,92	6,73	84,35	8,0
E-1	7-17	0,7	31,60	5,90	23,40	38,40	85,50	45,0
	26-36	0,5	32,70	6,70	16,30	43,80	87,40	50,3
	50-60	0,7	41,30	4,80	11,80	41,40	91,80	45,0
	90-105	2,2	87,00	7,40	0,30	3,10	87,30	25,8
	140-150	0,7	71,10	25,60	0,10	2,50	85,50	32,40

Tableau 14-C : Résultats concernant la micro-agrégation.

Profil	Prof. en cm	Méthode	% des agrégats de différentes tailles (mm)								$\frac{TH}{T.S}$
			> 10	10-7	7-5	5-2	2-1	1,0-0,5	0,5-0,25	< 0,25	$\Sigma >0,25$
TE-4	0-10	TH			23,58	13,72	13,82	17,88	9,86		0,89
		TS.	19,83	9,31	9,14	22,93	12,41	6,55	8,79	10,95	
	22-32	TH			0,45	15,16	18,21	22,11	17,65		0,78
		TS	11,32	11,32	12,22	30,05	16,12	6,06	7,71	5,21	
	40-50	TH			0,10	7,46	11,72	23,00	14,32		0,60
		TS	17,41	10,21	10,21	23,33	18,01	5,79	9,35	5,57	
	65-75	TH			-	3,50	8,65	20,01	18,46		0,53
		TS	18,48	11,28	10,80	24,90	17,22	5,40	7,49	4,38	
	90-100	TH			-	1,75	7,08	19,21	14,21		0,44
		TS	18,63	13,02	11,39	22,42	17,09	4,34	8,14	4,97	

Tableau 14-D : Composants de la structure.

Profil	Prof. en cm.	Porosité totale	Réserve d'eau à la capacité au champ	Limite inférieure d'humidité productive, 75% de la réserve d'eau	Norme d'irrigation
E - 1	0 - 20	1182,0	730,0	547,5	182,5
	0 - 50	2841,5	1916,5	1437,4	479,1
	0 - 100	5670,0	3847,8	2885,8	1062,0
TE - 4	0 - 20	1100,0	825,4	619,1	206,3
	0 - 50	2880,0	2001,0	1501,0	500,0
	0 - 100	5800,0	4092,0	3069,0	1023,0

Tableau 14-E : Indices hydrodynamiques pour l'irrigation en m<sup>3</sup>/Ha

La fraction limon est très faible, elle varie de 5 à 14%, diminuant très fortement en profondeur. Une caractéristique de la texture de ces sols est la faible teneur en sables, celle-ci peut atteindre jusqu'à 10%, les sables fins l'emportant sur les sables grossiers (0,5 à 2,2%).

La répartition des particules à l'intérieur du profil est bien représentée dans le profil E-1 (Fig.15). Il est difficile de déceler les variations des teneurs en argile sur le terrain en raison de l'homogénéité apparente du profil. L'écart entre l'horizon A et B ne dépasse pas 6%.

## 2). L'état poral.

La densité réelle de ces sols présente des valeurs très élevées et variant entre 2,70 et 2,86. En général, elle tend à augmenter de la surface vers la profondeur. Elle est liée à la granulométrie et aux variations du contenu en sesquioxydes (VEREDECHEENKO, 1968).

C'est dans ce sous-groupe de sols ferrallitiques que la densité apparente est la plus faible ; elle varie entre 1,07 et 1,30. Il y a des profils qui présentent des valeurs assez homogènes, mais on constate que dans la plupart des cas, elle tend à augmenter vers la profondeur. Ces résultats sont très semblables à ceux obtenus par AGAFONOV (1968) pour des sols du même genre. Ces variations de densité apparente conduisent à une légère réduction du volume total des pores en profondeur. Bien qu'en général la porosité soit élevée, celle-ci varie de 51 à 63%.

La microporosité des différents profils reste importante, 12,1 à 29,1% ; ce qui assure au sol un bon drainage interne et externe.

## 3). Structure.

a) - *La microagrégation.* Dans les sols ferrallitiques rouges moudaux, le contenu en sesquioxydes de fer libre et la saturation du complexe absorbant par le calcium, influent beaucoup sur le degré de dispersion des particules déterminant l'état de microagrégation du sol.

Le coefficient de dispersion présente des variations assez fortes à l'intérieur de chaque profil ; il prend des valeurs comprises entre 8 et 50%. En général, il diminue de la surface vers la profondeur. Ceci veut dire qu'il y a une amélioration de la microagrégation à mesure qu'on descend dans le profil ; les particules argileuses qui sont à l'état dispersé représentent beaucoup moins de 50% de la fraction argileuse du sol. Cependant, il faut remarquer la prédominance des microagrégats compris entre 0,2 et 0,02 mm, c'est-à-dire que l'on observe une tendance à la formation de pseudo-sables, ce qui a d'ailleurs déjà été signalé par BAISRE (1972) sur ce type de sol.

b) - *La macro-structure.* Dans ce sol, l'existence d'une bonne macro-structure est montrée par la stabilité des agrégats sous l'eau (Tableau 14). La teneur en agrégats supérieurs à 0,25 mm reste assez importante dans les horizons de surface avec une variation de 73 à 83% (ces résultats sont très semblables à ceux qui ont été trouvés par VEREDECHENKO (1968), avec une moyenne de 70 à 85%). Cependant, on constate une diminution de la stabilité vers la profondeur, puisque les valeurs sont comprises entre 35 et 60%. L'indice de stabilité de la structure décroît graduellement de la surface vers la profondeur avec des valeurs qui varient de 0,89 en surface jusqu'à 0,41 en profondeur.

En général à l'état sec, on observe une prédominance, dans tous les profils, des agrégats de 5 à 2 mm de diamètre, ce qui explique leur structure fine à moyenne. Quand ils sont soumis à l'eau, beaucoup de ces agrégats conservent leur taille (surtout en surface) avec prédominance des agrégats de 7-5 à 5-2 mm ; mais dans l'horizon (B), il y a une destruction plus forte des agrégats de grande taille. En effet, les petits agrégats de 1,0 à 0,5 mm deviennent plus abondants.

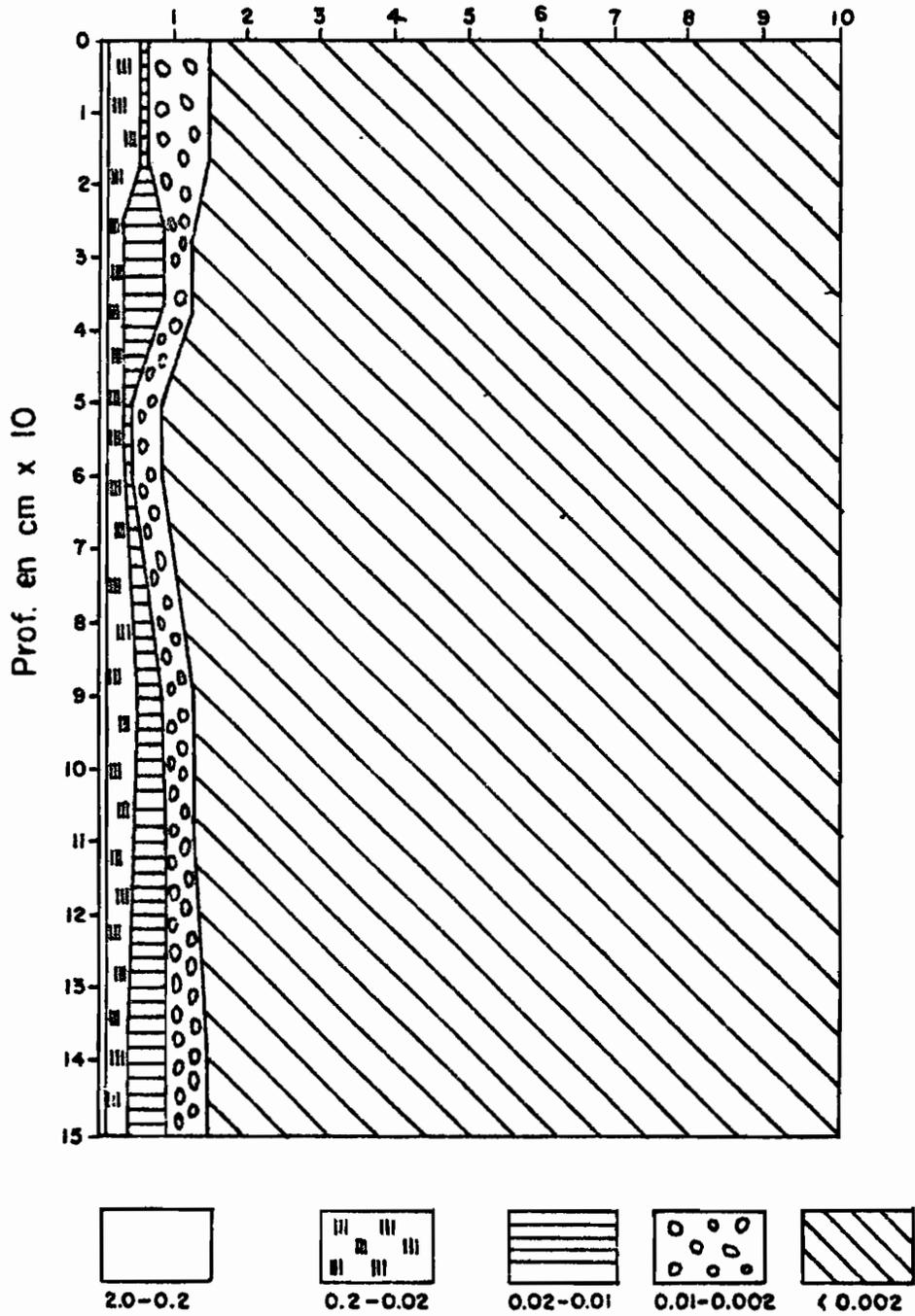
#### 4). Propriétés hydrodynamiques.

La teneur en eau à la capacité au champ des différents profils présente des valeurs très semblables ; elle varie entre 31,3 et 36,7%. La teneur en eau au point de flétrissement est comprise entre 23,3 et 27,4%. La teneur en eau utile de la plupart des échantillons est com-

Fig: 15

Analisis Mecánico Perfil E-1

% de fracciones x 10



prise entre 7,0 et 9,0%, ce qui est faible. Les réserves en eau à la capacité au champ sont assez élevées, elles présentent une valeur moyenne de 37,6%.

Ces sols sont caractérisés par une perméabilité très élevée (Fig.16) ; il existe des différences d'un profil à l'autre, mais la vitesse moyenne d'infiltration est de l'ordre de 115 mm/heure. Ceci assure une absorption rapide des pluies, en réduisant fortement le ruissellement superficiel. Cependant, un des défauts de ces sols est la grosse perte d'eau par évaporation qui se produit surtout pendant la période la moins humide ; les sols sèchent rapidement ; c'est à ce moment qu'il faut effectuer l'irrigation des cultures. Les normes d'irrigation (Tableau 14) pour ce sol ont été calculées sur la base de 75% de la réserve d'eau à la capacité au champ. On peut constater que les différents profils ont besoin d'une quantité très semblable jusqu'à 50 cm, pour amener le taux d'humidité du sol à 75% de l'eau vraiment utilisable par les cultures, la quantité d'eau nécessaire jusqu'à 50 cm de profondeur est de 500 m<sup>3</sup>/ha.

##### 5). Résistance à la pénétration.

La détermination de cette propriété dans les sols ferrallitiques rouges modaux, permet de constater que la résistance à la pénétration est faible. MAERTENS (1964) avait constaté qu'elle était forte pour les teneurs élevées en argile, ici avec 80% d'argile, la résistance n'est que de 10-15 kg/cm<sup>2</sup> (Fig.17). Cette résistance augmente avec la profondeur et en général suit les variations de la densité apparente. On pense que le facteur qui influe le plus sur la résistance à la pénétration, est le type de structure (ici généralement très fine) qui prédomine dans ces sols. Ce type de sol est caractérisé par une porosité importante, permettant le déplacement des petits agrégats (MAERTENS, 1964) au moment de la pénétration de l'aiguille et qui n'offrent ainsi qu'une faible résistance.

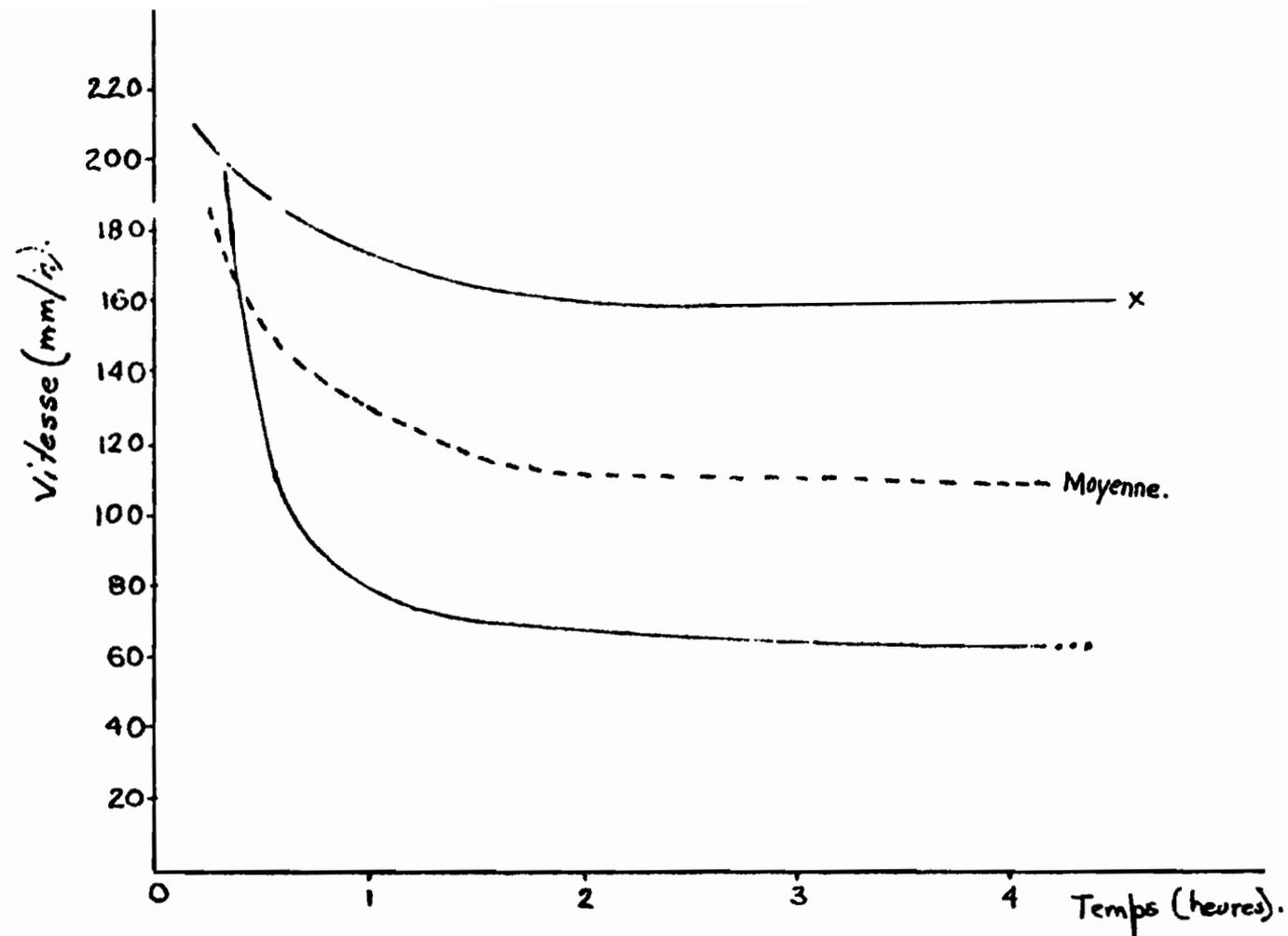


Fig.16 Vitesse d'infiltration. Profil E-1.-x et TE-18-....  
Sd Ferrallitique Rouge modal.

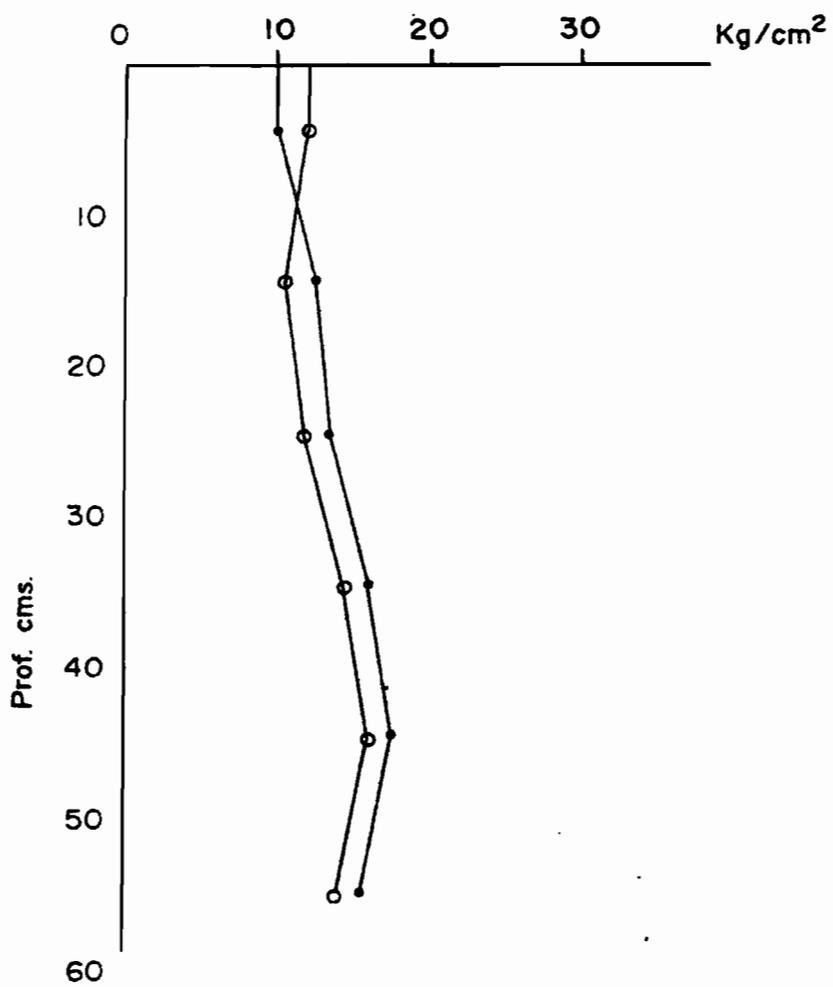


Fig. 17 Pénétrométrie des sols Ferrallitiques Rouges modaux

• — TE-4      ◦ — E-1

## B. CARACTERISTIQUES CHIMIQUES.

### 1). Matière organique et complexe absorbant.

Le contenu en matière organique des différents profils présente quelques variations d'un profil à l'autre en raison de leur mode d'utilisation, mais en général la teneur la plus courante se situe entre 3,5 et 4,5%. La répartition de la matière organique (Fig.18), dans tous les profils est très semblable ; la teneur décroît assez fortement avec la profondeur ; vers un mètre on observe encore une teneur en matière organique comprise entre 0,5 et 1%, apportée principalement par les racines qui pénètrent profondément. Les rapports C/N (Tableau 15) varient entre 7 et 12,8.

En ce qui concerne la composition de l'humus, on constate la prédominance des acides fulviques sur les acides humiques. Dans les *acides humiques*, qui correspondent à 10 à 21% du carbone total du sol, la fraction qui devient la plus importante est celle liée aux éléments alcalino-terreux et aux sesquioxydes (II), celle-ci présente un certain enrichissement vers 30-40 cm de profondeur.

Les *acides fulviques* représentent 25 à 35% du carbone total du sol ; on constate la prédominance des acides fulviques "agressifs" qui ont des valeurs très semblables à travers tous les profils mais avec une tendance identique à celle des acides humiques.

Le contenu en humine des profils analysés correspond à 36 et 74% du carbone total. Les rapports acides humiques/acides fulviques, varient entre 0,25 et 0,54 avec une diminution de la surface vers la profondeur.

Le pH présente des variations d'un profil à l'autre, mais en général il reste légèrement acide (5,7 à 6,9). Le  $\Delta pH$  varie entre -0,50 et -1,10 avec une augmentation en valeur absolue vers la profondeur.

La somme des bases échangeables est comprise entre 7 et 24  $m\acute{e}/100g$ , les valeurs les plus fortes sont en surface. Le sol est riche en calcium et sa répartition est analogue à celle des bases échangeables. Le degré de saturation est variable, en général, il est toujours

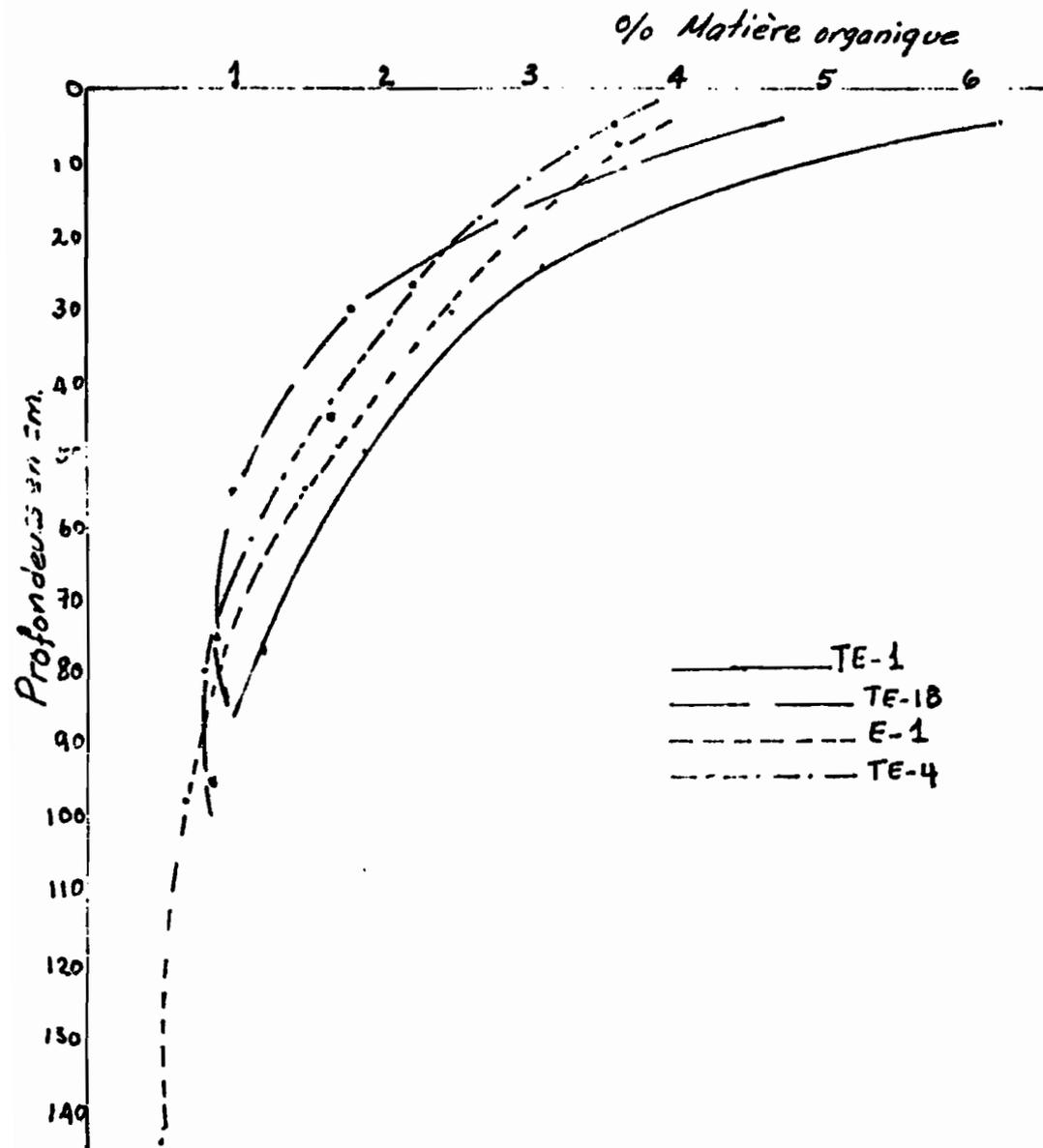


Fig: 18 Répartition de la matière organique dans les profils des sols ferrallitiques modaux.

Tableau: 15 RESULTATS ANALYTIQUES, SOIS: FERRALLITIQUES, FAIBLEMENT DESATURES MODAUX

Profil	Prof. en cm	Mat. org. %	C <sub>T</sub> %	N <sub>t</sub> %	C/N	PH		ΔpH	Acidité d'échange me/100g			Bases échangeables me/100g				S me/100g	T me/100g	V %
						H <sub>2</sub> O	CLK		H <sup>+</sup>	Al <sup>+++</sup>	Totale	Ca <sup>+2</sup>	Mg <sup>+2</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>			
TE-4	0-10	3,52	2,04	0,159	12,83	5,7	5,1	-0,60	0	0,07	0,07	9,80	0,16	0,05	0,05	10,06	19,53	51,6
	22-32	2,19	1,27	0,115	11,04	5,9	5,3	-0,60	0	0,10	0,10	6,50	0,52	0,07	0,18	6,76	15,60	43,4
	40-50	1,60	0,93	0,088	10,57	6,1	5,1	-1,00	0	0,18	0,18	7,28	0,26	0,07	0,18	7,79	17,46	44,7
	65-75	0,86	0,50	0,048	10,42	6,2	5,4	-0,80	0	0,23	0,23	6,76	1,26	0,07	0,18	8,27	16,44	50,3
	90-100	0,84	0,49	0,048	10,21	6,3	5,3	-1,00	0	0,17	0,17	7,28	0,26	0,07	0,18	7,79	15,43	50,5
E-1	7-17	3,59	2,08	0,169	12,20	6,6	-	-	-	-	-	10,90	2,40	0,60	0,01	13,91	19,27	72,0
	26-36	2,47	1,43	0,157	9,10	6,5	5,5	-1,00	-	-	-	8,35	3,21	0,03	0,01	11,60	15,40	75,0
	50-60	1,34	0,78	0,086	9,00	6,6	-	-	-	-	-	5,78	3,21	0,02	0,01	9,02	10,90	82,0
	90-105	0,66	0,38	0,039	9,70	6,9	-	-	-	-	-	4,48	3,16	0,01	0,01	7,66	11,50	66,6
	140-150	0,53	0,31	-	-	6,8	-	-	-	-	-	7,06	0,52	-	0,01	7,59	9,60	71,0

COMPOSITION DE L'HUMUS SUIVANT KONNOVA

Profil	Prof. en cm	%C Totale	%C Humine	Acides humiques			Acides fulviques				H/F
				I	II	Σ	I	II	Ia	Σ	
TE-1	0-10	3,58	36,59	$\frac{4}{0,14}$	$\frac{8}{0,27}$	$\frac{12}{0,27}$	$\frac{3}{0,09}$	$\frac{18}{0,65}$	$\frac{4}{0,16}$	$\frac{25}{0,90}$	0,45
	20-30	1,76	44,89	$\frac{2}{0,03}$	$\frac{9}{0,16}$	$\frac{11}{0,19}$	$\frac{23}{0,40}$	$\frac{7}{0,12}$	$\frac{4}{0,08}$	$\frac{34}{0,60}$	0,32
TE-4	0-10	2,04	55,39	$\frac{6}{0,12}$	$\frac{11}{0,23}$	$\frac{17}{0,35}$	$\frac{27}{0,56}$	$\frac{2}{0,04}$	$\frac{9}{0,18}$	$\frac{38}{0,78}$	0,45
	10-20	1,27	74,01	$\frac{4}{0,05}$	$\frac{16}{0,20}$	$\frac{20}{0,25}$	$\frac{26}{0,33}$	$\frac{19}{0,24}$	$\frac{9}{0,12}$	$\frac{53}{0,69}$	0,36
	30-40	0,93	61,29	0	$\frac{21}{0,20}$	$\frac{21}{0,20}$	$\frac{29}{0,27}$	$\frac{2}{0,02}$	$\frac{9}{0,08}$	$\frac{40}{0,37}$	0,54
	50-60	0,50	56,00	0	$\frac{14}{0,07}$	$\frac{14}{0,07}$	$\frac{26}{0,13}$	$\frac{4}{0,02}$	$\frac{12}{0,06}$	$\frac{42}{0,21}$	0,33
	60-70	0,49	51,02	0	$\frac{10}{0,05}$	$\frac{10}{0,05}$	$\frac{24}{0,12}$	$\frac{4}{0,02}$	$\frac{12}{0,06}$	$\frac{40}{0,20}$	0,25

supérieur à 50.

La capacité d'échange cationique présente des variations assez fortes d'un profil à l'autre ; elle est comprise entre 9,6 et 29,7 mé/100g ; elle décroît avec la profondeur. Elle est fortement influencée par la teneur en matière organique et par la teneur et le type de minéral argileux du sol.

## 2). Constitution minéralogique.

Dans les sols ferrallitiques rouges modaux, le contenu en fer libre du sol (Tableau 16), varie entre 11 et 16%, ce qui représente de 75,9 à 96,7% du fer total du sol. Sa répartition dans les profils est assez régulière bien qu'il existe un léger enrichissement vers la profondeur. La variation du fer total du sol est la même.

Les formes prédominantes du fer sont les formes cristallisées, hématite et goethite. Elles varient entre 41 et 74% du fer total. La répartition est analogue à celle du fer libre et du fer total du sol.

Le contenu en fer amorphe représente 20 à 36% du fer total du sol. Dans ces sols le contenu et la répartition des formes du fer apparaissent conformes aux caractéristiques morphologiques des profils : homogénéité de l'intensité de la couleur (SEGALEN, 1969 ; LAMOUREUX, 1972), état d'agrégation (LUTZ, 1936) et perméabilité des sols.

Les rapports fer libre/argile des sols ferrallitiques modaux atteignent des valeurs comprises entre 11 et 18%, présentant très peu de variation à l'intérieur de chaque profil ; ceci expliquerait la présence de petites concrétions ferrugineuses distribuées dans tous les horizons.

D'après CAMACHO et al. (1979) dans ces sols, le fer libre lié aux particules les plus fines du sol représente de 52 à 63% du fer total. Ces sous-groupes de sols sont bien drainés et bien aérés. Le constituant dominant du fer est l'hématite distribuée de manière uniforme et généralement associée à des traces de goethite.

Il est également important de souligner les teneurs modérées<sup>(1)</sup> en nickel, chrome et cobalt de ces sols et des résidus non carbonatés des calcaires sous-jacents. On constate des teneurs appréciables de ces éléments, qui varient relativement peu d'un calcaire à l'autre : chrome (137 à 458 ppm) ; nickel (88 à 310 ppm) et cobalt (75 à 256 ppm). On peut remarquer également que les contenus en fer total des résidus des calcaires sont assez forts et varient entre 8,3 et 12,9%.

Les teneurs en chrome, nickel et cobalt des différents profils présentent une répartition assez régulière, dans les différents horizons. Elles paraissent liées à la répartition des fractions fines et au contenu en sesquioxydes du sol (AUBERT et PINTA, 1971).

Le manganèse total présente, d'après les quelques valeurs obtenues, les teneurs les plus élevées en surface (1200-2100 ppm) avec une réduction assez forte vers les horizons profonds (725 à 975 ppm).

L'étude des minéraux des sables des sols et résidus non carbonatés des roches sous-jacentes (Tableau 17) nous permet de faire les remarques suivantes :

Les sols ne contiennent dans la fraction supérieure à 20 $\mu$  qu'une faible quantité de minéraux autres que le quartz.

Dans les minéraux lourds, les plus nombreux sont des minéraux opaques constitués principalement par des oxydes et hydroxydes de fer et titane (goethite, hématite, magnétite, spinelle<sup>(2)</sup> et anatase) ; dans cette fraction on constate parfois la présence d'hydroxydes d'alumine.

Dans plusieurs cas, il n'est pas possible d'identifier, au microscope, les minéraux lourds des sables. En effet, ces minéraux sont, soit en trop faible quantité, soit de trop petite taille. On est obligé alors de recourir aux rayons X qui permettent d'identifier ces minéraux.

(1). Par rapport à l'ensemble des sols de Cuba ; (2). Chromite.

Tableau:16 CONSTITUANTS FERRUGINEUX ET OLIGOELEMENTS. SOLS FERRALLITIQUES, MODAUX

Profil	Prof en cm	% d'argile	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Total %	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Libre %	Fer amorphe		Fer Cristallisé		Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> L	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> L	Micro-éléments (ppm)			
					%	% du fer Total	%	% du fer Total	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> T	Argile %	Cr	Ni	Co	MW
E-1	7 - 17	85,5	15,0	11,67	5,40	36,0	6,27	41,80	77,80	14,0	194	170	70	-
	26 - 36	87,4	14,5	11,00	3,90	26,9	7,10	48,90	75,90	13,0				
	50 - 60	91,8	13,7	12,40					90,20	14,0	210	205	80	
	90 - 105	87,3	19,3	14,20	4,55	23,6	9,65	50,10	73,70	16,0				
	140 - 150	85,5	15,5	11,90	5,25	33,9	6,65	42,90	76,80	14,0				
	à 20cm du calcaire										167	210	75	
	à 15cm " " "										161	225	75	
	à 10cm " " "										172	225	75	
	à 5cm " " "										172	220	88	
Résidu du calcaire										189	210	75		
TE-4	0 - 10	78,3	16,5	14,50	5,10	30,9	9,40	56,97	87,88	18,5	230	285	104	1285
	22 - 32	83,2	16,7	16,20	4,25	25,8	11,95	71,35	96,72	19,5				
	40 - 50	85,1	16,7	15,30	3,60	21,5	11,70	69,85	91,34	18,0	225	300	100	1200
	65 - 75		17,0	15,46	2,80	16,5	12,66	74,47	90,94					
	90 - 100	84,4	16,3	13,34	2,00	12,3	11,34	69,57	81,84	15,8	217	300	93	625
	Résidu du calcaire		9,4								370	310	140	
TE-14	0 - 10	80,5	16,3	13,44	4,00	24,6	9,44	58,10	82,70	16,7	201	180	78	2025
	30 - 40	83,9	16,1	14,50	3,80	23,6	10,70	66,40	90,00	17,3				
	65 - 75	85,2	16,5	14,50	3,40	20,6	11,10	67,30	87,90	17,0	210	200	120	1225
	95 - 105	86,5	16,3	14,50	4,50	27,7	10,00	61,50	89,20	16,8	202	180	92	975
	Résidu du calcaire		12,9								458	192	256	
TE-1	0 - 10	79,3	14,0	13,00	4,50	30,7	8,70	62,14	92,86	16,4	225	150	64	2000
	20 - 30		14,0	12,20	5,00	35,7	7,20	51,43	87,14					
	45 - 55	81,7	16,3	14,30	3,80	23,3	10,50	64,42	87,73	17,5				
	72 - 82		14,3	11,70	3,60	25,2	8,10	56,64	81,81		187	185	100	1900
	Résidu du calcaire		9,6								222	96	156	

Tableau: 17

CONSTITUANTS MINÉRAUX DE LA FRACTION SABLE ET ARGILE DU SOLS ET RESIDUS NON CARBONATES DES  
CALCAIRES SOUS-JACENTS. SOLS FERRALLITIQUES ROUGES MODAUX

Profil	Prof. en Cm	Fraction Lourde Totale étudiée aux Rayons X.	Fraction Léger étudiée aux Rayon X	Minéraux Lourds Transparents.											%	Minéraux Argileux (< 2µ)											
				Pyr.	Ho	An	Sil	Dis	St	Gr	Ep	Z	T	R		A	Id	Sph	Ponderal	Mont	Illite	Fco.	F-C	FC-M	M-FC	M	Gl
E-1	7-17		QUARTZ				Tr	+	Tr	Tr	+			++					+++						+++	+++	+
	26-36																		+++						+++	+++	+
	50-60																		+++						+++	+++	+
	90-105																		+++						+++	+++	+
	140-150																		+++						+++	+++	+
	à Domroche	Mgt. et Go.	QUARTZ	Tr	+		Tr	+	Tr	+++	++	Tr	+++	Tr				24,6									
	Résidu du calcaire	Go, Mt, et trace spinelle	kaolinite, Go et traces I-M		+		Tr	+	Tr	+++	+++	+++	+++	+++				0,75	+++	+			++				
TE-1	0-10	Boe, Go, traces A.; Kaolinite	Quartz et traces															42,5				+++		+++	+++	+	
	45-55		de Gibbsite-																			+++		+++	+++	+	
	72-82	Boe, Go; Kaolinite	Boehmite															49,0				+++		+++	+++	+	
		Résidu du calcaire	Quartz, un peu de plagioclase, traces de micas, Boe, et Apatite																	+++	+			+			
TE-4	0-10	Go, Boe, He; spinelle	Gi; Quartz;															14,35				+++		+++	+	+++	+
	40-50	Idem, avec traces d'Anatase	traces de kaolinite et															12,10				+++		+++	+	+++	+
	90-100	Go, Boe, He; traces d'anatase	Boe.															16,60				+++		+++	+	+++	+
		Résidu du calcaire		Quartz, Apatite																+++	++	+			+		++
TE-14	0-10		Quartz; Boe, et traces de			+		++	+									4,3				+++		+++	++	+++	+
	65-75		Kaolinite					+++						+				10,0				+++		+++	++	+++	+
	95-105									++								11,3				+++		+++	++	+++	+
		Résidu du calcaire	Quartz, Serpentine, traces de spinelle																			+++		+++	++	+++	++
TE-18	0-10		QUARTZ			2	16	2	26	44		1	8	1				0,48				+++		+++	+++	+	
	50-60						30		12	32	2	2	18	4				0,63				+++		+++	+++	+	
	110-120						+			Tr				Tr				0,53				+++		+++	+++	+	
	zone d'altération						14	14		24	35	2	1	10				0,52									
		Résidu du calcaire		Quartz, Albite, Ep																++	++			++	+	++	++
TE-16	0-16		Quartz, traces d'argiles.			+		+++	++			++	++				1,13										
	16-32					5	8	46	16	3	3	11	5				0,80										

PYR-pyroxène, Ho-hornblende, An-andalousite; Sil-sillimanite, Dis-disthène; St-staurotide, Gr-grenat; Ep-épidote; Z-zircon; T-tourmaline, R-rutile; A-anatase; Id-idrocnase; Sph-sphène.

+++ très abondant; ++ abondant; + présent; Tr..traces.

+++ importante; ++ peu; + traces.

Dans certains cas, comme dans le profil E-1, il y a une parenté évidente entre les résultats du calcaire et les minéraux des sables.

Les minéraux lourds issus des péridotites sont représentés principalement par la spinelle qui se trouve en faible quantité ; la hornblende a été constatée dans le profil E-1 et TE-18, dans la zone d'altération et *dans les résidus de calcaire*.

Les minéraux lourds que l'on trouve plus couramment dans ces sols sont représentés par disthène, staurotide, grenat, épidote et tourmaline ; parmi ceux-ci grenats et épidotes, en raison de leur degré d'altération, se trouvent en très faible quantité, et sont localisés principalement dans l'horizon profond et *les résidus du calcaire*. En général, parmi les minéraux les plus résistants à l'altération, il y a une dominance de disthène et staurotide.

D'après les résultats des analyses d'argile par diffraction aux rayons X, on constate dans presque tous les profils la prédominance des minéraux argileux de type 1/1 (Fig. 18bis) ; représentés principalement par le fire-clay et aussi l'association fire-clay-métahalloysite et à l'inverse métahalloysite-fire-clay. Ces minéraux argileux sont associés à des quantités importantes de gibbsite qui se retrouve dans tous les profils. On a identifié la boehmite dans quelques profils.

L'analyse des résidus non carbonatés des calcaires montre qu'il existe une composition minéralogique qui diffère d'un calcaire à l'autre. Dans la plupart des cas on trouve la prédominance de montmorillonite et parfois d'illite, mais associées toujours à des quantités plus ou moins importantes de minéraux 1/1 et d'oxydes et d'hydroxydes de fer et d'aluminium.

Dans les sols, les minéraux 2/1 disparaissent tandis que les autres constituants augmentent et/ou se transforment. Pour préciser la morphologie des différents constituants argileux, des échantillons du profil TE-4 ont été examinés au microscope électronique (Planche I, photo 1, 2 et 3).

Ces photos nous montrent :

- dans l'horizon A, la présence des kaolinites désordonnées, de taille très petite avec des cristallites un peu arrondies, aussi la présence d'amas constitués par la cimentation des cristallites, de kaolinites désordonnées ; il existe aussi des métahalloysites tubulaires qui forment des amas.

- dans l'horizon B, il y a une forte tendance à la formation des amas, constitués par la cimentation des cristallites, des kaolinites désordonnées. La taille des cristallites est très petite avec des bords arrondis.

La métahalloysite est tubulaire, formant des amas. La gibbsite est bien cristallisée. On y observe aussi la présence de boehmite bien caractérisée.

