

F 24 292

UNIVERSITE DE NANCY I
C.P.B. et ORSTOM

UER STMCM

T H E S E
présentée à
L'UNIVERSITE DE NANCY I
pour obtenir
le titre de Docteur de 3ème Cycle
par

THÉODORE CHEVIGNARD

ETUDE DE LA FORMATION ACTUELLE
D'HORIZONS HUMIFÈRES EN MILIEU TROPICAL
CAS DES SOLS DE CULTURE "REMODELÉS" DE LA MARTINIQUE

Soutenue publiquement le 24 mai 1985
devant la Commission d'Examen

Membres du Jury

- MM. B. SOUCHIER, Professeur à l'Université de Nancy I
- N. LENEUF, Professeur à l'Université de Dijon
- J.F. TURENNE, Directeur de Recherche à l'ORSTOM
- F. ANDREUX, Chargé de recherche au C.N.R.S.
- C. FELLER, Maître de recherche à l'ORSTOM
- A. GUCKERT, Professeur à l'I.N.P.L., Nancy

cop
PR 204
48



F 24 292

AVANT-PROPOS

Je préfère ne pas citer le nom de ceux que j'ai le grand plaisir de remercier ici, pour l'aide qu'ils m'ont apportée dans la réalisation de ce travail : ils sont si nombreux que je risquerais d'en oublier. Ils se reconnaîtront dans les lignes qui suivent.

Ce sont tout d'abord ceux qui ont eu l'initiative de ce projet et qui ont permis mon départ Outre-Mer pour cette merveilleuse aventure. Ce sont d'autres encore, qui ont ensuite pris le relai et m'ont inlassablement conduit jusqu'au terme de cette étude, au prix de beaucoup de ténacité et de diplomatie ...

Ce sont également les équipes des différents laboratoires que j'ai fréquentés, qui ont toujours fait preuve de patience et de coopération.

Je n'oublie pas ceux qui m'ont guidé sur le terrain, par tous les temps, entre les rangs de canne à sucre ou de bananiers.

Un grand merci également aux artisans de la réalisation matérielle de ce document.

SOMMAIRE

INTRODUCTION

PREMIERE PARTIE : COMPARAISON GENERALE DES SOLS TEMOINS ET REMODELES

<u>CHAPITRE I</u> : LE MILIEU ET LES SITES ETUDIES	5
I. - PRESENTATION GENERALE DU MILIEU	
II.- LES SITES ETUDIES	7
<u>CHAPITRE II</u> : CONSIDERATIONS GENERALES SUR LE REMODELAGE	11
<u>CHAPITRE III</u> : ETUDE MORPHOLOGIQUE, PHYSICO-CHIMIQUE ET MINERALOGIQUE DES SOLS	15
I.- METHODES ANALYTIQUES	15
1.- Granulométrie	15
2.- Relations humidités-pF	15
3.- Stabilités structurales	15
4.- Densités apparentes	16
5.- Capacité d'échange cationique, bases échangeables, acidité d'échange	16
6.- Phosphore	16
7.- Minéralogie	16
II.- RESULTATS	
A.- Les ferrisols	17
1.- Caractères morphologiques	17
2.- Caractères minéralogiques	18
3.- Caractères physiques	19
4.- Caractères chimiques	22
B.- Les sols brun-rouille	25
C.- Les andosols	28

III.- CONCLUSIONS	32
<u>DEUXIEME PARTIE</u> : CARACTERISATION DES MATIERES ORGANIQUES	
<u>CHAPITRE I</u> : CINETIQUE DE RECONSTITUTION DU STOCK ORGANIQUE	39
I.- METHODES ANALYTIQUES	39
II.- RESULTATS	39
<u>CHAPITRE II</u> : DISTRIBUTION DES RESIDUS ORGANIQUES FIGURES ET DU COMPLEXE ORGANO-MINERAL	45
I.- METHODES ANALYTIQUES	45
1.- Fractionnement physique	45
2.- Détermination des teneurs en carbone et azote	45
II.- RESULTATS	46
A.- Problèmes méthodologiques et caractéristiques des fractions	46
1.- Les problèmes liés à la méthode	46
2.- Le problème général des sols sur matériaux d'origine volcanique	48
3.- Cas particulier des andosols	49
B.- Etude statique : comparaison des traitements et des divers types de sols	49
1.- Comparaison des différents types de sols sous végétation naturelle	49
2.- Effets de la mise en culture	50
3.- Effet du remodelage	51
C.- Etude dynamique : évolution des différentes fractions au cours des 4 mois suivant la récolte. Exemple d'un ferrisol	52
<u>CHAPITRE III</u> : ETUDE DES MATIERES HUMIQUES ET DES FORMES DE L'AZOTE	57
I.- METHODES ANALYTIQUES	57
A.- Extraction des composés humiques	57
1.- Extraction par le mélange pyrophosphate de sodium-soude 0,1M à pH 12	57
2.- Extraction à la soude diluée à pH 10	57

B.- Fractionnement physique des résidus inextractibles	59
C.- Purification des acides fulviques et humiques	59
D.- Méthodes de caractérisation des composés humiques	59
1.- Analyse élémentaire du carbone et de l'azote	50
2.- Encombrements moléculaires	50
3.- Absorption dans le spectre ultra-violet visible	59
4.- Spectrographie infra-rouge	60
5.- Titration des acidités	60
6.- Techniques hydrolytiques	60
II.- RESULTATS	61
A.- Composition globale de l'humus	61
1.- Extractibilité alcaline	61
2.- Propriétés optiques des extraits totaux	61
3.- Distribution des acides fulviques et des acides humiques	63
B.- Caractérisation des matières organiques humifiées	65
1.- Extractibilités comparées du carbone et de l'azote organiques	65
2.- Analyse physique et chimique des composés humiques extractibles purifiés	67
3.- Analyse chimique des composés inextractibles	75
III.- CONCLUSION	77
CONCLUSIONS GENERALES	81
BIBLIOGRAPHIE	
ANNEXES	

INTRODUCTION

En général, les études sur le stock organique des sols concernent des situations où les horizons humifères sont déjà constitués (NEWBOULD, 1980; Van VEEN et FAUL, 1981 ; VORONEY et al., 1981). Seuls des exemples exceptionnels (dépôts volcaniques, alluviaux et colluviaux brutaux) pourraient permettre d'étudier, in situ, les premières phases de pédogénèse, en particulier le développement d'horizons (A), A ou Ap sur des périodes relativement courtes (4 à 12 ans).

En Martinique, des aménagements agricoles récents ("remodelage" des terres) permettent d'aborder cet aspect : des horizons humifères se constituent actuellement à partir d'horizons B ou C, mis à l'affleurement récemment, dans divers types de sols.

En effet, le remodelage des terres est une opération très pratiquée en Martinique depuis 1960 pour les grandes exploitations. Il consiste en un nivellement des collines ("mornes"), afin de faciliter la mécanisation des cultures de canne à sucre, et accessoirement de banane.

La culture est implantée directement sur les horizons profonds ainsi mis à jour, ou sur les zones de bas de pente recouvertes des matériaux de profondeur (Figure 1). Un labour d'homogénéisation est réalisé, et une forte fumure de fond est apportée. Les horizons A₁₁ et A₁₂ ne sont pas conservés. Sur ces parcelles, la canne à sucre accuse un stress caractérisé par un jaunissement des feuilles et un moindre développement végétatif, entraînant une diminution des rendements en matière sèche.

Aussi, pour étudier, dès son stade initial, la constitution du stock organique d'un sol cultivé, la situation de "remodelage" apparaît exemplaire, d'autant que nous disposons de matériaux de minéralogies différentes (kaolinite, halloysite et allophane). De la rapidité de constitution du stock organique va dépendre l'évolution d'autres caractères édaphiques : physiques (structure et formation du complexe organo-minéral), chimiques (mobilisation d'éléments minéraux, nutrition minérale de la plante, azote) et biologiques (nitrification, etc...). Ces processus sont souvent interdépendants et fonction de la nature minéralogique du matériau.

Trois situations agronomiques (sol remodelé, agrosystème d'implantation ancienne et sol sous végétation naturelle) sont retenues, dans les trois contextes minéralogiques cités précédemment. Leur étude, déjà ancrée sur la description macro- et micro-morphologique des profils et leur analyse globale, est précisée par un inventaire et un bilan des constituants humiques et des complexes organo-minéraux impliqués dans la constitution des nouveaux horizons humifères.

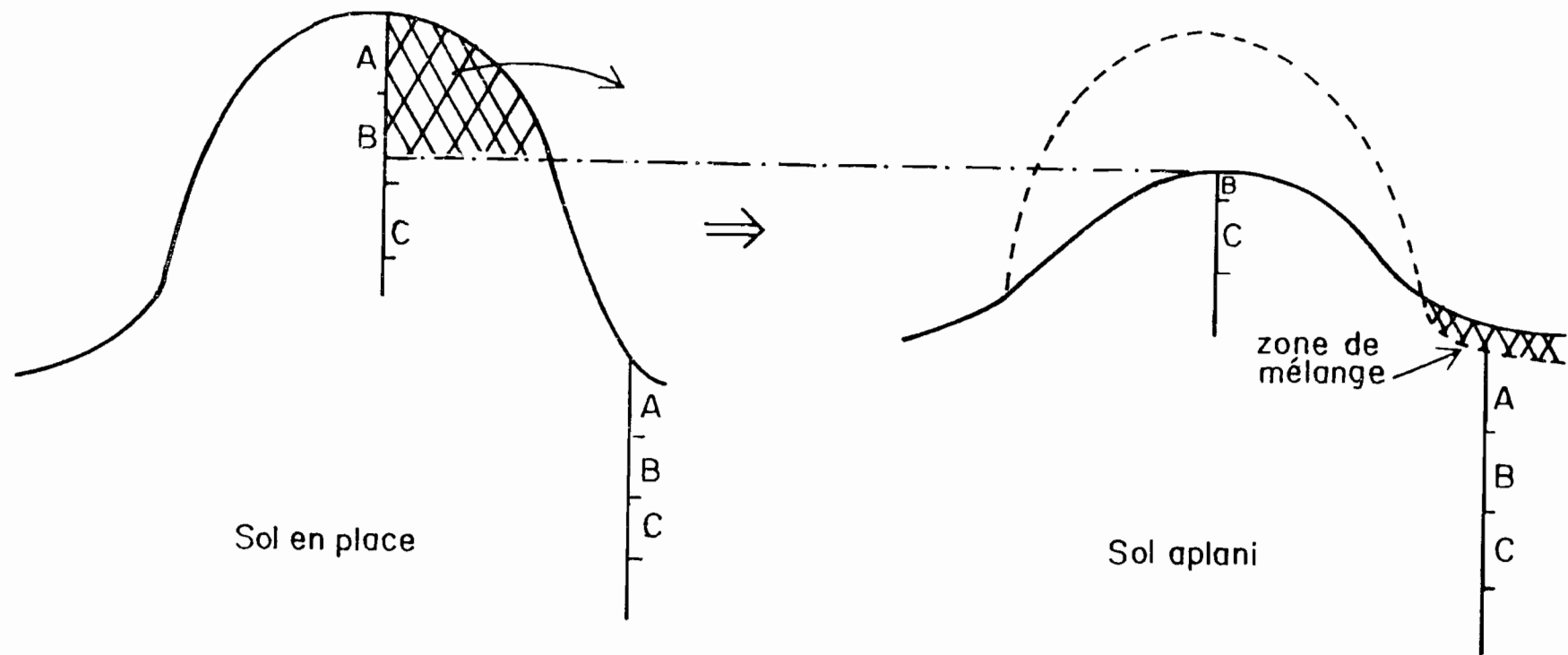


Figure 1.- Aplaniissement des sols cultivés.

PREMIÈRE PARTIE

COMPARAISON GÉNÉRALE DES SOLS TÉMOINS ET REMODELÉS

CHAPITRE I

LE MILIEU ET LES SITES ÉTUDIÉS

LE MILIEU ET LES SITES ÉTUDIÉS

I.- PRESENTATION GENERALE DU MILIEU

Le climat de la Martinique, par 14°40 de latitude Nord, est de type tropical humide. La pluviosité est élevée dans la région exposée à l'alizé atlantique ("versant au vent") et autour des puissants ensembles volcaniques du Nord (sommet de la Montagne Pelée : 8 m/an). Les régions abritées de l'alizé atlantique font partie d'un domaine plus sec, constitué par la Côte caraïbe et le sud de l'île.