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

Les sols ferrallitiques rouges compacts sont observés dans presque toute l'île de Cuba, mais ils se trouvent principalement localisés dans la "*penillanura roja*", *Habana-Matanzas* et à la plaine rouge de *Ciego de Avila* à *Camaguey* ; ils occupent une surface totale d'environ 1930 km<sup>2</sup> (Institut des Sols de l'Académie des Sciences,

Dans cette plaine qui fait partie de la "*penillanura roja*", *Habana-Matanzas*, ces sols sont beaucoup moins répandus que les sols ferrallitiques modaux, mais ils occupent une surface assez importante. On les rencontre un peu partout, associés aux sols ferrallitiques rouges modaux et aux sols ferrallitiques rouges hydromorphes et localisés toujours sur une topographie plane à légèrement ondulée.

Pour bien caractériser ce sous-groupe, six profils ont été sélectionnés en différents endroits de la plaine, mais on ne présentera ici que la description de deux profils estimés les plus représentatifs, un sur calcaire (TE-6) et l'autre sur matériaux alluviaux

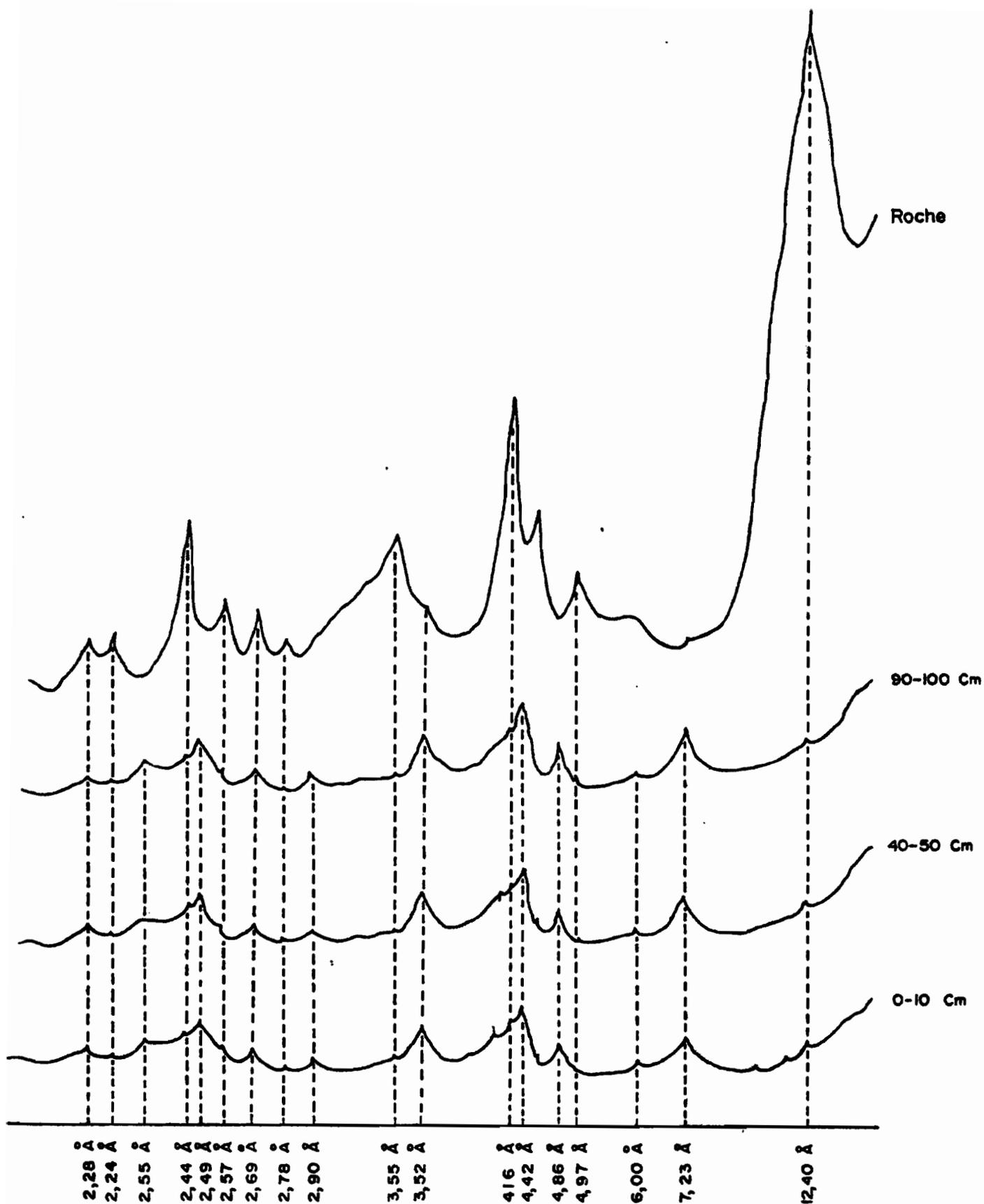


Fig:18<sup>bis</sup> Composition minéralogique profil TE-4 sur calcaire dur

anciens (E-5).

#### A. - MORPHOLOGIE.

Du point de vue morphologique, les sols ferrallitiques rouges compacts ne présentent pas une grande variété d'horizons mais le développement et la différenciation des horizons sont nettement plus marqués que dans le cas des sols ferrallitiques rouges modaux.

Généralement, ils présentent un profil de 1 à 3 m d'épaisseur avec une couleur d'ensemble qui reste dans la gamme du rouge (10 R, 2,5 YR et 5 YR) avec des intensités variables (3/4, 4/4, 4/6, 4/8 et 5/8) à travers tous les profils (Photos 1 et 2) ; on voit apparaître normalement vers 90 à 105 cm des taches brun-jaunâtre à rouge-jaunâtre (7,5 YR à 10 YR) qui résultent de la réduction du drainage interne du sol.

On observe un horizon A plus sombre de couleur brun-rougeâtre à rouge foncé d'environ 20 cm de profondeur ; argileux, avec une consistance le plus souvent moyennement compacte à compacte ; la structure dominante est cubique grossière. Le passage à l'horizon (B) se fait de façon régulière et nette ; cet horizon est assez épais et coïncide généralement avec le changement de "chroma" de la couleur dans le profil ; il est argileux avec une consistance compacte à l'état sec et plastique à l'état humide. Le caractère, le plus net de cet horizon, est son degré de structuration, avec une structure bien définie à dominance polyédrique moyenne à large ; la surface des agrégats présente un aspect brillant et/ou luisant. Le passage vers l'horizon affecté par la réduction du drainage se fait de façon régulière et nette ; les taches n'ont pas une direction particulière et peuvent avoir des tailles différentes.

La teneur en concrétions ferrugineuses, de taille variée, est toujours inférieure à 5% ; on les retrouve distribuées dans tout le profil mais généralement le maximum de celles-ci se situe au-dessous de l'horizon (B) où commencent à apparaître les taches.

Dans la plupart des cas, ces sols se développent à partir des matériaux alluviaux anciens argileux ferrugineux, mais lorsqu'ils se développent sur calcaire dur, le passage entre le sol et le calcaire sous-jacent se fait par l'intermédiaire d'une mince couche d'argile avec taches brun-jaunâtre, très plastique qui fait effervescence à l'acide chlorhydrique. Le calcaire présente en surface de nombreux trous de dissolution.

#### DESCRIPTION DU PROFIL TE-6.

- Localisation : N.330.350  
E. 339.200 Alquizar
  - Altitude : 15,5 m
  - Topographie : Plane
  - Drainage : Interne et externe bon
  - Végétation : Fruitière (*Persea americana*, *Musa paradisiaca*)
- 0 - 24 cm - Rouge foncé (2,5 YR 3/4H) à rouge (10 YR 4/8S) ; argileux, compact et peu poreux ; structure cubique large ; présence de quelques petites concrétions ferrugineuses ; système racinaire peu développé ; transition régulière et distincte.
- 24 - 40 cm - Rouge (2,5 YR 4/6H) à rouge (10 R 4/8S) ; argileux, moyennement compact et moyennement poreux ; structure polyédrique moyenne bien définie, surface des agrégats luisante ; présence de quelques petites concrétions ; système racinaire peu développé ; transition régulière et nette.
- 40 - 63 cm - Rouge (10 R 4/8H) à rouge (10 R 4/8S) ; argileux, moyennement compact et poreux ; structure polyédrique moyenne, avec agrégats à surface luisante ; présence de quelques concrétions ; transition régulière et graduelle.
- 63 - 83 cm - Rouge (10 R 4/8H) à brun jaunâtre (10 R 5/8S) ; argileux, légèrement compact, poreux ; structure polyédrique fine, avec des agrégats à surface luisante ; présence de petites concrétions ; système racinaire rare ; transition régulière et graduelle.
- 83 - 105 cm - Rouge (10 R 4/8H) à brun jaunâtre (10 R 5/8S), avec petites taches rouge-jaunâtre (7,5 YR 5/8) ; argileux, légèrement compact et poreux ; structure polyédrique avec sous-structure polyédrique très fine ; présence de morceaux de calcaire de différentes tailles ; effervescence faible à l'acide chlorhydrique.

105 cm et plus - Roche calcaire dure avec une surface très fissurée.

#### DESCRIPTION DU PROFIL E-5.

- Localisation : N. 326.940  
E. 383.160 Melena del Sur
  - Altitude : 22,9 m
  - Pente : 0,5%
  - Drainage : Externe bon, interne, moyen
  - Topographie : Plane
  - Végétation : Plantation de bananiers (*Musa paradisiaca*)
- 0 - 19 cm - Rouge foncé (2,5 YR 3/6H) ; argileux, compact et moyennement poreux ; structure cubique large, pas bien développée ; concrétions peu abondantes ; système racinaire rare.
- 19 - 44 cm - Rouge (2,5 YR 4/6H) ; argileux, moyennement plastique, poreux à petits pores, structure polyédrique large bien définie avec aspect luisant des agrégats ; concrétions plus abondantes ; système racinaire rare.
- 44 - 70 cm - Rouge (10 R 4/8H) ; argileux, moyennement plastique et poreux ; structure nuciforme fine bien développée ; augmentation des petites concrétions.
- 105 - 142 cm - Rouge (2,5 YR 4/6H) avec des petites taches brun-jaunâtre (10 R 5/8H) ; argileux ; moyennement friable et poreux ; structure nuciforme fine ; les concrétions sont abondantes.
- 142 - 180 cm et plus - Rouge-jaunâtre (5 YR 5/8H), avec des taches brun-jaunâtre (10 YR 5/8H) ; argileux, moyennement friable et poreux ; moins de concrétions.

#### B. - CARACTERISTIQUES PHYSIQUES ET HYDRODYNAMIQUES.

##### 1). Texture

Pour les sols ferrallitiques rouges compacts, les résultats de l'analyse mécanique (Tableau 18), montrent une certaine diminution des teneurs en fractions fines du sol, où les fractions inférieures à 2 $\mu$  varient entre 51 et 81%. La fraction limon est toujours inférieure à 16%, avec dans la plupart des profils une forte diminution de la surface vers la profondeur.

Les teneurs en sables peuvent atteindre dans quelques cas 35%. Les sables fins sont plus abondants que les sables grossiers, atteignant 20% et parfois 26%. Les sables grossiers présentent presque toujours des teneurs inférieures à 10%.

Sur le terrain, il est difficile de constater une augmentation de la teneur en argile dans le (B) ; on ne voit aucun revêtement argileux. Par contre, on observe sur les agrégats un aspect brillant qui ne disparaît pas lorsque l'on brise les agrégats. L'examen de la courbe granulométrique (Fig.19) montre que les rapports des teneurs en argile de l'horizon A sur celle de l'horizon (B) est toujours inférieur à 1,2. Il n'est donc pas possible de parler dans ce type de sol, d'un processus d'illuviation d'argile.

## 2). L'état poral.

La densité réelle présente des valeurs comprises entre 2,70 et 2,90 (Tableau 19) ; en général, elle est très semblable dans tous les profils. Ces variations sont liées à celles de la granulométrie et des sesquioxydes du sol.

La densité apparente prend des valeurs assez élevées, on observe les valeurs les plus faibles dans l'horizon A (1,22 à 1,30). Dans l'horizon (B) la densité apparente augmente assez fortement, elle peut atteindre jusqu'à 1,46, mais d'après les résultats des différents profils, elle devient encore plus forte dans l'horizon marqué par l'hydromorphie. Cependant, malgré des densités apparentes assez élevées, la porosité totale du sol est assez importante (46 à 55%). Elle présente des variations peu importantes à l'intérieur de chaque profil, avec un général une diminution en profondeur. Bien que la porosité totale soit élevée, la microporosité est faible et varie entre 2 et 10%. Ce caractère est extrêmement important parce qu'il réduit le drainage interne du sol et pourtant il influe directement sur le comportement du régime hydrique du profil.

Tableau: 18 ANALYSE MECANIQUE SOLS FERRALLIQUES ROUGES COMPACTS

Profil	Prof. en cm	Perte à clH %	% des fractions en (mm)				
			2,0 - 0,2	0,2 - 0,02	0,02 - 0,01	0,01 - 0,002	< 0,002
TE-6	0 - 10	1,50	2,30	17,46	4,01	14,10	60,63
	25 - 35	1,40	0,41	18,90	3,40	10,28	65,61
	45 - 55	1,90	0,48	20,35	3,13	11,15	62,99
	70 - 80	1,80	0,45	16,99	6,07	10,26	64,43
TE-19	0 - 10	1,90	2,26	10,18	4,79	9,58	71,29
	28 - 38	1,40	4,28	9,85	5,60	2,04	76,83
	55 - 65	1,80	5,47	7,35	4,90	2,74	77,74
	78 - 88	1,00	9,07	8,18	1,93	6,82	73,03
E-4	0 - 10		9,30	26,10	5,40	7,70	51,50
	22 - 32		12,10	23,80	2,10	5,70	56,30
	45 - 55		13,90	18,30	1,30	4,30	62,20
	70 - 80		19,30	17,30	3,00	1,70	58,70
	95 - 105		17,40	12,10	3,80	1,60	65,10
E-5	0 - 10		2,30	17,20	2,30	8,30	69,90
	25 - 35		6,00	12,30	1,00	5,30	75,40
	50 - 60		9,70	9,90	2,70	1,50	76,20
	75 - 90		10,30	10,20	0,60	6,80	72,10
	150 - 165		11,00	6,10	2,60	6,80	73,60

Fig: 19

ANALYSE MECANIQUE

PROFIL E-5

% DES FRACTIONS X 10

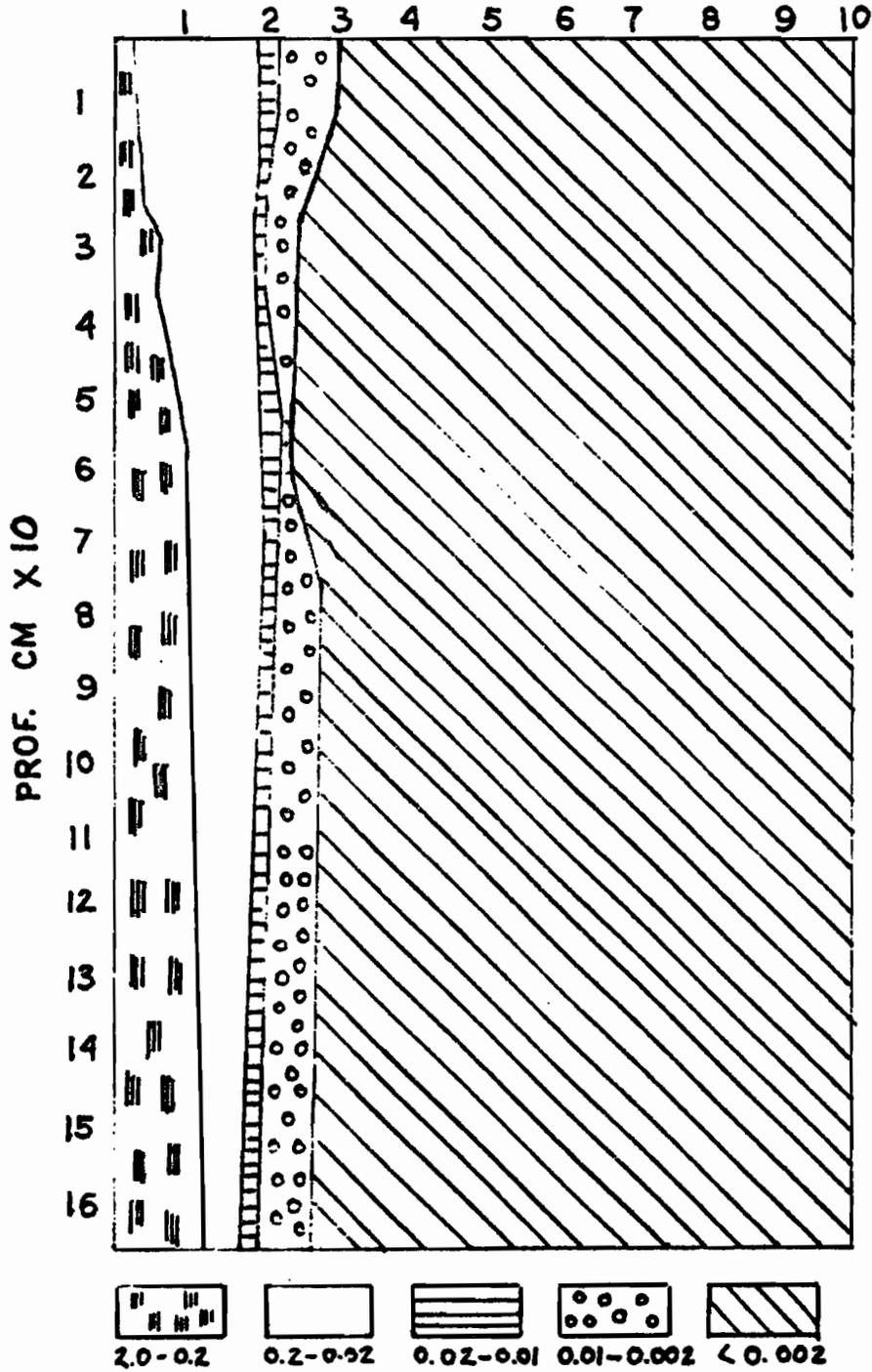


Tableau: 19 RÉSULTATS CONCERNANT L'ÉTAT PORAL ET LES PROPRIÉTÉS HYDRODYNAMIQUES, SOLS F. COMPACTS

Profil	Prof. en cm	D.R. g/cm <sup>3</sup>	DA g/cm <sup>3</sup>	Porosité %		Capacité au Champ %	Point de Fletrissement %	Réserve d'eau %	L'eau utile %
				Totale	Pour l'air				
TE-6	0-10	2,67	1,31	51,0	7,27	33,38	25,44	43,73	7,94
	25-35	2,77	1,38	50,0	2,50	34,40	26,67	47,50	7,73
	45-55	2,71	1,30	52,0	6,00	35,35	27,80	46,00	7,55
	70-80	2,70	1,35	50,0	6,01	35,15	26,20	43,93	8,95
	85-95	2,73	1,32	52,0	6,39	34,55	26,40	45,61	8,15
TE-19	0-10	2,74	1,47	46,0	1,09	30,59	22,01	44,96	8,58
	28-38	2,73	1,39	49,0	0,28	35,05	23,88	48,72	11,17
	55-65	2,74	1,41	48,0	0,20	33,92	23,24	47,80	10,68
	78-88	2,78	1,38	50,0	2,70	34,25	24,29	47,30	9,96
TE-24	0-10	2,85	1,16	59,0	18,92	34,56	24,78	40,08	9,78
	10-20	2,86	1,39	51,0	7,56	31,25	24,78	43,44	6,47
	20-30	2,91	1,34	54,0	10,05	32,80	25,42	43,95	7,38
	30-40	2,87	1,37	52,0	9,56	30,98	25,28	42,44	5,70
	50-60	2,92	1,38	53,0	9,04	31,13	25,13	43,96	6,00
	70-80	2,85	1,43	49,0	0,02	34,25	25,80	48,98	8,45
E-5	0-10	2,76	1,29	53,0	9,80	33,52	21,43	43,20	12,80
	25-35	2,77	1,39	50,0	4,10	33,02	24,02	45,90	9,00
	50-60	2,78	1,43	49,0	2,00	32,90	23,68	47,00	9,20
	75-90	2,79	1,40	50,0	3,80	33,00	24,21	46,20	8,80
	115-130	2,78	1,38	50,0	5,50	32,27		44,50	
	150-165	2,74	1,44	47,0			25,29		
E-6	5-15	2,76	1,22	55,8	9,90	37,60	24,06	45,87	13,50
	30-45	2,82	1,34	52,0	5,80	34,50	26,07	46,19	8,40
	60-70	2,80	1,46	49,0	0,80	33,00	24,93	48,20	8,10
	82-92	2,87	1,41	51,0			23,75		
	105-115	2,82	1,39	50,7	2,30	34,90	24,29	48,46	10,60
	130-140	2,79	1,47	47,3		35,40	26,13	52,05	9,30

### 3). Structure.

#### a) - *Microagrégation.*

Le coefficient de dispersion (Tableau 20) présente de fortes variations à l'intérieur des différents profils analysés, dans la plupart des cas il prend des valeurs comprises entre 36,2 et 60%, sauf pour le profil TE-6 qui présente les valeurs les plus élevées (66,2 à 80,4%).

On constate les valeurs les plus fortes dans l'horizon (B) à forte densité apparente, c'est-à-dire vers 30 à 60 cm de profondeur, tandis qu'il diminue en surface et dans l'horizon plus profond. Ceci veut dire, qu'il y a une amélioration de la microagrégation en surface et dans les horizons plus profonds où les particules argileuses à l'état dispersé représentent beaucoup moins de 50% alors que vers 30 à 60 cm le degré de microagrégation est inférieur et un peu plus de 50% de l'argile de cet horizon se trouve à l'état dispersé.

Cependant, il faut remarquer la tendance à la formation de pseudo-sables (0,2 à 0,002 mm) et de pseudo-limons (0,01 à 0,002 mm). Dans les différents profils il existe en surface un équilibre entre les pseudo-sables et pseudo-limons, mais vers la profondeur c'est plutôt la formation des pseudo-sables qui prédomine.

#### b). *Macrostructure.*

La présence d'une structure polyédrique moyenne à grossière dans les sols ferrallitiques rouges compacts est exprimée par la prédominance à l'état sec (Tableau 21), d'agrégats dont la taille varie de 5 à plus de 10 mm. En surface, ce sont surtout les agrégats supérieurs à 10 mm qui prédominent, d'où une structure plus grossière que dans le reste du profil.

Même après l'action de l'eau, la proportion d'agrégats supérieurs à 0,25 mm reste importante, surtout dans l'horizon A, où 72 à 84% des agrégats sont stables sous l'eau. Cependant on assiste à une diminution assez forte de leur stabilité dans l'horizon (B) et dans l'horizon le plus profond on obtient seulement de 30 à 45% d'agrégats stables à l'eau.

L'indice de stabilité de la structure prend en surface des valeurs comprises entre 0,75 à 0,81, celui-ci diminue très rapidement vers la profondeur, avec des valeurs qui varient entre 0,33 et 0,44, c'est-à-dire que l'instabilité de la structure s'accroît à mesure que le profil devient plus compact.

Sous l'action de l'eau, il se produit une réduction considérable de la taille des agrégats. En surface, les agrégats dominants ont une taille comprise entre 7 et 2 mm, mais cette dégradation est encore plus poussée à mesure qu'on descend dans le profil, où la plupart des agrégats ont une taille très petite, comprise entre 1 et 0,5 mm.

#### 4). Résistance à la pénétration.

Dans les sols ferrallitiques rouges compacts, la mesure de la résistance à la pénétration a été faite au champ à environ 60% de l'humidité à la capacité au champ.

On peut observer (Fig.20) que les différents profils présentent un comportement assez semblable vis-à-vis de leur résistance à la pénétration. La plupart des profils offrent une résistance assez forte en surface variant de 12 à 38 kg/cm<sup>2</sup> ; ce qui s'explique par la présence dans cet horizon d'une structure plus grossière. Vers 25 cm, la résistance à la pénétration diminue et elle augmente à nouveau dans l'horizon plus compact (18 à 28 kg/cm<sup>2</sup>) et ensuite elle a tendance à diminuer en profondeur. Cependant, leur résistance à la pénétration est élevée par rapport à d'autres sols ferrallitiques rouges. Cette propriété semble donc bien exprimer le degré de compaction du sol.

#### 5). Propriétés hydrodynamiques.

La teneur en eau à la capacité au champ des différents profils, présentent des valeurs très semblables, variant entre 30 et 37%. Les teneurs en eau au point de flétrissement sont comprises entre 21,4 et 27,8%. La teneur en eau utile de la plupart des profils est assez faible, elle varie entre 7,5 et 13,5%.

Profil	Prof. en cm	Z des fractions en mm					Z d'argile	Coefficient de dispersion %
		2,0-0,2	0,2-0,02	0,02-0,01	0,01-0,002	< 0,002		
TE-3	0-10	26,90	10,87	5,52	23,20	33,51	74,51	45,0
	25-35	24,91	11,33	5,88	15,64	42,24	76,49	55,2
	45-55	16,11	16,55	7,30	12,64	47,40	78,82	60,1
TE-6	0-10	5,92	21,74	10,03	22,18	40,13	60,63	66,2
	25-35	10,02	20,79	6,01	10,46	52,72	65,61	80,4
	45-55	4,98	25,10	7,35	12,66	49,91	62,99	79,2
	70-80	2,05	31,01	8,63	15,11	43,20	64,43	67,0
	85-95	0,49	33,05	8,70	15,28	42,48	-	-
TE-19	0-10	2,69	29,46	16,25	20,23	31,37	71,29	44,0
	28-38	3,70	29,85	7,32	19,21	39,92	76,83	52,0
	55-65	4,94	36,37	10,11	17,38	31,20	77,74	40,1
	78-88	8,11	34,91	12,27	18,29	26,42	73,03	36,2
TE-13	0-10	4,98	25,84	10,71	26,01	32,46	70,43	46,1
	25-35	15,29	23,18	5,04	17,74	43,75	74,37	58,8
	55-65	5,85	30,10	6,92	14,78	42,35	74,71	56,7
E-4	0,10	10,90	39,00	7,60	21,70	20,80	51,50	40,4
	22-32	13,40	29,10	7,10	16,70	33,70	56,30	59,9
	45-55	14,20	31,40	7,40	13,60	33,40	62,20	53,7
	70-80	18,60	25,50	10,70	16,40	29,80	58,70	50,8
	95-105	17,70	28,00	9,30	16,90	28,10	65,10	43,2

Tableau 20 : Microagrégation des sols ferrallitiques rouges compacts

TABLEAU 21 COMPOSANTS DE LA STRUCTURE SOLS COMPACTS

Profil	prof en cm	methode	% des agregats de differentes tailles (mm)								Σ > 0,25
			> 10	10 - 7	7 - 5	5 - 2	2 - 1	1 - 0,5	0,5 - 0,25	< 0,25	
TE-6	0 10	* TH.			0 35	10 68	22 00	23 52	16 10		0,75
		** TS.	51,21	10,93	7,06	14,46	7,89	2,43	3,15	2,92	
	25 35		18,91	12,03	0,04	3,30	8,25	24,24	16,76		0,57
	45 55		19,11	11,65	9,89	22,09	15,45	4,74	8,94	8,13	0,53
	70 80		14,17	11,11	8,89	22,36	17,64	6,25	10,97	8,61	0,33
	85 95		25,44	11,69	0,04	2,10	3,35	16,04	12,15		0,35
TE-19	0-10				2,30	31,40	21,06	19,21	6,55		0,81
			51,74	10,81	9,45	18,64	6,55	1,53	0,85	0,43	
	28-38		42,65	11,76	0,45	4,27	10,40	22,46	19,21		0,57
	55-65		47,82	14,05	0,15	2,43	7,70	19,91	15,10		0,47
	78-88		31,23	12,04	0,20	6,65	7,35	19,86	9,60		0,44
					9,55	27,41	12,79	2,49	2,74	1,74	

\* tamisage humide  
 \*\* tamisage sec

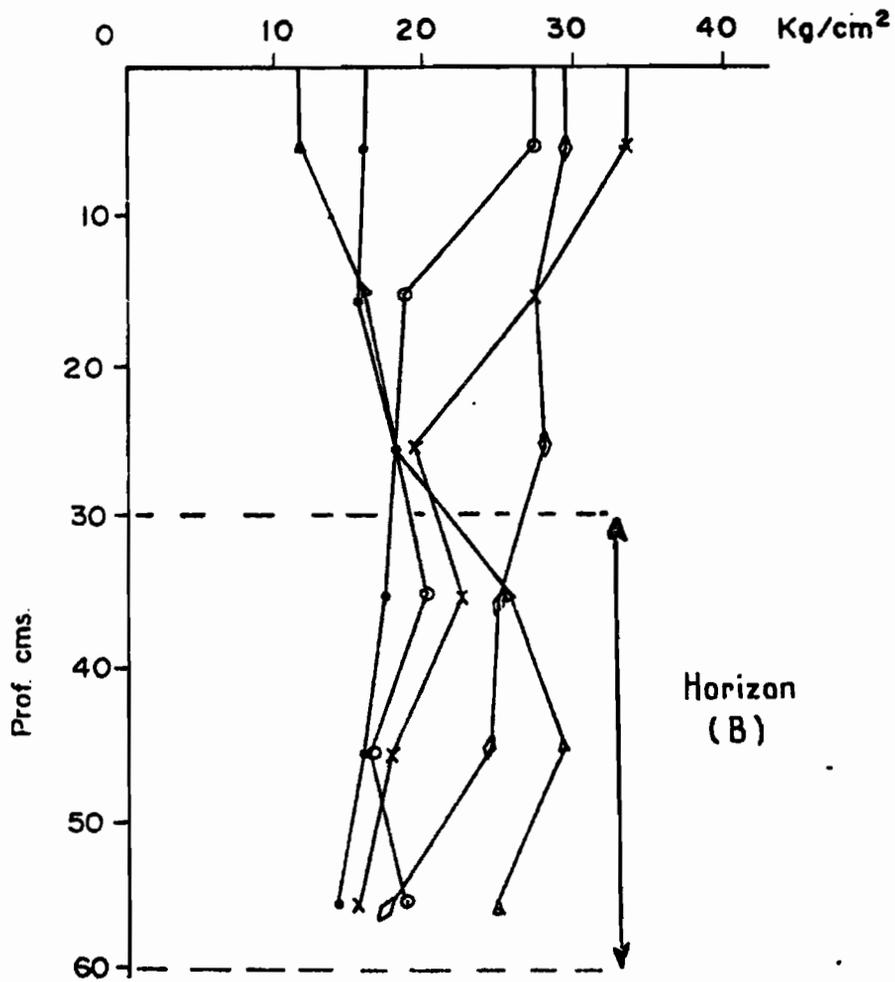


Fig. 20 Pénétrométrie de différents profils des sols Ferrallitiques Rouges Compacts

• — TE — 19    ◯ — OG — 1    ◊ — E — 6  
 ▲ — TE — 13    x — TE — 6

Les réserves en eau à la capacité au champ présente un ordre de grandeur semblable dans tous les profils, elles sont comprises entre 40 et 52%.

Ces sols sont caractérisés par un ensemble de propriétés physiques qui déterminent une perméabilité à l'eau assez faible (Fig.21). Il existe des différences d'un profil à l'autre, mais malgré tout, la vitesse d'infiltration reste faible, avec une valeur qui varie entre 10 et 20 mm/heure. Une perméabilité aussi faible ne permet pas une absorption rapide des eaux de pluies qui risquent de stagner en surface.

Cependant, du point de vue comportement hydrodynamique, ces sols sont susceptibles de sécher fortement pendant la période moins humide et les cultures souffrent beaucoup du manque d'eau surtout lorsqu'ils deviennent très compacts ; c'est à ce moment qu'il faut assurer l'irrigation des cultures. Les normes d'irrigation (Tableau 22) ont été calculées sur la base de 75% de la réserve d'eau à la capacité au champ. On peut constater que les différents profils ont besoin d'une quantité très semblable d'eau jusqu'à 50 cm, pour amener le taux d'humidité du sol à 75% de l'eau vraiment utilisable pour les cultures. En moyenne, la quantité d'eau nécessaire jusqu'à 50 cm de profondeur est de 560m<sup>3</sup>/ha.

### C. - PROPRIETES CHIMIQUES.

#### 1). Matière organique et complexe absorbant.

Les teneurs en matière organique ne présentent pas de fortes variations d'un profil à l'autre, elles sont de l'ordre de 2,9 à 3,9%. La répartition de la matière organique (Fig.22) est assez analogue dans tous les profils, avec une diminution nettement plus rapide vers les horizons profonds.

Les rapports C/N en surface sont compris entre 11 et 13, tandis qu'en profondeur ils diminuent fortement pour atteindre des valeurs inférieures à 10.

En ce qui concerne la composition de l'humus (Tableau 23) ce sont les acides fulviques qui l'emportent sur les acides humiques.

Dans les acides humiques, qui représentent 7 à 13% du carbone total du sol, il y a prédominance de la fraction d'acides humiques liées aux éléments alcalino-terreux et aux sesquioxides (II), avec diminution en profondeur.

Les acides fulviques, au contraire, représentent de 18 à 36% du carbone total du sol. La fraction prédominante correspond aux acides fulviques "agressifs", lesquels ont une tendance à augmenter relativement avec la profondeur, les autres fractions prennent des valeurs plus faibles.

La teneur en humine de différents profils est comprise entre 22,8 et 46,6%. Les rapports acides humiques/acides fulviques sont bas et varient entre 0,2 et 0,6 . on observe une diminution assez forte des humiques dans les horizons profonds.

Le pH est légèrement acide à neutre (6,0 à 7,7). Les sols les plus acides correspondent à ceux qui se sont développés sur alluvions anciennes ; les sols neutres sont ceux qui sont associés aux roches calcaires.

On peut faire une observation analogue pour le reste du complexe absorbant. La somme des bases échangeables atteint 10 à 21 mé/100g. Dans les sols dérivés de roche calcaire, la somme des bases augmente très fortement au voisinage de la roche-mère. Le cation le mieux représenté est le calcium.

La capacité d'échange de cations présente des variations analogues à celles de la somme des bases ; les valeurs obtenues varient entre 10 et 25 mé/100g ; les valeurs les plus fortes sont obtenues dans les horizons de surface ; elles diminuent dans les horizons profonds. Le degré de saturation est toujours élevé, 73 à 96%.

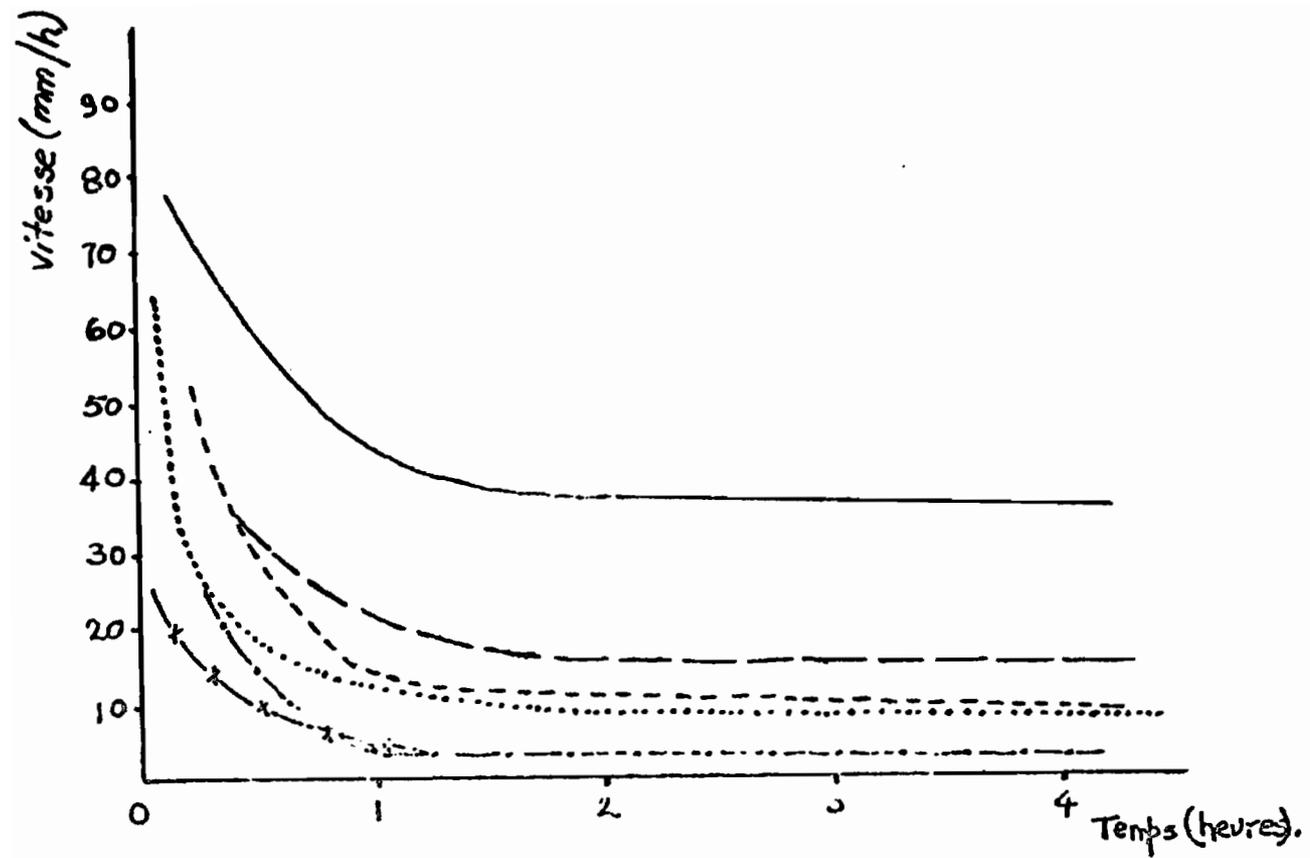


Fig: 21 Vitesse d'infiltration Sols Ferrallitiques  
 Rouges Compacts ——— TE-19 —x—x E-6 ..... E-4  
 - - - - TE-6 — - - - E-5 ——— TE-13

**Tableau 22 : Indices hydrodynamiques pour l'irrigation en m<sup>3</sup>/Ha. Sols ferrallitiques rouges compacts.**

Profil	Profondeur en cm	Porosité totale	Réserve d'eau à la capacité au champ	Limite inférieure d'humidité productive 75% des réserves en eau	Norme d'irrigation
E - 4	0 - 20	932,8	764	573	191
	0 - 50	2355,0	1960	1470	490
	0 - 100	4710,0	4002	3002	1000
E - 5	0 - 20	1040,0	892	669	223
	0 - 50	2550,0	2325	1744	581
	0 - 100	5040,0	4570	3428	1143
E - 6	0 - 20	1116,0	918	689	230
	0 - 50	2685,0	2305	1729	576
	0 - 100	5230,0	4720	3540	1180
TE - 6	0 - 20	1020,0	875	656	219
	0 - 50	2525,0	2281	1711	570
	0 - 100	5100,0	4615	3461	1154
TE - 19	0 - 20	920,0	987	740	247
	0 - 50	2380,0	2331	1748	583
	0 - 100	4820,0	4829	3622	1207

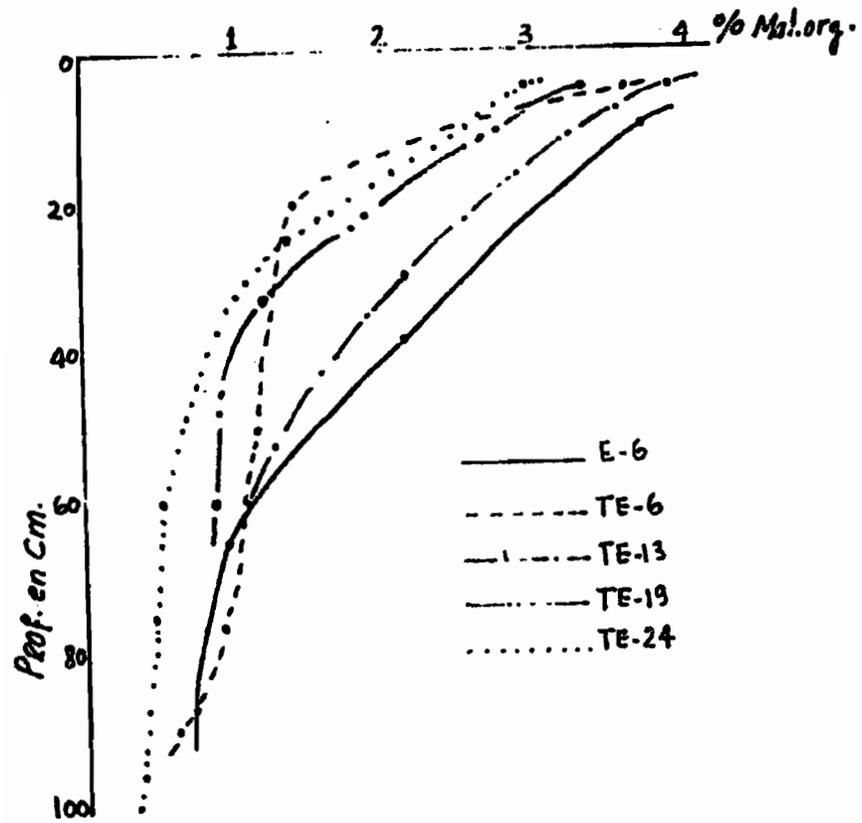


Fig:22 Variation des teneurs en Matière organique.

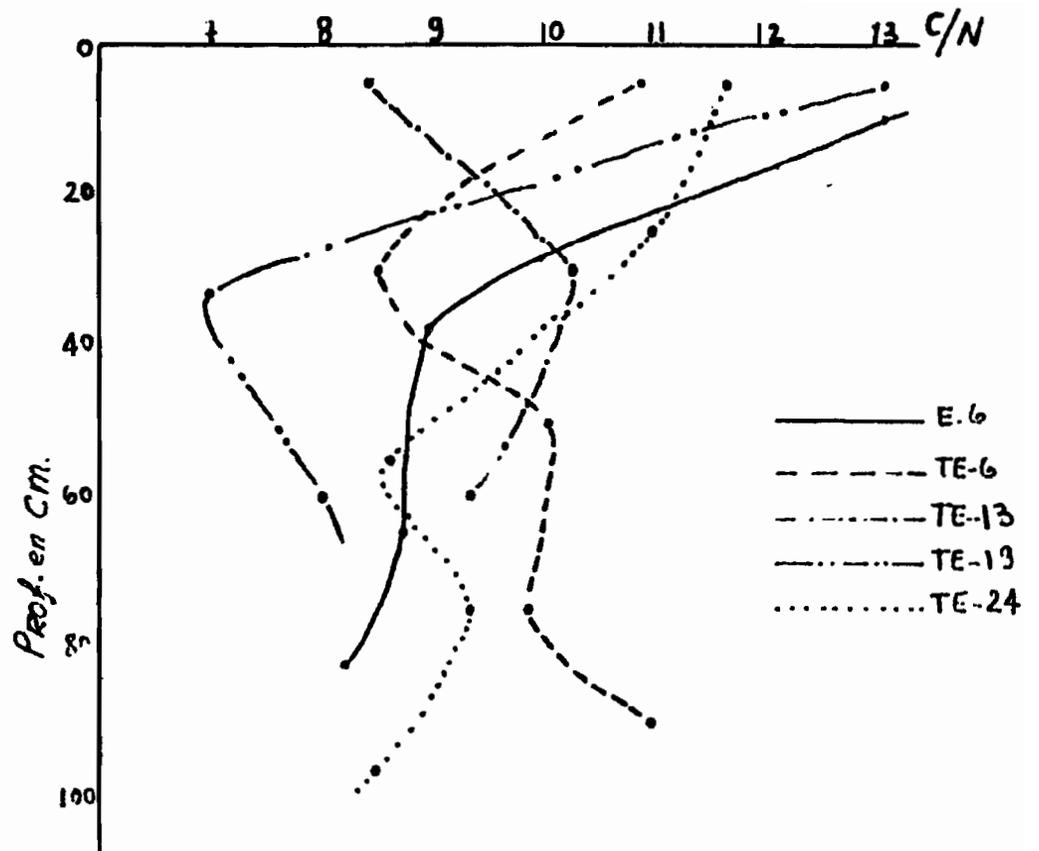


Fig:22 Variation du rapport C/N.

Profil	Prof. en cm	% C total	C % Humine	Acides Humiques			Acides Fulviques				H/F
				I	II	Σ	I	II	Ia	Σ	
TE-3	0 - 10	3,11	22,83	3/0,08	6/0,19	9/0,27	8/0,23	3/0,08	7/0,13	18/0,44	0,61
	25 - 35	1,93	45,63	9/0,17	5/0,09	13/0,26	23/0,45	4/0,08	6/0,11	33/0,64	0,41
TE-6	0 - 10	2,10	34,76	5/0,10	7/0,14	12/0,24	13/0,28	10/0,21	0	23/0,49	0,50
	10 - 23	1,46	43,84	3/0,05	10/0,15	13/0,20	20/0,30	7/0,10	3/0,04	30/0,44	0,45
	25 - 35	0,82	43,90	0	7/0,06	7/0,06	27/0,22	2/0,02	7/0,06	36/0,30	0,20

**Tableau 23 : Résultats analytiques, sols ferrallitiques rouges compacts.**

Profil	Prof. en cm	pH		ΔpH	CO <sub>3</sub> Ca %	S.S.T. %	Bases échangeables (mÉ/100g)				S mÉ/100g	T mÉ/100g	V %
		H <sub>2</sub> O	ClK				Ca <sup>+2</sup>	Mg <sup>+2</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>			
E-6	5-15	6,5	-	-			15,68	3,70	0,11	0,38	19,87	21,45	92,6
	30-45	6,4	5,6	-0,90			9,05	3,45	0,06	0,36	12,92	13,63	94,8
	60-70	6,2	5,5	-0,70			7,52	2,94	0,05	0,35	10,86	12,61	86,1
	82-92	6,4	5,6	-0,80			8,25	1,74	0,03	0,28	10,31	10,01	saturé
	105-115	6,5	5,6	-0,90			9,05	1,15	0,05	0,36	10,61	11,70	90,7
	130-140	6,3	5,6	-0,70			10,07	0,90	0,04	0,33	11,34	10,53	saturé
	160-170	6,3	5,7	-0,60			10,58	1,15	0,05	0,36	12,14	-	-
TE-6	0-10	7,2	6,5	-0,70	0	0,12	18,22	1,52	0,26	0,06	20,06	24,54	82,0
	25-35	6,9	6,3	-0,60	0	-	12,40	1,04	0,12	0,06	13,62	19,73	69,1
	45-55	6,9	6,1	-0,80	0	-	9,89	1,30	0,12	0,06	11,30	20,09	56,3
	70-80	7,1	6,2	-0,90	0,48	0,083	10,40	1,82	0,03	0,06	12,31	17,71	69,5
	85-95	7,2	6,4	-1,10	2,58	-	15,60	1,77	0,02	0,06	17,45	18,95	92,1
	Zone altération	7,6	6,1	-1,20	4,80	-	29,85	1,77	0,07	0,10	31,79	35,42	89,8
	Matériaux dans le calcaire	7,7	6,5	-1,20	16,00	-	50,90	2,04	0,06	0,24	53,24	56,16	94,8
TE-19	0-10	7,0	6,2	-0,90			16,07	4,68	0,65	0,12	21,52	25,00	8,61
	28-38	6,8	5,8	-1,00			12,63	2,39	0,45	0,10	15,57	20,13	77,3
	55-65	6,8	5,9	-0,90			10,50	1,98	0,32	0,13	12,93	17,25	74,9
	78-88	6,6	6,4	-0,20			13,32	1,04	0,32	0,11	14,79	20,13	73,5
TE-24	0-10	6,9	6,1	-0,80			15,63	5,90	0,03	0,14	21,70	22,25	97,5
	20-30	6,5	5,5	-1,00			-	-	-	-	-	-	-
	50-60	6,3	5,5	-0,80			8,75	2,60	0,07	0,22	11,64	13,75	84,6
	70-80	6,1	5,5	-0,60			-	-	-	-	-	-	-
	92-102	6,8	6,1	-0,70			11,25	2,40	0,03	0,17	13,85	14,38	96,3

Tableau 23-B : Complexe absorbant.

## 2). Constitution minéralogique.

Dans ce sol, le contenu en fer libre (Tableau 24) varie entre 10,6 et 16%, soit de 78,5 à 97,2% du fer total du sol. Sa répartition dans le profil est très irrégulière, on trouve les teneurs les plus élevées dans les horizons où commencent à apparaître les taches d'hydromorphie et aussi l'accumulation de concrétions ferrugineuses.

Les formes cristallisées du fer sont prédominantes et représentent de 44,6 à 76,4% du fer total du sol ; leur distribution est analogue à celles du fer libre et total.

Le fer amorphe prend des valeurs comprises entre 2,10 et 4,2% soit 11,2 à 30,5% du fer total du sol ; il décroît avec la profondeur. Ceci résulte de l'influence de la réduction du drainage interne du sol sur le contenu et de la stabilité de ces formes du fer (PONNAMPERUMA et al. 1967 ; LAMOUREUX, 1972).

Dans ce sol malgré les variations du contenu en argile, les rapports fer libre/argile donnent des valeurs très élevées, allant de 13 à 21,6%, et suivant la distribution des concrétions ferrugineuses dans les différents horizons.

Les formes cristallisées du fer qu'y prédominent sont : en surface, l'hématite associée à des traces de goéthite, mais vers la profondeur, la goéthite l'emporte sur l'hématite.

Les teneurs en chrome, nickel et cobalt des sols, présentent des teneurs très semblables à celles qu'on a trouvées dans d'autres sols situés dans cette plaine ; elles varient ainsi : chrome (148 à 248 ppm) ; nickel (100 à 225 ppm) et cobalt (69 à 98 ppm).

Le contenu de ces éléments dans les résidus du calcaire présentent les valeurs suivantes : chrome (250 à 291 ppm) ; nickel (126 à 150 ppm) et cobalt (120 à 208 ppm). Le contenu en manganèse total varie de 560 à 2200 ppm, d'après les quelques résultats obtenus, il présente une diminution pas très bien définie en profondeur.

De l'étude des minéraux des sables du sol ressort tout d'abord la faible quantité des minéraux lourds. Dans la fraction lourde (Tableau 25) les minéraux opaques sont prédominants, ceux-ci sont constitués principalement par des oxydes et hydroxydes de fer et titane (goethite, hématite, spinelle et anatase). La distribution de ces oxydes et hydroxydes à l'intérieur des différents profils - sauf la spinelle - est assez régulière ; on les retrouve dans tous les profils.

Dans l'horizon de surface du profil E-6, on a également décelé la présence de traces de biotites altérées. Dans cette fraction, il a été également mis en évidence, dans quelques cas, la présence d'hydroxydes d'aluminium.

L'analyse de résidus non carbonatés des calcaires sous-jacents, met en évidence une prédominance des sesquioxydes de fer et surtout de goethite.

Les minéraux lourds transparents relativement bien conservés dans le sol correspondent à ceux issus de roches métamorphiques, à prédominance d'andalousite, disthène, staurotide, tourmaline, épidote et grenat (les premiers sont les plus résistants à l'altération).

Dans la composition minéralogique des sables des sols, la fraction prédominante est constituée par la fraction légère. Celle-ci est assez homogène dans les différents profils et n'est constituée que de quartz, de traces de kaolinite et aussi dans quelques cas de gibbsite. La fraction légère *des résidus non carbonatés* des calcaires, présente une composition semblable à celle qui existe dans les sables du sol.

L'analyse chimique totale, effectuée sur l'argile des différents profils (Tableau 26), montre une homogénéité très marquée du point de vue de leur contenu en silice, alumine et fer total. Les rapports silice/sesquioxydes varient entre 1,42 et 1,76, tandis que les rapports silice/alumine varient entre 1,76 et 2,12.

TABLEAU 24 CONSTITUANTS FERRUGINEUX DES SOLS FERRALLITIQUES COMPACTS

	Prof en cm	% d'argile	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Total %	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Libre %	Fer amorphe		Fer cristallisé		Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> L Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> T %	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> L Argile %	Microelements (ppm)			
					%	% du fer Total	%	% du Fer Total			Cr	Ni	Co	Mn.
E-5	0-10	69,9	13,8	12,80	4,20	30,5	8,60	62,5	93,0	180				
	25-35	75,4	14,3	13,50	3,80	26,7	9,70	68,0	94,7	180				
	50-60	76,2	16,8		3,50									
	75-90	72,1		15,50	3,20		12,30			210				
	115-130		16,3	15,80	3,60	22,1	12,20	75,1	97,2					
	150-165	73,6	17,2	15,60	2,80	16,3	12,80	74,6	90,9	210				
TE-6	0-10	60,6	13,5	9,22	3,20	23,7	6,02	44,6	68,3	152	241	130	85	1280
	25-35	65,6	15,0	13,44	3,00	20,0	10,44	69,6	89,6	205				
	45-55	62,9	16,3	13,63	2,60	15,9	11,03	67,7	83,6	216	241	140	79	745
	70-80	64,4	15,8	13,06	2,60	16,5	10,46	66,2	82,7	203				
	85-95		16,8	12,58	2,30	13,7	10,28	61,2	74,9		248	130	69	750
	zone d'altération		11,3	8,16	4,80	42,5	3,36	29,7	72,2					
	mat dans le calcaire		10,8	7,34	4,00	37,2	3,34	31,07	68,3					
residu du calcaire		10,9									250	150	120	
TE-19	0-10	71,3	13,5	10,60	3,00	22,2	7,60	56,3	78,5	149	148	100	75	2200
	28-38	76,8	12,8	10,27	2,60	20,4	7,67	60,2	80,6	134				
	55-65	77,7	12,5	11,04	3,25	26,0	7,79	62,3	88,3	142	180	115	89	1775
	78-88	73,0	12,8	9,60	3,10	24,3	6,50	51,0	75,3	132	198	115	98	2050
	residu calcaire		13,3								291	126	208	
TE-24	0-10	74,9	13,5	12,10	3,00	22,2	9,10	67,4	89,6	161				
	20-30	80,2	13,3	12,10	3,30	24,8	8,80	62,2	91,0	151				
	50-60	81,5	12,8	12,67	3,40	26,6	9,27	72,4	99,0	156				
	92-102	75,4	14,0	12,10	3,30	23,6	8,80	62,9	86,5	161				

CONSTITUANTS MINÉRAUX DE LA FRACTION SABLE ET ARGILE DU SOL ET RESIDU NON CARBONATÉS  
DES CALCAIRES SOLS FERRALLITIQUES ROUGES COMPACTS

Tableau: 25

Profils.	Prof. en cm	Fraction lourde totale etudiee aux rayon x	Fraction legere etudiee aux rayon x	Minéraux lourds transparent											%	Minéraux argileux							
				Pyz	Ho.	And	Sil	Dis	St	Gr	Ep	Z	T	R.		Andeol	Mont	M.	M-F.C	Gl	Dol.	Hé.	Go.
TE-6	0 - 10	Go; He; Mgt; traces spinelle, et Boe.	Quartz; kaolinite, Gi.	Tr		Tr		Tr	+	Tr					11,7			+++	++		+++	+	
	25 - 35	Go, He; traces spinelle.  mat dans le calcaire residu du calcaire		Tr				Tr	+						15,9			+++	++		+++	+	
	45 - 55														20,8			+++	++		+++	+	
	70 - 80															13,3			+++	++		+++	+
	mat dans le calcaire															16,0		+++		++		++	++
	residu du calcaire			kaolinite, Go, He.															++		++		
TE-19	0 - 10		QUARTZ	+	+			++	++				+	0,30	+		+++	+		+++	+		
	55 - 65			Tr	++						++			0,50			+++			+++	+		
	78 - 88				Tr				+			+		0,51	+	+++				+++			
	Residu du calcaire				dolomie et quartz											++	++			+++		+	
E-4	0 - 10	GOETHITE ET HÉMATITE	Quartz et traces kaolinites							++	++	++	++	2,5	++	+++		+		+++	+		
	22 - 32									++	++	Tr	Tr	3,8		+++				+++	+		
	45 - 55										++	Tr	Tr	Tr	2,4		+++				+++	+	
	95-105										++	Tr	+		3,3		+++				+++	++	
	145-158										++	Tr	Tr		2,7	+++	++					+	++
E-6	5 - 15	Go, He; Biotite alterées	Quartz, traces kaolinites											4,5		+++		+		+++	+		
	30 - 45	Go; He; traces de Mgt	Quartz	Tr	Tr	Tr		Tr	Tr					5,8		+++		+		+++	+		
	105-115	Go, He; traces de Mgt.	Quartz, traces de kaolinite					+	+					6,3		+++				++	++		

Profil	Prof. en cm	P.F. %	Z								SiO <sub>2</sub>	SiO <sub>2</sub>
			SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	TiO <sub>2</sub>	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
E - 5	0-10	14,57	35,89	30,71	14,99	2,71	0,33	0,04	1,18	0,19	1,51	1,99
	25-35	13,74	37,25	35,82	13,59	2,88	0,42	0,05	0,86	0,18	1,42	1,76
	50-60	13,33	37,33	35,91	12,35	0,85	1,88	0,06	1,05	0,19	1,45	1,77
	115-130	13,01	37,70	30,21	9,86	2,45	1,23	0,02	0,59	0,18	1,76	2,12
E - 6	5-15	15,00	37,64	32,35	10,49	-	-	0,12	0,74	-	1,63	1,98
	30-45	14,41	37,50	34,00	13,05	-	-	0,07	0,99	-	1,51	1,88
	60-70	13,38	36,85	30,36	12,03	-	-	0,06	1,00	-	1,66	2,06
	105-115	-	37,35	31,59	12,74	-	-	0,07	0,92	-	1,56	2,01
TE - 6	Matériaux dans le calcaire	13,12	37,35	31,05	13,12	0,37	1,92	0,09	1,54	0,18	1,61	2,04
TE -13	55-65	12,84	38,04	32,92	12,02	-	-	-	-	-	1,59	1,96

Tableau 26 : Analyse chimique totale d'argiles ; sols ferrallitiques rouges compacts.

D'après les résultats de l'analyse de diffraction aux rayons X, on constate l'existence de minéraux argileux 1/1, à prédominance de métahalloysite et l'association métahalloysite-fire clay, ces constituants argileux sont associés à la gibbsite que l'on trouve dans presque tous les horizons.

Les minéraux argileux des calcaires varient d'un calcaire à l'autre ; dans le cas du profil TE-19, il y a prédominance de montmorillonite associée à de la métahalloysite. Cette montmorillonite subsiste encore à l'état de traces dans l'horizon proche du calcaire et elle disparaît rapidement. Dans le cas du profil TE-6 (Fig.23), il n'y a que des minéraux argileux 1/1, métahalloysite associée à des quantités importantes de gibbsite et goethite.

Pour préciser la morphologie des différents constituants argileux, des échantillons du profil TE-6, ont été examinés au microscope électronique (Planche II, photos 1, 2, 3 et 4).

Ces photos montrent :

- Dans l'horizon A, la présence de métahalloysite tubulaire, associée à des kaolinites désordonnées (Fire-clay) de taille très petites et mal cristallisées (arrondies).

- Dans l'horizon (B), la présence de gibbsite est nette, on peut également observer la métahalloysite tubulaire et les petites boules formées par la cimentation des cristallites de kaolinites désordonnées.

#### 4.4.3. SOLS FERRALLITIQUES FAIBLEMENT DESATURÉS EN (B), TYPICIQUES HYDROMORPHES.

Ce sous-groupe est situé dans une topographie assez basse ; mais il peut être présent également dans la partie la plus élevée de la plaine associée aux dépressions du relief où le drainage est ralenti.

Généralement, ces sols sont profonds. Ils sont de couleur rouge jaunâtre (5 YR 4/6 à 4/8), avec plus de 2% de taches de couleurs différentes de celles de l'horizon. Ces taches peuvent apparaître à par-

tir de 30 à 40 cm et les concrétions distribuées dans le profil peuvent atteindre jusqu'à 3 à 4%.

Ces caractéristiques résultent de l'influence d'une hydromorphie temporaire ou du mouvement de la nappe phréatique quand ils occupent une position très basse. L'engorgement par l'eau provoque une diminution du potentiel d'oxydo-réduction, la réduction du fer ferrique en fer ferreux et sa redistribution dans le profil.

Ces sols se forment sur des matériaux transportés et des produits de dissolution du calcaire.

#### A. DESCRIPTION DU PROFIL TE-7.

- Localisation : N. 322.700  
E. 343.200 Peñalver
- Altitude : 3,7 m
- Topographie : Plane
- Drainage : Interne moyen, externe bon
- Végétation : Culture des bananiers (*Musa paradisiaca*)

- 0 - 18 cm - Rouge jaunâtre (5 YR 4/8H) à rouge (2,5 YR 4/6S) ; argileux, friable et poreux ; structure grumeleuse fine ; présence de concrétions ferrugineuses, système radicaire peu développé ; transition régulière et nette.
- 18 - 28 cm - Rouge (2,5 YR 3/6H) avec taches rouge jaunâtre (5 YR 4/8H) passant à rouge (2,5 YR 4/6S) ; argileux, légèrement friable et poreux ; structure nuciforme moyenne ; présence de quelques petites concrétions . La zone des taches est plus compacte que le reste de l'horizon ; système radicaire rare ; transition régulière et graduelle.
- 24 - 40 cm - Rouge (2,5 YR 4/8H) avec taches plus nombreuses, rouge jaunâtre (5 YR 4/8H), passant à rouge (2,5 YR 4/8S) ; argileux, légèrement friable, moyennement poreux ; structure nuciforme mal développée ; présence de quelques petites concrétions ; système radicaire inexistant ; transition irrégulière et nette.
- 40 - 58 cm - Rouge (2,5 YR 5/8H) avec taches rouge jaunâtre (5 YR 5/8S) passant à rouge (2,5 YR 5/8S) et rouge jaunâtre (5 YR 5/6S) ; argileux, plastique et moyennement poreux ; structure nuciforme mal développée ; présence de quelques concrétions et de petits graviers calcaires ; effervescence faible à l'acide.

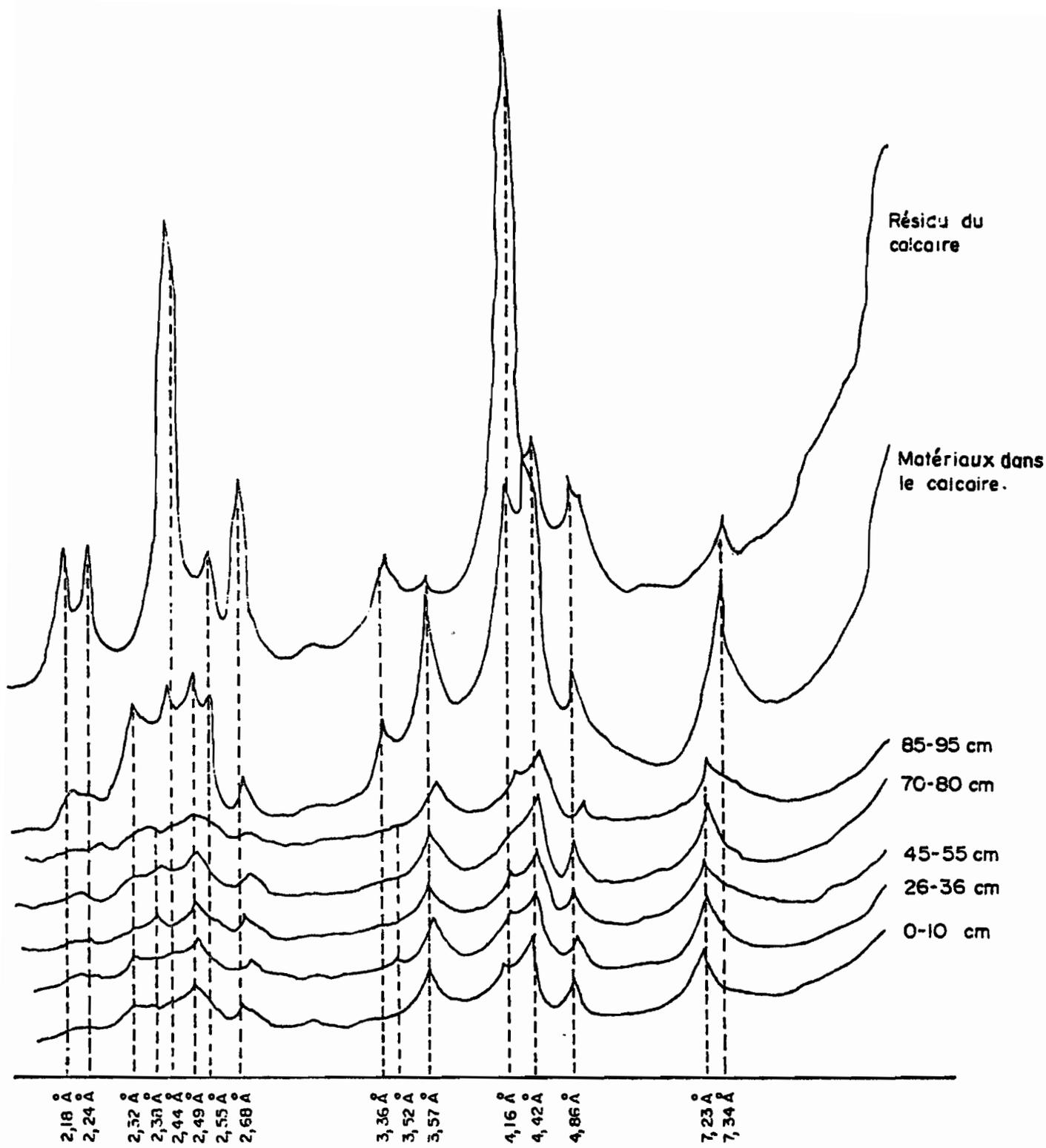


Fig: 23 Composition minéralogique TE-6 sur calcaire dur

58 cm et plus - Le passage au calcaire moyennement dur s'effectue par l'intermédiaire d'une couche d'argile très mince brun jaunâtre; la réaction de l'acide y est forte.

#### B. - CARACTERISTIQUES PHYSIQUES.

Les résultats analytiques (Tableau 27) mettent en évidence une prédominance de la fraction argile. Celle-ci varie entre 53,7 à 68,6% et en général, a tendance à augmenter légèrement avec la profondeur. Cependant, la fraction sable prend des valeurs élevées (19,2 à 27,8%) ; les sables fins l'emportent sur les sables grossiers avec très peu de variations d'un profil à l'autre.

La densité réelle varie entre 2,64 et 2,98 ; ses variations sont très liées au contenu en concrétions et en fraction sable. La densité apparente est élevée (1,26 à 1,41) ; les valeurs les plus faibles s'observent en surface et augmentent dans les horizons où les concrétions abondent et où l'hydromorphie est importante.

#### C. - CARACTERISTIQUES CHIMIQUES.

Les teneurs en matière organique varient de 2,12 à 3,5% ; elles sont en rapport avec le mode d'utilisation des sols, dans la composition de l'humus, on observe que la répartition des fractions est différente du reste des sols ferrallitiques. Dans les acides humiques c'est la fraction (I) qui prédomine, c'est-à-dire les acides humiques libres ou peu polymérisés, tandis que dans les acides fulviques, il y a une distribution identique des différentes fractions. En général, les acides fulviques l'emportent sur les acides humiques.

Les rapports acides humiques/acides fulviques sont inférieurs à 0,5. La réaction du sol est influencée par le matériau sur lequel il s'est formé. Le profil développé sur calcaire a un pH neutre et celui-ci augmente au voisinage de la roche. Pour ceux qui dérivent de matériaux transportés, le pH est acide à légèrement acide (5,8 à 6,6).

Ce sont des sols riches et pratiquement saturés en calcium, tandis que les sols formés sur matériaux transportés sont légèrement désaturés. La teneur en sodium échangeable sur le complexe absorbant (sauf le profil TE-7) ne dépasse guère 1 mé/100g et en général augmente avec la profondeur. Les teneurs les plus fortes s'observent dans le profil TE-7 (0,73 à 1,17 mé/100g, soit 4 à 8,16% de S); ceci est dû à la proximité de la mer où les eaux de la nappe phréatique sont chargées en chlorures, tandis qu'au centre de la plaine, ce sont les bicarbonates qui l'emportent.

#### D. - CONSTITUANTS MINÉRALOGIQUES.

La teneur en fer libre varie entre 10 et 13,8% ; le fer libre et le fer total ont tendance à augmenter en profondeur (Tableau 28).

Le fer amorphe varie entre 1,5 et 4,0%, il diminue très fortement dans les horizons affectés par l'hydromorphie. Il représente de 10 à 38% du fer total du sol. Dans ces sols, ce sont les formes cristallisées, hématite et goethite, qui prédominent. La goethite devient plus importante en profondeur.

Les contenus de chrome, nickel et cobalt, dans le sol et résidus du calcaire, présentent des teneurs assez semblables.

L'étude des sables du sol et des résidus non carbonatés des roches, met en évidence la présence de minéraux provenant des roches métamorphiques, avec dominance de : disthène, staurotide et andalou-site.

La fraction sableuse légère du sol et celle du résidu de calcaire est constituée principalement de quartz.

L'étude de l'argile, par diffraction aux rayons X, montre qu'il n'existe pas de différences quelque soit le matériau originel ; on observe la prédominance de la métahalloysite et le mélange métahalloysite-fire clay, ces minéraux argileux sont toujours accossés à la gibbsite. On retrouve ces constituants dans les résidus du calcaire sous-jacent.

Tableau 27- : Résultats analytiques, ions fertilisants hydrosolubles, sur calcaire et alluvions.

Profils	Prof. en cm	Perte à 625 °C	Granulométrie %					Dr g/cm	Da g/cm	Ferrière totale %	Mn. org. %	C <sub>T</sub> %	N <sub>T</sub> %	C/N	pH		Acidité d'échange (meq/100g)				SNT %	Bases échangeables meq/100g				K mg/100g	V mg/100g	U %
			SC	SI	LC	LI	Argile								H <sup>+</sup>	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Na <sup>+</sup>	Sum	Ca <sup>++</sup>		Mg <sup>++</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>				
TE-7	0-20	1,70	4,08	15,12	2,62	8,0	68,50	2,64	1,26	52,27	3,53	2,05	0,142	12,7	7,4	6,1	-	-	-	0,22	13,78	2,86	0,91	0,73	18,28	21,31	85,8	
	18-28	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,50	2,03	0,158	12,9	7,2	6,1	-	-	-	0,35	6,16	1,64	0,17	1,17	14,34	15,61	91,8	
	28-40	-	-	-	-	-	-	2,65	1,32	50,19	1,68	0,98	0,095	10,3	7,3	6,7	-	-	-	0,42	10,20	1,15	0,03	0,11	11,69	11,25	-	
	40-60	1,09	3,32	18,20	3,99	6,23	67,15	2,68	1,30	51,69	1,51	0,89	0,105	10,5	7,4	6,1	-	-	-	-	14,54	3,64	0,06	0,16	17,34	21,06	81,5	
	60-80	2,36	4,56	17,60	2,46	9,54	63,48	2,68	1,30	51,69	-	-	-	-	7,7	6,2	-	-	-	-	11,98	1,77	0,36	1,00	15,09	18,97	80,1	
TE-28	0-10	2,15	6,92	20,75	5,94	10,36	53,68	2,83	1,24	55,0	2,12	1,23	0,170	12,3	6,1	4,4	0	0,82	0,82	0,053	6,25	3,30	0,03	0,77	9,30	12,50	77,6	
	17-27	2,45	5,32	18,43	6,41	9,56	52,72	2,98	1,41	53,0	1,09	0,63	0,075	8,4	6,1	4,4	0	0,85	0,85	0,059	-	-	-	-	-	-	-	
	35-45	2,36	1,75	21,29	3,54	5,82	65,72	2,87	1,32	53,0	0,88	0,51	0,060	8,5	6,7	5,3	0	0,75	0,25	-	8,11	3,30	0,03	0,72	11,48	14,18	81,2	
	60-70	2,68	3,83	14,62	3,99	6,31	68,37	2,81	1,38	52,0	-	-	-	-	6,1	5,2	0	0,30	0,20	0,036	-	-	-	-	-	-	-	
	90-100	-	-	-	-	-	-	2,85	1,13	53,0	-	-	-	-	6,2	5,2	0	0,75	0,25	-	10,0	4,20	0,03	0,72	14,23	15,61	8,10	

Tableau: 28 CONSTITUTION MINÉRALOGIQUE, SOLS FERRALLITIQUES HYDROMORPHES

Profil	Prof. en cm	% d'argile	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Total %	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Libre %	Fer Amorphe		Fer Cristallisé		Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> L	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> L	Microéléments (ppm)			
					%	% du Fer Total	%	% du Fer Total	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> T %	Argile %	Cr	Ni	Co	Mn
TE-7	0 - 10	68,50	15,0	12,58	3,50	23,3	9,08	60,5	83,8	18,4	254	130	74	1700
	18 - 28		15,3	13,82	3,00	19,6	10,82	70,7	90,3					
	28 - 40		16,8	13,82	2,80	16,7	11,02	65,6	82,3		243	140	69	1100
	40 - 48	67,15	14,5	12,58	2,20	15,2	10,38	71,6	86,8	20,6				
	48 - 58	63,48	14,3	10,08	1,50	10,5	8,58	60,0	70,5	19,8	199	130	61	700
	zone altérée du calcaire calcaire non altéré		11,8									235	140	224
TE-28	0 - 10	53,68	10,3	8,26	4,00	38,8	4,26	41,40	80,2	15,4				
	35 - 45	65,22	12,5	10,75	2,40	19,2	8,35	66,8	86,0	16,5				
	90 - 100		11,3	10,85	2,00	17,7	8,85	78,3	96,0					

Profil	Prof. en cm	Fraction lourde totale étudiée aux rayons X (20-35 microns).	Fraction Légère étudiée aux Rayons X	Minéraux Lourds transparents										%	Minéraux Argileux					
				Ho	And	Sil	Dis	St	Gr	Ep	Z	T	Pondéral		M	M-FC	Gi	Hé	Go	C-V
TE-7	0 - 10		Quartz	+	+		++	+		++	+	+	1,70	+++	+	+++	+++	++	+	
	28 - 40				+		+++	+				+	3,80							
	48 - 58			Tr	Tr	+							2,12	+++	++	+++	++	+++	+	
	zone altérée												+++		+++	+++	++	+		
	Residu du calcaire	Mgt, He; traces Gi.	Quartz traces d'argiles		20		13	40			20	7	4,70	+++		++	+++	++	+	
TE-28	0 - 10													+++	+	++	++			
	35 - 45													+++	+	++	+++			
	90 - 100													+++	+	++	+++			

Ho-hornblende; And-andalusite; Sil-sillimanite; Dis-disthène; St-staurotide; Gr-granat; Ep-epidote; Z-zircon; T-tourmaline  
Tr-traces; + present; ++-abondant +++-tres abondant.

M-métahalysite; M-FC-métahalloysite-fire-clay; Gi-gibbsite; Hé-hématite; Go-goethite; C-V-interstratifiée chlorite-vermiculite; +++-important; ++-peu; +-traces.

#### 4.4.4. SOLS FERRALLITIQUES FAIBLEMENT DESATURES EN (B) TYPICIQUES, CONCRETIONNES.

Ces sols correspondent à une topographie plus basse que celle des sols ferrallitiques modaux auxquels ils sont associés.

Les sols présentent un profil épais à horizon peu différenciés de couleur rouge (2,5 YR) et un contenu en concrétions supérieur à 5% en poids. L'élément fondamental de différenciation de ce sol avec le sous-groupe modal est sa teneur élevée en concrétions et les taches brun jaunâtre présentes à la base du profil.

Ce type de sol se développe à partir de calcaire et de matériaux transportés. Il n'occupe pas une étendue très importante dans la zone étudiée, et est caractérisé par les profils E-8 et TE-27.

##### A. DESCRIPTION DU PROFIL E-8.

- Localisation N : 327.780  
E : 381.510 Melena del Sur
  - Altitude : 25,9 m
  - Topographie : Plane
  - Drainage : Externe bon, interne moyen
  - Végétation : Canne à sucre (*Saccharum officinarum*).
- 0 - 18 cm - Rouge foncé (2,5 YR 3/6H) ; argileux, moyennement friable et poreux ; structure cubique fine, 2 à 3% de petites concrétions ; système radiculaire abondant.
- 18 - 69 cm - Rouge (2,5 YR 4/6H) ; argileux ; friable et poreux ; structure nuciforme large ; 5% de concrétions moyennes et petites ; système racinaire peu abondant.
- 69 - 109 cm - Rouge (2,5 YR 4/8H) ; argileux, friable et poreux ; structure nuciforme mal développée ; 2% de concrétions moyennes et petites.
- 142 - 165 cm - Rouge (2,5 YR 4/8H), avec 2% de taches brun rougeâtre clair (5 YR 6/4H) ; argileux, friable et poreux ; structure nuciforme mal développée, moins de 1% de concrétions.
- 165 - 190 cm - Rouge (2,5 YR 4/8H) ; avec plus de 2% de taches brun jaunâtre clair (2,5 YR 6/4H) ; argileux ; friable et moyennement poreux ; pas de concrétions mais il existe de petites lamelles fines de sesquioxydes de fer et manganèse comme un recouvrement.

## B. - CARACTERISTIQUES PHYSIQUES.

La fraction argile, très importante en général, augmente de la surface vers la profondeur (Tableau 29) et varie entre 63,2 et 89,9%.

Le contenu en sables est élevé, surtout en surface, ce qui n'a pas été déterminé par l'observation morphologique ; il doit s'agir de pseudo-sables. Le sable grossier augmente avec la profondeur, la teneur la plus élevée se situe dans l'horizon où s'observe le maximum de concrétions ferrugineuses ; à partir de là, les sables grossiers diminuent fortement.

La densité réelle varie entre 2,80 et 2,96 ; elle est élevée dans tout le profil ; la valeur la plus forte est observée là où le contenu en concrétions est le plus élevé.

La densité apparente augmente avec la profondeur, en surface elle est de 1,32 et passe à 1,40 dans les horizons affectés par l'hydromorphie. Malgré la porosité qui reste élevée (51 à 54%), il se produit une réduction assez forte de la microporosité (4,8 à 8,9%) surtout dans les horizons profonds.

La rétention de l'eau à la capacité au champ varie entre 33,4 et 35,9%, tandis que la teneur en eau au point de flétrissement varie entre 20,4 et 25,1%. L'eau utile est généralement comprise entre 8,3 et 13,4%.

## C. - CARACTERISTIQUES CHIMIQUES.

La matière organique est de 3,15 à 3,22% en surface, cette teneur décroît fortement avec la profondeur. Les rapports C/N sont compris entre 8,0 et 11,7. La réaction du sol est légèrement acide, le pH varie entre 6,3 et 5,7 ; l'acidité augmente en profondeur, ce qui peut être dû au développement des phénomènes d'oxydo-réduction dans ces horizons.

Tableau 29-A : Résultats analytiques, sols ferrallitiques concrétionnés

Profil	Prof. en cm	Perte à CIR %	Granulométrie (X)					Mat. org. %	C <sub>T</sub> %	N <sub>T</sub> %	C/N	pH		Acidité d'échangeable mEq/100g			Bases échangeables mEq/100g				S mEq/100g	T mEq/100g	V %
			Sg	Sf	Lg	Lf	Argile					H <sub>2</sub> O	CIR	H <sup>+</sup>	Al <sup>+++</sup>	Total	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>			
E - 8	5-15	-	4,2	16,8	4,1	9,0	65,9	3,15	1,83	0,162	11,3	6,10	5,2				9,8	4,6	0,06	0,17	14,7	16,8	87,5
	25-33	-	7,6	10,9	1,3	2,7	77,9	0,53	0,31	0,030	10,3	5,7	5,1				8,5	2,9	0,05	0,09	11,5	11,9	95,7
	75-85	-	17,6	1,2	4,8	1,1	75,3	0,48	0,28	0,035	8,01	5,9	5,5				7,5	2,1	0,02	0,16	9,7	10,7	91,4
	115-130	-	3,4	1,0	5,9	1,3	88,4	-	-	-	-	5,8	5,5				10,5	0,84	0,05	0,20	11,6	13,4	87,0
	150-160	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5,8	5,5				9,4	0,80	0,01	0,10	10,3	10,4	98,6
	170-180	-	1,5	1,5	4,4	2,7	89,9	-	-	-	-	5,8	5,5				9,1	0,78	0,05	0,20	10,11	10,14	99,7
TE - 27	0-10	3,63	7,38	10,46	3,73	11,62	63,18	3,22	1,87	0,160	11,7	5,8	5,0	0		0,15	6,9	7,7	0,06	0,14	9,8	13,8	71,2
	30-40	2,56	4,85	13,38	2,52	8,36	68,33	1,78	1,03	0,112	9,2	5,7	5,0	0		0,20	6,3	2,4	0,06	0,12	8,8	11,9	74,3
	50-60	2,52	7,24	7,24	3,86	4,85	74,29	0,63	0,36	0,040	9,0	5,9	5,4	0		0,30	6,3	2,0	0,03	0,13	8,4	12,4	67,9
	75-85	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6,2	5,4	0		0,40	-	-	-	-	-	-	-
	90-100	2,08	13,77	7,73	4,84	2,18	69,40	-	-	-	-	6,3	5,4	0		0,15	5,5	1,7	0,03	0,12	7,4	11,3	85,3
	110-130	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5,8	5,4	0		0,10	6,3	2,1	0,03	0,13	8,5	11,3	75,6

Tableau 29-B.