La répartition des sols tient compte, dans une large mesure, de ces conditions climatiques (NATIVEL, 1980). La pluviosité, élevée en altitude, correspond à une altération en masse du matériau volcanique et le développement d'allophanes sur plusieurs mètres d'épaisseur : les sols formés sont des andosols.

Lorsqu'une période sèche apparaît dans l'année, le sol prend une couleur brun-rouille très caractéristique, liée à l'apparition d'oxydes de fer, ainsi qu'un aspect luisant et un peu gras, correspondant à la présence d'halloysite. L'appellation locale "Sol brun-rouille à Halloysite" (COLMET-DAAGE et LAGACHE, 1965) correspond à des sols bruns tropicaux ou bruns eutrophes, qui ont des caractères fersiallitiques indéniables.

Les ferrisols correspondent à une pluviométrie annuelle de 1,5 à 3 mètres. Ce sont des sols à hydroxydes de fer fortement individualisés, renfermant généralement une faible proportion de minéraux altérables dans les sables. On les situe à la charnière sols ferrallitiques-sols ferrugineux.

En dessous d'une pluviosité de 1 200 mm, apparaissent enfin les sols à montmorillonite, sols bruns vertiques ou vertisols, peu épais, avec passage brutal au substratum dur.

Le tableau I et la figure 2 résument les caractéristiques géographiques, climatiques et pédologiques des différentes stations étudiées.

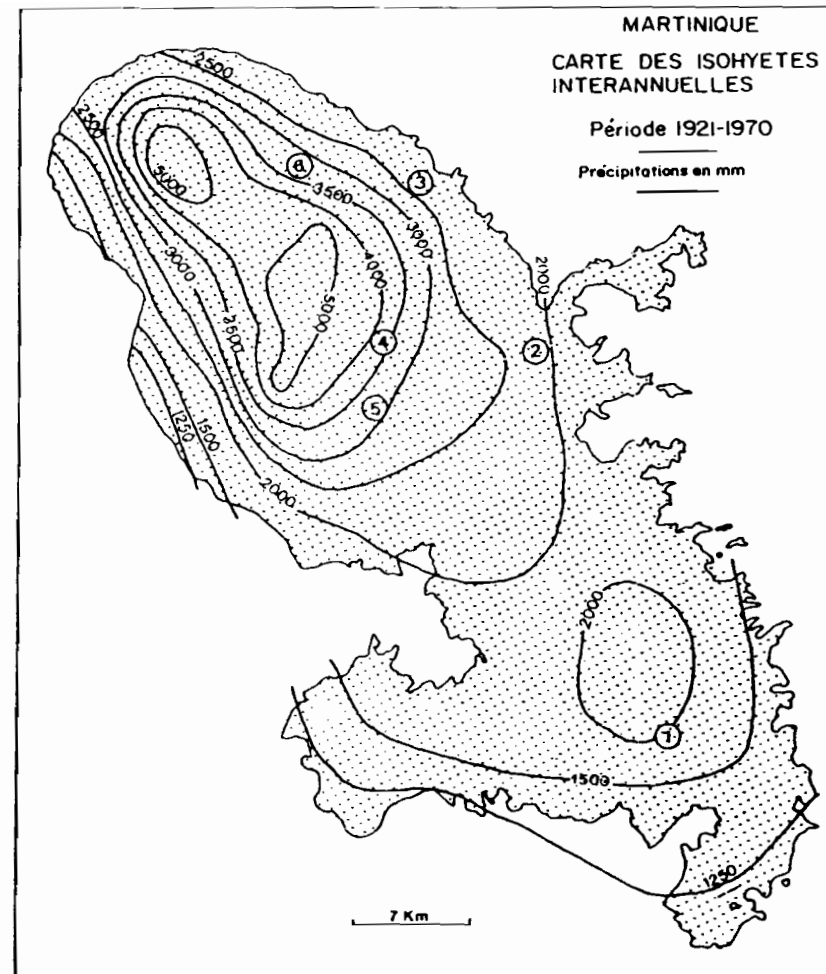
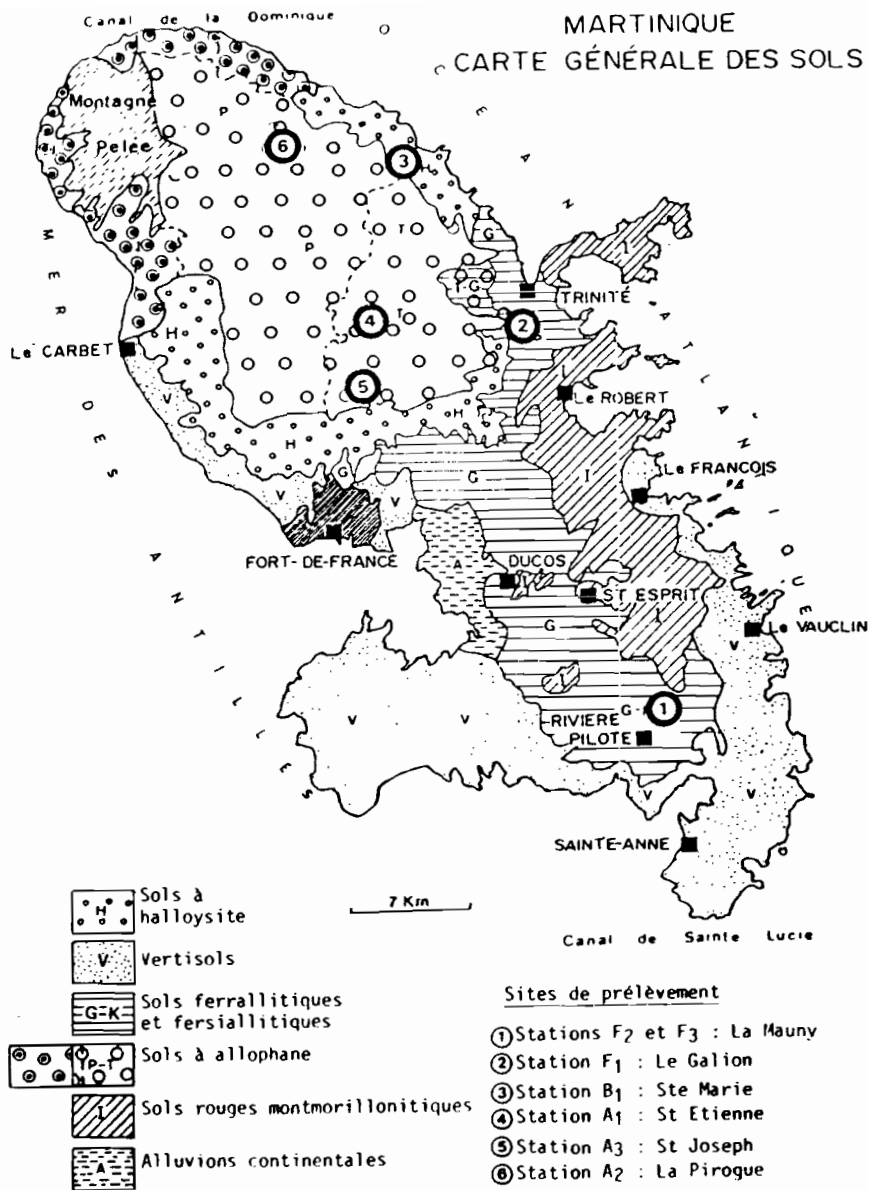


Figure 2.- Carte générale des sols et des isohyètes de la Martinique (source : Atlas de la Martinique)

Tableau I.- Caractéristiques géographiques, climatiques et pédologiques des différentes stations étudiées.

Type de sol	Localisation	Pluviométrie moyenne annuelle (mm)	N° Station	Traitement	Echantillon	N° Labo. (Y)
Ferrisol	GALION	1 816	F ₁	TN TC R ₁₀ R ₁₂	F ₁ TN F ₁ TC F ₁ R ₁₀ F ₁ R ₁₂	2656 2324 2216 2232
Ferrisol	LA MAUNY	2 150	F ₂	TN TC R ₆	F ₂ TN F ₂ TC F ₂ R ₆	2669 2240 2238
Ferrisol	LA MAUNY	2 150	F ₃	TC R ₇	F ₃ TC F ₃ R ₇	2308 2204
Sol brun-rouille	SAINTE-MARIE	2 153	B ₁	TN TC R ₄ R ₁₀	B ₁ TN B ₁ TC B ₁ R ₄ B ₁ R ₁₀	2676 2280 2278 2300
Andosol	ST-ETIENNE	2 955	A ₁	TN TC R ₈ R ₉	A ₁ TN A ₁ TC A ₁ R ₈ A ₁ R ₉	2639 2184 2186 2182
Andosol	LA PIROGUE	4 007	A ₂	TC R ₅ R ₈	A ₂ TC A ₂ R ₅ A ₂ R ₈	2200 2198 2202
Andosol	SAINTE-JOSEPH	3 211	A ₃	TN TC R ₇	A ₃ TN A ₃ TC A ₃ R ₇	2693 2631 2632

F = Ferrisol ; A = Andosol ; B = Sol brun rouille ; TN = Témoin sous végétation naturelle ; TC = Témoin sous culture ; R = sol remodelé avec l'âge porte en indice.

II.- LES SITES ETUDIES

Selon COLMET-DAAGE et LAGACHE (1965), les principales caractéristiques des trois types de sols retenus ici sont les suivantes :

* Les ferrisols (roche-mère : brèches ou coulées andési-labradoritiques anté-miocènes) : ils sont à la charnière sols ferrallitiques-sols ferrugineux. Les hydroxydes de fer y sont fortement individualisés et la proportion de minéraux altérables dans les sables est généralement faible. La fraction argileuse est en général constituée d'un mélange métahalloysite-kaolinite, avec présence ou non de montmorillonite.

* Les sols brun-rouille (roche-mère : projections cendreuse ou poncée andésitiques ou dacitiques perméables, datant du Pliocène) : suivant les conditions climatiques et le temps d'altération, ces sols se rapprochent des ferrisols, des sols ferrallitiques ou des sols bruns ferrallitiques. Les minéraux primaires sont visibles dans tout le profil. Le minéral argileux est du type métahalloysite et halloysite.

* Les andosols (roche-mère : projections andésitiques et labradoritiques sableuses ou graveleuses, très perméables, du Pliocène ou du Quaternaire) : un degré d'hydratation élevé caractérise ces sols, et l'apparition de gibbsite y coïncide avec un dessèchement temporaire de surface. La présence d'allophanes en quantités notables confère à ces sols une texture particulière de pseudo-limon souvent onctueux et savonneux (thixotropie). Les allophanes dits "de transition" renferment déjà une certaine proportion d'argiles métahalloysite ou halloysite.

CHAPITRE II

CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES SUR LE REMODELAGE



CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES SUR LE REMODELAGE

Les situations sur sols remodelés sont diversifiées, et ce n'est que par l'étude des profils qu'il est possible de reconstituer les opérations qui se sont succédées lors du remodelage.

Des épaisseurs de sol variables (0,5 à 6 m) sont décapées, et le volume de terre correspondant est, soit poussé en bas de pente, soit étalé sur la parcelle (régalage), pour obtenir finalement, dans les deux cas, un relief globalement aplani ou au moins régulier. Donc, selon le lieu du prélèvement, dans une même parcelle, on peut se situer :

- sur des horizons B ou C mis en surface : c'est le cas que nous nous efforcerons d'étudier et qui, en général, se situe en haut de parcelle,

- sur des horizons remaniés (voir "zone de mélange" dans la figure 1) relativement homogènes, ayant recouvert des sols remodelés ou des sols en place, selon que l'on se situe à mi-pente ou en bas de pente.

L'évocation de ces situations possibles est très schématique (Figures 1 et 3) et non exhaustive, mais reflète la majorité des cas rencontrés. Un autre facteur de diversification est l'épaisseur du matériau arasé. En effet, selon son importance, l'horizon mis en surface sera un horizon B ou C, ou même un horizon quelconque de sol initial, voire paléosol, c'est-à-dire que la nature du minéral argileux pourra différer selon le traitement (R ou TC) au sein d'une même station.

Ces considérations mettent en avant l'importance de la minéralogie comme critère de choix des sites à retenir pour l'étude de l'effet du minéral argileux dans la reconstitution du stock organique des sols remodelés.

La figure 3 permet de relier les différentes situations observées dans la station F1, où pour une minéralogie identique, les horizons mis à jours différent quant à la couleur et à la signification pédogénétique.

En R 12, un remodelage relativement important (4 ou 5 mètres de matériau arasé) atteint un matériau bariolé, à couleur dominante rouge ; En R 10, un remodelage plus modéré amène en surface un matériau bariolé, à dominante jaune. L'ouverture d'un profil sur une zone nouvellement remodelée (ancien talus) a permis de relier entre eux ces horizons d'altération différents et de les situer par rapport au profil type de la station. Le remodelage (R 12) avait en fait, en interprétant le matériau rouge, mis à jour un ferrisol enfoui.

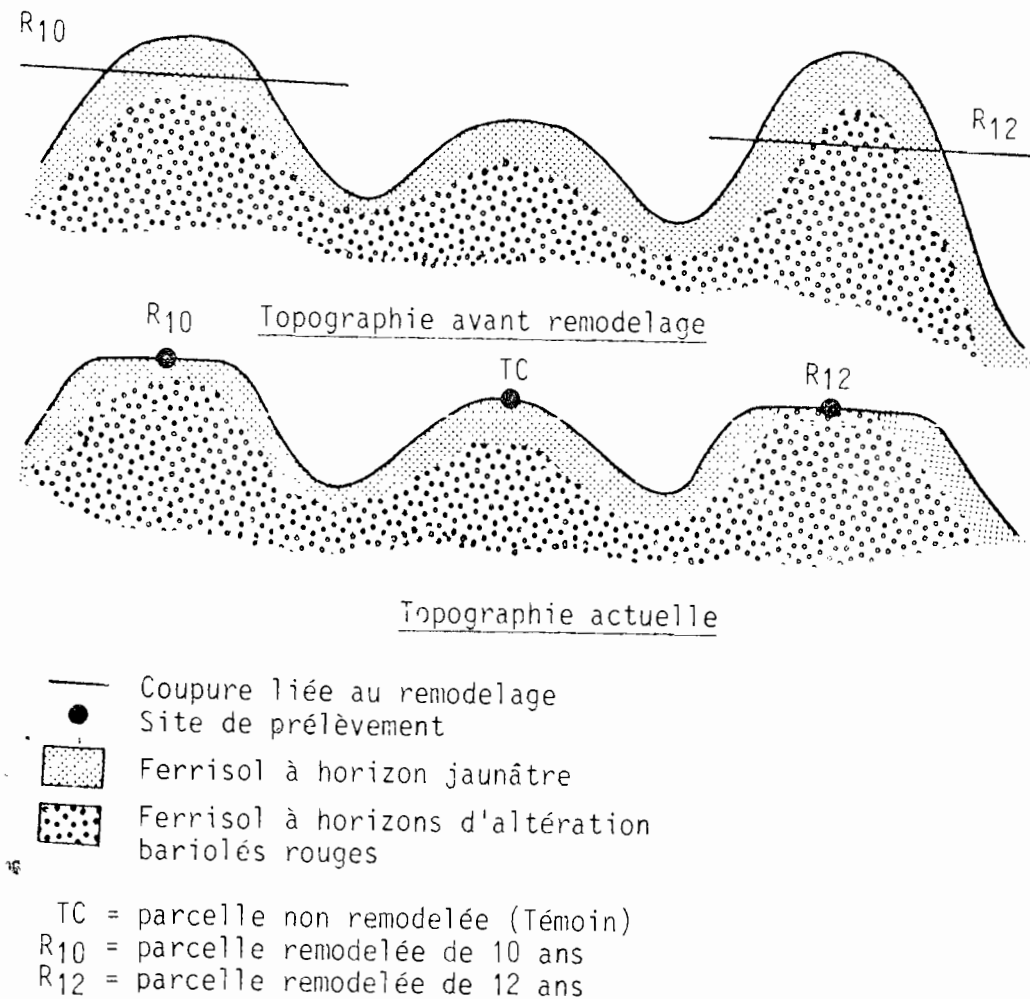


Figure 3.- Exemples de modification de la topographie et des affleurements sous l'action du remodelage (Station F1, "Le Galion").

CHAPITRE III

ÉTUDE MORPHOLOGIQUE, PHYSICO-CHIMIQUE
ET MINÉRALOGIQUE DES SOLS



ÉTUDE MORPHOLOGIQUE, PHYSICO-CHIMIQUE ET MINÉRALOGIQUE DES SOLS

I.- METHODES ANALYTIQUES

1.- Granulométrie

L'analyse mécanique est réalisée selon la méthode internationale (BONNEAU et SOUCHIER, 1979), avec détermination des fractions fines (0-2 et 2-20 μm) par prélèvement à l'aide de la pipette de Robinson.

Dans le cas des sols contenant des allophanes en quantité notable, la dissolution des ciments minéraux amorphes est réalisée par traitement acide jusqu'à pH 3,5, sous contrôle pH-métrique. En outre, les fractions grossières sont traitées aux ultra-sons (15 à 20 minutes dans 5 ou 7 volumes de milieu de dispersion) selon COLMET-DAAGE et al. (1972), afin d'en optimiser la dissociation.

2.- Relations humidités-pF

Les humidités aux pF 2,5 - 3 - 4,2 sont déterminées à l'aide d'un appareil à pression "Soil Moisture", sur des échantillons séchés à l'air, et rapportées en pour cent de sol séché à 105°C.

3.- Stabilités structurales

La stabilité structurale est appréciée par l'indice I_S (HENIN et al., 1969), calculé à partir du pourcentage d'agrégats supérieurs à 200 μm stables à l'eau après prétraitement à l'alcool, au benzène et sans prétraitement, et du pourcentage d'éléments fins (0-20 μm) obtenus après ces opérations. Les sables grossiers sont partiellement déduits des agrégats stables.

4.- Densités apparentes

Les densités apparentes sont mesurées, in situ, selon la méthode du cylindre (DUCHAUFOUR, 1984).

5.- Capacité d'échange cationique, bases échangeables, acidité d'échange

La capacité d'échange cationique est déterminée par percolation à l'acétate d'ammonium normal neutre. Le percolat est utilisé pour le dosage des cations séparément, par absorption atomique (Mg) ou par émission (Technicon auto-analyseur) pour K, Na et Ca.

Les ions à caractère acide, Al^{3+} et H^+ , sont extraits par KCl 1,0 N avant d'être soit titrés par acidimétrie dans le cas des fortes teneurs, soit dosés par absorption atomique (Al).

6.- Phosphore

Le phosphore total du sol, obtenu par attaque par HNO_3 concentré (ébullition 5 heures), est dosé en colorimétrie à 625 nm avec le réactif sulfomolybdique, en présence d'acide ascorbique en excès.

Le phosphore dit "assimilable" est dosé selon AYRES (1952) : la solubilisation du phosphore est réalisée dans de l'acide sulfurique tamponné à pH 2 avec du sulfate d'ammonium. Le rapport sol/réactif est de 1/100.

7.- Minéralogie

La nature des minéraux argileux a été étudiée par diffractométrie aux rayons X (équipement INNEL-CGR).

Pour quelques échantillons, on a déterminé les fractions amorphes et cristallisées du fer, de l'aluminium et du silicium par extraction dans le tampon oxalique (réactif de TAMM) à pH 3 et le citrate Na-Bicarbonate Na-dithionite Na à pH 9,7 (réactif MEHRA-JACKSON). Les cations Fe, Al et Si du filtrat d'extraction sont dosés par absorption atomique (Techtron VARIAN).

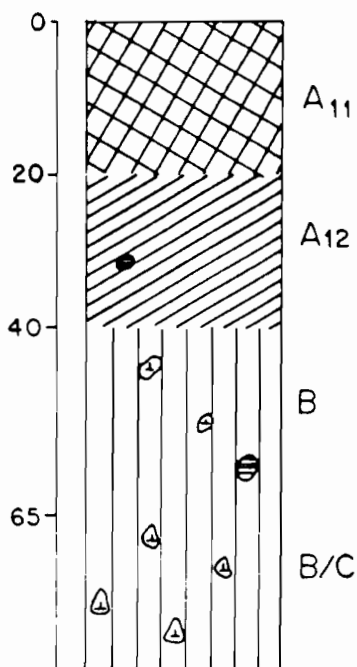
En outre, pour déceler la présence d'allophanes sur le terrain, nous avons pratiqué le test FNA (FIELDES et PERROTT, 1966), fondé sur la réaction $Al(OH)_3 + 6 NaF \rightarrow 3NaOH + Na_3AlF_6$. L'échantillon frais est déposé sur un papier filtre préparé à l'avance, imprégné de phénolphtaléine à 1 % dans l'éthanol. L'addition de 2 à 3 gouttes de solution de FNa à 40 g/l entraîne le développement rapide (entre 0 et 20 secondes) d'une zone rose sur le papier filtre si le sol contient des allophanes.

II.- RESULTATS

A.- Les Ferrisols (Stations F₁, F₂ et F₃)

1.- Caractères morphologiques

a) Profil type (Savane arborescente)



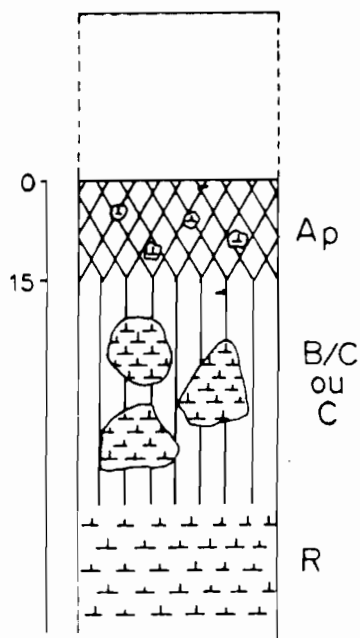
Coloration brun grisâtre ou brun rougeâtre. Texture argileuse et structure moyenne à fine.
 A₁₁ Nombreuses racines moyennes et fines. Bonne activité biologique. On distingue un sous-horizon (20-40 cm) à structure plus grossière.

Couleur brun jaunâtre ou rouge jaunâtre. Texture argileuse et structure massive.
 B Présence de lithoreliques (taches rouilles ou jaunes diffuses) rappelant l'horizon sous-jacent.

Epaisseur variable, mais dépassant souvent la profondeur du profil (> 40 cm). Identique à B, mais présentant plus de lithoreliques.
 B/C

b) Profil remodelé

Le remodelage conduit à un remaniement radical du profil. Celui-ci est ramené à deux horizons :



Faiblement structuré.
 Ap Nombreux éléments de lithoreliques altérées.

Matériau bariolé à structure de roche-mère (tufs volcaniques) conservée.
 B/C ou C

Roche.
 R

* Signification des symboles : voir DUCHAUFOR (1984) (annexe VIII)

c) Effet de la mise en culture

Par rapport au profil type "naturel", la mise en culture (traitement TC) se traduit surtout par l'apparition en surface (horizon Ap) d'une structure grenue bien développée, très meuble. Sur le plan de la macromorphologie, on ne constate donc que relativement peu de modifications.

d) Micromorphologie

Le témoin cultivé (F₁TC) se caractérise par un plasma gris, strié, imprégné de façon homogène par la matière organique, avec des concrétions ferrugineuses assez nombreuses (Photo 1).

Dans le sol remodelé (F₁R₁₀), l'imprégnation du plasma par la matière organique est beaucoup plus faible, sauf localement, du fait d'activités biologiques disséminées (pédotubules, domaines circulaires) (Photo 2).

Le type de fragmentation de la structure tend déjà vers l'organisation d'un horizon A.

Dans aucun des traitements, on ne note de traces de lessivage ou de figures de redistribution.

L'étude morphologique des différentes situations sur ferrisol a permis d'éliminer, pour les comparaisons ultérieures (voir descriptions en annexe) :

- *Les témoins cultivés ayant été légèrement remodelés (F₃TC) ou recouverts par des apports venant de l'amont (F₂TC),*
- *Les sols remodelés ayant subi un réglage après remodelage (F₂R₁).*

2.- Caractères minéralogiques

L'argile est principalement constituée par de la kaolinite désordonnée (Fire clay) ou de la métahalloysite. La montmorillonite est souvent présente, mais surtout à l'état de traces. Il n'y a pas d'allophane, sinon des traces infimes (moins de 0,3 %).