Profil	Prof. en cm	Dr. g/cm <sup>3</sup>	Da. g/cm <sup>3</sup>	Porosité %		Capacité au champ %	Point de flétrissement %	Réserve d'eau %	L'eau utile %
				Total	Pour l'air				
TE - 27	0 - 10	2,83	1,32	53,0	8,91	33,40	25,07	44,09	8,33
	30 - 40	2,80	1,28	54,0	8,00	35,90	24,38	46,00	11,52
	50 - 60	2,80	1,34	51,0	5,60	33,92	23,30	45,45	10,62
	75 - 85	2,85	1,36	52,0	4,89	34,64	21,60	47,11	13,04
	90 - 100	2,96	1,40	53,0	5,68	33,80	20,43	47,32	13,37

La somme des bases échangeables varie entre 7,4 et 14,7 mé/100g, en général elle décroît de la surface vers la profondeur. Le calcium est le cation le plus important du complexe absorbant, les teneurs sont presque constantes à travers tous les profils. La capacité d'échange cationique varie entre 10 et 16,8 mé/100g ; son degré de saturation reste encore élevé (65,9 à 95%).

#### D. - CONSTITUTION MINÉRALOGIQUE.

Ce sol est caractérisé par une individualisation nette des oxydes et hydroxydes de fer. Le contenu en fer libre atteint des teneurs comprises entre 13,8 et 15,1% ; avec une faible augmentation en profondeur où les concrétions décroissent notablement (Tableau 30). Les formes du fer qui prédominent sont les oxydes et hydroxydes cristallisés, atteignant 68,1 à 78,5% du fer total du sol. Ces formes augmentent en profondeur ; le pourcentage le plus élevé est observé dans l'horizon affecté par l'hydromorphie.

Le fer amorphe n'est pas très élevé, il représente 15,8 à 24,5% du fer total du sol et décroît vers la profondeur. Dans ce sol, le rapport fer libre/argile (18,5 à 23,9%) est particulièrement significatif, parce que plus le rapport est élevé plus il y a de concrétions dans la masse du sol.

Selon CAMACHO et al. (1980), dans ce sol les formes cristallisées du fer qui prédominent, correspondent à l'hématite associée à des traces de goethite ; vers la profondeur la goethite l'emporte sur l'hématite. Le fer lié aux particules les plus fines du sol représente de 63 à 65,3% du fer total du sol.

L'analyse chimique de l'argile met en évidence le contenu très élevé du fer dans la fraction argile. Les rapports silice/sesquioxydes augmentent légèrement en profondeur, ils varient entre 1,33 et 1,50.

Les rapports silice/alumine varient entre 1,63 et 1,92, ces rapports mettent en relief la prédominance des constituants argileux de type 1/1, sans doute associés à la gibbsite.

#### 4.4.5. SOLS FERRALLITIQUES MOYENNEMENT DESATURES EN B, TYPIQUES SOUS-GROUPE JAUNE.

La présence de ces sols dans la plaine est limitée aux zones les plus basses ; à des dépressions, c'est-à-dire liée aux zones à drainage ralenti.

Généralement, ils présentent un profil A B<sub>(g)</sub> C<sub>(g)</sub> profond, avec un horizon A moyennement épais de couleur brun vif à brun foncé ; l'horizon (B) épais est de couleur brun jaunâtre à jaune rougeâtre (10 YR 5/8 à 7,6 YR 6/8). La présence d'un régime hydrique plus humide permet le passage du fer aux formes les plus hydratées, ce qui donne la couleur jaune au sol. Ce régime hydrique entraîne un processus d'hydromorphie d'intensité variable qui peut se manifester à différents niveaux dans le profil par la présence de taches de couleur rouge jaunâtre, puis à prédominance du gris vers la profondeur. Les concrétions peuvent être localisées à un horizon quelconque et peuvent atteindre 3 à 4%.

Ces sols dérivent toujours de matériaux transportés. Ils sont représentés par les profils TE-20 et TE-29.

##### A. - DESCRIPTION DU PROFIL TE-20.

- Localisation : N.324.750  
E. 403.400 Quivican
  - Altitude : 12,8 m
  - Topographie : Plane
  - Drainage : Interne et externe mauvais
  - Végétation : Canne à sucre (*Saccharum officinarum*)
- 0 - 32 cm - Brun olive (2,5 Y 4/4H) à brun vif (7,5 YR 4/4S) ; argileux, plastique et peu poreux ; structure nuciforme grossière ; présence de concrétions (1%) tendres ; système racinaire moyennement développé ; transition régulière et nette.
- 32 - 52 cm - Brun vif (7,5 YR 5/6H) avec taches rouge jaunâtre (5 YR 4/8H) et brun rougeâtre (5 YR 5/3H), passe à brun vif (7,5 YR 5/6S) et taches rouge jaunâtre (5 YR 4/8S) ; argileux ; moyennement plastique et moyennement poreux ; structure nuciforme fine, nette ; présence de 3 à 4% de concrétions moyennes et petites, tendres ; transition régulière et graduelle.

**Tableau 30 : Constituants ferrugineux Sols ferrallitiques faiblement désaturés, concrétionnés**

Profil	Prof. en cm.	Σ argile	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> total Σ	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> libre Σ	Fer amorphe		Fer cristallisé		Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> L Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> T	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> L Argile Σ
					Σ	Σ du fer total	Σ	Σ du fer total		
TE - 27	0-10	63,18	15,80	15,10	3,40	21,52	11,70	74,10	95,6	23,9
	30-40	68,33	15,10	14,50	2,80	18,54	11,70	77,40	96,0	21,2
	50-60	74,29	15,80	13,77	3,00	18,98	10,77	68,20	87,2	18,5
	90-100	69,40	16,30	15,10	4,00	24,54	11,10	68,10	92,6	21,60
	110-130	-	15,80	14,90	2,50	15,82	12,40	78,50	94,3	-

Analyses chimiques totales de la fraction argile.

Profil	Prof. en cm.	P.F Σ	Σ					Si O <sub>2</sub>	Si O <sub>2</sub>
			SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Ti O <sub>2</sub>	R <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
E - 8	5-15	14,62	36,83	35,67	14,66	0,11	0,90	1,39	1,76
	25-35	15,13	35,43	36,92	13,03	0,05	0,81	1,33	1,63
	75-85	12,67	38,13	36,23	12,79	0,047	0,75	1,46	1,79
	115-130	12,69	35,46	29,59	19,72	0,06	1,58	1,43	2,03
	170-180	12,73	38,26	33,97	14,56	0,03	0,87	1,50	1,92

- 52 - 98 cm - Mêmes couleurs que l'horizon précédent ; argileux, peu plastique et moyennement poreux ; structure nuciforme fine, nette ; présence de taches ferrugineuses indurées ; à la base de l'horizon on observe des faces de glissement peu nettes ; transition irrégulière et nette.
- 98 - 145 cm - Brun vif (7,5 YR 5/6H), avec des taches rouge jaunâtre (5 YR 4/8H) et gris (7,5 YR 6/0) ; passe à brun vif (7,5 YR 5/6S), rouge jaunâtre (5 YR 4/8S) et gris (7,5 YR 7/0S) ; argileux ; peu plastique et moyennement poreux ; structure non définie ; les taches ferrugineuses sont plus tendres ; il y a des taches grises allongées qui sont le reflet de la circulation de l'eau dans l'horizon.

#### B. - CARACTERISTIQUES PHYSIQUES.

L'analyse mécanique des sols (Tableau 31) fait apparaître l'importance des fractions fines, l'argile varie entre 52,9 et 66,6%. Cette fraction augmente dans l'horizon (B) du profil TE-29, mais aucun revêtement argileux n'est visible.

La fraction sable est élevée (20,7 à 28,9%), dans celle-ci les sables fins l'emportent sur les sables grossiers. Ils augmentent légèrement de la surface vers la profondeur.

Dans les sols ferrallitiques jaunes, on trouve les densités apparentes les plus fortes ; elles varient entre 1,25 et 1,45, ceci peut être dû à l'abondance des sables quartzéux ; on constate que l'horizon le plus dense correspond à l'horizon tacheté. Ceci se traduit par des valeurs de la porosité totale qui varient entre 53 et 45%. En général, il se produit une réduction de la porosité vers l'horizon profond ; cependant, il faut remarquer la valeur de la microporosité : celle-ci est élevée dans l'horizon A (13 à 22,4%), tandis qu'elle descend fortement dans l'horizon (B) de couleur jaune où il y a une ambiance plus humide.

La rétention de l'eau à la capacité au champ varie entre 23,8 et 32,7%, tandis que la teneur en eau au point de flétrissement varie entre 19,3 et 26,8%. L'eau utile est généralement assez faible (4,6 à 5,9%).

En général, on peut constater que du point de vue de leur propriétés hydrodynamiques, ces sols sont assez différents des sols ferrallitiques rouges qu'on trouve dans cette plaine sur calcaire.

#### C. - CARACTERISTIQUES CHIMIQUES.

La teneur en matière organique dans les horizons de surface varie entre 2,26 et 3,86%; on observe une diminution plus rapide dans les horizons sous-jacents.

Les sols ferrallitiques jaunes présentent un pH légèrement acide à acide (6,6 à 5,5) et il est assez stable à travers tout le profil. Ils présentent un degré de saturation assez élevé qui varie entre 67,9 et 95,5%.

Le cation prédominant du complexe absorbant est le calcium, cette richesse en calcium peut être due aussi à des apports latéraux en provenance des zones calcaires.

#### D. - CONSTITUTION MINÉRALOGIQUE.

Le contenu en fer libre est très proche de celui des sols ferrallitiques hydromorphes, il varie entre 8,3 et 10,7%. Le fer libre comme le fer total a une tendance à augmenter en profondeur (Tableau 32).

Le contenu en fer amorphe est très faible (2,4 à 1,2%) il diminue très fortement avec la profondeur. Ceci implique que la couleur du sol est en grande partie due aux formes cristallisées du fer (SEGALEN, 1969 ; LAMOUREUX, 1972)..

Les formes cristallisées du fer représentent de 57 à 81,5% du fer total du sol. D'après les résultats obtenus par diffraction aux rayons X et l'analyse thermique différentielle, on constate que les formes cristallisées du fer qui prédominent sont principalement la goéthite à laquelle sont associées des traces d'hématite.

Les contenus en microéléments, chrome, nickel et cobalt sont très semblables à ceux qu'on trouve dans le reste des sols ferralli-

Tableau 31-A : Résultats analytiques Sols ferrallitiques jaunes.

Profil	Prof. en cm	Pente à CIN %	Granulométrie %					Mat.org. %	C <sub>T</sub> %	N <sub>T</sub> %	C/N	pH		Acidité d'échange ml/100g			S.B.T. %	Bases échangeables ml/100g				S ml/100g	Y ml/100g	Y %
			D6	S2	L6	LF	argile					H <sub>2</sub> O	CIN	H <sup>+</sup>	Al <sup>+++</sup>	Total		Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>			
TE-20	0-10	1,10	5,19	16,08	8,44	5,64	62,75	3,05	2,24	0,228	9,8	6,8	5,9	0	0	0	0,12	14,75	5,56	0,45	0,32	23,28	25,70	90,5
	34-44	1,39	14,43	12,03	1,76	3,84	66,65	1,17	0,68	0,054	10,6	7,1	5,9	0	0	0	-	14,82	5,20	0,45	0,20	20,67	23,00	89,9
	70-80	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6,3	5,2	0	0	0,07	0,084	11,32	6,43	0,45	0,18	18,40	21,63	85,1
	130-140	3,57	11,61	17,32	4,57	4,99	57,94	-	-	-	-	5,4	4,1	0,89	0,33	1,22	0,073	10,75	4,52	0,45	0,23	15,95	23,50	67,9
TE-29	0-10	3,61	8,13	17,59	6,46	11,32	57,99	2,26	1,31	0,128	10,2	5,5	4,6	0	0	0,20	0,050	6,88	3,90	0,06	0,18	11,02	15,63	70,5
	12-23	-	-	-	-	-	-	1,35	0,79	0,082	9,6	6,1	5,2	0	-	0,10	0,056	-	-	-	-	-	-	-
	30-40	2,66	3,13	17,57	4,87	10,05	61,92	0,64	0,49	0,052	9,4	6,6	5,2	0	-	0,20	-	6,88	7,80	0,19	0,16	14,93	16,25	91,9
	50-60	2,22	4,11	20,55	5,28	10,24	57,50	-	-	-	-	6,4	5,6	0	-	0,15	0,060	-	-	-	-	-	-	-
	90-100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6,8	5,8	0	-	0,20	0,040	10,63	4,19	0,03	0,16	14,92	15,63	95,3

Tableau 31-B : Propriétés physiques

PROFIL	Prof. en cm	D.r g/cm <sup>3</sup>	D.a g/cm <sup>3</sup>	Porosité %		Capacité au Champ %	Point de flétrissement %	Réserve eau %	Eau utile %
				Totale	Pour l'air				
TE-20	0-10	2,66	1,25	53,0	22,38	24,5	19,50	30,63	5,0
	34-44	2,76	1,38	50,0	15,09	25,30	20,20	34,91	5,1
	70-80	2,70	1,39	48,0	4,35	31,40	25,60	43,65	5,8
	130-140	2,79	1,45	48,0	0,61	32,70	26,80	47,42	5,9
TE-29	0-10	2,63	1,40	47,0	13,70	23,82	19,25	33,35	4,6
	12,23	2,60	1,44	45,0	8,24	25,53	20,71	36,76	4,8
	30-40	2,49	1,36	45,0	2,39	31,33	26,49	42,61	4,7
	50-60	2,54	1,36	46,0	2,85	31,73	26,56	43,15	5,2
	90-100	2,65	1,42	46,0	-	-	-	-	-

Tableau: 32 CONSTITUANTS FERRUGINEUX, SOLS FERRALLITIQUES JAUNES

Profils	Prof. en cm	% d'argile	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Total. %	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Libre %	Fer Amorphe		Fer Cristallisée		Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> L Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> T	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> L Argile	Microéléments (PPm)			
					%	% du Fer Total	%	% du Fer total			Cr	Ni	Co	Mn
TE-20	0 - 10	62,75	11,25	9,02	2,10	18,67	6,92	61,51	80,20	14,4	139	100	82	2150
	34 - 44	66,65	12,75	10,08	1,80	14,12	8,28	64,94	79,10	15,1	148	120	90	2050
	70-80		12,50	10,75	1,50	12,00	9,25	74,00	86,00					
	130-140	57,94	11,25	10,37	1,20	10,67	9,17	81,51	92,20	17,9				
TE-29	0 - 10	52,89	9,50	7,78	2,30	24,20	5,48	57,70	81,90	14,7				
	12 - 23		8,75	7,87	2,45	28,90	5,42	61,90	89,90					
	30-40	61,92	9,25	8,74	1,50	16,20	7,24	78,30	94,50	14,1				
	90-100		11,00	8,26	1,75	15,90	6,51	59,20	75,10					

CONSTITUANTS MINÉRALOGIQUES

Profils	Prof. en cm	Fraction Légère	Minéraux Lourds fraction 50-500 microns								%	Minéraux Argileux					
			Ho	AN	Sil.	Di	St.	Gr.	Ep.	Z.		T	Pondéral	Mont.	M.	Goethite	Hematite
TE-20	0 - 10	Quartz		+		+	++	+	Tr	Tr	++	0 50	++	+++	+++	+	+
	34-44			+	+	++	++				+	0 20	+	+++	+++	+	+
	130,140		2	12		34	28	8	6	4	6	0 17	+	+++	++	+	+
TE-29	0 - 10													+++	+++	+	+
	30-40													+++	+++	++	+
	90-100												+	+++	+++	+	+

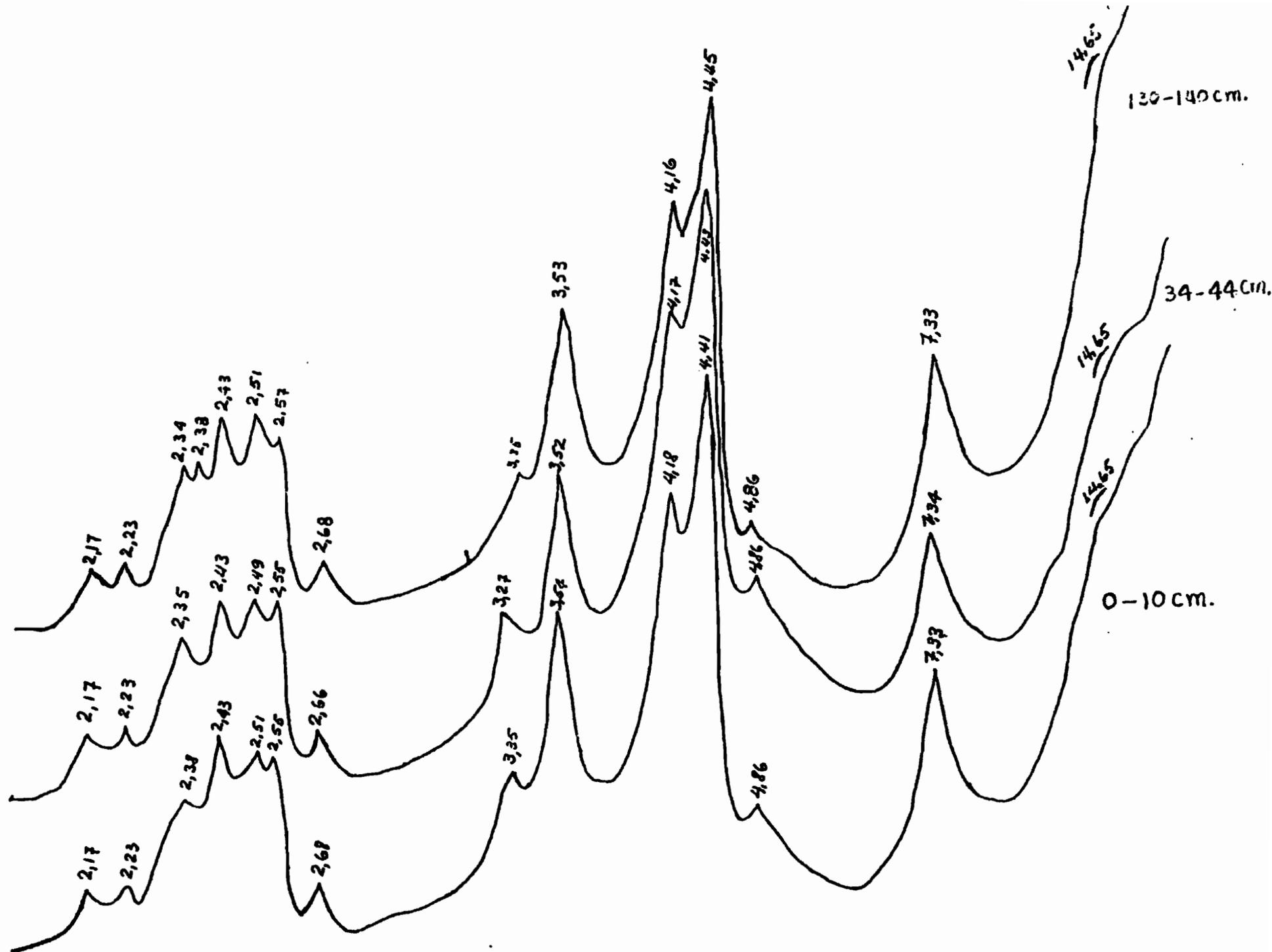


Fig: 24 Constituants argileux, sols Ferrallitiques Jaunes (TE-20).

tiques de cette plaine, avec une répartition très régulière dans le profil. Le contenu en manganèse total est très élevé et varie entre 2050 et 2150 ppm. L'analyse des minéraux lourds de sables du sol montre la présence de faibles quantités de minéraux lourds qui appartiennent à des roches métamorphiques et volcaniques ; seuls les minéraux les plus résistants se sont conservés dans le profil avec dominance de disthène, staurotide et andalousite. Les teneurs de ces minéraux augmentent dans l'horizon tacheté qui constitue le matériau originel du sol. Dans cet horizon on constate la présence d'une quantité relative plus forte des minéraux altérables (épidote et grenat).

La fraction légère est la plus importante dans le sol, elle est constituée par le quartz. L'étude de l'argile par diffraction aux rayons X, fait apparaître des différences minéralogiques entre les deux profils, lesquelles peuvent être dues à des degrés d'évolution du sol un peu différents. Dans le cas du profil TE-29, il y a prédominance de la métahalloysite associée à des traces de gibbsite et vers la profondeur (horizon tacheté) on constate l'existence de traces de montmorillonite.

Dans le profil TE-20, on observe les mêmes argiles, mais il reste encore des traces de montmorillonite dans tout le profil ; ce qui met en évidence un degré d'évolution plus faible. Il s'agirait d'un intergrade entre les sols fersiallitiques et les sols ferrallitiques, mais plus proche des sols ferrallitiques.

#### 4.5. SOLS HYDROMORPHES.

Les sols hydromorphes étudiés dans cette plaine appartiennent à la sous-classe des sols hydromorphes minéraux ou peu humifères, avec deux groupes, les sols hydromorphes peu humifères à gley et les sols hydromorphes peu humifères à pseudo-gley. On ne fera que la présentation de sols hydromorphes peu humifères à gley.

#### 4.5.1. SOLS HYDROMORPHES PEU HUMIFERES A GLEY. SOUS-GROUPE A GLEY PEU PROFOND (< 80 CM).

Les sols sont affectés par une hydromorphie plus forte où les processus de réduction l'emportent sur l'oxydation. Ceci se produit par la stagnation de l'eau en surface dans la période pluvieuse et aussi par l'action d'une nappe phréatique située à environ 2 m de profondeur avec des oscillations importantes qui dépendent de la saison des pluies.

Les sols présentent généralement un profil profond à horizon A Bg G, de couleur brun foncé à brun jaunâtre. Généralement l'hydromorphie commence à se manifester à partir de 40 à 60 cm. Ces sols présentent une structure cubique grossière à prismatique moyenne ; à l'état sec on y observe des fentes qui peuvent atteindre 5 cm de largeur jusqu'à 50 cm de profondeur.

Dans la zone étudiée ces sols occupent une surface considérable, principalement au Sud de la ville de *Güines* et atteignent la côte Sud.

Leur localisation dans cette plaine coïncide avec des dépôts récents, occupant toujours les points bas du paysage ; ces sols, en raison de leur proximité de la côte et de leur position topographique, sont généralement affectés par une certaine salinité.

Ce sous-groupe est caractérisé par le profil 73. Tous les résultats concernant ce profil sont d'après les travaux de l'Institut des Sols de l'Académie des Sciences (1973).

##### A. - DESCRIPTION DU PROFIL 73.

- Localisation : N. 322.100  
E. 396.200 au Sud de *Güines*
- Topographie : Plane
- Drainage : Externe et interne mauvais
- Végétation : Pâturage, canne à sucre (*Saccharum officinarum*), culture du riz (*Oriza sativa*).

- 0 - 17 cm - Brun foncé jaunâtre ; argilo-limoneux ; plastique et très peu poreux ; structure prismatique moyenne ; présence de quelques graviers de quartz ; pas d'effervescence à l'acide ; système racinaire moyennement développé avec racines en voie de décomposition.  
A
- 17 - 28 cm - Brun jaunâtre avec taches rougeâtres ; argileux ; plastique et peu poreux ; structure prismatique moyenne à large ; quelques graviers de quartz et concrétions ferrugineuses ; système racinaire peu développé.  
AB (g)
- 35 - 55 cm - Jaunâtre avec des taches grises et rougeâtres ; argilo-limoneux, plastique avec une certaine friabilité, peu poreux ; structure prismatique peu développée ; quelques graviers de quartz et concrétions ferrugineuses ; système racinaire rare.  
B<sub>1g</sub>
- 70 - 90 cm - Horizon tacheté avec taches grises et rougeâtres avec prédominance du gris ; argileux ; très plastique et peu poreux ; structure prismatique pas très nette.  
B<sub>2g</sub>
- 120 - 140 cm - Horizon plus rougeâtre et moins grisâtre que le précédent, plus argileux et plastique.  
II<sub>BG</sub>
- 160 - 180 cm - Couche plastique jaune grisâtre avec résidus de racines.  
II G

#### B. - CARACTERISTIQUES PHYSIQUES.

L'analyse mécanique (Tableau 33) met en évidence la prédominance des fractions fines au sein desquelles l'argile varie entre 53,9 et 71,3%.

Le limon présente de fortes variations dans le profil, cette fraction prend des valeurs comprises entre 11,7 et 22,2%. La fraction sable présente, elle aussi, des variations assez remarquables, avec prédominance de sables grossiers en surface, tandis que les sables fins présentent des teneurs assez régulières à travers tout le profil.

La répartition des différentes fractions granulométriques met en évidence deux ensembles très différents du point de vue granulométrique : l'ensemble supérieur est un peu plus sableux à prédominance de sables grossiers, et diminution très sensible du limon ; cependant

la partie inférieure du profil est plus argileuse avec une augmentation du limon et une diminution très marquée des sables. Cet aspect granulométrique nous amène à penser que l'ensemble inférieur plus argileux a eu une influence très marquée sur le développement du processus d'hydromorphie dans le profil.

#### C. - CARACTERISTIQUES CHIMIQUES.

La teneur en matière organique n'est pas très élevée et varie entre 1,14 et 2,95%, avec une diminution assez régulière en profondeur ; le contenu en azote total présente une répartition analogue à celle de la matière organique.

Le pH est légèrement acide à acide (6,6 à 4,9), il tend à diminuer vers l'horizon où l'hydromorphie est plus accentuée ; également l'acidité totale suit une tendance analogue dans le profil. Ce caractère acide est peut-être une propriété dérivée du processus d'hydromorphie. En effet, pendant le processus d'oxydo-réduction du fer, il y a mise en liberté d'ions hydrogène ce qui se traduit par une désaturation partielle du complexe absorbant et la diminution du pH dans cet horizon (PONNANPERUMA, 1964 ; BRINKMAN, 1970). Malgré le comportement du pH, le cation prédominant sur le complexe absorbant est toujours le calcium. Cependant, il faut remarquer que le contenu en sodium échangeable est assez élevé et augmente de la surface vers la profondeur.

La capacité d'échange cationique n'est pas très élevée et varie entre 28,3 et 30,9 mé/100g, avec une légère augmentation vers la profondeur.

#### D. - CONSTITUTION MINÉRALOGIQUE.

L'analyse chimique totale de l'argile met en évidence des teneurs assez élevées en silice qui tendent à augmenter avec la profondeur ; l'aluminium présente des teneurs identiques dans les différents horizons.

**Tableau 33 -A :Résultats analytiques, sols hydromorphes à gley, peu profonds (< 80 cm)**

Profil	Prof. en cm	Granulométrie Z (mm)					pH		Acidité d'échange total mÉ/100g	Bases échangeables mÉ/100g		T mÉ/100g	Mat. org. Z	NT Z
		2,0-0,2	0,2-0,02	0,02-0,01	0,01-0,002	< 0,002	H <sub>2</sub> O	ClK		K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>			
73	0-17						6,0	4,8	0,20	0,23	0,76	28,31	2,95	0,168
	17-28	15,3	8,4	9,6	12,6	53,9	5,4	4,2	0,15	0,22	0,70	28,48	2,63	0,113
	35-55	17,9	8,0	4,7	6,6	62,8	4,9	3,9	-	-	-	29,26	1,14	0,045
	70-90	5,1	6,2	5,1	11,6	71,3	4,9	-	0,46	-	-	-	-	-
	120-140	7,0	9,0	8,0	13,0	63,0	6,6	6,5	-	0,11	0,65	30,99	-	-
	160-180						6,2	5,1	0,13	0,12	1,14	-	-	-

**Tableau 33-B.**

Profil	Prof. en cm.	P.F. Z	Z			SiO <sub>2</sub>	SiO <sub>2</sub>
			SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	R <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
73	0 - 17	14,88	42,40	27,23	12,55	2,05	2,65
	17 - 28	14,22	41,44	28,32	12,01	1,96	2,49
	35 - 55	12,89	42,83	28,72	12,71	1,98	2,54
	70 - 90	13,10	40,22	31,28	12,71	1,74	2,19
	120 - 140	10,42	47,46	30,50	9,54	2,56	2,65
	160 - 180	7,16	46,54	31,91	12,17	1,99	2,48

**Analyse chimique totale de la fraction argile.**

Les rapports silice/sesquioxydes varient entre 1,74 et 2,56 avec des variations assez faibles dans le profil. Les rapports silice/alumine ont des valeurs comprises entre 2,19 et 2,65, ces rapports supposent la présence d'un mélange de minéraux argileux 2/1 et de quantités notables de minéraux argileux de type 1/1.

Le processus d'hydromorphie est favorable à la formation de concrétions et de taches ferrugineuses dans le profil (BLUME, 1968 ; LAMOUREUX, 1972). On constate que les concrétions sont principalement localisées dans la partie supérieure du profil en raison de la texture plus sableuse qui permet une diffusion plus rapide d'oxygène pendant la période sèche, alors que vers la profondeur, l'oxygénation est très ralentie. Pourtant, ce sont les taches ferrugineuses plus ou moins indurées qui prédominent.

## 5. DISCUSSION GENERALE.

De la prospection des sols de cette région et de l'étude de leurs propriétés, il ressort un certain nombre de caractéristiques pédologiques particulièrement importantes pour les sols de cette plaine karstique. Dans cette partie, on va envisager l'examen en détail de ces caractéristiques afin de proposer quelques hypothèses sur leur formation ; on examinera successivement les points suivants :

- parallèle entre les caractéristiques et propriétés des sols ferrallitiques rouges, modaux et compacts.
- les facteurs qui peuvent intervenir sur la compacité des sols ferrallitiques rouges et en particulier les sols compacts.
- comportement de quelques propriétés particulières des sols, tels que : le complexe absorbant, la répartition des oxydes de nickel, chrome, cobalt et des sesquioxydes de fer et alumine.
- la pédogenèse des sols formés sur roches calcaires et reconstitution de la formation des sols de cette plaine.
- les facteurs qui interviennent dans la répartition des sols de la plaine.
- les facteurs qui peuvent limiter l'utilisation des sols.

### 5.1. COMPARAISON ENTRE LES SOLS FERRALLITIQUES ROUGES MODAUX ET COMPACTS.

Les deux sous-groupes de sols peuvent se former sur calcaire comme sur matériaux alluviaux provenant de massifs calcaires.

### A. - MORPHOLOGIE.

Le sous-groupe modal présente des horizons peu différenciés de couleur rouge (2,5 YR) dans tout le profil. La teneur en concrétions ferrugineuses est inférieure à 2% et celles-ci sont petites et dures. Ces sols présentent dans tout le profil une structure fragmentaire bien définie à prédominance nuciforme fine.

Le sous-groupe compact présente une couleur rouge (10 R, 2,5 YR et 5 YR), les variations de la couleur dans le profil sont très graduelles et se produisent dans les horizons de surface et de profondeur, mais ces variations restent toujours dans la gamme du rouge. Ces sols présentent vers la base du profil un horizon avec des taches brun jaunâtre ou grises.

L'horizon (B) a toujours une structure beaucoup mieux développée : polyédrique moyenne à sous-structure polyédrique fine, il faut signaler également l'aspect luisant de la surface des agrégats. Les concrétions ferrugineuses sont de petite taille ; elles peuvent être bien réparties dans le profil ou présenter une accumulation dans certains horizons. Les teneurs en concrétions sont toujours supérieures à celles que l'on trouve dans les sols modaux.

### B. - GRANULOMETRIE<sup>(1)</sup>

Dans les deux sous-groupes, la fraction prédominante est celle qui est inférieure à  $2\mu$ , avec de faibles variations entre la proportion des différentes fractions granulométriques. Dans le sous-groupe modal, l'argile varie entre 71 et 91% présentant un pourcentage de sables inférieur à 10%.

Pour les sols compacts, la teneur en argile varie entre 55 et 84%, présentant un pourcentage de sables qui peut atteindre 35%, donc plus élevé que ceux des sols modaux.

(1). Nous prenons en considération les données obtenues dans l'ensemble des horizons du profil.

En général, les sols des deux sous-groupes ont une distribution de l'argile qui tend à augmenter avec la profondeur ; les écarts de variation ne dépassant guère 7%. Ces écarts sont moins marqués dans le cas des sols modaux. Le rapport entre la teneur en argiles des horizons A et (B) est toujours inférieur à 1,2.

### C. - MICROAGREGATION ET STABILITE DE LA STRUCTURE.

Les sols ferrallitiques rouges modaux et compacts sont caractérisés par la présence de fortes teneurs en sesquioxides de fer libre. Ceux-ci jouent un rôle très important sur le degré de microagrégation des particules et le comportement de la stabilité structurale. Cependant, il existe de faibles différences entre les deux sous-groupes, mais leur effet sur les propriétés physiques semble très marqué (porosité, consistance, perméabilité).

Les sols *modaux* présentent un degré de microagrégation très fort, le coefficient de dispersion présente une moyenne d'environ 33% des teneurs en argile totale. La microagrégation augmente à mesure qu'on descend dans le profil. La structure est stable (Fig.25) ; l'indice de stabilité de la structure est compris entre 0,89 et 0,41 et diminue assez graduellement ; il y a prédominance de petits agrégats.

Dans le cas des sols *compacts*, l'état de microagrégation est moins bon que celui des sols *modaux* ; le coefficient de dispersion a une moyenne d'environ 53%. On trouve presque toujours des valeurs plus élevées dans l'horizon (B) à forte densité apparente dont un peu plus de 50% de l'argile de cet horizon se trouve à l'état dispersé. La stabilité structurale des horizons de surface est semblable à celle mesurée dans les sols *modaux* (indice compris entre 0,75 et 0,86). Mais dans les sols *compacts*, elle décroît nettement de l'horizon A à l'horizon (B) et le rapport  $\left(\frac{T.H.}{T.S.}\right)^{(1)}$  devient de plus en plus faible à me-

(1). T.H. Pourcentage d'agrégats au tamis humide.  
T.S. Pourcentage d'agrégats au tamis sec.

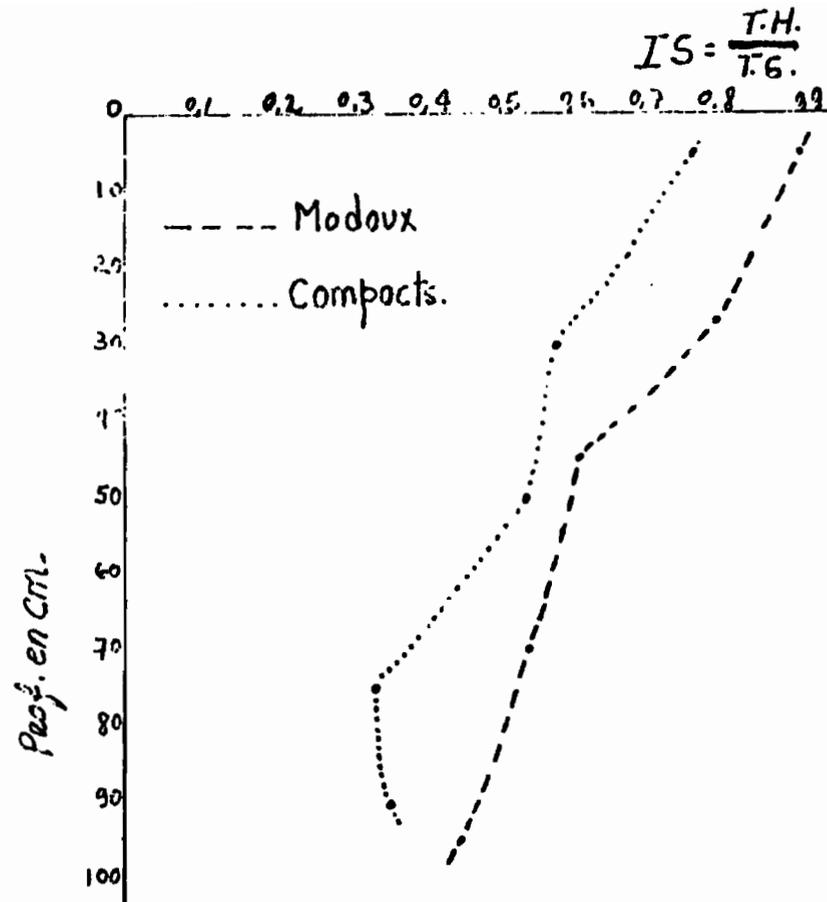


Fig:25. Variation de la stabilité structural  
Sols Ferrallitiques Rouges. Méthode  
suivi à l'Institut des Sols de l'Acade  
mie de Sciences.

sure que le sol devient plus compact (Indice 0,33 à 0,44).

#### D. - ETAT PORAL ET COMPORTEMENT HYDRODYNAMIQUE.

Afin de bien caractériser les variations de la densité apparente dans les deux sous-groupes, on a établi les écarts types de chaque horizon de ces sous-groupes (Tableau 35). D'après ces résultats, on constate que dans les sols modaux, il n'y a pas de fortes variations de la densité apparente, elle présente des écarts de variation assez faibles. Cette moyenne est plus forte que celle signalée par VEREDENCHENSKO (1968), de 1,0 à 1,1. Ces différences peuvent s'expliquer par l'action des engins agricoles sur la compaction du sol.

Dans le cas des sols compacts, la densité apparente est plus forte avec des écarts de variation assez faibles et qui tendent à diminuer avec la profondeur. L'écart de variation le plus fort qui apparaît en surface serait dû à la présence d'une structure plus large et aussi à l'influence des engins agricoles. La figure 26 met en évidence une augmentation de la densité apparente avec la profondeur, variation identique dans les deux types de sols.

La porosité totale des sols modaux (Tableau 36) est comprise entre 51 et 63% avec des valeurs importantes de porosité pour l'air (12 à 29%). Ces conditions assurent au sol un bon drainage interne et une bonne aération.

Dans les sols compacts, malgré une densité apparente plus élevée, la porosité totale est assez proche de celle des sols modaux (46 à 55%). Cependant, la différence entre les porosités pour l'air des deux sous-groupes est très forte ; la porosité pour l'air des sols compacts est très réduite (2 à 10%). Cette réduction de la porosité pour l'air produit un ralentissement du drainage du sol, déterminant un comportement différent du régime hydrique.

Pour les sols compacts, les propriétés hydrodynamiques (capacité au champ et point de flétrissement) sont légèrement supérieures à celles du sous-groupe modal, mais cette différence ne traduit pas une augmentation importante du pourcentage d'eau utile pour les plantes.

Une des différences les plus remarquables entre les deux sous-groupes est celle de la vitesse d'infiltration de l'eau. Dans les sols compacts, elle est très réduite (10 à 20 mm/heure), ce qui n'assure pas une rapide absorption de l'eau des pluies ; dans les sols modaux, elle est au contraire très rapide (moyenne 115 mm/heure).

#### E. - CONSISTANCE ET RESISTANCE A LA PENETRATION.

Les sols modaux ont une consistance friable à l'état sec et humide dans tous les profils en relation avec une structure qui varie de grumeleuse à nuciforme fine.

Les sols compacts, au contraire, présentent une consistance à l'état sec, ferme à très ferme et à l'état humide elle devient plastique et un peu friable.

En surface, la structure la plus fréquente est cubique moyenne ; elle passe à polyédrique moyenne bien définie dans les horizons intermédiaires.

Ces deux sous-groupes sont bien différenciés par la résistance qu'ils offrent à la pénétration (Fig.27). Les sols modaux offrent une résistance à la pénétration assez faible (10 à 15 kg/cm<sup>2</sup>), grâce à leurs bonnes propriétés physiques. Dans les sols compacts, du fait de leur structure un peu plus large et de la présence d'une densité apparente plus forte, cette résistance s'accroît atteignant jusqu'à 20 à 25 kg/cm<sup>2</sup>.

Dans les deux sous-groupes, la résistance à la pénétration diminue en profondeur au fur et à mesure que croît le degré d'humidité ; cela détermine une résistance plus faible.

Sols	Horizon	Profondeur	Densité apparente	Sols	Horizon	Profondeur	Densité apparente
Ferrallitiques rouges modaux	A	0-20	$1,12 \pm 0,05$	Ferrallitiques rouges compacts	A	0-20	$1,27 \pm 0,07$
	B <sub>1</sub>	20-40	$1,17 \pm 0,07$		B <sub>1</sub>	20-40	$1,32 \pm 0,05$
	B <sub>21</sub>	40-60	$1,23 \pm 0,05$		B <sub>21</sub>	40-65	$1,36 \pm 0,05$
	B <sub>22</sub>	60-100	$1,27 \pm 0,04$		B <sub>22</sub>	65-85	$1,37 \pm 0,06$
	B <sub>23</sub>	100-150	$1,29 \pm 0,08$		BC <sub>1</sub> (g)	85-120	$1,37 \pm 0,05$
			BC <sub>2</sub> (g)		120-160	$1,40 \pm 0,03$	

Tableau 35 : Densité apparente des sols ferrallitiques rouges, modaux et compacts.