La goethite est assez abondante : les teneurs en fer libre s'élèvent à 6-10 % en FeOOH dans la station F₁.

Les sables renferment encore d'assez grandes quantités de minéraux altérables, que l'on peut attribuer à des projections volcaniques récentes. On y trouve également des quartz et des concrétions ferro-manganiques.

La mise en culture et le remodelage ne modifient pas profondément ces caractéristiques. Le remodelage fait disparaître les traces de projections récentes (feldspaths), mais ne met jamais à jour de matériau minéralogiquement différent, même si celui-ci correspond à un paléosol.

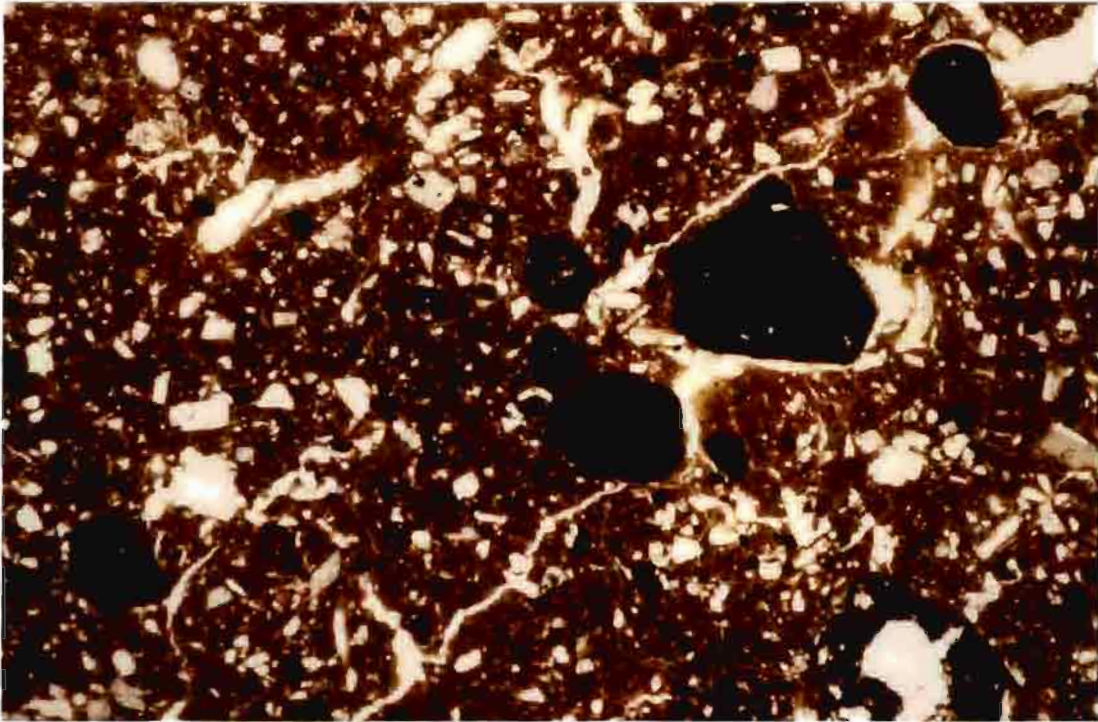


Photo 1 : Microphotographie sur lame mince de sol : Ferrisol témoin (F₁TC), Horizon de surface.

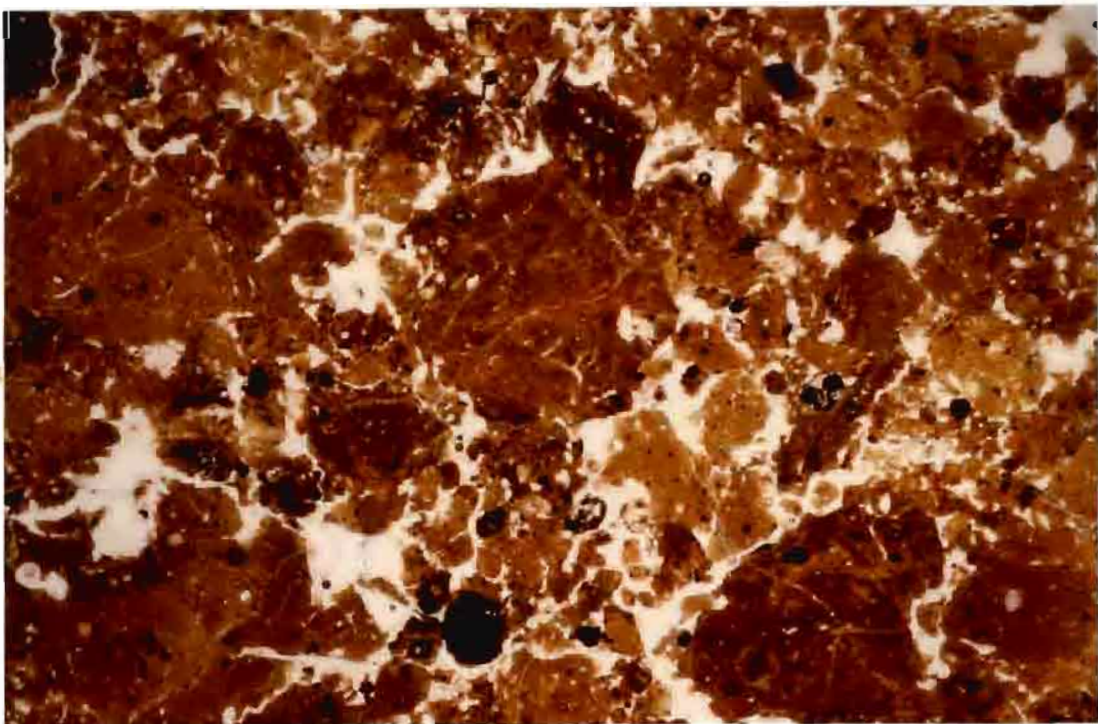


Photo 2 : Microphotographie sur lame mince de sol : Ferrisol remodelé (F₁R₁₀), Horizon de surface

3.- Caractères physiquesa) Granulométrie (Tableau II)

Tableau II.- Caractéristiques minéralogiques et physiques

Echantillon n°	Minéralogie	Analyse Mécanique (% sec à l'air)						Wn (%)	da	Is	pF		
		A	LF	LG	SF	SG	H2O				2,5	3,0	4,2
F ₁ TN s ₁ s ₂ P	FC/M/Go/He/Gl (++ + + + E)	49,0	14,1	5,3	11,9	9,6	7,3		0,94	0,17	40,9	34,2	30,5
		66,1	22,2	4,1	2,2	0,6	6,7				49,7	44,7	38,6
F ₁ TC s P	FC/M/Go/He (++ + E)	48,0	19,0	6,5	13,5	7,0	5,0	37,4	1,21	0,20	37,9	31,9	27,2
		47,9	18,0	6,6	13,0	8,5	4,4	37,7			37,3	32,1	27,4
F ₁ R10 s P	FC/M/Go/He/Gl (++ + + + E)	69,0	16,0	3,5	1,9	2,0	5,9	38,4	1,15	1,16	52,1	46,8	41,5
								44,1			49,3	45,1	40,1
F ₁ R12 s P	FCouMH/H/Go/He (+ + E + +)	53,5	20,5	7,1	6,0	4,3	6,5	36,5		1,41	44,5	39,6	35,3
		54,5	21,0	8,2	6,0	4,0	5,2	38,9			45,2	39,8	35,5
F ₂ TN s P	MH/H/He/Go/Gl (+ + + + E)	46,9	18,5	5,1	6,0	7,4	13,9			0,41	44,6	37,6	33,3
		56,8	20,9	6,9	6,9	3,9	5,9						
F ₂ TC s P	FCouMH/M/Go/He (+ + + + +)	46,5	20,0	6,5	6,5	15,0	5,6	33,6		0,46	36,9	32,6	28,5
		47,5	19,5	6,8	5,5	13,5	5,5	33,0			35,5	31,4	27,5
F ₂ R6 s P	FCouMH/M/Go/He (+ + E + +)	54,0	23,0	8,0	6,0	3,8	5,4	31,5		0,74	41,0	35,7	32,6
		48,5	24,5	11,5	5,5	2,8	6,0	38,6			43,2	37,1	32,3
F ₃ TC s P	MH/H/Go/He (+ E + +)	71,5	10,2	3,0	3,5	4,0	6,3	54,3		0,18	44,5	38,9	35,1
		50,5	35,5	2,0	2,5	2,0	6,2	46,7			46,2	41,7	37,8
F ₃ R7 s P	MH/Go/He (+ + +)	32,1	39,8	8,7	5,4	1,0	9,5	55,5		0,95	52,7	44,4	39,1
		15,5	38,8	13,5	11,3	6,7	11,1	51,2			50,2	44,5	36,8
B ₁ TN s P	MH/He/Go/Gl (+ + + + E) H/MH/Cri	36,1	13,1	5,2	12,8	10,1	22,5		0,80	0,13	35,5	28,1	25,8
		39,1	15,8	6,0	16,0	13,7	10,2				1,03		
B ₁ TC s P	H/Cri (++ E)	48,0	21,0	7,8	7,0	4,2	11,2	44,9	1,05	1,07	44,4	39,5	35,5
		45,0	24,5	8,5	6,0	3,0	12,3	51,5			0,88	52,6	46,8
B ₁ R4 s P	FCouMH/M/Go (+ + E +)	58,0	20,5	4,5	6,0	4,0	4,7	50,2	0,99	0,16	48,4	42,5	36,8
		58,0	22,0	3,5	6,0	4,2	4,7	56,1			0,99	49,0	43,0
B ₁ R10 s P	FCouMH/Go (+ + +)	57,5	22,0	4,5	3,6	4,5	5,0	45,9		0,45	46,8	40,7	36,3
		64,0	17,5	4,5	3,0	5,0	3,6	39,9			46,7	40,5	36,9
A ₁ TN s P	Al1/MH/Gl/Cri (++ E + +)	16,5	10,2	4,3	15,5	13,4	13,5		0,60	0,11	32,5	29,8	22,8
		0,6	6,3	4,5	37,5	34,9	11,9				0,53		
A ₁ TC s P	Al1/MH/Gl/Cri (++ E + +)	24,3	17,2	7,8	17,8	16,8	11,2	63,4	0,71	0,30	39,0	34,3	27,3
		21,8	15,8	7,7	20,6	15,2	11,8	63,5			37,9	31,7	27,2
A ₁ R8 s P	Al1/Gl/Cri (++ + +)	18,3	18,8	8,1	19,5	18,9	17,7	76,9	0,78	0,33	61,2	52,4	43,4
		26,4	20,0	9,5	10,5	12,0	19,0	97,6			75,1	65,0	52,8
A ₁ K9 s P	Al1/Cri (+ + +) H/MH/Cri	12,1	17,6	9,2	28,6	18,1	15,9	87,0	1,18	0,19	65,2	53,1	41,5
		47,2	23,6	5,3	6,7	2,5	13,8	105,7			62,6	55,2	47,3
A ₂ TC s P	Al1/M/FC/Cri (++ + + +)	19,0	13,8	11,7	18,8	29,7	6,1	75,2		0,05	34,5	26,6	22,3
		10,4	13,7	11,0	14,8	37,8	6,4	74,1			32,2	24,3	19,4
A ₂ R5 s P	H/MH/Cri (+ E +)	10,1	14,4	8,9	25,6	20,2	13,6	98,9		0,12	53,4	45,1	38,1
		13,9	20,2	9,1	24,8	10,8	16,9	115,0			69,0	56,0	46,8
A ₂ R8 s P	H/MH/M/Gl/Cri (+ E E + +)	10,1	12,8	25,6	16,2	18,5	11,0	78,7		0,10	47,1	38,2	32,9
		6,9	10,0	9,0	22,9	30,5	9,2	62,7			39,8	28,7	24,3
A ₃ TN s P		33,7	17,9	6,7	13,0	12,2	8,6	76,5	0,60	0,06	45,0	38,8	33,6
		28,4	22,6	7,0	15,6	17,7	7,7	0,81			41,3	29,8	24,7
A ₃ TC s		18,4	12,3	4,6	17,1	20,1	9,6		0,55	0,11			
A ₃ R7 s		30,8	20,2	6,1	14,6	16,4	8,2		0,83	0,86			

Signification des abréviations en Annexe I

Les teneurs en argiles des sols sous végétation naturelle et des sols cultivés sont voisines de 50 %, et hormis un cas de sol remodelé (F3R7), où la roche-mère a été mise à l'affleurement, le remodelage fait toujours apparaître des niveaux plus argileux. En effet, les teneurs en argiles des horizons A de ferrisols sont toujours inférieures à celles des horizons B, par suite d'un appauvrissement et d'un enrichissement relatif en sables par l'érosion (COLMET-DAAGE et LAGACHE, 1965).

b) Variation des teneurs en eau en fonction du pF (Figure 4)

Les teneurs en eau à différents pF sont plus faibles pour les traitements TC (et TN) que pour les traitements R. Ce phénomène se vérifie pour les trois stations sur ferrisol, et dans le cas de la station F₁, où l'on est en présence de deux situations remodelées d'âge différent, les valeurs de pF se rangent dans l'ordre chronologique du remodelage : le sol remodelé de 12 ans est plus proche du témoin que ne l'est le sol remodelé plus récemment.