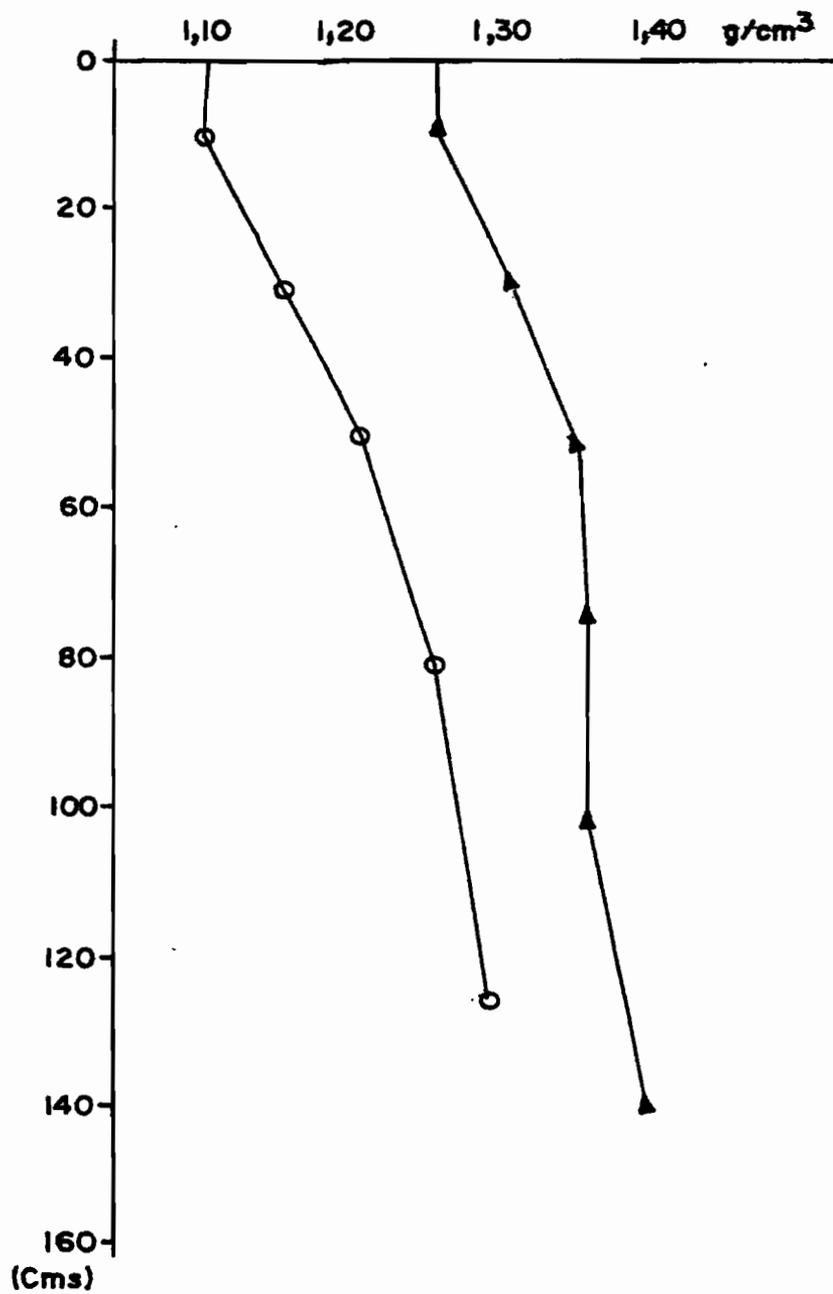


Fig.26 Variation de la densité apparente en profondeurs.

○ Soils ferrallitiques rouges modaux

▲ Soils ferrallitiques rouges compacts

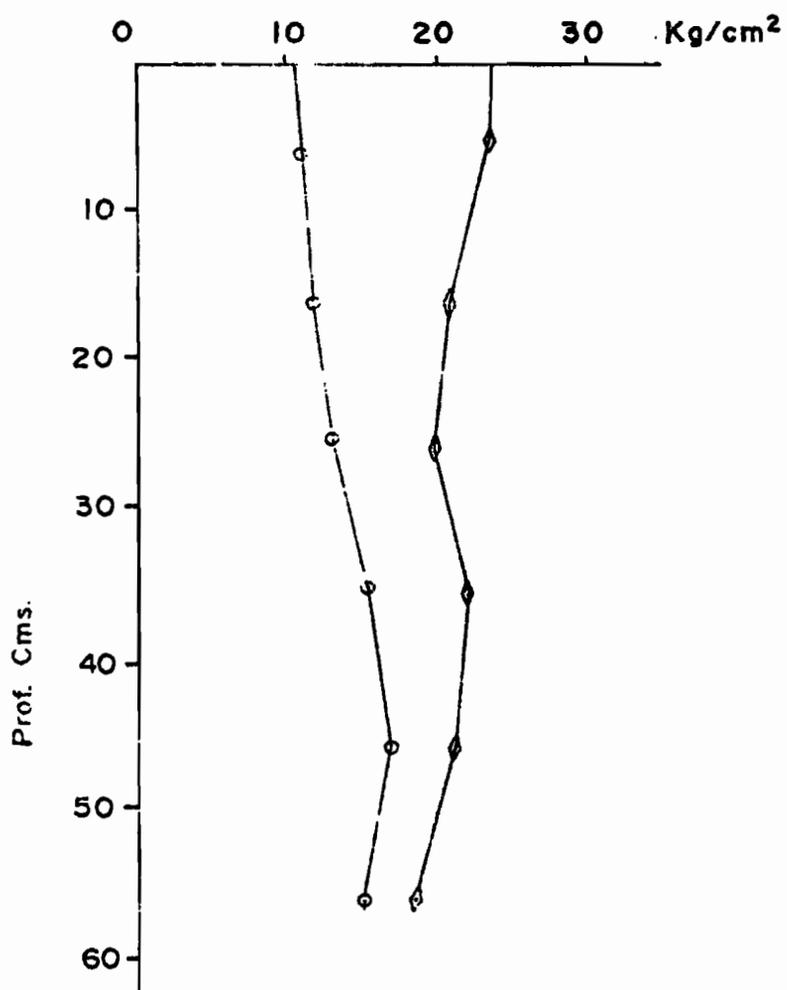


Fig. 27 Pénétrométrie selon données moyennes des sols Ferrallitiques Rouges modaux et compactes

○ Sol Ferrallitique Rouge modal      ◇ Sol Ferrallitique Rouge compacte

## F. - NATURE DES MINÉRAUX ARGILEUX ET ASSEMBLAGE INTERNE DU SOL.

L'analyse des constituants alumineux contenus dans les sols des deux sous-groupes fait apparaître les différences suivantes :

. Dans les sols modaux, très bien drainés, on constate que le fire-clay est le minéral argileux dominant, associé à une quantité réduite de métahalloysite. La gibbsite est abondante.

. Dans les sols compacts, nettement moins bien drainés, c'est au contraire la métahalloysite qui prédomine sur le fire-clay, tandis que la gibbsite est présente mais moins abondante.

. Dans les sols ferrallitiques rouges modaux, le fort degré de microagrégation avec tendance à la formation de pseudo-sables, permet la formation d'un assemblage interne du sol qui développe un espace poral très important (Planche III). Les peds sont cimentés les uns aux autres par des composants ferrugineux ; cela tend à réduire de plus en plus les pores de grande taille et les petites fissures de l'horizon. L'étude détaillée de ce processus met en relief le rétrécissement que provoquerait le fer et dans ce cas, on constate que des ferri-argilanes commencent à apparaître. Cela produit la fermeture des pores en réduisant la macroporosité, cependant l'espace poral reste important. Ce processus montre que, dans ce sol, il commence à se manifester un début de lessivage, favorisé par les bonnes conditions physiques. Ce lessivage deviendra plus important au fur et à mesure que le sol s'acidifiera.

L'étude des lames minces de l'horizon A des sols compacts met en évidence (Planche IV) : une phase massive très importante où la surface porale est très réduite, constituée principalement par des micropores. Dans cet horizon très coloré, beaucoup de pores sont obstrués par le fer, en outre il se produit un rétrécissement de plus en plus fort des fissures ce qui réduit considérablement la surface porale de l'horizon.

Dans le cas de l'horizon (B), il se produit un processus très semblable à celui de l'horizon A : on observe un assemblage qui développe une surface poral assez faible à prédominance d'une phase massi-

ve. Les pores et les fissures de l'horizon deviennent de plus en plus obstruées, peut-être par le fer amorphe (LUTZ, 1936 ; SCHWERTMANN, 1964 ; CHAUVEL et al. 1976). Par contre, il faut noter que l'on n'observe pas de cutanes argileuses.

#### G. - CONCLUSIONS.

Les sols ferrallitiques rouges modaux et compacts diffèrent sur deux points importants :

- dans les sols ferrallitiques modaux, la kaolinite désordonnée prédomine sur la métahalloysite et la texture comprend une teneur en argile élevée (supérieure à 80%).

- dans les sols ferrallitiques compacts, la métahalloysite l'emporte sur le fire-clay, tandis que la teneur en sable peut atteindre 35%.

Il en résulte pour les premiers un assemblage des particules à forte porosité déterminant des bonnes propriétés physiques et pour les seconds un assemblage où prédominent les micropores avec tendance à la réduction de la porosité.

Dans les sols des deux sous-groupes, la répartition de l'argile présente une augmentation dans l'horizon (B), celle-ci est moins nette dans les sols modaux. Dans les sols compacts, il apparaît dans le diagramme de répartition de l'argile avec la profondeur, une petite bosse dans l'horizon (B) mais trop faible pour que le sol soit qualifié de lessivé. Il est commun aux sols modaux et compacts un début de formation de ferri-argilanes due aux phénomènes d'obstruction des pores.

Ces sols diffèrent nettement dans les caractéristiques suivantes :

<i>Sols modaux</i>	<i>Sols compacts</i>
- bon drainage	- drainage ralenti
- vitesse d'infiltration forte	- vitesse d'infiltration réduite
- très poreux, avec une forte porosité pour l'air	- moins poreux, avec une porosité pour l'air très réduite
- densité apparente faible	- densité apparente élevée
- résistance à la pénétration faible	- résistance à la pénétration forte
- consistance friable	- consistance ferme à très ferme à l'état sec.

TABLEAU 36 PARALLELE ENTRE CARACTERISTIQUES ET PROPRIETES SOLS FERRALLITIQUES ROUGES

CARACTERISTIQUES ET PROPRIETES DES SOLS		SOLS FERRALLITIQUES ROUGES	
		MODAUX	COMPACTS
COULEURS	CHROME	2,5YR	10R; 2,5YR; e) 5YR
	RÉPARTION	Uniforme	Taches de pseudogley en profondeur
CONCRÉTION	TENEUR	< 2%	1 à 5%
	FORMES	petites et dures	petites et moyennes dures
	RÉPARTION	Uniforme	Dans tout le profil ou dans certains horizon
STRUCTURE	NATURE	Nuciforme moyenne à fine	Polyédrique moyenne avec sous structure polyédrique fine
	ASPECT DE LA SURFACE DES AGREGATS	Mâts	Luisant
CONSISTANCE	A L'ÉTAT SEC	Friable	Ferme à très ferme
	A L'ÉTAT HUMIDE	Friable	Plastique et peu friable
RÉSISTANCE A LA PENETRATION Kg/cm <sup>2</sup>		10 à 15	20 à 25
DENSITE REELE g/cm <sup>3</sup>		2,70 à 2,86	2,70 à 2,90
DENSITE APPARENTE g/cm <sup>3</sup>		1,07 à 1,30	1,22 à 1,48
POROSITE TOTALE %		51 à 63	46 à 55
POROSITE POUR L'AIR %		12 à 29	2 à 10
COEFFICIENT DE DISPERSION %		33	53
VITESSE D'INFILTRATION mm/heure		115	10 à 20
EAU UTILE %		7,0 à 90	7,5 à 13,5
pH		6,5 à 6,9	6,0 à 6,5
CAPACITE D'ÉCHANGE CATIONIQUE me/100g		9,6 à 19,2	10 à 21
RAPPORTS SiO <sub>2</sub> /Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		1,56 à 1,78	1,76 à 2,00
MINÉRAUX ARGILEUX		FIRE CLAY (importante) METAHALLOYSITE (peu abondant) GIBBSITE (très important) HEMATITE, GOETHITE	MÉTAHALLOYSITE (importante) FIRE CLAY (peu abondante) GIBBSITE ( " " " ) HEMATITE, GOETHITE

## 5.2. LES FACTEURS QUI PEUVENT INTERVENIR SUR LA COMPACTITE DES SOLS FERRALLITIQUES ROUGES.

### a). L'influence de la granulométrie sur la compacité des sols.

Il est certain que le comportement physique du sol dépend étroitement des relations entre les caractéristiques permanentes du sol, les éléments grossiers, la composition minéralogique, les propriétés chimiques, et les caractéristiques (dénommées variables par CANARACHE, 1965) qui peuvent être sujet à des modifications, telles que : la structure, le tassement du sol, l'humidité etc.

Dans les sols ferrallitiques rouges compacts, la granulométrie a une importance considérable sur le comportement des propriétés physiques. Ceci a déjà été signalé par divers auteurs dans d'autres types de sols (VAN DER WATT, 1969 ; FAURE, 1971 ; NICOU, 1975 ; de BLIC, 1976).

Dans le cas des sols ferrallitiques rouges compacts, il faut remarquer que la compacité présentée par ces sols dans certains horizons ne peut pas être associée à un phénomène de lessivage de l'argile. L'augmentation de l'argile dans l'horizon (B) ne traduit pas la formation d'un ventre caractéristique d'un horizon lessivé ; on n'y observe pas de revêtements argileux sur les agrégats et les rapports A/(B) sont toujours inférieurs à 1,2. Les différences des teneurs d'argile entre l'horizon A et (B), généralement inférieures à 7%, pourraient être à l'origine de la résistance à la dispersion des pseudo-sables cimentés par le fer et durcis par les variations climatiques saisonnières.

L'étude des lames minces de l'horizon compact (B) fait apparaître le début de formation de ferri-argilanes, mais encore très faibles pour justifier le processus de lessivage d'argiles.

Dans l'horizon (B), la faible microporosité permet le maintien d'un degré d'humidité plus fort, alors il se produit sur la surface des agrégats, la fixation d'une mince pellicule d'eau qui donne aux

agrégats un aspect luisant ; celui-ci disparaît lorsque l'on prend une motte et qu'on la laisse au soleil.

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

Pendant la période pluvieuse l'humectation du sol produit une dégradation assez importante (surtout dans l'horizon B) de la structure avec tendance à la formation d'agrégats de petite taille ; à ce moment un pourcentage assez important d'argile qui cimentait les agrégats passe à l'état dispersé. Cette dégradation de la structure produit une diminution de la perméabilité et de l'aération du profil, mais cependant la porosité reste importante. Pendant la période sèche, la dessiccation du profil se fait lentement et le sol prend une cohésion plus forte due à son squelette plus sableux et à la forte cimentation qui se produit entre les constituants minéraux.

Ce comportement rend compte qu'à des valeurs très semblables de porosité (par rapport aux autres sols ferrallitiques), on obtient des forces différentes de cohésion qui expriment un équilibre entre le contenu en argile et celui en éléments grossiers qui constituent le squelette du sol, cet équilibre est plus ou moins rompu suivant le degré d'humidité.

b). Les formes du fer et leur répartition dans les sols compacts.

Beaucoup de travaux ont mis en évidence le rôle que joue le fer libre du sol sur le comportement des propriétés physiques des sols, telles que : l'agrégation des particules, la stabilité de la structure, la perméabilité et le degré de compaction (LUTZ, 1936 ; D'HOORE, 1954 ; OADES, 1963 ; SEGALEN, 1964 ; AGAFONOV, 1968 ; NALOVIC et HUMBEL, 1971 et d'autres).

Les sols compacts sont caractérisés par une individualisation nette des oxydes et hydroxydes de fer avec prédominance de formes cristallisées, à côté d'un contenu en concrétions ferrugineuses supérieur à celui que l'on observe dans les sols ferrallitiques modaux.

L'existence d'une faible microporosité conduit à la diminution du drainage interne du sol et à une diminution des formes amorphes facilement extractibles du fer au fur et à mesure que se ralentit le drainage, tandis que les formes cristallisées deviennent plus importantes. Cette diminution du fer amorphe vers la profondeur des profils est en rapport très étroit avec la diminution de la stabilité structurale et aussi avec l'augmentation de la densité apparente du sol. Cependant, les corrélations établies entre la densité apparente et le fer ne sont pas significatives ; au contraire, la corrélation densité apparente/fer libre a donné un coefficient significatif ( $R = 0,28$ ), dénotant une interdépendance assez étroite.

En général, on pense que la diminution du fer amorphe au profit du fer cristallisé, favorise la compacité du sol. Le ralentissement du drainage du sol permet le maintien des conditions favorables aux transformations des formes du fer ; dans ce cas, l'hématite plus ou moins bien cristallisée se transforme alors en goéthite (LAMOUROUX et al. 1977 ; LAMOUROUX, 1975). Les fins cristallites d'hématite qui étaient jusqu'alors fortement liés aux minéraux argileux, s'en séparent pour se transformer et s'agglomérer en formant des concrétions plus ou moins indurées. Ceci produit la déstabilisation des liaisons fer-argile, conduisant à la diminution de la stabilité

structurale, laquelle devient de plus en plus faible au fur et à mesure que le fer cristallisé augmente, alors l'horizon devient plus dense.

c). Composition minéralogique et assemblage interne des sols.

Les résultats obtenus concernant la minéralogie des argiles des sols ferrallitiques rouges compacts, nous ont montré que dans ces sols, c'est plutôt la métahalloysite qui prédomine. Elle est associée presque toujours à de la kaolinite désordonnée (Fire-clay). La métahalloysite présente une forme tubulaire et avec des tailles très variées, mais en général il y a prédominance des petites tailles, qui se présentent le plus souvent avec une structure feuilletée.

Dans le cas de ces sols, on pense que le mélange métahalloysite/fire-clay (argiles de morphologie tout à fait différente) et un squelette du sol un peu plus sableux ainsi que la réduction de la perméabilité du profil, constituent des conditions qui favorisent, pendant le dessèchement ralenti du profil, la formation d'un assemblage des unités morphologiques à forte cohésion avec forte diminution de la macroporosité, mais en général le volume total des pores reste encore important. Ceci a déjà été signalé par TESSIER, (1975) et TESSIER et PEDRO, (1976) dans le cas des kaolinites calciques, où au fur et à mesure que la quantité d'eau diminue, les unités deviennent de plus en plus serrées jusqu'au point de flétrissement et la porosité est minime.

d). L'influence des engins agricoles sur la compaction des sols.

Cette plaine karstique constitue, par ses conditions naturelles, le centre agricole de la province de La Havane. Dans cette région, on cultive de manière intensive canne à sucre et légumes avec amélioration des techniques agricoles et introduction des nouveaux moyens de labour, d'entretien des cultures et de récolte.

Les passages répétés d'engins agricoles, souvent très lourds, ont des effets non négligeables sur les propriétés physiques de la partie supérieure du sol, surtout si l'on ne prend pas certaines précautions.

D'après les travaux qui ont traité de l'effet des engins agricoles sur le tassement des sols, il semble y avoir une nette influence du contenu en argile des sols et du degré d'humidité au moment des labours (GHILDAYAL et SATYNARAYANA, 1965 ; KRÜGER, 1970 ; BENDER, 1970 ; LACKOVIC et BESTOK, 1971 ; FAURE, 1976).

AGAFONOV et al. (1976) ont observé que les sols ferrallitiques rouges cultivés en canne à sucre sont susceptibles à la compaction de surface par l'effet du passage des machines agricoles. Cette compaction est variable et la profondeur qu'elle peut atteindre dépend du degré d'humidité du sol. Quand le sol est sec, la compaction peut atteindre 12 à 15 cm, tandis qu'à l'état humide elle peut atteindre jusqu'à 50 cm.

La compacité produite par les engins agricoles accroît la résistance mécanique du sol, ainsi que l'ont montré FONSECA et al. (1979) sur les sols ferrallitiques rouges compacts, où la résistance à la pénétration (en surface) peut atteindre jusqu'à 50 kg/cm<sup>2</sup>. Des résultats très semblables ont été obtenus par CAMACHO et al. (1980) sur les sols compacts où, après la coupe de la canne à sucre avec des machines, la densité apparente en surface peut atteindre jusqu'à 1,30 g/cm<sup>3</sup>. Au-dessous de 20 cm, aucun changement important ne se produit sur<sup>1</sup> la densité apparente du sol.

La compaction produite par les passages répétés d'engins agricoles est localisée dans les sols ferrallitiques rouges compacts aux horizons de surface. Or, les horizons compacts des sols étudiés ne sont pas (forcément) des horizons de surface, nous devons donc rechercher ailleurs les causes de cette compacité.

Les labours ont toujours une influence sur la compaction des sols, mais elle n'est pas spécifique aux "sols ferrallitiques rouges compacts", elle se produit également dans les autres catégories de sols de cette plaine soumis à une activité agricole intense.

e). Conclusions.

D'après l'analyse des différents facteurs qui peuvent intervenir sur la compacité des sols ferrallitiques rouges, on constate que celle-ci est influencée par la nature des minéraux argileux (métahalloysite-fire clay), la teneur plus élevée en sables et la répartition des formes du fer ; donc l'arrangement des particules et le comportement physique du sol est influencé par les variations climatiques saisonnières.

- Pendant la période humide, l'humectation du sol provoque dans l'horizon (B), la déstabilisation des liaisons fer-argiles, permettant les transformations du fer vers les formes cristallisées ; tandis que la stabilité de la structure diminue, en réduisant la perméabilité et l'aération de l'horizon. Pendant le dessèchement du profil, la métahalloysite et fire-clay dans un squelette du sol plus sableux, vont former un assemblage, où les unités morphologiques sont liées par les oxydes et hydroxydes de fer ; il en résulte une forte cohésion. Cet assemblage développe une surface porale avec une forte réduction des macropores, c'est-à-dire que la porosité de l'horizon compact est constituée principalement par des micropores. Lorsque le dessèchement du sol se poursuit, l'assemblage devient de plus en plus serré et donne au sol une consistance ferme à très ferme à l'état sec.

- Les différences des teneurs en argiles entre l'horizon A et (B) des sols ferrallitiques rouges compacts, pourraient contribuer à la résistance à la dispersion des pseudo-sables, cimentés par les oxydes de fer et durcis pendant les variations climatiques saisonnières.

- L'aspect luisant que l'on observe sur la surface des agrégats de l'horizon (B) des sols ferrallitiques rouges compacts se produit du fait de la fixation par les constituants minéraux d'une mince pellicule d'eau qui couvre la surface des agrégats. Cet aspect luisant disparaît au soleil.

### 5.3. CARACTERISTIQUES DU COMPLEXE ABSORBANT DES SOLS.

D'après les résultats de l'étude des sols de cette région, on a pu constater l'influence qu'exercent la nature de la roche-mère (calcaire dur ou calcaire tendre) et sa localisation dans le profil, sur les propriétés physico-chimiques du sol (cf. Photo 6).

Quand il s'agit d'un calcaire tendre et riche en impuretés argileuses (montmorillonite), le drainage est freiné, aussi le carbonate de calcium dissous n'est pas convenablement ou complètement évacué. Dans ce cas, la dissolution de la roche progresse très lentement et les sols qui se forment sont encore riches en carbonates de calcium comme dans le cas des rendzines ou des sols bruns calcaires.

Dans le cas d'un calcaire dur avec des teneurs variables en résidus non carbonatés, le drainage est très bon. Ceci permet au carbonate de calcium dissous d'être convenablement évacué ; alors, la dissolution de la roche progresse et les sols qui se forment ont des teneurs en carbonate de calcium assez faibles, localisé surtout au voisinage de la roche. Cependant, celle-ci est très influencée par l'emplacement du calcaire dans le profil. L'alimentation du complexe d'échange en calcium, magnésium etc. sera influencée par le plus ou moins grand éloignement de la roche qui fournit les cations.

Quand le calcaire se trouve à faible profondeur (inférieure à 50 cm), les solutions du sol, bien que lentement enrichies en cations, sont constamment au contact des minéraux argileux dont le complexe d'échange est maintenu à un degré de saturation élevé.

Dans le cas du karst couvert, la couverture-sol est plus épaisse. La roche-mère calcaire est plus profonde et la réalimentation de la solution du sol en cation est moins facile ; mais il se produit une faible lixiviation des cations alcalino-terreux qui permet toutefois le maintien d'un degré de saturation du complexe absorbant très élevé.

La séquence des sols (Fig.28) localisée dans la partie la plus intensément cultivée de cette région montre, à mesure que l'on descend dans la plaine, l'effet de la perméabilité des sols sur le comportement du complexe absorbant.

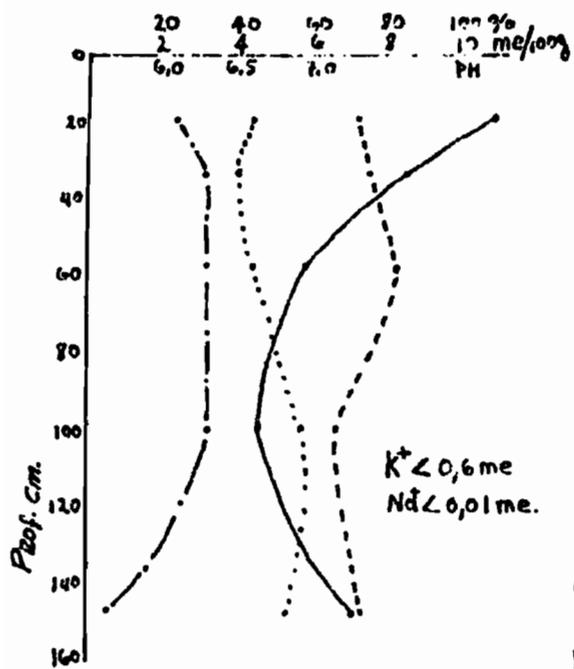
C'est dans les sols ferrallitiques modaux, caractérisés par une grande perméabilité que le degré de saturation est le plus faible (70-75%), tout en restant élevé. Le calcium diminue de la surface vers la profondeur. Cet enrichissement observé en surface, peut être dû à des remontées biologiques et aussi à l'effet de l'irrigation des cultures avec de l'eau de la nappe chargée en bicarbonates de calcium, produisant ainsi un apport continu de calcium au sol.

A mesure que l'on descend sur la pente, la perméabilité des sols devient de plus en plus faible et l'hydromorphie est de plus en plus nette. Les sols présentent un caractère un peu plus acide, surtout en profondeur où l'hydromorphie est plus marquée. Cependant, ce sont des sols saturés surtout en calcium avec une répartition très semblable à celle du sol de la partie la plus élevée de la séquence.

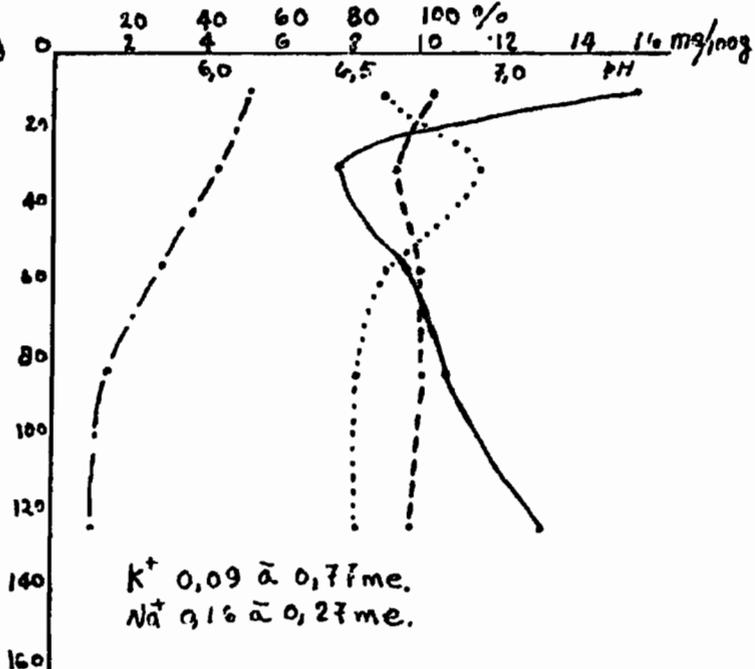
En général, il se produit en surface en descendant la toposéquence une augmentation du degré de saturation des sols, associée à une réduction du drainage du sol et aux apports latéraux reçus par les eaux provenant des hauteurs calcaires environnantes.

Magnésium, potassium et sodium échangeables présentent des teneurs assez faibles en amont et de plus en plus fortes en aval. Le sodium échangeable augmente en profondeur assez fortement en raison de la contamination par les eaux de la nappe côtière, à mesure que l'on s'approche de la mer.

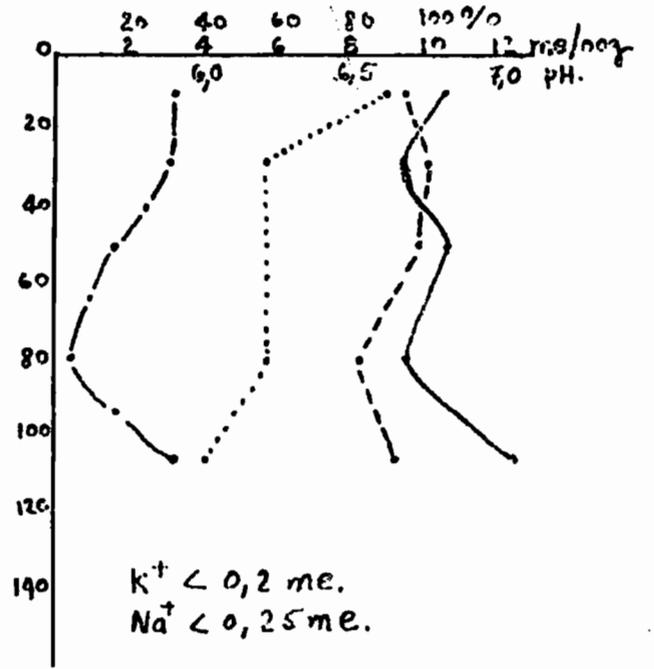
La capacité d'échange cationique présente des variations associées aux changements de teneur et de nature des minéraux argileux ainsi qu'à la répartition de la matière organique dans les profils. On passe des sols ferrallitiques rouges modaux à dominance de fire-clay avec une forte proportion de fer fixé sur l'argile à des sols ferrallitiques où domine un mélange métahalloysite-fire-clay et enfin à des sols où le constituant argileux essentiel est la montmorillonite.



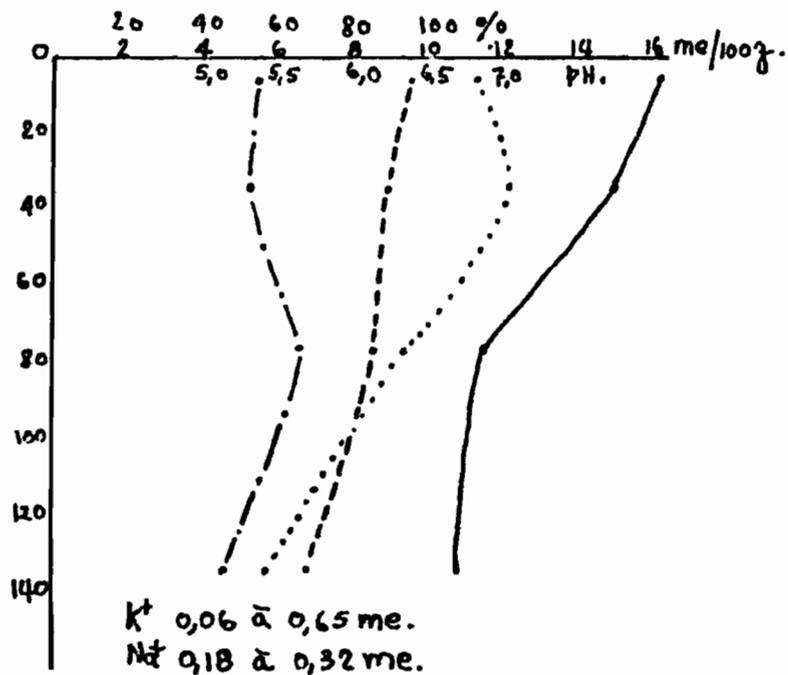
E-1. Sol Ferrallitique zonge nodal sur Calcaire dur. Altitude: 35m.



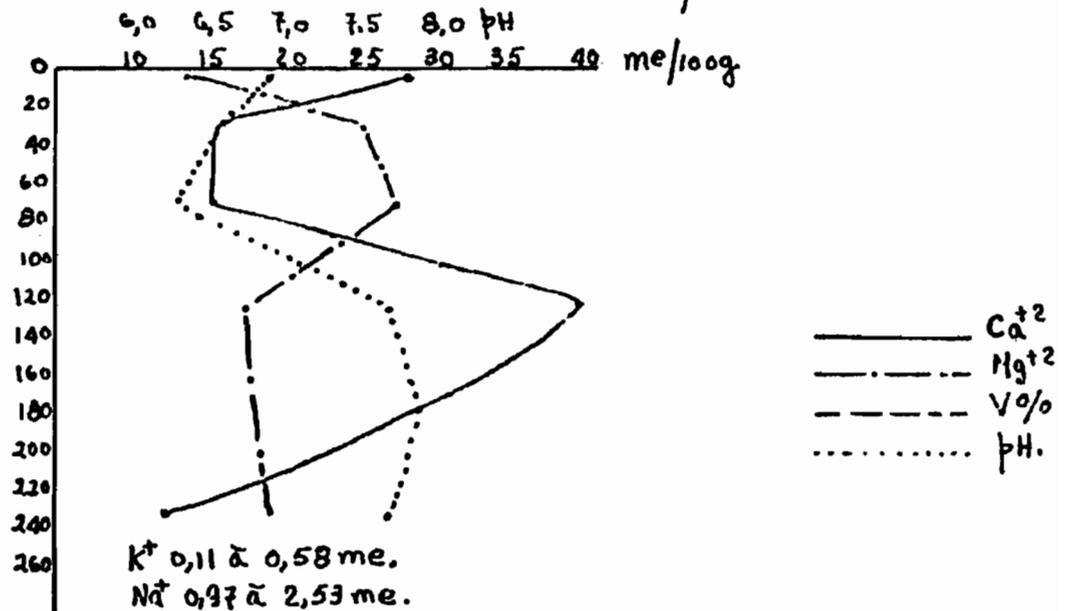
E-5. Sol Ferrallitique rouge Compact, sur Alluvion anciens. Altitude: 23 m.



E-7. Sol Ferrallitique Hydromorphe sur Matériaux transportés. Altitude: 19 m.



TE-20. Sol Ferrallitique jaunes, sur alluvion anciens. Altitude: 13 m.



E-9. Vertisol à structure arrondie. Altitude: 5,5 m.

**CONCLUSIONS.**

Les sols ferrallitiques, très répandus dans cette région, ont tous de la métahalloysite et du fire-clay associés à des teneurs en matière organique de l'ordre de 2,5 à 3,5% ; il en résulte une capacité d'échange cationique comprise entre 9 et 25 mé/100g.

Le complexe absorbant des sols est presque toujours saturé en calcium avec des teneurs qui varient entre 6 et 16 mé/100g. Les teneurs en calcium, magnésium, potassium et sodium échangeables moins abondantes en amont, augmentent en aval et sont conditionnées par la diminution du drainage des sols et les apports latéraux par les eaux provenant des hauteurs calcaires. L'état du complexe absorbant des sols est de plus fortement influencé par l'emplacement du calcaire dans le profil et aussi par l'effet de l'irrigation des cultures avec des eaux de la nappe riches en bicarbonates qui produisent un enrichissement continu du complexe absorbant des sols.

Le degré de saturation des sols est presque toujours supérieur à 70%, il est :

- a). dans la plupart des horizons de surface supérieur à 80%.
- b). dans les horizons profonds, en particulier les sols affectés par l'hydromorphie, il peut diminuer jusqu'à 60%.

Le pH, dans la plupart des sols, est légèrement acide à neutre, sauf dans les sols affectés par l'hydromorphie où celui-ci en profondeur devient plus acide.

#### 5.4. REPARTITION DU NICKEL, CHROME ET COBALT DANS LES SOLS

Pour bien saisir l'influence que peuvent avoir les péridotites sur la genèse des sols de cette région, on a été amené à faire des dosages de nickel, chrome et cobalt sur les différents types de sols.

On a pu constater qu'il existe dans les sols de cette plaine, que ce soit sur calcaire dur, calcaire tendre ou alluvions anciennes, une certaine homogénéité du point de vue de leurs teneurs en nickel, chrome et cobalt. Les variations de ces éléments dans chaque type de sols sont déterminées principalement par leur teneur initiale dans le matériau originel ou la roche-mère.

Afin d'avoir une meilleure représentation de la répartition de ces éléments dans le paysage, on a choisi la séquence "*Sierra Anafe-Peñalver*". Les sols de cette séquence sont tous développés sur calcaires durs et moyennement durs du Miocène. On passe des sols ferrallitiques aux sols ferrallitiques rouges et la séquence s'achève avec les sols hydromorphes tout près de la côte.

Les répartitions du nickel, chrome et cobalt (Fig.29) ne suivent pas la topographie. Ce sont des éléments très peu mobiles qui tendent à s'accumuler relativement dans le profil (AUBERT et PINTA, 1971). Leur contenu, dans les différents types de sols, ne permet pas de saisir de différences qui traduisent un degré quelconque d'évolution du sol. C'est plutôt le contenu de ces éléments dans la roche qui détermine les variations dans les sols et aussi dans le paysage.

Les variations de la teneur en nickel, chrome et cobalt que l'on observe dans les calcaires de cette région, mettent en évidence les conditions dans lesquelles ils se sont formés pendant l'histoire géologique, caractérisée par la sédimentation conjointe des carbonates et des produits de l'altération des roches métamorphiques et des péridotites. Les minéraux des roches, après la dissolution des carbonates, s'accumulent relativement dans le sol ; c'est pourquoi on ne trouve pas de rapport entre le degré d'évolution du sol et leur contenu en ces éléments. Ils sont directement influencés par le contenu des calcaires sous-jacents.

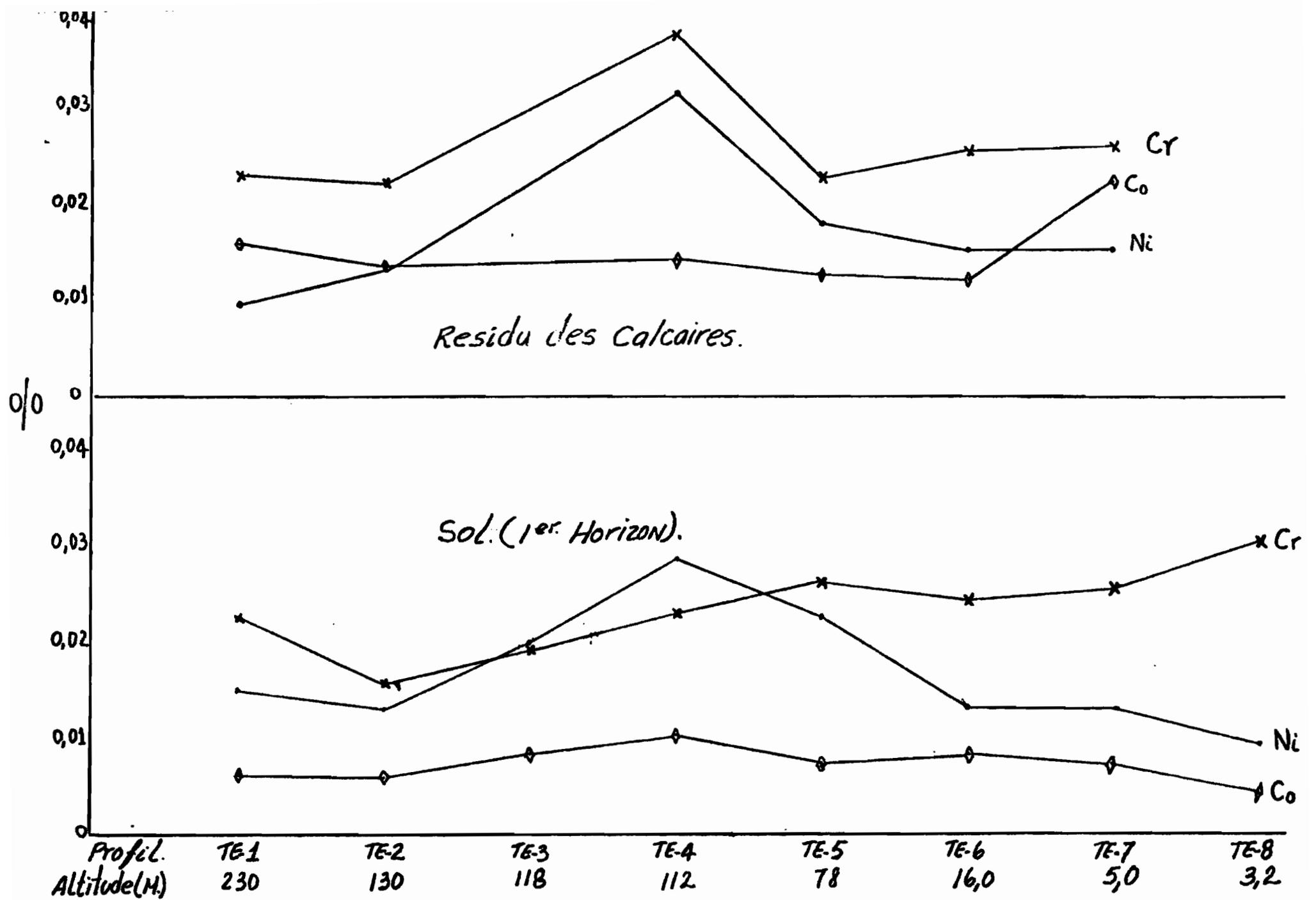


Fig: 29. Variations des teneurs en Ni, Cr et Co totaux dans la toposequence 'Sierra-Anafe-Peñalver.'