Le fait que les droites $H \% = f(pF)$ soient presque parallèles tend à montrer que l'eau dite "utilisable", correspondant à la différence d'humidité entre les pF 2,5 et 4,2, ne varie pratiquement pas en fonction du traitement.

c) Stabilité structurale (Tableau II)

La variation de l'indice d'instabilité I_s n'est pas importante lorsqu'on passe du sol sous végétation naturelle au sol cultivé, contrairement à ce qui a été mis en évidence sur d'autres sols tropicaux (MOREAU, 1978). Cette différence de comportement peut être attribuée en partie aux méthodes de défrichement et à la durée de la culture.

Par contre, l'ampleur de la variation de l'indice (0,4 à 1,4) liée au remodelage correspond à une détérioration considérable de la stabilité. En effet, pour les horizons de surface, BOYER et COMBEAU (1960) situent le seuil de passage des bonnes stabilités aux stabilités médiocres vers 0,40, et aux stabilités déficientes vers 1,0. Les valeurs extrêmes obtenues dans les sols remodelés sont dues principalement à l'importance de la fraction (argile+limon) obtenue avec le prétraitement au benzène (Tableau III).

d) Densités apparentes (Tableau II)

Les mesures de densité apparente n'ont été effectuées que sur les sols de la station F₁. On y note uniquement un effet de la mise en culture : la densité apparente du sol augmente avec sa mise en culture (passage de 0,9 à 1,2), tandis que le remodelage ne semble pas influencer ce paramètre (densité apparente du sol remodelé : 1,15).

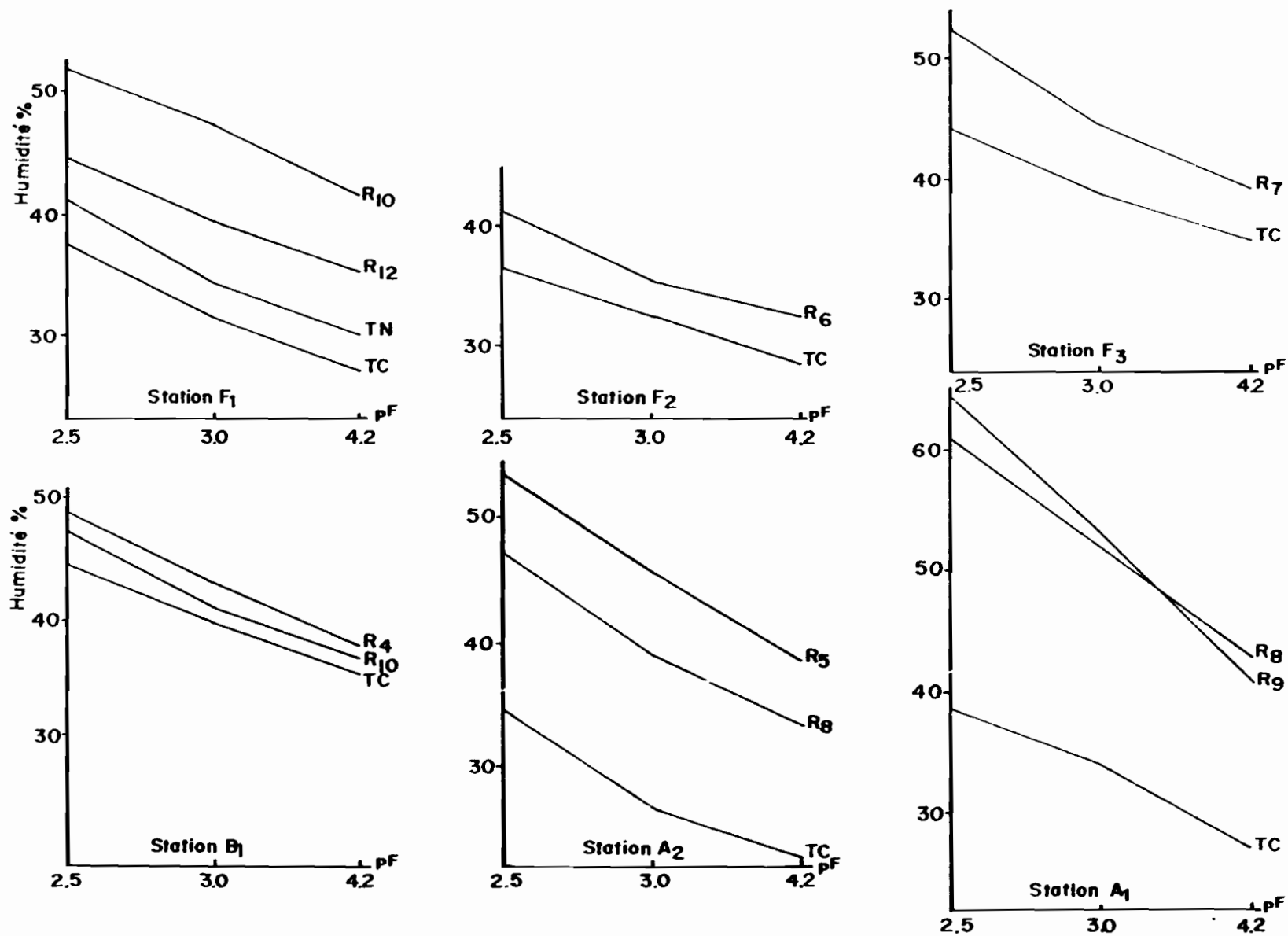


Figure 4.- Relations humidité-pF dans les horizons de surface des différentes stations et sous différents traitements.

F = Ferrisol ; A = Andosol ; B = Sol brun rouille

TN = Témoin sous végétation naturelle ; TC = Témoin cultivé ; R = sol remodelé avec l'âge porté en indice.

Tableau III. - Distribution des agrégats et indices d'instabilité structurale (I_s) dans les différentes stations et aux différents traitements étudiés.

Echantillon	Agrégats alcool %	Agrégats benzène %	Agrégats eau %	Moyenne agrégats %	(A + L) max. %	S.G. %	I_s
F ₁ TN	73,56	61,49	71,82	68,96	11,85	8,46	0,17
F ₁ TC	81,53	58,73	78,61	72,85	13,15	7,00	0,20
F ₁ R ₁₀	60,43	4,49	37,76	34,21	37,7	2,00	1,16
F ₁ R ₁₂	62,00	12,89	39,98	38,29	48,65	4,30	1,41
F ₂ TN	71,17	37,74	64,66	57,86	23,90	7,52	0,41
F ₂ TC	76,29	41,17	71,61	63,02	22,9	15,00	0,46
F ₂ R ₆	64,79	15,59	50,93	43,77	29,85	3,80	0,74
F ₃ TC	72,08	11,57	58,17	47,27	7,90	4,04	0,18
F ₃ R ₇	63,56	13,23	44,70	41,50	38,40	1,00	0,95
B ₁ TN	69,13	57,72	66,69	64,51	7,00	13,84	0,13
B ₁ TC	62,21	12,00	57,96	44,05	43,25	4,20	1,07
B ₁ R ₄	56,94	19,00	37,11	37,68	5,40	4,00	0,16
B ₁ R ₁₀	60,58	4,38	41,36	35,44	14,15	4,50	0,45
A ₁ TN	74,54	76,83	78,66	76,67	6,60	16,62	0,11
A ₁ TC	67,32	61,15	64,87	64,45	12,55	24,35	0,30
A ₁ R ₈	58,05	54,24	57,31	56,53	13,20	18,33	0,33
A ₁ R ₉	54,69	51,27	53,48	53,15	7,85	12,05	0,19
A ₂ TC	67,01	70,09	69,05	68,72	2,10	29,74	0,05
A ₂ R ₅	68,21	67,92	67,92	68,02	5,95	20,17	0,12
A ₂ R ₈	68,88	65,58	69,69	68,05	5,35	18,50	0,10
A ₃ TN	60,86	63,32	62,54	62,24	2,85	15,95	0,06
A ₃ TC	66,21	67,13	65,84	66,40	5,30	21,02	0,11
A ₃ R ₇	74,54	36,59	57,90	56,34	32,55	20,60	0,86

A = Andosol ; B = Sol brun-rouille ; F = Ferrisol
 TC = témoin sous culture ; TN = témoin sous végétation naturelle
 R = remodelé

4.- Caractères chimiques

a) Capacité d'échange cationique et taux de saturation (Tableau IV)

La somme des bases échangeables dépend essentiellement de la fumure minérale et des amendements.

La capacité d'échange cationique est de l'ordre de 18 à 28 m.e./100g de sol dans l'horizon de surface, sans distinction de traitement. Les résultats ramenés à 100 g d'argile permettent de distinguer la nature du traitement :

Témoin sous végétation naturelle (TN) : 48-49 m.e./100 g d'argile
 Témoin sous culture (TC) : 35-45 m.e./100 g d'argile
 Remodelé (*) (R) : 34-37 m.e./100 g d'argile

Les résultats ainsi exprimés montrent que la mise en culture et le remodelage combinés conduisent à une baisse de la capacité d'échange de près de 25 % de sa valeur initiale.

(*) L'échantillon F₃R₇ n'a pas été pris en compte du fait de sa granulométrie non représentative.