Les teneurs en ces éléments dans les calcaires de cette région sont très différentes de celles signalées par FORMELL CORTINA et al. (1974) pour les calcaires de "*San Miguel de los Baños à Matanzas*". Ces auteurs ont signalé que le calcaire dur était pur et qu'il ne renfermait pas d'oxydes de nickel, chrome et cobalt. Pour ces auteurs, il n'y a donc pas de rapport entre le sol et les calcaires sous-jacents.

Afin d'établir une comparaison entre des sols qui ont été influencés par des péridotites et ceux de la plaine étudiée, on a choisi un profil de sol ferrallitique formé sur calcaire, mais contaminé par des péridotites voisines (Tableau 37). D'après ce tableau, il apparaît à l'évidence que lorsqu'un sol, dérivé de calcaire a été contaminé par des péridotites, les teneurs en oxydes métalliques (de Ni, Cr, Co), sont beaucoup plus élevées que lorsque les péridotites sont loin, comme c'est le cas dans la zone de notre étude. Et même des sols formés sur roches carbonatés prélevés au Liban (LAMOUROUX, 1972), loin de péridotites, ont des teneurs en nickel, chrome et cobalt souvent supérieures à celles des sols étudiés.

#### CONCLUSIONS.

Les sols formés dans cette plaine présentent - que ce soit sur calcaire ou matériaux alluviaux anciens - une grande homogénéité en ce qui concerne leurs teneurs en oxydes de nickel, chrome et cobalt ; les variations de ces éléments dans les sols sont associées aux variations de ceux-ci dans la roche ou matériau originel.

Les calcaires de cette région renferment dans les résidus non carbonatés des teneurs appréciables en oxydes de nickel, chrome et cobalt, contrairement à ce qui a déjà été signalé pour certains calcaires étudiés à Cuba.

D'après les résultats obtenus, il semble que les péridotites si fréquentes à Cuba, n'ont pas eu une influence très marquée sur la formation des sols de la plaine étudiée. En effet, dans les sols ferrallitiques au voisinage des péridotites, les teneurs en fer et en oxydes de nickel, chrome et cobalt prennent des valeurs sans commune mesure avec celles des sols de la région étudiée.

## 5.5. REPARTITION DES SESQUIOXYDES DANS LES SOLS.

L'étude du fer et de ses différentes formes montre le rapport assez étroit qui existe entre le degré d'évolution des sols et leur contenu en fer libre.

La prédominance de l'une ou l'autre de ces formes dans chaque type de sol est conditionnée par le comportement du régime hydrique du profil ; ce dernier étant influencé par la position topographique, la composition minéralogique et la perméabilité du matériau originel.

### a). La répartition du fer total.

D'après les résultats du tableau 38, les teneurs en fer total ne présentent pas de variations très importantes. Les teneurs élevées, que présentent les sols calcimagnésiques (rendzines) et les sols ferrallitiques, expriment les fortes proportions de fer qui sont situées surtout dans les minéraux primaires de ces sols. Ces constituants minéraux sont probablement presque tous hérités du calcaire sous-jacent. Dans les divers sols ferrallitiques, les teneurs en fer total sont à peu près du même ordre, mais le fer est situé dans les minéraux secondaires. En général le fer total tend à augmenter vers la profondeur sauf dans les sols ferrallitiques rouges modaux.

Les sols hydromorphes situés dans la partie la plus basse du relief présentent des teneurs assez élevées en fer total. Elles sont influencées par les apports provenant des parties les plus élevées et aussi par la nature du matériau originel qui est une couche argileuse enrichie en fer.

### b). Le fer libre.

La répartition du fer libre suit le degré d'évolution des sols. Ainsi, on passe des sols calcimagnésiques où presque tout le fer est inclus dans les réseaux des constituants minéraux primaires ou des minéraux argileux du sol, aux sols ferrallitiques où il y existe déjà plus de 70% du fer en dehors de ces réseaux, même dans les horizons où il y a des carbonates libres.

**Tableau 37 : Influence des péridotites sur les teneurs en chrome, nickel et cobalt des sols.**

Profil	Types de sols	Profondeur en cm.	Oligoéléments en (ppm)		
			Cr	Ni	Co
Limonar	Sol ferrallitique sur matériaux contaminés par les péridotites	0 - 15	5384	4400	385
		300 - 310	4107	3900	165
E - 1  TE - 4	Sol ferrallitique sur roche calcaire de la zone étudiée	7 - 17	194	170	70
		à 20 cm du calcaire	167	210	75
		0 - 10	230	285	104
		90 - 100	217	300	93
	Sol rouge lixivié, dérivé de calcaire de la région subhumide du Liban (LAMOUREUX, 1972)	0 - 15	80	400	240
		50 - 70	85	460	250
		110 - 125	85	440	250
		150	24	460	160
		Roche altérée	8	520	24
		Roche saine	8	440	28
		Après décalcarification.	18	80	180

Dans les sols ferrallitiques, le fer se trouve presque entièrement individualisé sous forme de sesquioxydes. La répartition du fer libre aussi bien dans une toposéquence (Tableau 38) que dans un profil, est une conséquence de la diminution du drainage interne du sol, qui se traduit vers l'aval par la présence de taches d'hydromorphie de plus en plus nombreuses. Dans la plupart des cas, le fer libre représente plus de 75% du fer total du sol. Le fer restant est contenu dans les minéraux primaires des sables du sol.

c). Le fer amorphe.

La diminution du drainage dans les sols se remarque particulièrement dans la répartition du fer amorphe. Cela avait déjà été remarqué par MERKLE (1955) ; PONNAMPERUMA et al. (1967) ; LAMOUREUX (1972).

Les teneurs les plus élevées en fer amorphe se trouvent dans les sols ferrallitiques rouges modaux. Ceci s'explique par la présence d'ions ou de constituants jouant le rôle d'inhibiteurs de cristallisation : les anions phosphoriques, siliciques et surtout les minéraux argileux (OADES, 1963 ; SCHWERTMANN et al. 1968 ; LAMOUREUX, 1972 ; CLEMENTE et al. 1976) ; le processus de cristallisation des formes du fer est ralenti et les produits ferrugineux restent à l'état cryptocristallin (LAMOUREUX, 1971) ou de préhématite.

d). Répartition des constituants cristallisés.

En général, les formes du fer qui prédominent sont des formes cristallisées. Celles-ci augmentent lorsque l'on suit une toposéquence d'amont en aval ; leur répartition est en étroite relation avec la diminution du drainage interne des sols et aussi avec les manifestations de concrétionnement dans les profils.

Dans la plupart des cas, le constituant cristallisé du fer qui prédomine dans les résidus non carbonatés des calcaires est la goéthite.

Quand les résidus des calcaires sont libérés par dissolution des carbonates, cette goethite va évoluer vers l'hématite ou rester telle quelle suivant le régime hydrique du sol.

Dans les sols ferrallitiques rouges modaux et les sols fersiallitiques, les formes cristallisées du fer évoluent vers la formation d'hématite ; celle-ci est toujours associée à des traces de goethite. Cette proportion hématite-goethite se maintient à travers tout le profil, sauf tout près du calcaire où la goethite peut devenir importante en raison de sa prédominance dans presque tous les calcaires.

Dans les sols ferrallitiques rouges compacts, cette proportion hématite-goethite présente des variations au profit de la goethite, surtout en profondeur du fait du ralentissement du drainage interne du sol. Dans les sols ferrallitiques hydromorphes et sols ferrallitiques jaunes, caractérisés par un pédoclimat plus humide, les formes du fer sont dominées par la goethite.

Le comportement que présentent les constituants cristallisés du fer dans les sols, est en accord avec ce qui a déjà été signalé par SCHWERTMANN (1959), SCHWERTMANN et al. (1974), OADES (1963), LAMOUREUX (1972) sur l'influence qu'exercent les conditions pédoclimatiques sur les transformations des constituants ferrugineux dans les sols.

En ce qui concerne les constituants alumineux, on peut observer qu'il existe parfois dans les résidus non carbonatés des calcaires, de la gibbsite et aussi de la boehmite. Ces constituants qui, dans la plupart des cas, se trouvent en très faible quantité dans le calcaire, voient leur importance relative augmenter dans les sols, en raison des transformations pédogénétiques d'autres constituants argileux qui seront dissous et entraînés.

e). L'influence du fer sur quelques propriétés du sol.

Dans les sols ferrallitiques rouges modaux, le fer libre lié aux particules plus fines du sol représente plus de 60% du fer total (CAMACHO et al. 1980) ; les kaolinites ont tendance à former des agrég-

gats désordonnés, constitués de particules soudées par les oxydes et hydroxydes de fer. Cette liaison fer/argile stable peut expliquer le pourcentage aussi élevé de pseudosables qui ont tendance à se former dans les sols ferrallitiques. Ceci a été décrit par de très nombreux auteurs (FAUCK, 1964 ; SEGALEN, 1964 ; CHAUVEL et al. 1976 ; CHAUVEL, 1977, etc.).

La présence de montmorillonite à côté de teneurs élevées en minéraux argileux 1/1 dans les sols ferrallitiques, relativement riches en fer libre, est très souvent délicate à déceler par des observations morphologiques. Les caractères propres de ce minéral sont fortement masqués par la présence des sesquioxides de fer et de kaolinite.

f). Conclusion.

1). La répartition des sesquioxides dans les sols de cette région est très liée au comportement du régime hydrique des sols. Dans la séquence en partant de l'amont vers l'aval, c'est l'hydromorphie qui règle la répartition des formes du fer dans le paysage et à l'intérieur de chaque type de sols.

- vers l'aval il y a une augmentation des formes cristallisées du fer, tandis qu'il se produit une diminution très forte du fer amorphe dans les sols.

- la forme cristallisée qui prédomine dans les sols est surtout l'hématite. Vers l'aval et à l'intérieur de chaque profil, la diminution du drainage interne des sols favorise la transformation des constituants ferrugineux en goethite.

- On note en descendant la topographie, une augmentation du contenu en concrétions ferrugineuses à mesure que l'hydromorphie devient de plus en plus importante.

- les sols ferrallitiques rouges modaux présentent les teneurs plus fortes en fer amorphe ; les anions et les minéraux argileux doivent jouer le rôle d'inhibiteur de cristallisation.

2). Les résidus non carbonatés des roches présentent des teneurs assez élevées en fer total. Dans les calcaires, le constituant ferrugineux qui prédomine est la goéthite. Quand les constituants ferrugineux que renferment les calcaires sont libérés par dissolution des carbonates, ceux-ci vont évoluer très vite vers l'hématite quand le drainage du sol est bon ; il en résulte que le matériau tout près du calcaire peut être déjà entièrement rouge (cas de sols ferrallitiques rouges modaux sur calcaire dur). Cependant, quand le drainage interne du sol est ralenti, ces constituants restent à l'état hydraté et on observe tout près du calcaire un matériau jaunâtre (cas de sols ferrallitiques rouges compacts sur calcaire dur).

3). La gibbsite et la boémite des sols peuvent avoir deux origines possibles :

- elles peuvent constituer un héritage du calcaire sous-jacent, et dans ce cas, les proportions relatives n'augmentent guère dans le profil.

- dans le cas de la gibbsite, on peut envisager aussi une origine due à des transformations pédogénétiques des minéraux argileux des sols ; dans ce cas, la gibbsite augmente proportionnellement dans le sol.

TABLEAU: 38 REPARTITION DES SESQUIOXYDES DANS LES SOLS

SESQUIOXYDES		RENDZINES	FERRALLITIQUE	FERRALLITIQUES MODAUX	FERRALLITIQUES COMPACTS	FERRALLITIQUES HYDROMORPHE	FERRALLITIQUES JAUNES	HYDROMORPHES
ALTITUDE (m)		102	43	35	22	18	12	3
FER TOTAL	dans le sol	11,2	5,3 ↑ 11,0	13,7 ↓ 19,3	13,7 ↓ 17,2	10,3 ↓ 16,8	8,7 ↓ 12,5	13,8 ↓ 17,0
	résidu du calcaire ●	12,1	8,9 3	10,6	12,1	12,5		
FER LIBRE		1,34	3,9 ↑ 9,0	11,0 ↓ 16,2	10,6 ↓ 15,8	8,3 ↓ 13,8	7,8 ↓ 10,8	
FER AMORPHE			0,90 ↓ 2,5	4,5 ↓ 5,4	2,1 ↑ 4,8	1,5 ↑ 3,5	1,2 ↑ 2,4	
FER CRISTALLISÉ			3,0 ↑ 6,8	6,0 ↓ 11,7	8,6 ↓ 12,8	8,3 ↓ 11,0	5,4 ↓ 9,2	
FER LIBRE / FER TOTAL x 100		11,9	74,0 ↑ 87,0	80,0 ↓ 96,0	78,0 ↓ 92,0	80,0 ↓ 90,0	75,0 ↓ 90,0	
Constituants ferrugineux	sol		He *** * Go ** *	He *** * Go ** *	He *** ↑ Go ** ↓	He *** ↑ Go *** ↓	He * ↑ Go *** ↓	He * ↑ Go *** ↓
	residu du calcaire		He * Go *** *	He * Go *** Mgn *	Go ***	He * Go *** Mgn *	Gi * *	
Constituants alumineux	sol		Gi ** *	Boe *** Gi *** *	Gi ** ↑	Gi ** *		
	residu du calcaire		Gi *	Gi ** Boe **	Gi *	Gi *		
augmentation du contenu en concrétion dans les sols								
diminution du drainage interne du sol								

Repartition dans le profil

↑ Diminue en profondeur

↓ Augmente en " " "

\* Tres peu de variation

He..hématite  
Go..goethite  
Mgn..magnetite  
Gi.. gibbsite  
Boe..boehmite

\*\*\* Predominante  
\*\* Peu abondant  
\* Traces  
● Teneurs moyen

Les valeur sont les MINI et MAXI observés sur l'ensemble des profils

## 5.6. ESSAI D'EXPLICATION DE LA GENESE DES SOLS FORMES SUR ROCHES CALCAIRES.

La genèse des sols peut être déduite de l'étude des différents aspects morphologiques, physico-chimiques et minéralogiques, ainsi que de l'observation du paysage actuel et de son évolution, ainsi que des conditions qui ont prévalu depuis la mise en place des roches-mères des sols.

### A. - LA MISE EN PLACE DES CALCAIRES ET L'EVOLUTION DU RELIEF.

Les calcaires associés aux sols de cette région ont été mis en place principalement au Miocène et très légèrement basculés, avec un pendage très faible vers le Sud. Ils ont émergé définitivement dès le Miocène supérieur (ITURRALDE, 1977). Il s'agit de roches, riches en carbonates de calcium avec différents faciès, présentant une consistance (calcaire dur, moyennement dur et tendre) et des couleurs diverses (blanche, grise, jaunâtre et rouge-jaunâtre). Ces roches ont des contenus en résidus non carbonatés différents, mais qui expriment l'influence modérée des terres émergées pendant la sédimentation marine.

Dès la fin du Miocène, les roches calcaires vont émerger et subir les effets du climat. Un relief karstique va se dessiner sous l'effet des altérations et les produits résiduels de la dissolution vont couvrir en grande partie les calcaires, tandis que les formes aériennes du karst (lapiès, dolines, cavernes, ponors etc.) vont marquer le paysage. Le fort développement du réseau hydrographique souterrain, permet l'accueil de l'eau qui s'infiltré rapidement au point qu'il n'existe que très peu de rivières dans cette région.

On connaît peu de chose sur l'évolution climatique pendant le Pliocène et le Quaternaire à Cuba. Cependant, d'après NUÑEZ JIMENEZ (1968) ; MAYO et KARTASHOV(1972), on peut penser que pendant cette période, il a pu y avoir des variations climatiques notables avec des périodes plus humides ou plus sèches. Les régressions marines qui se sont produites au cours de cette période, dues aux glaciations, et le

léger soulèvement de l'ensemble de la partie Nord ainsi que l'enfoncement vers le Sud, ont pu conduire à des phases d'aplanissement d'origine continentale (MASSIP et IZALGUE, 1942 ; DUCLOZ, 1963). D'où l'hypothèse que des déplacements horizontaux mélangeant les produits de surface ont pu se produire.

La pédogenèse en condition humide a permis tout d'abord la dissolution d'une épaisseur importante de calcaire laissant en place des résidus non carbonatés qui s'accumulent et dont seulement une partie va évoluer.

Pendant les périodes plus sèches, la dissolution des carbonates est ralentie. Lorsque la protection du sol par la végétation est faible, l'érosion est favorisée, provoquant des entraînements des matériaux vers le Sud, se mêlant à d'autres produits provenant de reliefs où dominant surtout des roches métamorphiques.

Les sédiments récents localisés vers le Sud se trouvent situés au-dessus d'une couche argileuse rouge-jaunâtre qui surmonte le calcaire miocène. Généralement, cette couche a une constitution minéralogique analogue à celle des sols fersiallitiques qui se trouvent dans la partie la plus élevée du relief.

On peut émettre les hypothèses suivantes, quant à la genèse de cette couche argileuse rouge-jaunâtre :

- La couche argileuse au contact des calcaires aurait deux origines possibles : soit une origine "*in situ*" par décarbonatation, soit provenir de l'érosion de l'amont fersiallitique

- La partie supérieure est un matériau montmorillonitique d'apport fluviatile ayant évolué en vertisol.

Le retour de conditions humides se traduit de nouveau par l'établissement d'une végétation dense favorisant la pénétration de l'eau en profondeur, la reprise de l'altération (dissolution de calcaire) accompagnée de nouvelles accumulations de résidus, donc de pédogenèse.

Actuellement, on se trouve dans une période humide caractérisée par des précipitations chaudes, qui a dû débiter à la fin de la dernière glaciation (WISCONSIN). Ces conditions climatiques ont eu une grande influence sur l'évolution du relief karstique en surface et en profondeur (Académie des Sciences, 1970 ; NUÑEZ JIMENEZ, 1968). Les produits de la dissolution des carbonates qui s'accumulent dans les sols et leur évolution vont être conditionnés par les différents faciès calcaires. Les teneurs en résidus non carbonatés et le degré de perméabilité de ces calcaires, vont déterminer, en fonction de la position topographique, l'évolution des constituants des sols.

### B. - LA DISSOLUTION DES CALCAIRES.

#### 1. Mise en évidence de cette dissolution.

La dissolution des calcaires peut être observée dans de nombreux endroits de cette région, où le sol est peu épais et où la roche apparaît très souvent en surface. Elle peut être également observée à la base de certains profils. Ces calcaires présentent le plus souvent des parois lisses, une surface percée de gros trous anastomés et colorée par les oxydes de fer.

Le passage entre le sol et le calcaire sous-jacent est en étroite relation avec le type de calcaire (Fig.30) :

- quand il s'agit de *calcaire dur* qui est la roche la plus répandue, le passage sol-roche se fait assez brutalement par l'intermédiaire d'une mince pellicule calcaire qui peut atteindre jusqu'à 2 mm.

- dans le cas de *calcaire moyennement dur*, on observe à la surface du calcaire un cortex désagrégé assez friable, le passage sol-roche est un peu plus progressif et peut atteindre quelques centimètres. Le sol est encore calcaire.

- dans le cas de *calcaire tendre*, la désagrégation de la roche est plus forte que la dissolution ; le sol présente alors une teneur élevée en carbonates libres.

Un des problèmes qui a été soulevé à propos de la genèse de ces sols, et tout spécialement des sols ferrallitiques, est le passage assez brutal entre le sol et la roche. Pour tenter de résoudre ce problème on a cherché à connaître la nature des résidus non carbonatés des calcaires et à voir s'ils ont des liens de parenté avec les sols qui les surmontent.

2. *Constituants des résidus des roches carbonatées comparés à ceux des sols.*

a). Les minéraux primaires des sols et des roches.

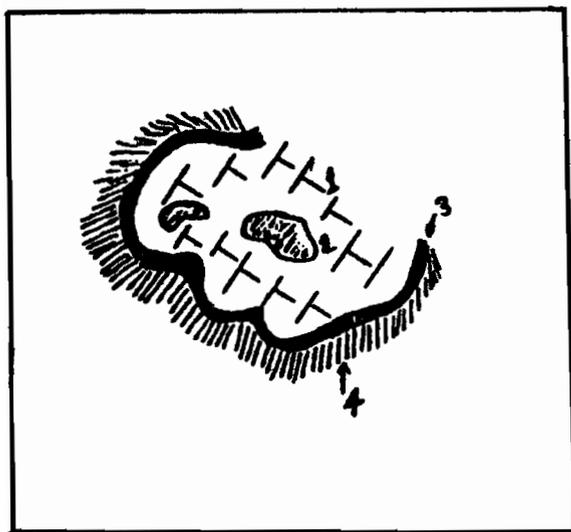
Les calcaires miocènes qui prédominent dans cette région présentent des teneurs en résidus non carbonatés très variables. On a trouvé en moyenne pour les calcaires durs 2,2 %, les calcaires moyennement durs 7,75% et les calcaires tendres 7,3%. On a pu constater une grande variabilité du point de vue quantitatif, tandis que qualitativement les produits sont très semblables.

Ces résidus sont constitués par du quartz et des sesquioxydes de fer, titane et alumine (goethite, hématite, spinelles, ilménite, rutile, gibbsite et boehmite) d'une part, et des minéraux non altérés où dominent les silicates de métamorphisme d'autre part. Les minéraux altérables sont très rarement retrouvés.

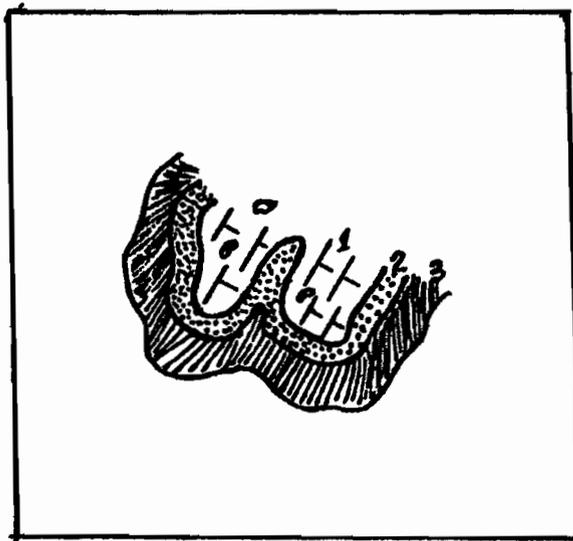
Les silicates de métamorphisme sont représentés par : andalousite, staurotide, sillimanite, disthène, épidote, grenat et tourmaline. Cependant, parmi ces minéraux il y a nette dominance de disthène, andalousite et staurotide.

L'étude des sables des sols nous a montré qu'il existe un rapport très étroit entre les constituants minéraux des résidus non carbonatés et ceux du sol ; dans les sables des sols on retrouve les silicates de métamorphisme et l'accumulation relative des sesquioxydes. Dans les sols calcimagnésiques et sols fersiallitiques, on retrouve encore parmi les silicates de métamorphisme des teneurs relativement importantes d'épidote et grenat, minéraux qui sont assez altérables.

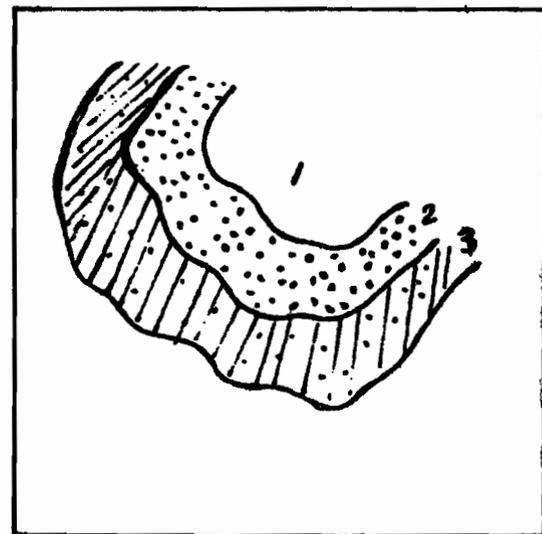
Dans les sols ferrallitiques, les minéraux des sables se trouvent en très faible quantité, il reste seulement les minéraux les plus difficilement altérables. Les minéraux qui prédominent dans les sols voisins de la côte sont semblables à ceux des sols formés sur calcaire de la partie la plus élevée de cette plaine. Dans ceux-ci, la diminution du drainage interne du sol se traduit par une diminution du processus d'altération, alors on y observe encore des minéraux relativement altérables (épidote et grenat) donc on voit augmenter leur impor-



Altération d'un calcaire dur.  
 1.- Roche saine, 2.- Trous de dissolution; 3.- Pellicule calcaire inférieure à 2mm, 4.- Sol rouge à faible effervescence.



Calcaire moyennement dur  
 1.- Roche saine; 2.- Carbonates désagrégés, friables; 3.- Sol rougeâtre à forte effervescence.



Calcaire tendre  
 1.- assez friable, 2.- Carbonates désagrégés, 3.- Sol brun avec carbonates libres.

Fig: 30 Altération des différents types de calcaires.

tance relative, mais en valeur absolue ils restent très faibles.

DOBROSVOL'SKIY (1978), en étudiant la minéralogie des sols de mangrove du golfe de "Batabano", a trouvé une dominance d'oxydes et hydroxydes de fer, associés à de l'épidote, disthène et hornblende. Ces minéraux constituent une preuve des liens de parenté qui existent avec les minéraux qui prédominent dans les sols de cette plaine.

En général, on constate que les sols qui se trouvent dans cette plaine karstique présentent une homogénéité remarquable du point de vue des constituants minéraux de la fraction sable des sols, avec prédominance de minéraux issus de roches métamorphiques qui, par ailleurs, présentent un rapport très étroit avec ceux des résidus non carbonatés des calcaires sous-jacents.

b). Les minéraux argileux des sols et des roches.

Dans les résidus des calcaires associés aux sesquioxides et minéraux issus des roches métamorphiques, on observe aussi des minéraux argileux.

La composition des minéraux argileux des différents types de calcaires présente une variabilité plus grande. Dans les calcaires tendres éocènes, la montmorillonite est presque exclusive ; cependant on trouve aussi à l'état de traces de l'illite et de la kaolinite ; on retrouve ces argiles dans les profils de sols formés sur cette roche, sols bruns calcaires et rendzines. Il s'agit d'un héritage de la roche qui n'a pas subi de transformations importantes. Ceci peut être dû à la richesse du milieu en carbonate, qui rend les minéraux argileux et surtout la montmorillonite stable (YAALON, 1955 ; LAMOUROUX, 1972 ; GUERRA et al. 1972), ainsi qu'à la susceptibilité de ces sols à l'érosion qui ne permet pas la stabilisation du profil et en font des sols très jeunes.

Dans les calcaires associés aux sols fersiallitiques (calcaires durs et moyennement durs) les minéraux argileux les plus répandus sont : la montmorillonite associée à la métahalloysite. Dans un cas, il a été décelé de la vermiculite. Ces résidus non carbonatés renferment aussi de la gibbsite et/ou de la boehmite. Dans ce cas où les conditions du drainage permettent une élimination plus forte des carbonates, des transformations de minéraux argileux se produisent.

La montmorillonite héritée de la roche diminue en importance dans les horizons de surface, tandis que les minéraux 1/1 (métahalloysite), qui se trouvent à l'état de traces dans la roche, augmentent.

La gibbsite apparaît dès la base du profil et n'augmente guère avec la position dans le profil.

Les calcaires durs miocènes associés toujours aux sols ferrallitiques rouges, présentent le plus souvent de la montmorillonite, de l'illite et des quantités plus ou moins importantes de minéraux argileux 1/1, représentés principalement par métahalloysite et fire-clay. On y trouve aussi de la gibbsite et de la boehmite.

L'altération se traduit par la disparition totale de minéraux argileux 2/1 présents dans la roche ou ne laisse subsister que de très faibles traces dans les profils. Les minéraux argileux 1/1 et les constituants alumineux présents aussi dans la roche augmentent dans le sol en importance relative.

On trouve irrégulièrement de la boehmite dans cette région ainsi que dans le reste du pays ; elle est distribuée sporadiquement, et toujours associée aux sols sur calcaires. Chaque fois qu'elle est présente dans le sol, on la retrouve aussi dans le calcaire. Cette association avec les sols sur calcaire a déjà été signalée à Haïti (COLMET-DAAGE et al. 1969), à La Jamaïque (BURNS, 1961) et à Saint-Domingue (GOLDICH et BERGQUIST, 1945).

Dans les sols ferrallitiques de cette région, le drainage interne du sol revêt une importance très marquée sur les transformations des minéraux argileux. En effet, dans les sols ferrallitiques rouges

modaux caractérisés par une perméabilité très bonne, la métahalloysite observée dans la roche se transforme en fire-clay et augmente en importance relative dès la base du profil. Ce type de transformation a déjà été signalé par différents auteurs (HUANG, 1966 ; SIEFFERMANN et al. 1968 ; SIEFFERMANN, 1973).

En ce qui concerne les constituants alumineux (gibbsite et boehmite), on peut envisager tout d'abord un héritage du calcaire ; ensuite on peut penser que, l'augmentation relative de la gibbsite dans le profil peut être attribuée à la genèse de celle-ci à partir des minéraux argileux dans le sens : métahalloysite → fire-clay → gibbsite ; comme cela a été signalé par différents auteurs (SHERMAN, 1950 ; SEGALEN, 1957 ; BONIFAS, 1959 ; BATES, 1960 ; COLMET-DAAGE et al. 1969 ; SIEFFERMANN, 1973).

Dans les sols ferrallitiques rouges compacts et les autres sous-groupes des sols ferrallitiques, la diminution du drainage interne du sol permet une stabilité plus grande de la métahalloysite, il en résulte donc un mélange métahalloysite/fire-clay à dominance de métahalloysite.

D'une façon générale, la minéralogie des argiles des sols et des résidus non carbonatés des calcaires nous montre que les minéraux argileux trouvés dans le sol étudié sont déjà présents dans le calcaire. Sous l'influence des facteurs pédogénétiques, ces constituants sont libérés de la roche et ils subissent des transformations dans les sols, d'autant plus intenses que l'on approche de la surface.

#### C. - RECONSTITUTION DE LA GENÈSE DES SOLS.

Grâce aux études des géologues (BERMUDEZ, 1963 ; ALBEAR et ITURRALDE, 1977 ; ITURRALDE, 1977), on a maintenant une idée de ce que devait être la paléogéographie de la région au moment de la sédimentation miocène et après le retrait de la mer. Cet ensemble de connaissances va nous permettre de proposer une explication sur la genèse des roches et des sols de la plaine.

Pendant le Miocène inférieur et moyen (Fig.31), presque toute la province de *La Havane* a été couverte par la mer ; alors se sont accumulés des dépôts de carbonates de calcium à faciès néritiques auxquels sont venus s'ajouter un peu de produits terrigènes. L'abondance et la nature des fossiles de certains niveaux permet de penser qu'il s'agit de dépôts de mer peu profonde, où l'influence des terres émergées est modérée.

Les terres émergées existaient à l'emplacement de l'actuelle *Ile des Pins* et une grande partie de la province de "*Pinar del Rio*", ainsi que de zones peu étendues et discontinues au Nord comme à l'Est de la région étudiée.

En raison de la nature des produits non carbonatés apportés aux sédiments calcaires, on est amené à penser que les roches des terres émergées étaient analogues à celles que l'on observe aujourd'hui à l'*Ile des Pins* où affleurent des roches métamorphiques recouvertes de sols variés dont des sols ferrallitiques. Des roches semblables ont été reconnues à "*Pinar del Rio*" et aussi dans la partie Sud-Est au limite de *La Havane* et *Matanzas* (GUTIERREZ DOMECH et al. 1975). A ces roches sont associées des péridotites plus ou moins serpentinisées que l'on observe dans la partie Nord de l'île, constituant des petites taches d'une extrémité à l'autre de l'île.

Pendant la période de sédimentation ces terres émergées devaient porter des sols probablement peu différents de ceux que l'on observe actuellement. L'érosion modérée de ces sols a amené dans la zone de sédimentation des minéraux primaires : silicates de métamorphisme, spinelles et également des minéraux argileux, des oxydes et hydroxydes que l'on retrouve aujourd'hui dans les roches.

Ces minéraux qui proviennent d'une altération météorique des roches métamorphiques et des péridotites se sont incorporés peu à peu, en faible quantité, aux carbonates de calcium. Dès la fin de la sédimentation miocène dans la région étudiée, les reliefs des roches métamorphiques ont pratiquement disparu, tandis que ceux des péridotites demeuraient. Par contre, les roches métamorphiques sont encore

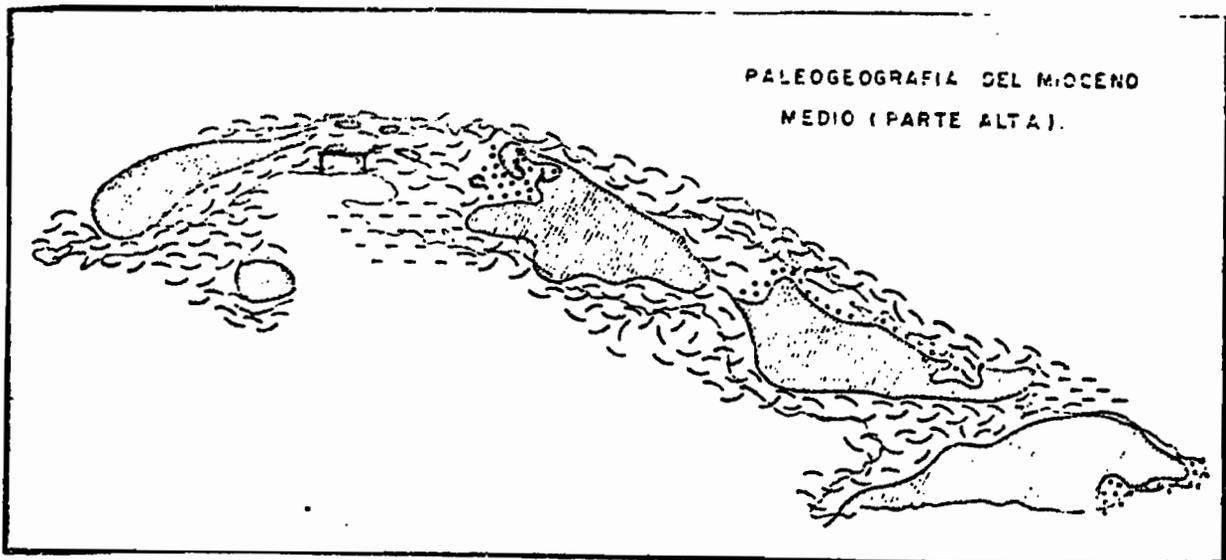
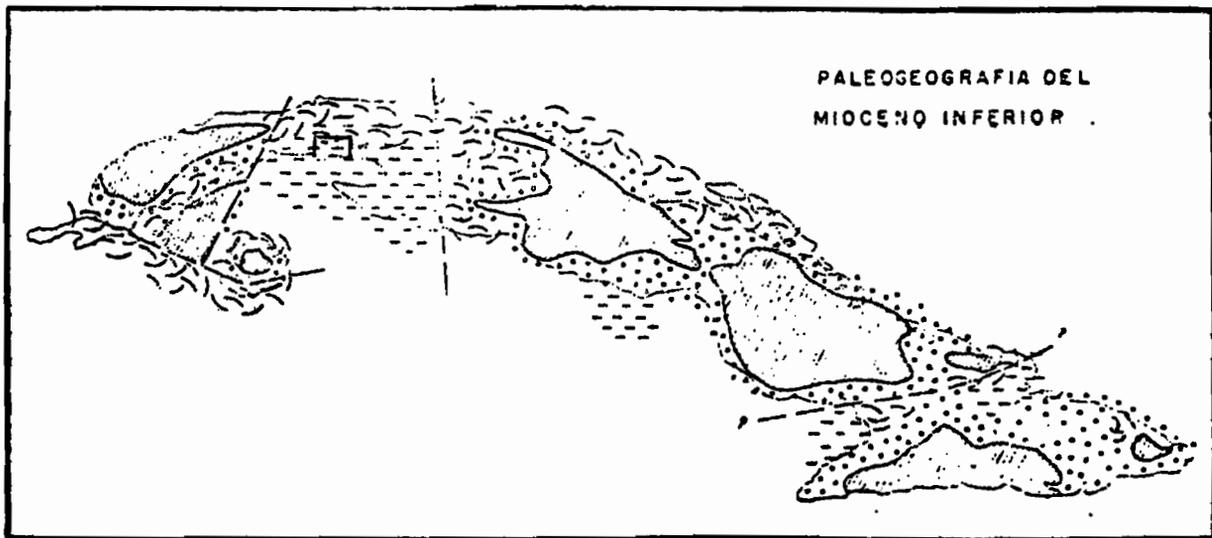


Fig: 31. Paleogeographie du Miocène Inferieur et  
moyen; d'après Iturralde, 1977.

visibles à l'Ile des Pins, Escambray et Pinar del Rio.

Le calcaire est donc constitué d'une quantité très forte de matériaux carbonatés avec des résidus des sols miocènes, des terres émergées et des minéraux résistants de leurs roches-mères.

Après émergence des calcaires (Fig.32), la dissolution des carbonates va livrer à l'altération tous les résidus non carbonatés. On verra disparaître la majorité des minéraux les plus altérables, tels que : hornblende, épidote, grenat, tandis que vont se concentrer tous les minéraux plus difficilement altérables tels que : andalousite, disthène, staurotide etc. que l'on retrouvera dans les sables des sols actuels. La fraction plus fine de ceux-ci héritera des kaolinites, des sesquioxides de fer et d'aluminium qui s'accumulent relativement dans le sol, tandis que les minéraux argileux de type 2/1 disparaîtront presque entièrement et ne seront identifiés que dans quelques cas dans les sols et à proximité des roches-mères.

La vitesse de l'altération permet en outre de souligner le rôle fondamental et exclusif des résidus non carbonatés dans la formation des sols formés sur roches calcaires. Qualitativement, ces roches contiennent tous les éléments des sols correspondants, mais en proportions différentes. Quantitativement, si nous reprenons un calcul déjà fait par différents auteurs (LAMOUREUX, 1967 ; LAMOUREUX et al. 1968 ; GOLDICH et BERGQUIST, 1945) ; il apparaît que pour donner 2 mètres de sol continu, il suffit de 33,5 m de roches carbonatées dures à 2,24% de résidu moyen et il suffit de 9,30 m de roches moyennement dures à 7,75% de résidu moyen.

Dans ce calcul, la densité du sol est évaluée à 1,30 et 1,25, celle des roches à 2,6 ; les matériaux fournis aux sols par les roches sont estimés à 75% de leur poids (LAMOUREUX, 1972).

Si nous tentons d'évaluer le temps<sup>(1)</sup> nécessaire à la formation de 2 m de sol par la voie de l'altération des calcaires, nous aboutissons aux valeurs suivantes :

(1). Moyenne 32 mm/1000 ans (CORBEL, 1957).

- 1.100.000 ans suffiraient pour dissoudre 33,5 m de calcaire dur et permettre la formation du sol.

- 291.000 ans seraient nécessaires pour dissoudre 9,3 m de calcaire tendre et permettre la formation du sol.

La formation d'un sol sur roche carbonatée est le résultat de l'accumulation des résidus insolubles d'une épaisse couche de sédiments. Comme on a pu le constater dans cette région, l'épaisseur de strates et la nature des roches est variable, mais rien n'autorise à considérer cette masse disparue comme homogène. Elle pouvait, au contraire, être constituée par des roches de faciès différents.

En fait, de tels calculs ne peuvent être qu'une grossière estimation ne tenant pas compte de certains facteurs, comme les pertes en suspension entraînées par les eaux souterraines et les eaux de ruissellement ou les variations de l'intensité d'altération au cours de l'histoire pédoclimatique. Comme, par ailleurs, les sols de la région étudiée n'ont pas tous une épaisseur de 2 m, ce qui veut dire qu'il y existe des sols beaucoup plus jeunes quel que soit le type de calcaire.

En général, ces sols se sont développés, après dissolution des carbonates à partir des résidus non carbonatés des roches. Ils proviennent soit de calcaires analogues ou différents des calcaires sous-jacents, soit de reliefs calcaires environnant. Ces sols, tels qu'ils sont, sous les conditions climatiques actuelles, continuent à se développer, à s'approfondir. Dans ces sols l'érosion est très faible, alors qu'en profondeur l'évolution karstique est très marquée.

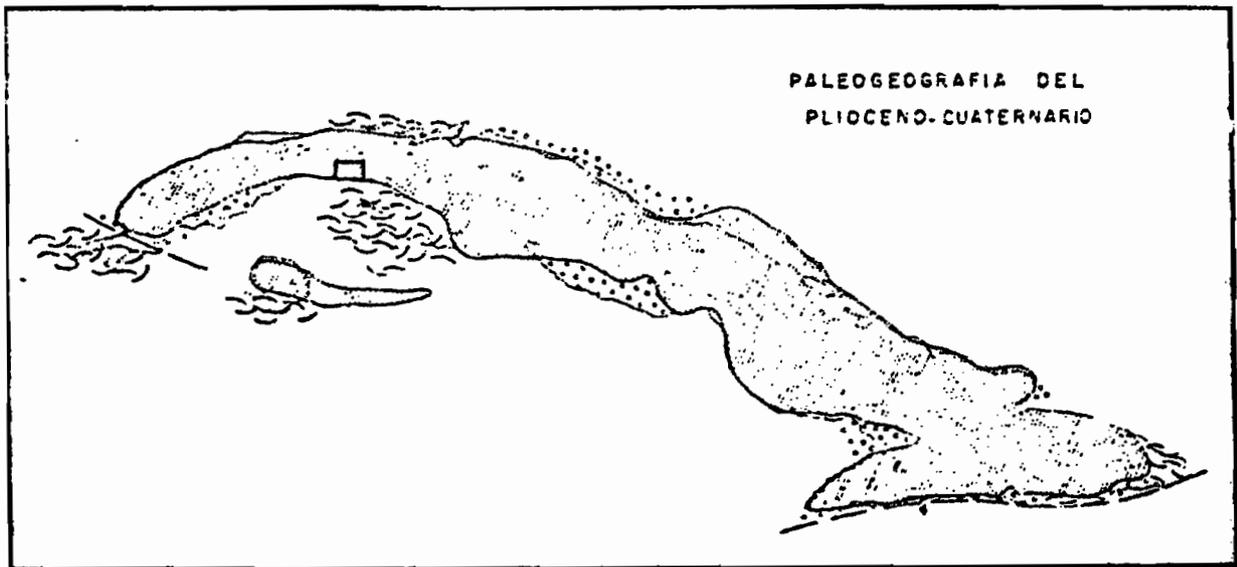
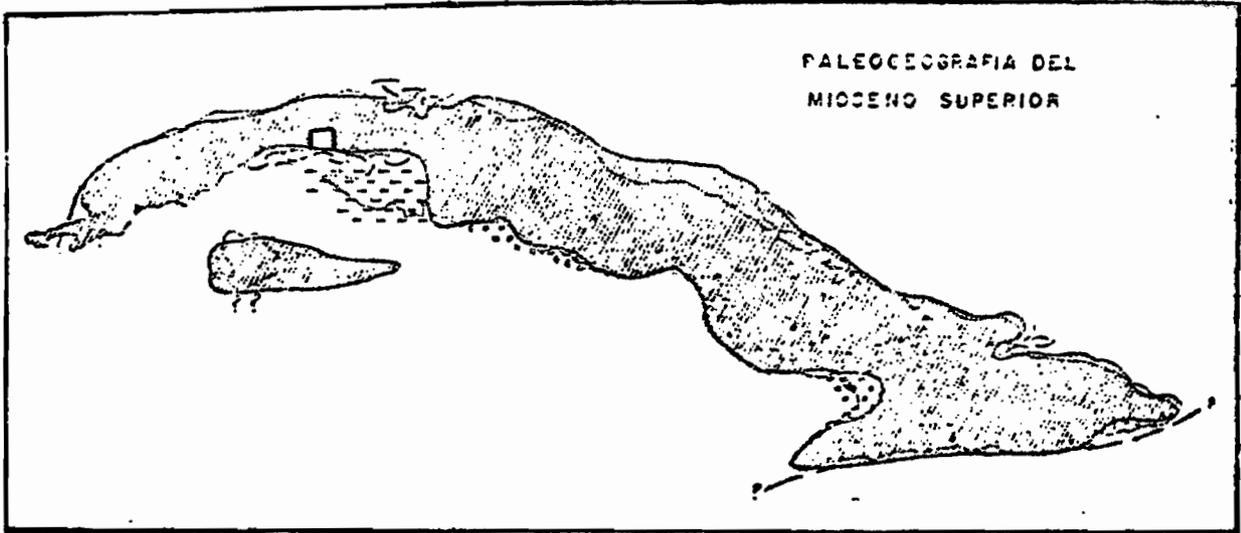


Fig. 32. Paleogeographie du Miocène supérieur et du Pliocène-Quaternaire, d'après Iturralde, 1977.

## 5.7. REPARTITION DES SOLS DANS LA PLAINE.

Après avoir fait l'étude des sols de cette région et en tenant compte des conditions de l'environnement, on va tenter de mettre en évidence les facteurs de formation des sols qui déterminent leur répartition dans le paysage.

### 1. LES HAUTEURS.

Sur les "hauteurs" soulevées, plissées et faillées, on trouve des sols calcimagnésiques (rendzines et sols bruns calcaires), associés aux affleurements de roches carbonatées tendres de l'Eocène. Ces sols sont situés sur la partie la plus accidentée de la topographie.

Dans ces sols dont la perméabilité de la roche est faible et la position topographique haute, l'écoulement superficiel des eaux est très important et l'érosion favorise le rajeunissement presque constant du sol.

### 2. LA PLAINE.

Quand on regarde cette région d'un coup d'oeil rapide, on ne voit que des sols ferrallitiques. Cependant l'étude détaillée de celle-ci montre qu'il y existe différents types de sols où les variations du micro-relief, les dépressions et aussi les variations du matériau originel jouent un rôle très important sur la répartition des sols.

#### a). Les vertisols.

Les vertisols dans cet environnement ferrallitique peuvent être considérés comme des corps étrangers. Ils sont localisés principalement au Sud de la partie Est de la région étudiée. Ils sont associés à des dépôts récents constitués par des alluvions calcaires montmorillonitiques apportés par les rivières à caractère permanent qui existent dans cette zone.

Les conditions climatiques, avec deux saisons assez bien contrastées, ont permis à ces matériaux d'acquérir des caractères vertiques. Quand ils occupent une topographie assez basse, la faible perméabilité du matériau originel et la hauteur de la nappe phréatique conduisent à l'apparition de l'hydromorphie.

b). Sols fersiallitiques.

Dès qu'on passe aux calcaires durs ou moyennement durs et perméables du Miocène, il y a tout de suite un changement et le sol devient rouge. On rentre alors dans le domaine des sols fersiallitiques et ferrallitiques.

Les sols fersiallitiques sont toujours associés aux affleurements des calcaires durs et moyennement durs. Généralement, on les rencontre dans la partie élevée de la topographie ; cependant, dans la partie Ouest de la région on les observe dans la partie plus basse du relief. Cette position peut être associée à un soulèvement récent et même contemporain de cette partie de la plaine (ITURRALDE, 1977), où il y a une grande surface d'affleurement des calcaires durs et moyennement durs.

Ils sont presque toujours étroitement associés à des sols ferrallitiques rouges modaux peu profonds et ne peuvent être dissociés sur la carte. Le facteur qui intervient directement sur leur différenciation est la nature des constituants minéraux résiduels des calcaires sous-jacents.

En effet, on a constaté que lorsqu'il s'agit d'un calcaire dur, à prédominance de minéraux argileux 2/1 associés à des minéraux argileux 1/1, que les sols qui se développent alors sont des sols fersiallitiques, avec des teneurs en carbonate de calcium inférieures à 10%. Cependant, quand il y a prédominance de minéraux argileux 1/1 on passe tout de suite aux sols ferrallitiques rouges modaux peu profonds.

Quand le calcaire est moyennement dur, le type d'altération de cette roche influe sur la morphologie. Dans ce cas, on peut avoir des sols à constitution fersiallitique avec des teneurs élevées en carbonate de calcium. On peut considérer ces sols comme des intergrades entre les sols calcimagnésiques et fersiallitiques (CPCS, 1967).

b.) Les sols ferrallitiques.

Les sols ferrallitiques sont caractérisés par des constituants argileux kaolinitiques et des sesquioxides ; les minéraux argileux 2/1 ont disparu.

La position topographique et la perméabilité du matériau originel interviennent directement sur la différenciation morphologique des sols ferrallitiques de cette plaine.

#### 1. *Sols ferrallitiques rouges modaux.*

Ces sols présentent la morphologie la plus simple. On les trouve toujours associés aux calcaires durs du Miocène. Généralement, ils occupent une topographie relativement élevée, cette position topographique est toujours associée aux zones les mieux drainées.

#### 2. *Sols ferrallitiques rouges compacts.*

Ces sols s'observent presque toujours associés aux sols ferrallitiques rouges modaux.

Les sols compacts occupent toujours une topographie plus basse que les sols modaux, où la diminution du drainage du matériau originel, conduit à une faible manifestation d'hydromorphie, qui se traduit par la présence de taches à la base du profil.

#### 3. *Sols ferrallitiques hydromorphes .*

Les sols ferrallitiques hydromorphes sont associés aux sols compacts, et ils occupent une position topographique encore plus basse. Dans ces sols, la faible perméabilité du matériau originel et la position topographique conduisent à une manifestation plus forte de l'hydromorphie, tandis que le concrétionnement dans le profil devient important.

On peut trouver ces sols à différents endroits de la plaine au voisinage de dépressions.

#### 4. *Sols ferrallitiques jaunes.*

Dans ces sols, la morphologie change complètement et de plus ils sont moyennement désaturés.

Les sols jaunes sont associés aux sols ferrallitiques hydromorphes et aussi aux sols hydromorphes. Ils occupent une topographie basse sur des alluvions argilo-ferrugineuses de faible perméabilité qui permettent le maintien d'un régime hydrique plus humide. On peut aussi trouver ces sols à un niveau plus élevé dans la plaine, au centre des

dépressions.

### 3. LA ZONE COTIERE.

Cette zone est caractérisée par la prédominance des sols hydromorphes peu organiques, en bordure de lacôte ; dans cette zone le niveau de la nappe phréatique se trouve assez proche de la surface. Ces sols constituent la limite avec les sols moyennement organiques et la zone marécageuse.

### 4. CONCLUSIONS.

En général, d'après l'étude détaillée des sols de cette région on a pu constater que, dans la plaine, la différenciation des sols est plus grande que l'on pouvait croire. Cette différenciation morpho-pédogénétique est étroitement liée aux variations de la topographie, à la nature et à la perméabilité du matériau originel ou de la roche-mère (Fig.33).

En tenant compte de toutes ces remarques, dans la plaine la séquence typique des sols liés génétiquement serait la suivante :

Sols fersiallitiques → Sols ferrallitiques rouges modaux →  
 Sols ferrallitiques compacts → Sols ferrallitiques hydromorphes →  
 Sols ferrallitiques jaunes → Sols hydromorphes.

Mais cette séquence idéale a une répartition variée dans le paysage et parfois il peut manquer un de ces éléments.

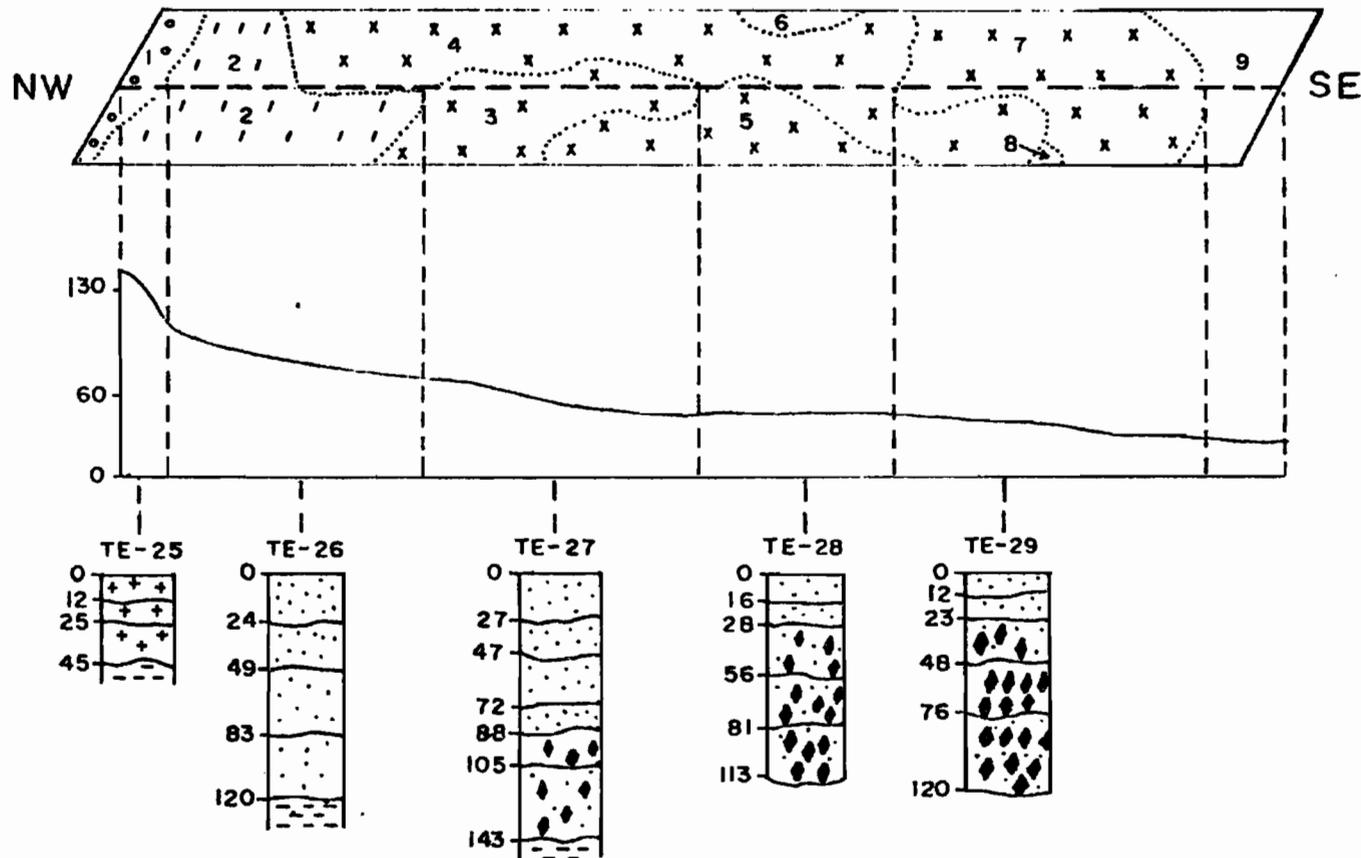


Fig. 33 Toposequence Bejucal-Sabana Mercedes. Echelle V. 1:5000 H. 100 000

1.- Ferrallitique modal peu prof.; 2.- Ferrallitique modal moy. prof.; 3.- Ferrallitique concretionnée prof.; 4.- Ferrallitique hydromorphe et jaune prof.; 5.- Ferrallitique modal prof.; 6.- Vertisol modal moy. prof.; 7.- Ferrallitique jaune prof.; 8.- Ferrallitique compactée moy. prof., 9.- Hydromorphe moyennement organique non différenciée; [x] Concretion ferrugineux [+++] Graves de calcaires [==] Calcaire dure [◆◆◆] Taches.

## 5.8 L'UTILISATION DES SOLS.

La situation des cultures, leur niveau de productivité et la façon de cultiver les sols sont en étroite relation avec les particularités des couvertures de sols.

La connaissance de la distribution des sols, de leur genèse et de leur productivité permet de planifier et de faire une utilisation rationnelle des sols en accord avec les besoins des cultures. Elle permet également de préciser l'introduction des mesures agrotechniques destinées à élever la fertilité réelle des sols.

Les sols qui appartiennent à cette région ont en commun un certain nombre de qualités qui font de cette zone une des plus intensément cultivées de la province de *La Havane*. Parmi ces avantages on peut signaler :

- tout d'abord, le relief assez plat de la région ce qui permet la mécanisation de presque toutes les cultures.

- le substratum géologique qui constitue, du fait du karst, de grandes réserves d'eau de bonne qualité, pour assurer l'irrigation des cultures.

- en général, il s'agit de sols saturés où les conditions de pH (légèrement acide à neutre) sont favorables au développement d'une grande variété de cultures.

### A. - FERTILITE DES SOLS.

Dans les sols de cette région, le comportement du complexe absorbant ne constitue pas une limitation pour l'établissement des différentes cultures.

En ce qui concerne l'azote total, les sols présentent des teneurs qui varient de faible à moyen ; mais l'azote vraiment utilisable pour les plantes est faible. Il est donc nécessaire d'apporter aux sols des engrais azotés si l'on veut s'assurer des rendements corrects.

Les teneurs en phosphore total des sols, et en particulier celles des sols ferrallitiques, sont élevées. Les sols ferrallitiques aux teneurs les plus élevées sont des sols ferrallitiques modaux (Tableau 39). Cependant, malgré les teneurs élevées en phosphore total, les teneurs en phosphore assimilable sont assez faibles. Ceci veut dire que le phosphore est assez fortement fixé par les sesquioxydes et donc difficilement mis à disposition des plantes.

Les essais réalisés sur ces sols avec des engrais phosphatés donnent toujours des réponses positives aux applications ; cependant une grande partie des phosphates apportés est fixée par les sesquioxydes et n'est pas utilisée par les plantes (VILLEGAS, 1973 ; MATO et al. 1980 ; VANTOUR et al. 1980).

Le problème du phosphore dans ces sols est assez complexe et, en réalité, a été peu étudié. Cependant, les faibles teneurs en phosphore assimilable peuvent constituer une limitation, surtout quand il s'agit de cultures exigeantes. Il faudra alors envisager des applications phosphatées, mais en tenant compte des possibilités de blocage par les sesquioxydes de fer d'aluminium.

En ce qui concerne le potassium, on pense que les différents types de sols sont assez bien approvisionnés en cet élément. Des travaux récents effectués dans les sols ferrallitiques rouges cultivés en canne à sucre, montrent très peu de réponses aux applications potassiques (RUBIO et al. 1980).

#### B. - LES CONTRAINTES QUI PEUVENT LIMITER L'UTILISATION DES SOLS.

Après l'étude des sols de cette région et la réalisation de la carte des sols établie, on a pu dégager les facteurs les plus importants qui peuvent limiter l'usage des sols (Tableau 40). Ces facteurs sont les suivants :

1. - La profondeur des sols
2. - La compacité
3. - L'hydromorphie
4. - Les risques de salinisation
5. - Les risques de sécheresse des sols.

Types de sols	Prof. en cm	D.apparente g/cm <sup>3</sup>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> %		K <sub>2</sub> O %		Réserves en Tn/ha			
			Total	Assim.	Total	Assim.	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>		K <sub>2</sub> O	
							Total	Assim.	Total	Assim.
Sols ferrallitiques	0 - 20	1,13	0,22	0,0094	0,39	0,012	5,04	0,21	8,81	0,27
Sols ferrallitiques rouges modaux	0 - 20	1,14	0,26	0,0059	0,23	0,013	5,93	0,13	5,24	0,30
Sols ferrallitiques rouges compacts	0 - 20	1,29	0,11	0,0058	0,10	0,010	2,84	0,15	2,58	0,26
Sols ferrallitiques hydromorphes	0 - 20	1,26	0,098	0,0055	0,22	0,009	2,47	0,14	5,54	0,23
Sols ferrallitiques jaunes	0 - 20	1,25	0,17	0,009	0,28	0,011	4,25	0,22	7,00	0,27
Sols hydromorphes	0,20	1,00	0,15	0,003	0,11	0,025	2,98	0,06	2,20	0,50

**Tableau 39 : Réserves en phosphore et potassium dans les sols de la plaine (résultats moyens)**

Contraintes limitations	Sols	f.	F. rouges modaux	F. rouges compacts	F. hydro- morphes	F. jaunes	Vertisols	Hydromorphes
Profondeur		+++	++	0	0	0	0	0
Compacité		0	+	+++	+	+	0	0
Hydromorphie		0	0	0	++	++	++	+++
Risques de salinisation		0	0	0	0	0	++	+++
Besoins en eau en saison sèche		++	+++	+++	++	++	+	+

Tableau 40 : Contraintes qui peuvent limiter l'utilisation des sols

f = fersiallitique

F = ferrallitique

1). *La profondeur des sols.*

Sans cette région, la profondeur des sols est assez variable, on y observe de grandes surfaces de sols peu et très peu profonds. Cette variation de la profondeur des sols est en rapport avec le caractère différentiel de l'altération des calcaires et aussi les affleurements de cette roche.

L'utilisation des sols qui appartiennent à ces zones - malgré leur fertilité naturelle - est assez limitée. Ce caractère empêche l'établissement de cultures plus exigeantes du point de vue enracinement profond et aussi la mécanisation des cultures.

2). *Compacité des sols.*

La compacité des sols en surface a été mise en évidence dans les sols profonds qui sont soumis à l'heure actuelle à une activité agricole intense. Cette compacité produit un changement dans les propriétés physico-chimiques et hydrodynamiques des sols. Elle affecte le développement du système racinaire des cultures et par voie de conséquence les rendements agricoles. En outre, cette compacité représente, du point de vue du travail du sol, une consommation plus forte d'énergie.

3). *L'hydromorphie.*

Les sols affectés par l'hydromorphie sont des sols à usage limité. Ils occupent une topographie assez basse, où la diminution du drainage interne entraîne des contraintes sévères pour certaines cultures qui ne sont pas capables de supporter l'excès d'eau.

4). *Les risques de salinisation des sols dans cette région sont limités aux sols à drainage ralenti situés près de la côte.*

5). *Les risques de sécheresse des sols affectent plus fortement les sols ferrallitiques, du fait de leur faible teneur en eau utile, essentiellement pendant la saison sèche.*

### C. - POTENTIALITE AGRICOLE ET USAGE DES SOLS.

1). *Les sols ferrallitiques.* Les contraintes qui limitent l'usage de ces sols sont leur faible profondeur et les affleurements de roches calcaires à la surface du sol, qui empêchent l'introduction de nouvelles techniques culturales. Dans ces sols on peut cultiver les plantes suivantes, en assurant toujours l'irrigation pendant la période sèche : fruits, bananes, maïs (*Zea mays*) et pâturages.

2). *Les sols ferrallitiques rouges modaux.* Ce sont des sols qui ont la meilleure productivité à Cuba. Dans ces sols, on peut obtenir plusieurs récoltes ; mais pour avoir de bons rendements et de manière régulière, il faut sauvegarder leur fertilité naturelle, surtout en ce qui concerne le danger d'un abaissement du pH et le maintien d'un taux convenable du phosphore assimilable. Un des points les plus importants est de garantir l'irrigation des cultures pendant la période sèche. Lorsque les sols ferrallitiques rouges modaux sont peu profonds, leur usage est limité par l'abondance des affleurements calcaires.

Les cultures les plus extensives et à bon rendement sont les suivantes : la canne à sucre, les agrumes, les bananes, les légumes et les cultures fruitières.

3). *Les sols ferrallitiques rouges compacts.* Ces sols ont les mêmes utilisations que ceux du sous-groupe modal, cependant la compacité peut limiter certaines cultures comme la canne à sucre où les rendements sont susceptibles de diminuer assez fortement. Pour améliorer ces sols, il faudrait faire des labours profonds et garantir l'irrigation.

4). *Les sols ferrallitiques hydromorphes et les sols ferrallitiques jaunes.* Ils présentent les mêmes contraintes. Dans tous ceux-ci les cultures sont plus limitées et d'une valeur agricole inférieure à celle des sous-groupes précédents. Dans la région, ils sont employés surtout pour la culture de la canne à sucre et des légumes ; mais

les rendements sont toujours plus bas en raison de leurs propriétés physiques et hydrodynamiques moins favorables.

5). *Les vertisols*. Ces sols par l'ensemble de leurs propriétés agronomiques sont de fertilité moyenne. Dans ces sols, la contrainte la plus sévère est celle du drainage. Quand ils occupent une topographie basse, l'eau s'accumule en surface et affecte le développement des cultures et aussi les rendements. On y cultive avec succès le riz, mais pour la canne à sucre, il faut prendre des mesures permettant de limiter les excès d'eau au cours de la saison pluvieuse.

6). *Les sols hydromorphes*. La position topographique de ces sols, ainsi que leur régime hydrique déterminent en grande partie leur potentialité agricole et les cultures qui peuvent s'y développer. Les meilleures cultures adaptées à ce milieu sont : le riz, les légumes, le maïs, les pâturages en utilisant des espèces résistant aux sels et la canne à sucre (avec des limitations sévères) à condition d'assurer un bon drainage.

#### D. - CONCLUSIONS.

Les sols qui appartiennent à cette région ont en commun des conditions tels que : un relief assez plat qui permet la mécanisation des cultures, des réserves d'eau de bonne qualité pour l'irrigation et un complexe absorbant saturé, à pH légèrement acide à neutre. Ces conditions font que cette région est particulièrement favorable au développement intensif de l'agriculture.

Les contraintes qui peuvent limiter l'utilisation des sols de cette région, sont : la profondeur, la compacité, l'hydromorphie, les risques de sécheresse du sol et les risques de salinisation. Ces contraintes peuvent devenir plus ou moins importantes suivant les exigences des cultures à établir.

Les sols ferrallitiques étudiés présentent une potentialité agricole élevée. Cependant, pour avoir de bons rendements et de façon régulière, il faudrait surveiller leur fertilité naturelle, surtout en ce qui concerne : l'abaissement du pH, le maintien des taux convenables en phosphore assimilable et azote. Egalement, il faut assurer l'irrigation des cultures pendant la période sèche.

## 6. CONCLUSION GENERALE.

La zone étudiée est située au Sud de *La Havane* entre *Guanajay* et *San Nicolas de Bari*, sur le rivage Sud de Cuba et appartient à la *Penillanura roja*. En effet, si elle s'adosse à des hauteurs de 100 à 250 mètres d'altitude, elle est plane avec une pente très faible vers le Sud ; les sols sont rouges à peu près partout, d'épaisseur modérée, rarement plus de 3 mètres, et ils reposent sur des roches calcaires, le plus souvent dures.

L'ensemble de la plaine est marquée par une évolution karstique avec surtout des formes en creux avec entre autres, dolines, ponors, rivières souterraines.

Un certain nombre de problèmes étaient posés pour les sols : les identifier, les caractériser, essayer d'établir leur mode de formation et leur relation avec les roches-mères possibles de la région, calcaires, péridotites ou autres roches. Un type particulier des sols (les sols ferrallitiques rouges compacts) a nécessité une étude plus poussée pour tenter d'en préciser les caractéristiques. La répartition des sols dans la plaine a été examinée ainsi que leurs possibilités d'utilisation.

1. Tout d'abord, en dehors des sols calcimagnésiques abondants surtout à l'extérieur de la plaine, des vertisols liés à des matériaux montmorillonitiques introduits dans la plaine, les sols sont des sols ferrallitiques peu épais mais surtout des sols ferrallitiques.

Ils ont été reconnus comme tels par leur morphologie (couleur, structure, succession des horizons) et leurs constituants organiques et minéraux. Les sols ferrallitiques qui couvrent les plus grandes surfaces sont caractérisés par des couleurs rouges ou jaunes, une texture argileuse, une structure polyédrique émoussée fine à moyenne, un passage très graduel d'un horizon à l'autre, une grande friabilité

(sauf pour les sols compacts). De plus, on observe une absence de minéraux argileux 1/1, l'abondance des oxydes et hydroxydes de fer (hématite et goéthite) et d'hydroxydes d'alumine (gibbsite et boémite). Toutefois à la différence des sols ferrallitiques d'autres parties du monde intertropical, ils sont caractérisés par un degré de saturation élevé (plus de 70%), un pH neutre ou très légèrement acide, ce qui peut être attribué à l'abondance des roches calcaires dans ou autour des profils.

2. A quel type de roche-mère doit-on rattacher ces sols ferrallitiques ? Les études sur les minéraux des sables des sols et des roches sous-jacentes montrent une très grande similitude.

Dans les roches, on observe des silicates de métamorphisme comme *staurotite*, *análousite*, *disthène* ainsi que des *grenats*, de *l'épidote*... Dans les sols les minéraux les plus résistants seuls subsistent comme les trois premiers nommés. Cette identité de minéraux fait penser à une étroite parenté entre les sols et les roches calcaires sous-jacentes.

Y-a-t-il possibilité de relation avec les péridotites, non présents dans le secteur étudié, mais abondants sur tout le territoire cubain ?

Les "traceurs" choisis ici ont été les oxydes de nickel, chrome et cobalt. Les teneurs observées dans les sols peuvent être considérées comme très modérées, alors que si l'on s'approche d'un massif de péridotites, les teneurs sont multipliées par dix (et celles en oxydes de fer multipliées par trois). Les teneurs en nickel, chrome et cobalt sont très voisines de celles que l'on trouve dans les roches calcaires sous-jacentes.

Y-a-t-il une possibilité de relation avec les roches métamorphiques, comme celles que l'on observe à l'*Ile des Pins*, dans la région de *Pinar del Rio* ou dans l'*Escambray*. Les relations directes sont peu probables, en raison de la distance, mais les relations indirectes, par l'intermédiaire de roches calcaires apparaissent certaines. En

effet, les minéraux des sables des sols de ces massifs sont les mêmes que ceux que l'on trouve dans le calcaire.

3. Comment la genèse des sols ferrallitiques s'est-elle développée à partir des roches calcaires ?

En dehors des minéraux énumérés précédemment, les calcaires contiennent des minéraux argileux et des hydroxydes de fer et d'alumine, du quartz et quelquefois des feldspaths très altérés.

Depuis l'émergence des calcaires (à partir du Miocène supérieur) l'altération des roches a été poursuivie en dépit des vicissitudes climatiques et paléogéographiques. Cette altération a porté sur les carbonates de calcium qui ont été peu à peu dissous et éliminés, mais aussi sur les constituants non carbonatés. Les silicates de métamorphisme, le quartz ont bien résisté. Par contre, les minéraux argileux 2/1 identifiés dans les roches (montmorillonite, illite interstratifiées) ont disparu, sauf parfois à proximité de la roche-mère. Ils sont remplacés par des minéraux 1/1 (métaballoysite et fire-clay). Les minéraux argileux 1/1 de la roche sont livrés aux sols. Il en est de même des petites quantités d'hydroxydes d'aluminium (gibbsite et boehmite). Il est intéressant de signaler que ce dernier minéral, lorsqu'il est présent dans le sol, l'est toujours également dans la roche. Le minéral ferrugineux des roches est presque toujours la goethite ; dans le sol par contre, il s'agit d'hématite.

Par conséquence, les sols ferrallitiques ont pu se former, après décarbonatation, à partir de résidus des roches calcaires. Les minéraux altérables (minéraux primaires ou minéraux argileux 2/1) ont disparu tandis que s'accumulaient les minéraux argileux 1/1 ; la métaballoysite, fréquente dans les résidus des roches, évolue elle-même en fire-clay. Les hydroxydes de fer sont remplacés par des oxydes, les hydroxydes d'aluminium s'accumulent relativement. Il en est de même des silicates de métamorphisme.

C'est à partir de tous ces constituants que se développent les divers sols ferrallitiques.

4. Une catégorie de sols ferrallitiques rouges particuliers est constituée par les *sols compacts*. Ils occupent dans cette plaine une superficie assez importante et sont toujours associés aux sols ferrallitiques rouges modaux. Les sols compacts présentent un profil de 1 à 2 mètres d'épaisseur ; la différenciation en horizon est bien marquée, la structure est polyédrique moyenne avec une sous-structure polyédrique fine et bien développée. Ils sont toujours affectés en profondeur par l'hydromorphie.

Les sols compacts diffèrent plus nettement des sols modaux par leur densité apparente plus élevée ; ils présentent une porosité totale importante (45 à 55%) mais avec une réduction très forte de la porosité pour l'air, leur forte cohésion conduit à une résistance plus élevée à la pénétration et à une diminution très forte de la perméabilité du sol.

La diminution du drainage interne des sols ferrallitiques rouges compacts a pour effet de réduire le fer amorphe en profondeur au profit des formes cristallisés du fer. Ceci se traduit par l'abaissement de la stabilité de la structure, le degré plus faible de micro-agrégation et aussi des valeurs plus fortes de la densité apparente.

La compaction produite par les passages répétés d'engins agricoles est localisée dans les sols compacts aux horizons de surface. Or, les horizons compacts des sols étudiés ne sont pas les horizons de surface ; aussi est-il peu justifié d'en attribuer la compacité à l'action des engins agricoles.

Il est peu probable que la compacité de ces sols, dans certains horizons, puisse être attribuée à un phénomène de lessivage de l'argile. Dans ces sols l'augmentation de l'argile dans l'horizon (B) ne se traduit pas par la formation d'un ventre caractéristique d'argile. De plus, on n'y observe pas de revêtements argileux et les rapports teneur en argile de A/teneur en argile de (B) sont toujours inférieurs à 1,2

La compacité des sols ferrallitiques rouges est attribuée aux liaisons établies entre les oxydes de fer et la métahalloysite ou le fire-clay. Ces liaisons, avec un squelette du sol plus sableux, conduisent à la formation d'un assemblage interne du sol à forte cohésion. Il se développe alors principalement des micropores. Ce processus est très fortement influencé par les variations climatiques saisonnières ; lorsque le dessèchement du sol se poursuit, l'assemblage devient de plus en plus serré et donne au sol une consistance ferme à très ferme à l'état sec.

Dans les sols ferrallitiques rouges compacts, le comportement des propriétés physiques et hydriques provoque une diminution du drainage et par voie de conséquence une altération plus faible de minéraux du sol (par comparaison avec les sols modaux) ; il en résulte le maintien de la métahalloysite relativement altérable associée à des fire-clay et de faibles teneurs en gibbsite.

5. L'étude détaillée des sols de cette région a montré leur grande variété. Cette différenciation morphopédogénétique est très étroitement liée à la topographie, à la nature et à la perméabilité de la roche-mère.

Dans la plaine, la séquence des sols liés génétiquement est la suivante :

Sols fersiallitiques → Sols ferrallitiques rouges modaux →  
Sols ferrallitiques rouges compacts → Sols ferrallitiques hydromorphes → Sols ferrallitiques jaunes → Sols hydromorphes.

6. Dans la plaine étudiée est associée l'influence des facteurs climatiques, topographiques, des grandes réserves d'eau dans les roches sous-jacentes et des propriétés physico-chimiques des sols favorables à la plupart des cultures. Si on fait un bon usage des sols en tenant compte des facteurs limitants, on peut escompter de bons rendements.

## 7. BIBLIOGRAPHIE.

- ACADEMIA DE CIENCIAS DE CUBA y ACADEMIA DE CIENCIAS DE LA U.R.S.S., 1970 - Atlas nacional de Cuba, 132 p.
- 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.M.), 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. Cienc. 3 : 47-80.
- ALBEAR (J.F.), 1941 - Estudio geológico de los suelos de la provincia de La Habana.  
Revista Bimestre Cubana. La Habana : 1-31.
- ALBEAR y ITURRALDE VINENT (M.), 1977 - Texto explicativo al mapa geológico de La Habana. Escala 1/250.000.  
Instituto de Geología. Acad. Cienc. de Cuba.
- ALEIXANDRE (T.), 1967 - Estudio de un suelo rojo mediterráneo en Almagro (Cuidad-Real).  
Anal. Edaf. y Agrob. 26 : 1200-1209.
- ALIAS (L.J.), LINARES (P.) y ORTIZ (R.), 1977 - Suelos forestales de la Sierra de la Pila (Murcia). IV. Mineralogía de arcillas.  
Anal. Edaf. 36 (9-10) : 1029-1046.
- ASCANIO (O.), BOUZA (H.), 1979 - Propiedades físicas e hidrofísicas de los suelos húmicos carbonáticos de Cuba.  
Revista. Recursos Hydraulicos 2 : 20-35.
- AUBERT (G.), 1954 - Les sols latéritiques.  
Congr. Sci. du sol (Léopoldville), 5. pp. 103-118.
- AUBERT (G.), SEGALEN (P.), 1966 - Projet de classification des sols ferrallitiques.  
Cah. ORSTOM, sér. Pédol., 4 (4) : 97-112.
- AUBERT (H.), PINTA (M.), 1971 - Les éléments traces dans le sol.  
Travaux et Documents de l'O.R.S.T.O.M., 11, 104 p.

- AUDRY (P.), COMBEAU (A.), HUMBEL (F.X.), ROOSE (E.), VIZIER (J.F.), 1973 - Essai sur les études de dynamique actuelle des sols. Définition - Méthodologie - Techniques - Limitations actuelles. Quelques voies de recherches possibles. ORSTOM, bulletin 2.
- BAISRE (J.), 1972 - Caracterización química de tres tipos de suelos de Cuba. Acad. Cien. Cuba. sér. Suelos 15 : 1-23.
- BATES (Th.F.), 1960 - Rock weathering and clay formation in Hawai. Miner. Industr., 29 (8) : 4-6.
- BENDER (J.), 1970 - Effect of some factors on compaction in the top layer of arable soils. Zesz., probl., Postip., Nauk roln., 99 : 127-146.
- BENNETT (H.H.), Y ALLISON (R.V.), 1928 - Los suelos de Cuba. Algunos nuevos suelos de Cuba. Ed. Revolucionaria, La Habana, 1962, 375 pp.
- BERMUDEZ (P.J.), 1963 - Las formaciones geológicas de Cuba. Ministerio de Industrias. Instituto Cubano de recursos minerales. La Habana. 177 pp.
- BLIC (P.de), 1976 - Le comportement des sols ferrallitiques de Côte d'Ivoire après défrichement et mise en culture mécanisée. Rôle des traits hérités du milieu naturel. Cah. ORSTOM, sér. Pédol., 14 (2) : 113-130.
- BLUME (H.P.) 1968 - Zum mechanismus der Marmorierung und Konkretionsbildung in Stauwasserböden. Z. Pflanz. Düng. Bodenkunde, Bd., 119, 2, 124.
- BONIFAS (M.) 1959 - Contribution à l'étude géochimique de l'altération latéritique. Thèse Doctorat ès Sciences Strasbourg. Mém. Serv. Carte Géol. Als-Lorr., 17, 159 pp.
- BORHIDI (A.), et HERRERA (R.A.), 1977 - Génesis, características y clasificación de los ecosistemas de sabanas de Cuba. Ciencias biológicas, Acad. Cien. Cuba. 1 : 115-130.
- BOSCH (D.), CAMACHO (E.), et al, 1978 - Informe de los suelos ferralíticos rojos de Cuba. Instituto de Suelos. Acad. Cien. Cuba : 78 pp.
- BOSCH (D.), CAMACHO (E.), et SEGALÉN (P.), 1980 - Les sols ferrallitiques rouges typiques à Cuba. Cah. ORSTOM, sér. Pédol. (à paraître)

- BRINKMAN (R.), 1970 - Ferrollysis, a hydromorphic soil forming process. *Geoderma*, 3 : 199-206.
- BURNS (D.J.), 1961 - Some chemical aspects of Bauxite Genesis in Jamaica. *Economie Geology*. 56 (7) : 1296-1303.
- BUSTO (R. del.), INIGUEZ (L.), y MATEO (J.), 1976 - Sobre la tipología del carso de la provincia de la Habana. *Ciencias, Universidad de la Habana. Geografía sér. 7.*, 12 : 3-23.
- BUTTERLIN (J.), 1977 - Géologie structurale de la région des Caraïbes (Mexique, Amérique Centrale, Antilles, Cordillière Caraïbes) Masson, Paris, 259 p.
- CAMACHO (E.), BAHAMONDE (A.), et RODRIGUEZ (F.), 1980 - Modificación del método de Endrey para la determinación del hierro libre mediante espectrometría de absorción atómica. II. Jornada Científica. *Instituto de Suelos. Acad. Cien. Cuba. La Habana. Febrero 1980.*
- 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* : 77-88.
- CAMACHO (E.), BOSCH (D.), et PAULIN (J.R.), 1979 - Caracterización de un suelo ferralítico formado a partir de caliza dura. *Ciencias de la Agricultura. Acad. Cien. Cuba. 4* : 69-77.
- CAMACHO (E.), BOSCH (D.), et RUIZ (J.), 1980 - Contenido y formas del hierro en los suelos ferralíticos Rojos de Cuba. *Ciencias de la Agricultura. Acad. Cien. Cuba. 5* : 73-87.
- CAMACHO (E.), et PAULIN (J.R.), 1977 - Etude des sols de la région de "Melena del Sur". Echelle 1/20.000. *Inst. des sols. Acad. Sci. Cuba. 69 pp. multigr.*
- CAMACHO (E.), PLANAS (R.), et ALVAREZ (F.), 1980 - Influencia de diferentes niveles de compactación sobre la germinación de la caña de azúcar, en suelo ferralítico Rojo compactado. II. Jornada Científica. *Instituto de Suelos. Acad. Cien. Cuba. La Habana, Febrero 1980.*
- CANARACHE (A.), 1965 - Les facteurs de la résistance mécanique des sols et les méthodes utilisées pour les étudier. *Science du sol. 2* : 89-107.