Tableau IV.- pH et complexe d'échange

Echantillon	pH		Complexe d'échange (m.e./100 g)									
	H ₂ O	KCl	CEC	Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	S	$\frac{S}{CEC} \times 100$	Al ⁺⁺⁺	H ⁺	
F ₁ TN	s ₁		24,0								0,0	0,0
	s ₂		27,5								0,0	0,0
	p											
F ₁ TC	s	5,2	4,7	18,0	0,48	0,17	8,14	2,67	11,46	63,7	0,2	0,1
	p	6,3	5,7	15,5	0,08	0,29	7,92	3,42	11,71	75,5	0,1	0,1
F ₁ R ₁₀	s	5,2	5,0	25,5	0,61	0,36	7,92	7,83	16,72	65,6	0,1	0,1
	p	5,3	5,3	27,0	0,08	0,36	5,83	6,92	13,19	48,9	0,1	0,1
F ₁ R ₁₂	s	5,3	5,0	18,0	1,69	0,24	4,84	3,75	10,52	58,4	0,1	0,1
	p	5,2	4,8	19,0	0,11	0,72	3,08	4,58	8,49	44,7	1,3	0,2
F ₂ TN	s			22,5							0,0	0,0
	p			17,5								
F ₂ TC	s	5,7	5,3	21,0	0,31	0,14	11,0	1,83	13,28	67,2	0,1	0,2
	p	5,9	5,5	20,5	0,11	0,12	12,65	1,17	14,07	71,7		
F ₂ R ₆	s	4,5	4,1	19,5	0,41	0,12	4,95	1,58	7,06	36,2	2,7	0,2
	p	4,7	4,1	22,0	0,11	0,22	6,48	2,33	9,04	41,1	0,2	0,2
F ₃ TC	s	4,5	4,0	25,0	0,53	0,31	2,53	1,25	4,62	18,5	2,9	0,2
	p	4,8	4,7	17,5	0,11	0,31	3,41	2,08	5,91	33,8	0,1	0,3
F ₃ R ₇	s	4,7	3,9	28,0	1,33	0,16	6,82	7,92	16,23	58,0	1,80	0,10
	p	4,7	3,7	33,5	0,22	0,79	2,36	12,5	15,87	47,4	4,67	0,38
B ₁ TN	s			28,0							0,0	0,0
	p			21,0								
B ₁ TC	s	4,8	3,9	23,5	1,22	0,91	3,96	1,42	7,51	32,0	1,8	0,2
	p	5,4	4,7	21,0	0,10	2,40	5,83	1,58	9,91	48,7	0,2	0,1
B ₁ R ₄	s	4,7	4,4	21,5	0,82	0,24	3,85	2,17	7,08	32,9	0,4	0,1
	p	4,7	4,3	20,5	0,08	0,38	2,53	2,50	5,49	26,8	0,5	0,1
B ₁ R ₁₀	s	4,7	4,5	12,5	0,11	0,19	2,75	1,92	4,97	39,8	0,2	0,1
	p	5,2	5,6	14,0	0,08	0,24	3,08	2,00	5,40	38,6	0,1	0,1
A ₁ TN	s			23,5							0,05	0,03
	p			13,5								
A ₁ TC	s	5,0	4,7	18,5	0,51	0,07	1,48	0,94	3,00	16,2	0,150	0,025
	p	4,8	4,7	16,0	0,20	0,05	0,55	0,33	1,13	7,1	0,125	0,025
A ₁ R ₈	s	5,6	5,5	22,5	0,77	0,08	3,74	1,25	5,84	25,9	0,025	0,025
	p	5,6	5,5	22,0	0,08	0,11	4,18	1,00	5,37	24,4	0,050	0,0
A ₁ R ₉	s	5,4	5,3	19,5	0,37	0,10	1,76	1,03	3,26	16,7	0,050	0,0
	p	5,4	5,0	20,0	0,10	1,80	5,33	0,99	8,22	41,1	0,075	0,025
A ₂ TC	s	5,7	5,3	18,5	0,38	0,10	7,26	2,25	9,99	54,0	0,025	0,025
	p	5,9	5,6	15,5	0,20	0,08	6,32	1,75	8,35	53,9	0,025	0,025
A ₂ R ₅	s	6,0	5,6	23,5	1,08	2,04	7,26	3,75	14,13	60,4	0,025	0,025
	p	6,1	5,4	26,5	0,25	3,19	5,44	4,92	13,8	52,1	0,025	0,025
A ₂ R ₈	s	5,1	4,8	20,0	2,85	0,31	4,73	2,58	10,47	52,3	0,050	0,050
	p	5,4	4,9	16,0	0,28	0,89	3,57	1,42	6,16	38,5	0,050	0,025
A ₃ TN	s			22,0							0,25	0,13
	p			15,5							0,25	0,03
A ₃ TC	s			22,0								
A ₃ R ₇	s			15,5								

s = horizon de surface - p = horizon de profondeur

Signification des abréviations en Annexe I.

b) pH et aluminium échangeable (Tableau IV)

Les valeurs de pH des ferrisols étudiés s'étendent de 4,5 à 5,7 selon les stations. Elles sont relativement constantes entre la surface et la profondeur, et ne semblent pas affectées par les opérations de remodelage. On note la présence d'Al³⁺ dans les stations F₂(R₆) et F₃(TC et R₇) : 1,8 à 2,9 m.e./100 g.

c) Phosphore total (Tableau V)

Les teneurs en phosphore total varient presque du simple au triple (1,1 à 2,8 %) selon les stations, avec une forte diminution en fonction de la profondeur. On note un effet de la mise en culture pour la station F₁, avec un enrichissement lié à la fertilisation (passage de 0,92 à 1,23) et un effet remodelage marqué pour les stations F₁ et F₂, avec un abaissement des teneurs jusqu'à des valeurs de 0,44 (F₁R₁₀).

Tableau V.- Teneurs en carbone, azote et phosphore.

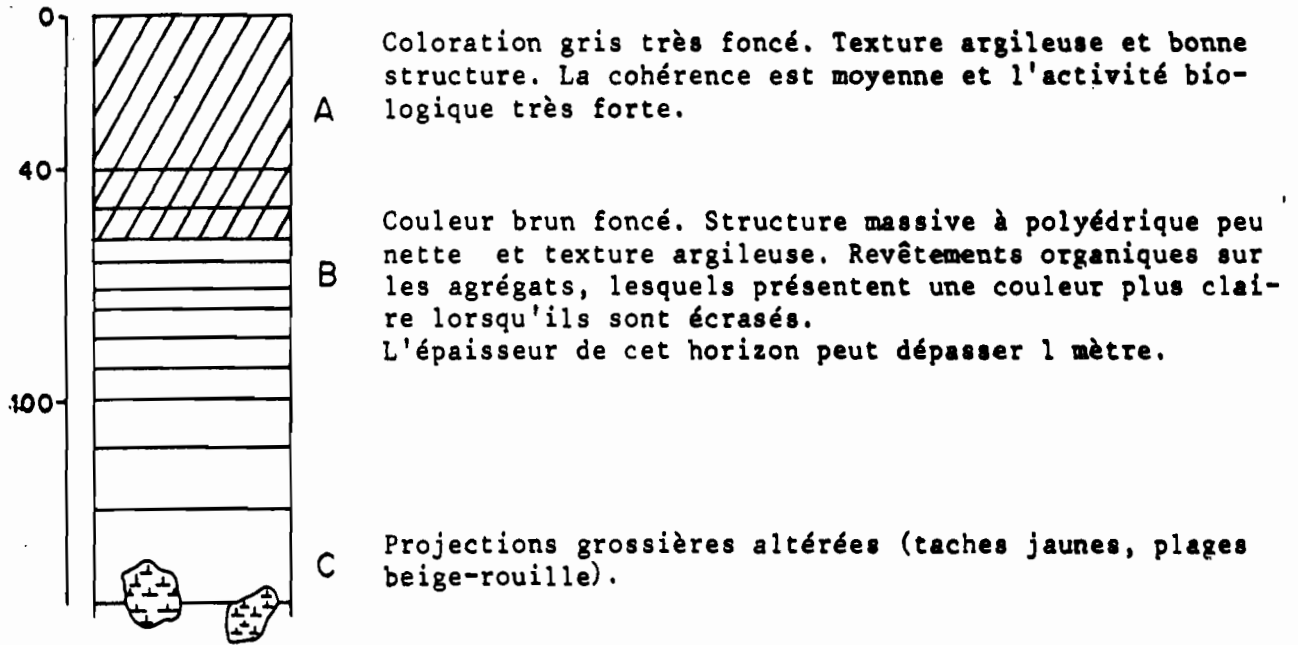
Echantillon	C %	N %	C/N	P ₂ O ₅		
				Total	Assimilable (1)	Assimilable (2)
F ₁ TN	s ₁	44,1	4,6	9,5		
	s ₂					
	p	12,5	1,20	10,4	0,92	0,03
F ₁ TC	s	28,1	2,11	13,3	1,23	0,09
	p				0,38	0,01
F ₁ R ₁₀	s	9,4	0,64	14,7	0,44	0,01
	p				0,23	0,01
F ₁ R ₁₂	s	9,7	0,64	15,3	0,99	0,04
	p				0,84	0,01
F ₂ TN	s	37,1	3,14	11,8	2,90	
	p				1,43	0,11
F ₂ TC	s	25,7	2,71	9,5	2,85	0,22
	p				1,72	0,05
F ₂ R ₆	s	12,6	0,94	13,4	1,91	0,07
	p				1,51	0,01
F ₃ TC	s	24,5	1,76	13,9	1,10	0,04
	p				0,39	0,02
F ₃ R ₇	s	7,9	0,41	19,2	1,13	0,16
	p				0,68	0,01
B ₁ TN	s	39,2	3,08	12,7	1,48	
	p				1,20	0,06
B ₁ TC	s	19,0	1,03	18,4	1,86	0,15
	p				0,41	0,01
B ₁ R ₄	s	4,0	0,19	21,3	1,17	0,19
	p				0,84	0,02
B ₁ R ₁₀	s	9,9	0,38	26,2	0,98	0,05
	p				0,66	0,01
A ₁ TN	s	66,9	6,48	10,3	1,85	
	p	16,7	1,70	9,5	0,63	0,33
A ₁ TC	s	32,7	2,43	14,5	1,70	0,05
	p				1,31	0,02
A ₁ R ₈	s	10,0	0,57	21,1	0,94	0,11
	p				0,83	0,01
A ₁ R ₅	s	9,2	0,40	21,9	0,66	0,79
	p				0,41	0,01
A ₂ TC	s	52,6	5,08	10,3	9,58	0,01
	p				5,75	0,51
A ₂ R ₅	s	10,9	0,76	14,4	1,96	0,24
	p				1,23	0,01
A ₂ R ₈	s	12,1	1,29	9,4	1,68	0,12
	p				1,13	0,03
A ₃ TN	s	67,5	5,72	11,8	0,87	
	p				0,68	0,08
A ₃ TC	s	48,9	4,75	10,3	7,1	
	p				2,4	2,38
A ₃ R ₇	s	24,1	2,64	9,1	2,4	0,67

(1) AYRES (1952) - (2) OLSEN-DABIN (1967)

B.- Les sols brun-rouille

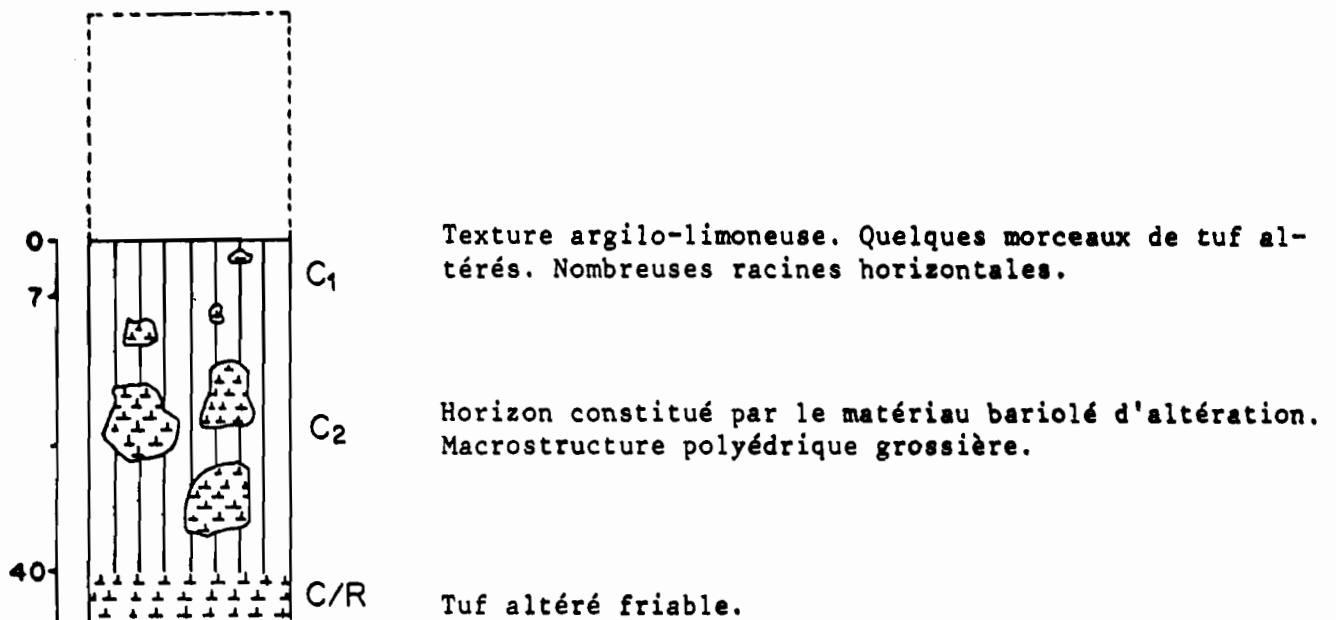
1.- Caractères morphologiques

a) Profil_type (milieu forestier)



b) Profil remodelé

Les sols remodelés voient leur horizon humifère complètement éliminé et non encore reconstitué dans le cas le plus récent (B_1R_4).



N.B. : Le sol remodelé depuis 10 ans (B_1R_{10}) présente un horizon Ap de 20 cm environ, à inclusions rouges de l'horizon sous-jacent.

(Symboles : cf. Annexe VIII)

c) Effet de la mise en culture

Les sols sous culture présentent une coloration plus claire (7,5 YR au lieu de 10 YR dans l'horizon A) que le sol forestier B₁TN, mais les caractéristiques en sont très proches. Dans le cas présent, la texture est argilo-sableuse (au lieu d'argileuse), le matériau provenant d'une projection différente.

d) Micromorphologie

On note, dans cette station, des traces évidentes de lessivage conduisant à des dépôts (cutanes) dans les pores principalement, ou redispersés dans le fond matriciel (papules) (Photo 3). Ces phénomènes se remarquent surtout dans l'horizon B (B₁TC), mais également dans les horizons de surface des traitements TC et R₄. Dans ce dernier, le type de fragmentation fait penser à un travail mécanique autre que biologique (agrégats anguleux, à arêtes peu émoussées).

L'étude morphologique de la station B₁ fait apparaître que le remodelage a mis à jour des matériaux de nature différente de ceux observés dans le profil type (texture et coloration différentes). Le paragraphe suivant précisera la nature.

2.- Caractères minéralogiques

Le minéral argileux des sols non remodelés (B₁TN et B₁TC) est du type métahalloysite et halloysite, associé, dans le traitement TN, à de petites quantités de gibbsite et de goëthite. La réalisation du test FNa met en évidence, dans certains horizons, la présence d'une petite proportion de substances amorphes. Les sables, peu altérés, contiennent encore beaucoup de minéraux colorés, ainsi que du quartz et un peu de feldspath.

Dans les sols remodelés, le minéral argileux dominant est mal cristallisé (Fire-clay), tandis que l'on note une faible teneur en montmorillonite (B₁R₄). Le fer libre, sous forme de goëthite, est relativement abondant (6 %) dans ces matériaux mis à jour, qui sont en fait des horizons ferrisoliques.

Ces paléosols sont de nature minéralogique différente des sols de référence, et seront éventuellement comparés à des ferrisols appartenant à d'autres stations.

3.- Caractères physiquesa) Granulométrie (Tableau II)

On constate le même phénomène que pour les ferrisols, avec des teneurs en argile similaires : le remodelage fait toujours apparaître des niveaux plus argileux. Les limons fins étant constants par ailleurs (20 %), on atteint, en situation de remodelage, des teneurs de 80 % en éléments fins (argile + limons fins).

b) Variations des teneurs en eau en fonction du pF (Fig.4)

Les valeurs de teneurs en eau, pour un pF donné, des sols cultivés (traitements TC et R) sont relativement groupées, mais se rangent dans le même ordre qu'en stations sur ferrisols. Seul le traitement TN diffère, avec des rétentions en eau beaucoup plus faibles, liées principalement à sa texture.

c) Stabilité structurale (Tableau II)

La stabilité structurale est bonne à moyenne pour les sols de traitements TN ($I_s = 0,13$) et R ($I_s = 0,16$ et $0,45$). Paradoxalement, c'est le sol du traitement TC qui présente la structure la plus instable, avec un indice de 1,07. Cette anomalie peut laisser prévoir un doute dans la représentativité du site choisi pour ce traitement.

d) Densités apparentes (Tableau II)

Les mesures effectuées ne font ressortir qu'un effet mise en culture : la densité apparente du sol à traitement TN (0,80) passe à 1,0 par mise en culture. Le remodelage n'a pas d'effet sur cette mesure, bien qu'il soit accompagné, dans cette station, d'un changement de minéralogie. Les densités apparentes des ferrisols mis à jour par le remodelage de la station B₁ sont inférieures à celles des ferrisols actuels (station F₁).

4.- Caractères chimiquesa) Capacité d'échange cationique et taux de saturation (Tableau IV)

La capacité d'échange varie de 12,5 m.e./100 g (R₁₀) à 28 m.e. (TN), les traitements TC et R₄ présentant des valeurs intermédiaires. L'expression de ces valeurs en fonction de la teneur en argile accroît les divergences entre les différents traitements.

Les taux de saturation du complexe absorbant dans les divers traitements sont faibles : 32 à 40 %.

b) pH et aluminium échangeable (Tableau IV)

L'état de désaturation en bases va de pair avec un pH très acide (4,7-4,8) et la présence d'alumine libre sous forme Al^{3+} (1,8 m.e./100 g dans le traitement TC), ce qui traduit des faciès très évolués (COLMET-DAAGE, 1965).

c) Phosphore total (Tableau V)

Les teneurs en phosphore total (TN : 1,5 % et TC : 1,9%) se situent dans les mêmes intervalles que les ferrisols, avec également, une forte diminution en fonction de la profondeur. Le remodelage abaisse ces valeurs à un seuil proche de 1 %.

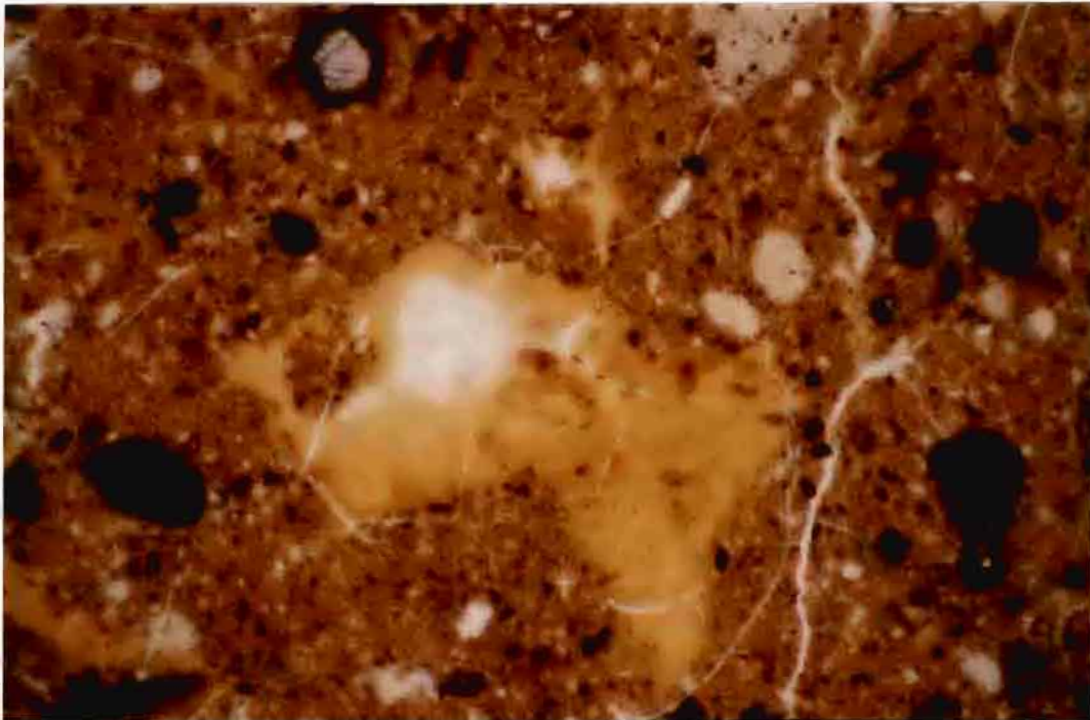
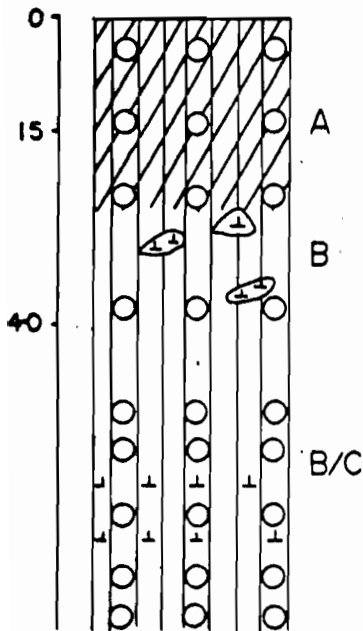


Photo 3 : Microphotographie sur lame mince de sol : Sol brun à halloysite (B₁TC), horizon de profondeur.

C.- Les andosols

Les andosols étudiés reçoivent une pluviométrie annuelle de 3 à 4000 mm selon les stations (Tableau I) et constituent deux agrosystèmes différents : Station A₁ = canne à sucre ; stations A₂ et A₃ = Bananier.

1.- Caractères morphologiques



a) Profil type (lisière de milieu forestier)

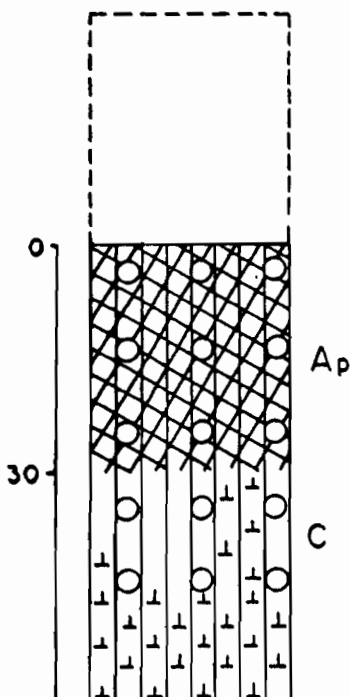
Coloration très foncée et faible cohésion. Texture argilo-limoneuse et structure grumeleuse bien développée. Activité biologique forte.

Couleur beige jaune et cohésion plus nette que dans l'horizon A. Structure d'ensemble diffuse. Le sol, au toucher, a l'apparence d'un limon, avec une consistance à tendance savonneuse (pseudo-limon). Présence de nombreux débris d'altération sableux ou graveleux.

Alternance de niveaux fins et de niveaux grossiers, due à l'hétérogénéité des matériaux déposés. Les niveaux grossiers sont relativement peu altérés, alors que les niveaux fins sont déjà très allophanisés.

b) Profil remodelé

Le remodelage fait disparaître les caractères liés aux horizons de surface de sols non remaniés.



Coloration jaunâtre hétérogène, cohésion importante, avec structure massive à débit polyédrique. Transition distincte et irrégulière avec

la roche altérée, jaune brunâtre.

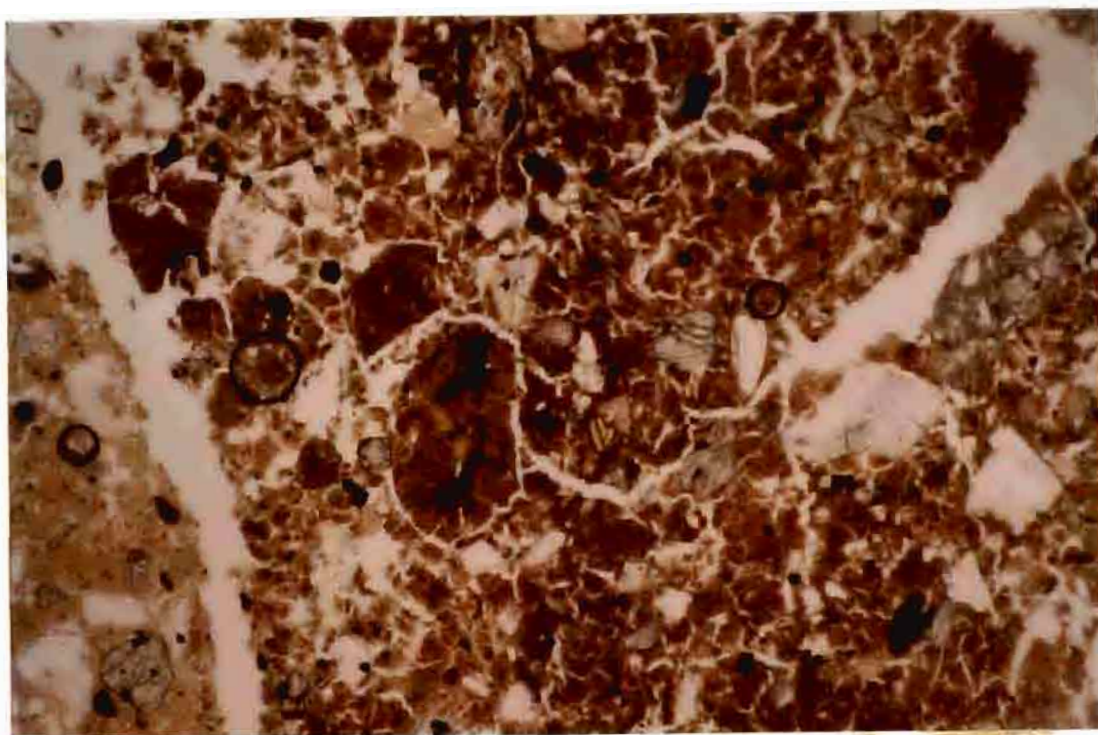


Photo 4 : Microphotographie sur lame mince de sol : Andosol Témoin (A_1TC), Horizon de surface.