- CHATELIN (Y.), 1972 - Les sols ferrallitiques. t.1, 98 p. ; t.3, 144 p.  
Init. Doc., Tech. ORSTOM, Paris.
- CHAUVEL (A.), PEDRO (G.) et TESSIER (D.), 1976 - Rôle du fer dans l'organisation de matériaux kaoliniques. Etudes expérimentales.  
Science du Sol. 2 : 101-113.
- CHAUVEL (A.), 1977 - Recherches sur la transformation des sols ferrallitiques dans la zone tropicale à saisons contrastées. Evolution et réorganisation des sols rouges de moyenne Casamance (Sénégal).  
Travaux et Doc. de l'ORSTOM, 62, 532 p.
- CLEMENTE (L.), PANEQUE (G.) et GARCES (W.), 1976 - Rubefacción e hidromorfismo en suelos de terrazas del Guadalquivir. II. Datos físicos, químicos y mineralógicos.  
Anal. Edaf. e Agrob. 35 (3-4) : 417-430.
- COLECTIVO DE AUTORES, 1979 - Vocabulaire de la géomorphologie.  
Hachette, Paris, 218 p.
- COLMET-DAAGE (F.), DELAUNE (M.), ROBBARD (F.), LOHIER (G.), YOUANCE (J.), GAUTHEYROU (M.), FUSIL (G.), KOUKOU (M.), 1969 - Caractéristiques et nature de la fraction argileuse de quelques sols rouges d'Haïti situés sur calcaires durs.  
Cah. ORSTOM, sér. Pédologie, 7 (3) : 345-413.
- CORBEL (J.), 1957 - Les karsts du N-O. de l'Europe et de quelques régions de comparaison. Etude sur le rôle du climat dans l'érosion calcaire.  
Init. des Etu. Rhodan. de l'Univ. de Lyon, 541 p.
- C.P.C.S, 1967 - Classification des sols.  
E.N.S.A. Grignon, 87 p. multigr.
- DABIN (B.), 1966 - Application des dosages automatiques à l'analyse des sols.  
Cah. ORSTOM, sér. Pédologie, 4 (1) : 77-103.
- DAVITAYA (F.F.) et TRUSOV (I.I.), 1965 - Los recursos climáticos de Cuba.  
Acad. Sciences Cuba, 68 p.
- DE ENDREDY (A.S.), 1963 - Estimation of iron oxides in soils and clay by a photolytic method.  
Miner. Bull., 29 (5) : 209-217.
- D'HOORE (J.), FRIPIAT (J.J.), GASTUCHE (M.G.), 1954 - Les argiles tropicales et leurs oxydes de fer de recouvrement.  
C.R. 2° Conf. Interaf. des sols, Leopoldville, 1 : 257-260.

- DOBROVOL'SKIY (V.V.), 1978 - Mangrove soils of Cuba and their mineralogical characteristics.**  
Soviet. Soil Science, 2 : 650-657.
- DUCLOZ (C.), 1963 - Etude géomorphologique de la région de Matanzas, Cuba, avec une contribution à l'étude des dépôts quaternaires de la zone Habana-Matanzas.**  
Genève, Suisse, 16 (2) : 351-402.
- FAUCK (R.), 1964 - Los suelos rojos debilmente ferraliticos de Africa occident.**  
VIII Intern. Congress. of Soils Science. Bucharest.  
Romania pp. 1-12.
- FAURE (A.), 1971 - Contribution à l'étude du mécanisme du compactage des sols. Notion de potentiel de lubrification.**  
Ann. Agron., 22 (5) : 487-513.
- FAURE (A.), 1976 - Influence de la phase argileuse sur la susceptibilité au tassement des sols.**  
Science du sol, 2 : 121-130.
- FIÈS (J.C), 1971 - Recherche d'une interprétation texturale de la porosité des sols.**  
Ann. Agron., 22 (6) : 655-685.
- 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 : 15-25.
- FORMELL CORTINA (F.) et BUGUELSKIY (Y.Y.), 1974 - Contribución a la géologia de Cuba.**  
Inst. de Géologia Acad. Cienc. de Cuba. Publicación especial, La Habana, 2 : 117-139.
- GEDROIZ (R.R.), 1963 - Chemical analysis of soils (khimiches analiz. pochv.).** Transl. from russian, Jérusalem, Israël, Program for scientific.  
Translation, t. 2, 602 p.
- GILDAYAL (B.P.) et SATYNARAYANA (T.), 1965 - Effet of compaction on the physical properties of four different soils of India.**  
J. Indian, Soc. Soil Sci., 13 : 149-155.
- GOLDICH (S.S.) and BERGQUIST (H.R.), 1945 - Aluminous lateritic soil of the Sierra de Bahorico area Dominican Republic, W.I.**  
Géologie Investigation in the American republics. Bulletin 953-C.

- GRADWELL (M.W.), 1968 - Compaction of pasture topsoils under winter grazing.  
Trans. 9th Int. Congr. Soils Sci., 3 : 429-435.
- GUERRA (A.) et al., 1972 - Los suelos rojos en España. Contribución a su estudio y clasificación.  
Publicación del Depto. de suelos del Inst. de Edaf. y Biología Vegetal, C.S.I.C. Madrid, 253 p.
- GUTIERREZ DOMECH (R.) et RIVERO (F.R.), 1975 - Estudio geológico-geomorfológico de la zona de Cayajabos, Madruga, Habana.  
Acad. Cien. Cuba, sér. Geográfica, 12 : 1-34.
- HERNANDEZ (A.) et al., 1980 - Clasificación genética de los suelos de Cuba, 1979.  
Inst. de suelos, Acad. Cien. Cuba La Havane, pp.1-28.
- HOYOS (A.), PALOMAR (M.L.) et HERNANDO (J.), 1977 - Génesis de un suelo desarrollado sobre material calizo.  
Anal. Edaf. y Agrob., 36 (3-4) : 193-218.
- HUANG (P.M.), 1966 - Mechanism of neutral fluoride interaction with soil clay minerals and silica solubility scale for silicates common in soils.  
Thèse Univ. Wisconsin. Dissert. Abstr., 26 : 6269-6270
- HUMBEL (F.X.), 1974 - La compacité des sols ferrallitiques du Cameroun : une zonalité dans ce milieu en relation avec la dessiccation saisonnière.  
Cah. ORSTOM, sér., Pédologie, 12 (1) : 73.
- I.N.R.A., Dirección nacional Suelos y Fertilizantes, 1975 - Suelos de Cuba.  
Orbe, La Habana, vol. 1, 352 p.
- INSTITUTO DE SUELOS, 1973 - Génesis y clasificación de los suelos de Cuba.  
Academia de Ciencias de Cuba, 284 p.
- INSTITUTO DE SUELOS, 1975 - Segunda clasificación genética de los suelos de Cuba.  
Acad. Cien. Cuba, sér. Suelos, 23 : 1-25.
- ITURRALDE-VINENT (M.A.), 1977 - Los movimientos tectónicos de la etapa de desarrollo platafórmico en Cuba. Inst. de Geología, Acad. Cien. Cuba.  
Informe Cientif. Técnico, 20 : 1-24.

- IVANOV (A.), TODOROVA (A.), 1971 - Differential porosity in relation to soil compaction.  
Sbornik Trudov po Agronomicheskoj Fizike, 32 : 169-174.
- KACHINSKII (N.A.), 1958 - Composición mecánica y microestructura de los suelos. Métodos de su estudio.  
M. Edí., Academia de Ciencias, URSS, 192 p.
- KARTASHOV (P.I.), NESTOR (A.M.), CHERNIAKOVSKI (A.) et PEÑALVER (L.), 1976 - Descripción de algunas formaciones geológicas del sistema cuaternario de Cuba, reconocidas recientemente.  
Acad. Cien. Cuba, sér. Geológica, 26 : 1-12.
- KLIMES SMITH (1969) - Resúmenes de los trabajos investigativos. II - Física de suelos.  
Inst. Nac., de Reforma Agraria, Marzo 1964-1968, 600 p.
- KRÜGER (W.), 1970 - Effect of different degrees of soil compaction on soil physical properties and plant growth.  
Albrecht, Thaer-Arch., 14 : 613-624.
- LACKOVIĆ (L.) et BESTOK (T.), 1971 - Effect of stubblecultivation on the specific resistance of leached brown soils near Venkovici.  
Agronomski, Glasnik, 33 (7-8): 463-473.
- LAMOUREUX (M.), 1967 - Altération des roches dures carbonatées.  
Hannon, Revue Libanaise de Géographie, vol. II : 25-34.
- LAMOUREUX (M.), THIEBAUD (M.) et SAHYOUNI (M.), 1968 - Roches carbonatées et eaux du Liban.  
Magon, I.L.R.A., sér. Scient., N° 22, 29 p.
- LAMOUREUX (M.), 1971 - Etat et comportement du fer dans les sols formés sur roches carbonatées au Liban.  
Science du sol, 1 : 85-101.
- LAMOUREUX (M.), 1972 - Etude des sols formés sur roches carbonatées. Pédogenèse fersiallitique au Liban.  
Mémoires, ORSTOM, 56, Paris, 266 p.
- LAMOUREUX (M.) et al. 1975 - Les formes de départ et les conditions de l'entraînement des principaux constituants minéraux de l'altération et de la pédogenèse.  
A.T.P.-C.N.R.S.-O.R.S.T.O.M., N° 1949, 45 p.
- LAMOUREUX (M.), LOYER (J.Y), BOULEAU (A.) et JANOT (C.) - 1977 - Formes du fer des sols rouges et bruns fersiallitiques. Application de la spectrométrie Mössbauer.  
Cah. ORSTOM, sér. Pédol., 15 (2) : 199-210.

- LEON VALLEJO (M.), SEGALEN (P.), PINTA (M.) et FUSIL (G.), 1972 -  
Genèse des minéraux argileux des sols dérivés de roches  
calcaires dans l'Etat de Chiapas (Mexique).  
C.R. Acad. Sc. (Paris), sér. D : 194-197.
- LILIEMBERG (D.A.), 1973 - Algunos problemas de la formación del relieve  
de l'archipiélago Cubano.  
Inst. de Geografía, sér. Espeleológica y carsológica, 48 :  
1-15.
- LUTZ (J.F.), 1936 - The relation of free iron in the soil to aggrega-  
tion.  
Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 1 : 43-45.
- MAERTENS (C.), 1964 - La résistance mécanique des sols à la pénétration :  
Ses facteurs et son influence sur l'enracinement.  
Ann. Agron., 15 (5) : 539-554.
- MARRERO (L.), 1950 - Geografía de Cuba.  
La Habana, 300 p.
- MASSIP (S.) et YSALGUE (S.), 1942 - Introducción a la geografía de  
Cuba.  
La Habana, 250 p.
- MATO (A.), LOPEZ (M.), GOMEZ (U.) et MORALES (M.), 1980 - Determinación  
del grado de fijación del fosforo de los fertilizantes por  
los suelos utilizando el isotopo de P<sup>32</sup>. II. Jornada Cientí-  
fica, Inst. de Suelos.  
Acad. Cienc. Cuba. La Habana, Febrero 1980.
- MAYO (A.N.), ISMAEL (P.), KARTASHOV, 1972 - El problema de las oscila-  
ciones climáticas en el pleistoceno de Cuba. Actos N° 2.  
Resumen del IV Consejo Científico. Inst. de Geología,  
Acad. Ciencias de Cuba. La Habana.
- MERKLE (F.G.), 1955 - Oxidation-reduction processes in soils. In Che-  
mistry of the soil, (F.E. Bear, ed.),  
Reinhold Publishing Corporation, New York, pp. 200-218.
- METWALLY (S.Y.) et al. 1972 - A study on the porosity of compacted soils.  
Egyptian Journal of soil Science, 12 (1) : 107-119.

- NALOVIC (L.T.) et HUMBEL (F.X.), 1971 - Contribution à l'étude de la localisation des différentes formes de composés du fer au sein de quelques sols du Cameroun.  
Cah. ORSTOM, sér. Pédologie, 9 (3) : 271-306.
- NEMEC (F.), PANOS (V.), STELCL (O.), 1967 - Contribution to Geology of Western Cuba.  
Acta Univ. Palackianal Olomuc, Fac. R.N., 26, Olomuc, pp. 83-123.
- NICOU (R.), 1974 - Contribution à l'étude et à l'amélioration de la porosité des sols sableux et sablo-argileux de la zone tropicale sèche. Conséquences agronomiques.  
L'Agronomie tropicale, 11 : 1100-1127.
- NICOU (R.), 1975 - Le problème de la prise en masse à la dessiccation des sols sableux et sablo-argileux de la zone tropicale sèche.  
Agronomie tropicale, 4 : 325-343.
- NUÑEZ JIMENEZ (A.), 1965 - Geografia de Cuba.  
La Habana, 526 p.
- NUÑEZ JIMENEZ (A.), PANOS (V.) et STELCL (O.), 1968 - Carsos de Cuba.  
Acad. Cienc. Cuba, Sér. Espeleológica y carsológica, N° 2, 47 p.
- NUÑEZ 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 of iron compounds in soils.  
Soils and Fert., 26 (2) : 69-80.
- OLMEDO (J.L.), 1971 - Algunos aspectos de la distribución y formas del hierro en los suelos.  
Ann. Edaf. y Agrob., 30 (5-6) : 441-632.
- PONNAMPERUMA (F.N.), 1964 - Dynamic aspects of flooded soils and the nutrition of rice plants. Mineral nutrition of the rice plant.  
Inst. Rice Inst., Symposium 1964, Filipinas.
- PONNAMPERUMA (F.N.), TIANGO (E.M.) et LOY (T.), 1967 - Redox equilibria in flooded soils : I. The iron hydroxides  
Soil Science, 103 (6) : 374-382.

- RICHE (G.), 1975 - Les sols et les améliorations des conditions agrosylvo-pastorales dans le bassin du Wabi Shebelle (Ethiopie). Cah. ORSTOM, sér. Pédologie, 13 (3/4) : 195-222.
- RIVERO (L.) et AGAFONOV (A.), 1978 - Comparación de dos métodos de desperción 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. Cienc. Cuba, 2 : 107-120.
- RUBIO (R.), VALIENTE (M.) et SHISHOV (L.), 1980 - Fertilización potásica en la caña de azúcar. II. Jornada Científica. Inst. de Suelos, Acad. Ciencias Cuba. La Habana, Febrero 1980.
- SCHWERTMANN (U.), 1959 - Mineralogische und chemische Untersuchungen an Eisenoxiden in Böden und Sedimenten. Neues Jb Mineral. Abh. 93, pp. 67-86.
- SCHWERTMANN (U.), FISCHER (W.R.), PAPENDORF (H.), 1968 - The influence of organic compounds on the formation of iron oxides. C.R. 9th Intern. Soil Sc. Cong. (Adélaïde), I. pp. 645-655.
- SCHWERTMANN (U.), FISCHER (W.R.) et TAYLOR (R.M.), 1974 - New aspect of iron oxides formation in soil. 10th Inter. Congr. Soil Sci., Moscou, Vol. 6, secc. 1, pp. 237-249.
- SEGALEN (P.), 1957 - Les sols dérivés des roches volcaniques basiques à Madagascar. Mém. IRSM, D, III, pp. 1-181.
- SEGALEN (P.), 1964 - Le fer dans les sols. Initiation Docum. Tec. ORSTOM, 4 : 1-140.
- SEGALEN (P.), 1968 - Note sur une méthode de détermination des produits minéraux amorphes dans certains sols à hydroxydes tropicaux. Cah. ORSTOM, sér. Pédologie, 6 (1) : 105-126.
- SEGALEN (P.), 1969 - Contribution à la connaissance de la couleur des sols à sesquioxydes de la zone intertropicale : Sols jaunes et sols rouges. Cah. ORSTOM, sér. Pédologie, 7 (2) : 225-236.
- SEGALEN (P.), BOSCH (D.) et CAMACHO (E.), 1976 - Generalidades sobre suelos ferralíticos de Cuba. Conferencia Inst. de suelos, Acad. Cienc. Cuba, Noviembre 1976.

- SHERMAN (G.D.), 1950 - Gibbsite-rich soils of the Hawaiian Islands. Univ. Hawaii Agric. Expt. Stn. Bull., 116, pp. 1-23.
- SHISHOV (L.L.), SHISHOVA (V.S.) et VILLEGAS (R.), 1973 - Fertilidad de los suelos de algunas áreas cañeras de Cuba. Acad. Cienc. Cuba, 88 p.
- SIEFFERMANN (G.), BESNUS (Y.) et MILLOT (G.), 1968 - Evolution et dégradation des phyllites dans les vieux sols ferrallitiques sur basalte du Centre Cameroun. Science du Sol, 2 : 105-117.
- SIEFFERMANN (G.), 1973 - Les sols de quelques régions volcaniques du Cameroun. Variations pédologiques et minéralogiques du milieu tropical. Mémoires ORSTOM, N° 66, 183 p.
- SINGH AMBIKA, 1964 - Soil compaction effects on the growth of sugar cane roots. Science and culture, N° 12.
- TESSIER (D.), 1975 - Recherches expérimentales sur l'organisation des particules dans les argiles. Thèse-Cons. Nat. des Arts et Métiers, 231 p. multigr.
- TESSIER (D.) et PEDRO (G.), 1976 - Les modalités de l'organisation des particules dans les matériaux argileux. Evolution des principales argiles Ca au cours du phénomène de retrait. Science du sol, 2 : 85-100.
- VAN DER WATT (H.H.), 1969 - Influence of particle size distribution on soil compactibility. Agrochemophysica. 1 : 79-86.
- VANTOUR (A.), MAGALYS VALDES, BERONCELE (H.), CARRERA (Z.), 1980 - Las reservas de fósforo en los suelos ferralíticos rojos. II. Jornada científica, Inst. de Suelos, Acad. Ciencia Cuba, La Habana, Febrero 1980.
- VEREDECHENKO YU (P.), 1968 - Propiedades físicas y régimen hídrico y térmico de los suelos ferralíticos calcicos de Cuba. Pochvovedenie, 12 : 29-38.
- WITTSELL (L.E.), HOBBS (J.A.), 1965 - Soil compaction effects on field plant growth. Agron. J., 57 : 534-537.
- YAALON (D.H.), 1955 - Notes on the clay mineralogie of the major soil types of Israël. Bull. Res. Comm. of Israël, Vol. 5B, pp. 161-167.

ZONN (S.V.), GARCIA (R.), CABRER (P.), 1966 - Ensayo de clasificación de los suelos de Cuba.  
Pochvovedenie, 2 : 17-30.

ZONN (S.V.), 1968 - Particularidades de la formación del suelo y principales tipos de suelos de Cuba.  
Academia de Ciencias URSS, Ed. Nauka, Moscou (Traducción).



Photo 1. : Vue générale de la plaine étudiée

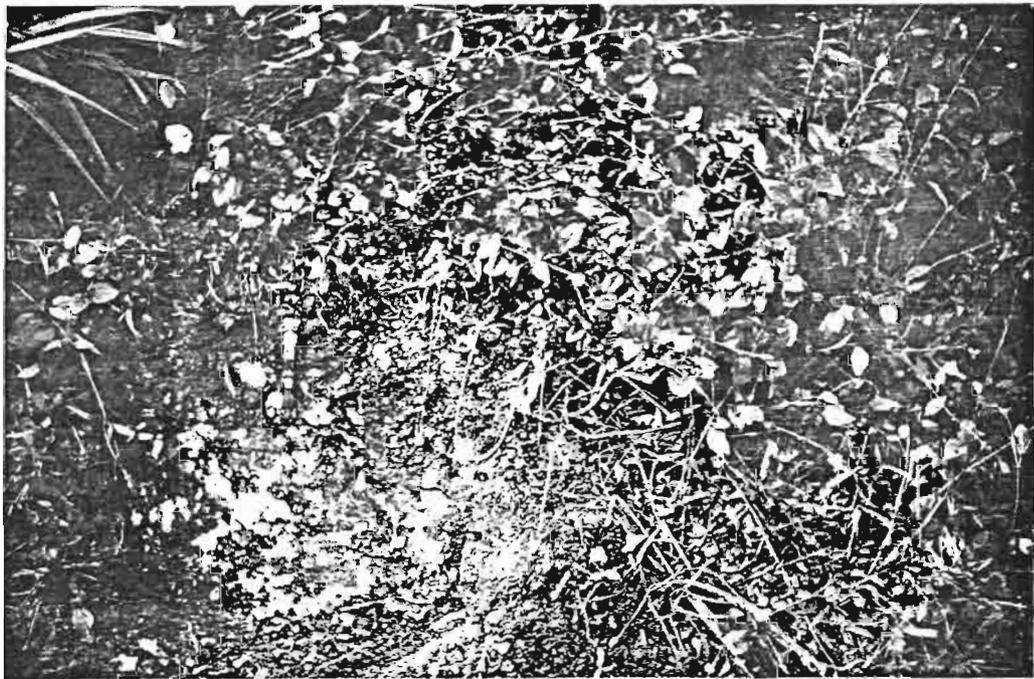


Photo 2. : Sols calcimagnésiques carbonatés  
Rendzine sur calcaire tendre.



Planche II

Photo 1 : Sol ferrallitique faiblement désaturé en (B) typique modal.

Photo 2 : Altération d'une roche calcaire, renfermant des poches de sol ferrallitique typique.

Photo 3 : Bloc de calcaire à l'intérieur d'un profil de sol ferrallitique typique.



Photo 1 : Sols ferrallitiques, faiblement désaturés, en (B) typiques compacts.



Photo 2 : Structure des sols ferrallitiques rouges compacts.

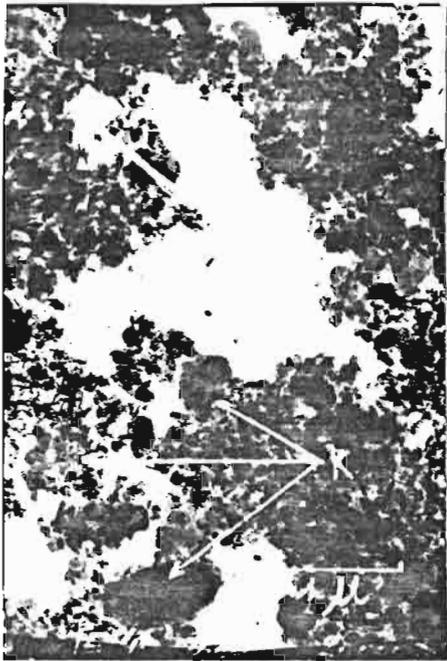


Photo 1 : Echantillon TE-4 (0-10)  
x 20000.  
Kaolinite désordonnée (k) un peu  
arrondie ; amas constitués par  
la cimentation de cristallites de  
kaolinite. Métahalloysite tubu-  
laire (M.H.)



Photo 2 : Echantillon TE-5 (12-21-  
x 10000.  
Boehmite bien cristallisée (Boe)  
gibbsite (Gi) ; métahalloysite  
(M.H.).

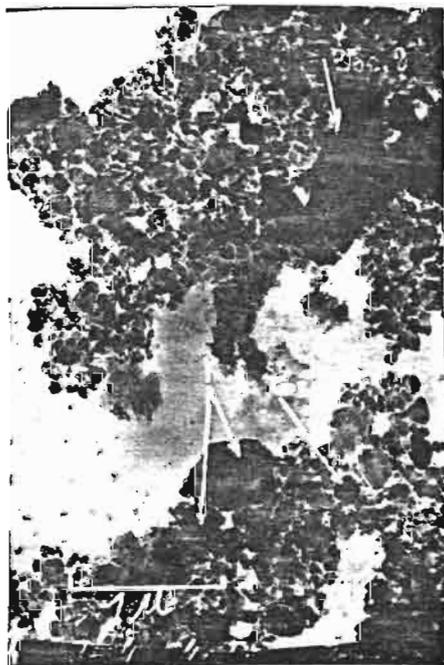


Photo 3 : Echantillon TE-4 (40-50) x 20000  
Kaolinites désordonnées (K) formant des  
amas. Métahalloysite tubulaire formant des  
amas (M.H.) ; gibbsite (Gi) ; Boehmite (Boe)

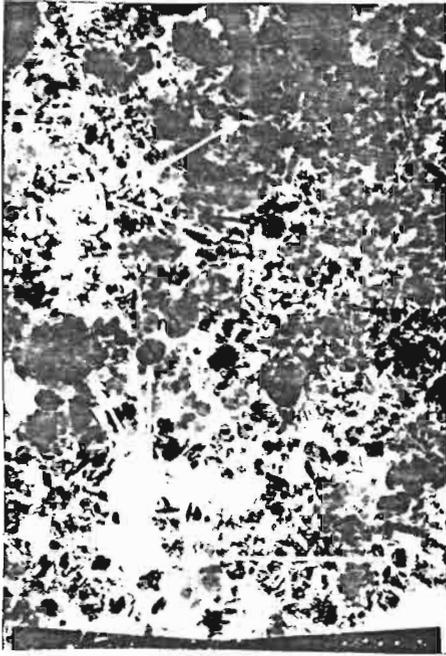


Photo 1

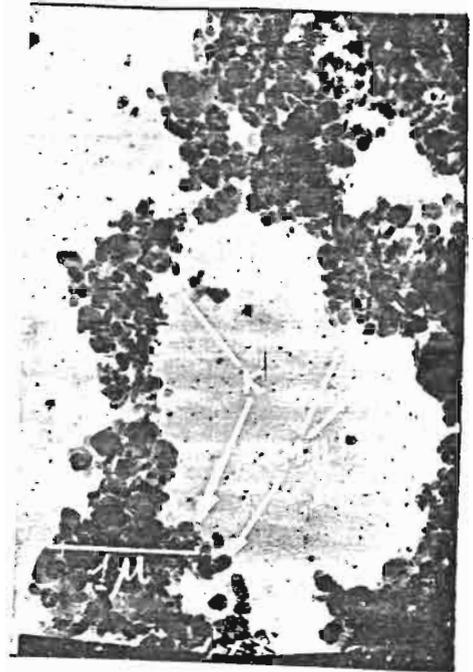


Photo 2

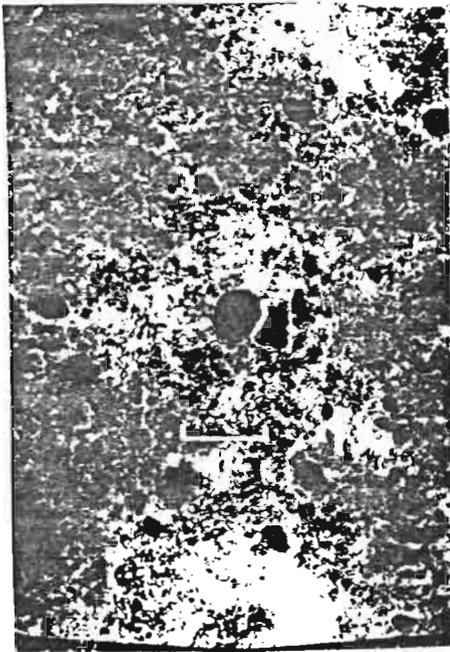


Photo 2.



Photo 4

Planche V, photos 1,2,3 et 4

Photo 1 : Echantillon TE-6 (0-10) x 20000. Métahalloysite tybulaire (M.H.) ;  
Kaolinite désordonnée formant de petites boules (K).

Photo 2 : Echantillon TE-6 (45-55) x 20000. Cristallites de kaolinite dés-  
sordonnée (K) assez arrondies ; Métahalloysite tubulaire (M.H.).

Photo 3 : Echantillon TE-6 (45-55) x 10000. Gibbsite (Gi).

Photo 4 : Echantillon TE-6 (45-55) x 20000. Métahalloysite tubulaire (M.H.) ;  
boules de kaolinite désordonnée (K).

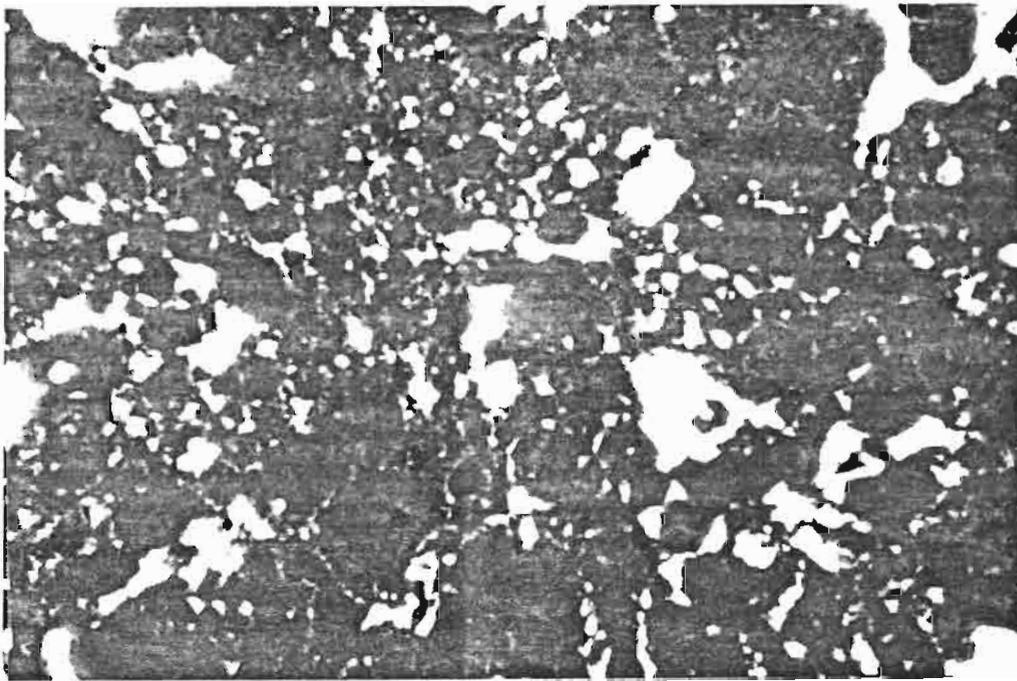


Photo 1 : Porosite des  
sols ferralli-  
tiques modaux.

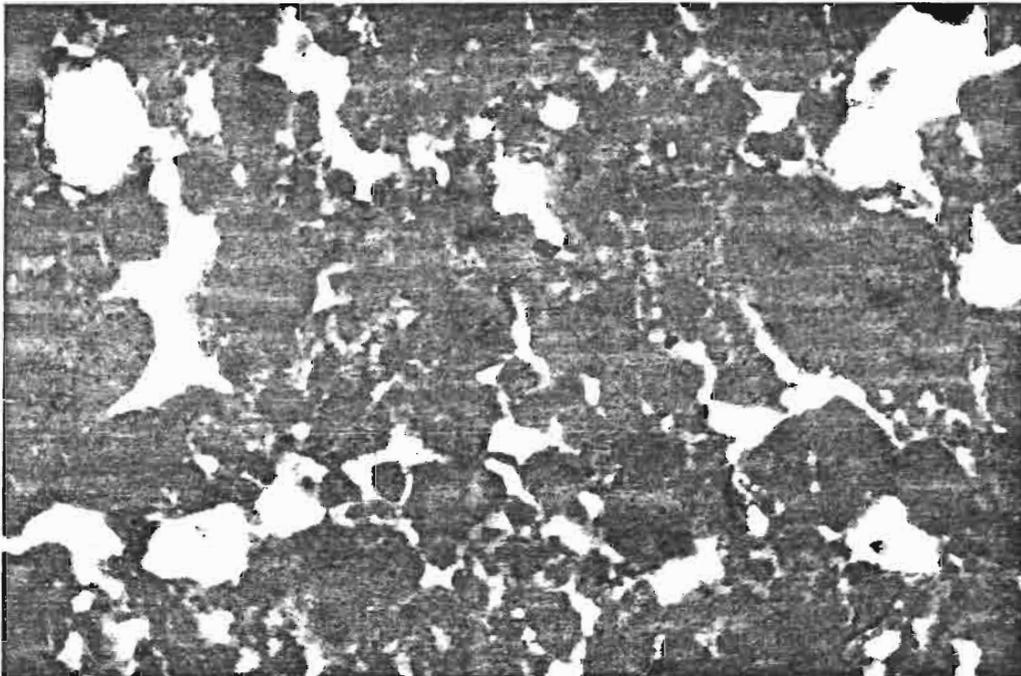


Photo 2 : Assemblage des  
peds.

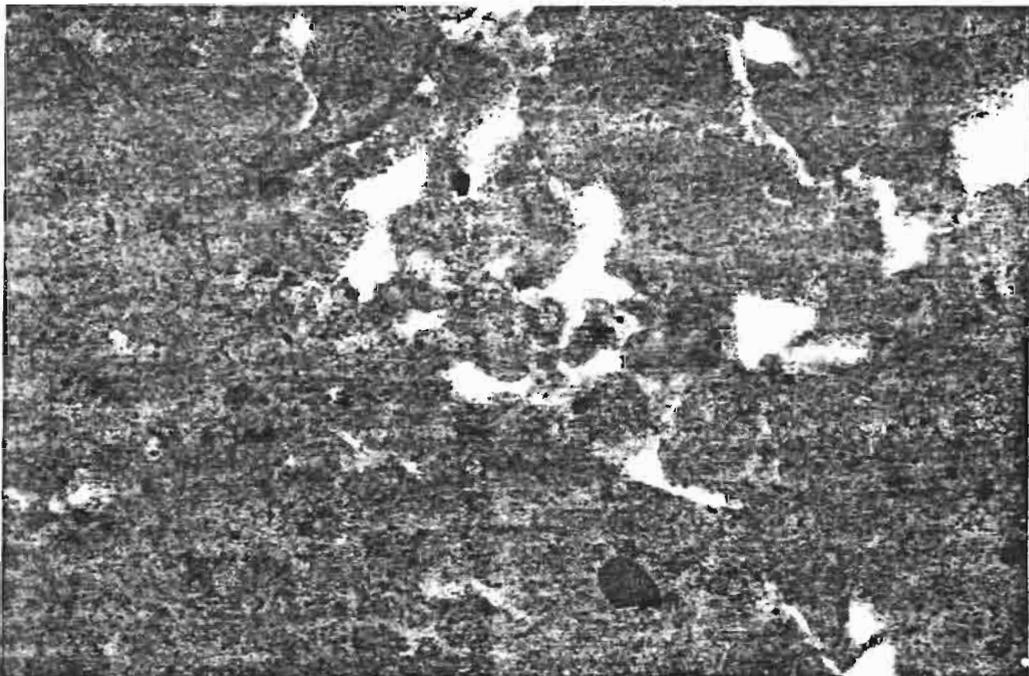


Photo 3 : Processus de ré-  
trécissement.

Planche VI : Micro-morpho-  
logie. Sols ferrallitiques  
rouges modaux.

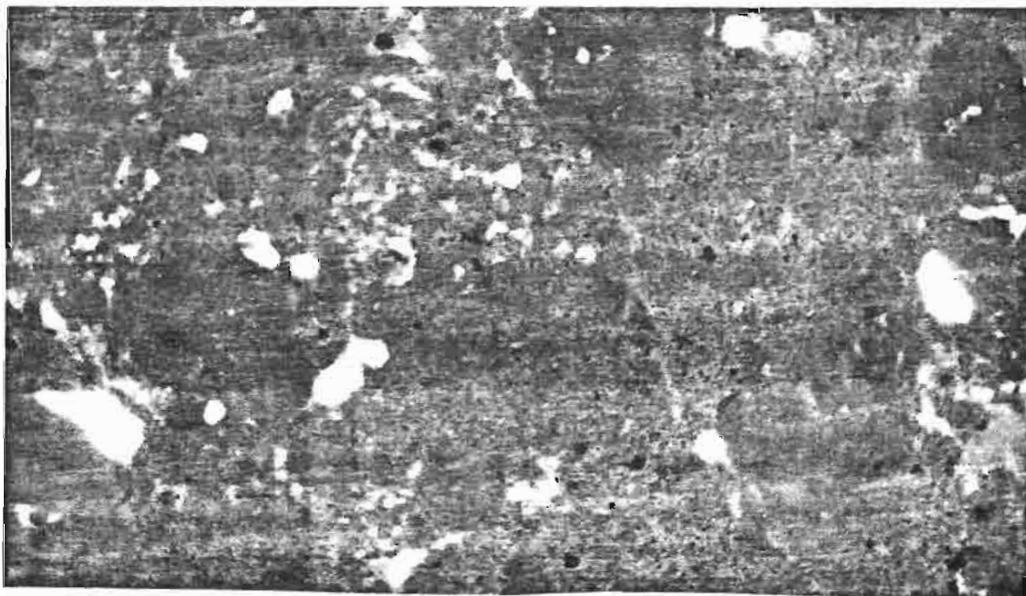
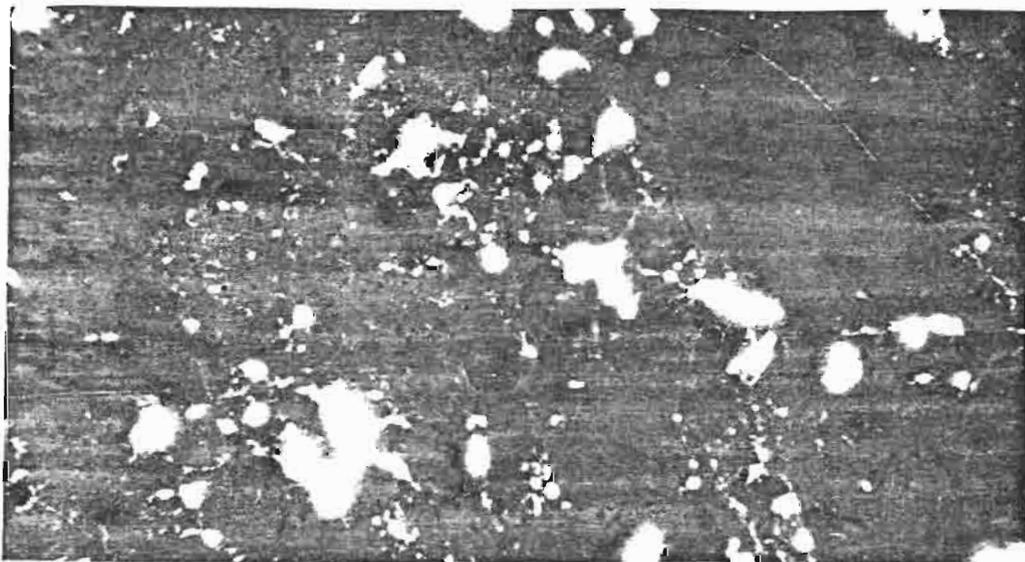
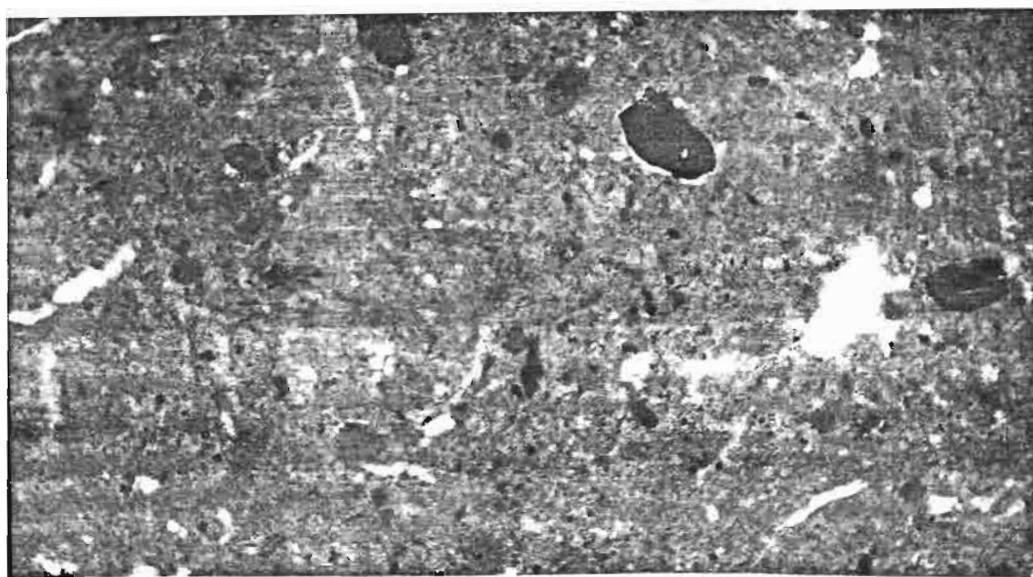


Planche VII : Micro-morphologie des sols ferrallitiques rouges compacts  
(Horizon A et (B).

Photo 1 : Prédominance de phase massive

Photo 2 : Rétrécissement de la surface porale

Photo 3 : Prédominance de micropores.