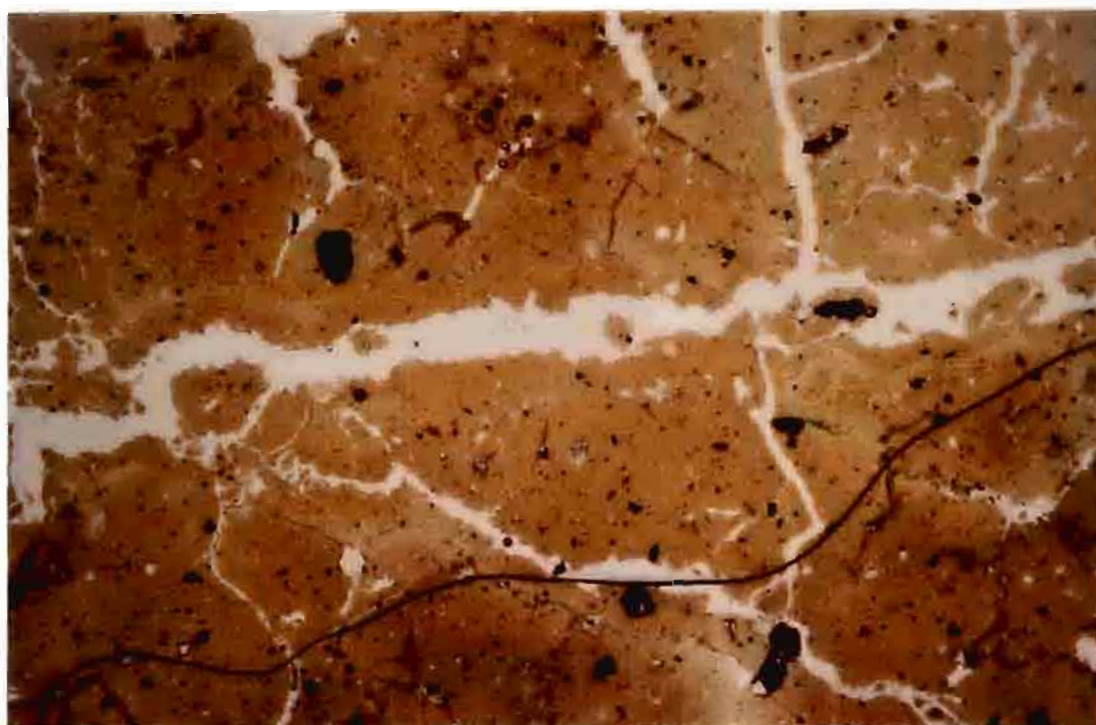


Photo 5 : Microphotographie sur lame mince de sol : Andosol remodelé (A_1Rg), Horizon de surface

c) Effet de la mise en culture

Un certain nombre de caractères sont conservés lors de la mise en culture (faible cohésion de l'horizon A, coloration), mais on passe à une structure grenue en surface (travail du sol) avec une texture argilo-sableuse liée au remaniement de débris de roche en voie d'altération.

d) Micromorphologie

Les horizons de surface de la station A₁ présentent un plasma homogène et sans orientation (aséptique). La principale différence entre les traitements réside dans la coloration du plasma : en lumière naturelle (Photos 4 et 5) le traitement TC est jaune brun, alors que le traitement R₉ est jaune clair. Cette différence de teinte est fonction de l'imprégnation par la matière organique.

La structure en boulettes (domaines circulaires) du sol TC suggère une bonne activité biologique. Cette dernière a laissé peu de traces dans le sol R₉, qui présente une structure d'horizon B typique (porosité très faible,...).

Dans plusieurs cas, l'ouverture des profils a révélé l'existence de paléosols sous les matériaux-mères des sols en place (présence d'horizons organiques en profondeur, etc...). Les paragraphes suivants en préciseront la nature.

2.- Caractères minéralogiques

Les examens aux rayons X effectués sur la fraction inférieure à 2 µm indiquent quelques traces de minéraux argileux : Fire-clay, montmorillonite mal cristallisée, métahalloysite. Cette dernière indique une transition vers les sols bruns des zones les plus sèches (COLMET-DAAGE *et al.*, 1965). Dans quelques situations (A₂R₅, A₂R₈ et A₁R₉), le remodelage a mis à l'affleurement des paléosols à fraction argileuse halloysitique importante.

Les hydroxydes d'aluminium peuvent être présents, mais on note surtout des substances amorphes : 16 à 22 % d'allophane en poids d'oxyde anhydre (QUANTIN, 1984) en station A₁, et 4 % seulement en station A₂. Le fer libre est peu abondant (quelques %). Une raie toujours présente à 4,05 Å traduit la présence de cristobalite.

Les sables sont beaucoup moins altérés que dans les ferrisols et sols bruns déjà décrits : cette fraction renferme, en plus des feldspaths, d'abondants minéraux colorés (ferro-magnésiens) encore transparents.

Cette caractérisation minéralogique nous permet de faire le tri des différentes situations de remodelage et de n'en conserver que deux, typiques des sols sur allophanes : A₁R₈ et A₃R₇.

3.- Caractères physiques

a) Granulométrie (Tableau II)

Les sols à allophane présentent les plus faibles teneurs en particules 0-20 μm (argiles + limons fins), soit environ 25 % sous végétation naturelle (station A₁) et 25-35 % pour les sols cultivés.

Le remodelage fait apparaître un matériau soit plus riche, soit plus pauvre en éléments fins : ces variations peuvent être liées soit à des évolutions pédologiques, soit à des roches-mères différentes (lits de cendres, ponces, ...).

b) Variation des teneurs en eau en fonction du pF (Fig. 4)

Le comportement des sols à allophane en fonction des différents traitements est semblable aux autres types de sols, en ce qui concerne la variation des teneurs en eau en fonction du pF. Pour les témoins sous culture, on note que la courbe est plus basse et plus pentue que dans les autres stations, par suite d'une rétention d'eau à pF 4,2, très faible. Or, l'expression des valeurs ramenées à 100 g d'argile (Tableau VI) fait apparaître l'importante capacité pour l'eau de ces sols. C'est leur faible teneur en argile qui permet d'expliquer ce phénomène.

Cette propriété des andosols vis-à-vis de l'eau s'atténue progressivement lorsque l'on passe des andosols typiques (hydrandepts) aux allophanes de transition vers les sols bruns ferrisoliques ou ultiochrandepts (U.S.D.A., 1960). Les valeurs ici observées (pF 2,5 et humidité au champ, Tableau II) nous font plutôt placer les andosols choisis dans cette dernière catégorie.

c) Stabilités structurales (Tableau II)

Les stabilités sont très élevées sous végétation naturelles ($I_s < 0,1$) à élevées (0,1-0,3) dans les sols témoins cultivés. L'amplitude de variation, liée au remodelage, est relativement faible, à part un cas sous culture bananière (A₃R₇).

La présence de substances amorphes semble donc conférer à ces sols une certaine protection vis-à-vis des agents de dégradation de la structure, mais le test étant réalisé sur des échantillons secs, il ne nous est pas possible de faire la part de ce qui est dû aux phénomènes irréversibles, liés au séchage, même modéré, à l'air. Une analyse sur échantillon frais serait contraire à l'esprit même de la méthode HENIN, puisque l'attaque par l'eau serait réalisée sur un échantillon encore humide.

Tableau VI. Comparaison des teneurs en eau à pF 2,5 et 4,2 et capacité d'échange cationique ramenées à 100 g d'argile pour les différentes stations et sous différents traitements.

Echantillons	$\frac{PF_{2,5}}{A} \times 100$	$\frac{PF_{4,2}}{A} \times 100$	$\frac{C.E.C.}{A} \times 100$
F ₁ TN	83	62	49
F ₁ TC	79	57	37
F ₁ R10	75	60	37
F ₁ R12	83	66	34
F ₂ TN			48
F ₂ TC	79	61	45
F ₂ R6	76	60	36
F ₃ TC	62	49	35
F ₃ R7	164	122	81
B ₁ TN			77
B ₁ TC	92	74	49
B ₁ R4	83	63	37
B ₁ R10	81	68	22
A ₁ TN			142
A ₁ TC	160	112	76
A ₁ R8	334	236	123
A ₁ R9	539	344	162
A ₂ TC	131	115	97
A ₂ R5	227	376	232
A ₂ R8	465	325	197
A ₃ TN	133	100	65
A ₃ TC			120
A ₃ R7			50

A = Andosol ; B = Sol brun-rouille à halloysite ; F = Ferrisol
 TC = Témoin sous culture
 TN = Témoin sous végétation naturelle
 R = Remodelé

d) Densités apparentes (Tableau II)

La densité apparente des sols à allophanes non cultivés est voisine de 0,6. Le traitement culture (TC) modifie peu cette valeur : 0,55-0,70. Par contre, le remodelage conduit à une augmentation sensible de la densité apparente (0,8), tout en restant en deçà des valeurs observées dans les ferrisols ou sols brun-rouille, où la densité dépasse 1.

Le cas de l'échantillon A₁R₉ (d_a = 1,18) traduit bien la perte du caractère allophanique, liée au remodelage, et est à rapprocher de situations à minéralogie dominée par les produits d'altération halloysitiques.

4.- Caractères chimiques

a) Capacité d'échange cationique (Tableau IV)

La capacité d'échange cationique des andosols est de l'ordre de 22-23 m.e./100 g (TN), ce qui est relativement élevé, compte-tenu de la proportion de sables. En effet, les résultats ramenés à 100 g d'argile (Tableau VI) différencient nettement la nature du matériau.

Hormis la station A₃, où l'effet du remodelage est le même que dans les stations sur ferrisols et sols bruns, les sols à allophanes montrent des valeurs de capacité d'échange cationique environ deux fois supérieures après remodelage.

b) pH et aluminium échangeable (Tableau IV)

Le pH des sols à allophanes est sensiblement moins acide que dans les autres types de sols, même lorsque le taux de saturation en bases est faible : pH 5 à 6 selon les stations, avec peu d'effet dû aux traitements. Il n'y a pas d'aluminium échangeable en quantités notables.

c) Phosphore total (Tableau V)

Le phosphore total est inégalement réparti selon les stations. On note principalement :

- un effet agrosystème : les plus fortes teneurs (7-9 %,.) sont relevées en culture bananière (intensification de la fumure phosphatée par rapport à la canne à sucre) ;

- un effet remodelage très marqué : le stock de phosphore du sol est réduit d'au moins 50 % par les opérations de remodelage.

III.- CONCLUSIONS

De l'étude morphologique, physico-chimique et minéralogique des différents profils étudiés, il ressort que les situations finalement retenues

- sont bien caractérisées : trois matériaux-supports différents, bien représentatifs des principaux types de sols rencontrés à la Martinique : fer-risols, sols bruns et andosols ;

- présentent un substrat que l'on peut considérer comme identique en qualité et quantité au sein d'une même station, et quel que soit le type de traitement : TN, TC ou R.

Ces points sont essentiels pour l'interprétation ultérieure de l'étude des différents stocks organiques existants (TN et TC) ou reconstitués (R).

Pour certains caractères, l'effet du remodelage peut être résumé, sans tenir compte de la nature du matériau-support :

- * Morphologie : les profils de sols remodelés présentent des caractéristiques communes par rapport aux témoins, quelle que soit la station (A, B ou F) :

- faible différenciation du profil, ramené à deux horizons Ap et C, séparés par la semelle de labour ;

- faible structuration de l'horizon Ap, dans lequel on observe de nombreux éléments de lithoreliques altérées ;

- mélange hétérogène de matière organique et de matériau minéral et caractère faiblement humifère ;

- horizon C à structure de roche-mère conservée.

* Granulométrie : l'enrichissement ou l'appauvrissement en particules fines, liés au remodelage, ne semblent pas dépendre de la minéralogie de la station, mais plutôt de la nature des matériaux volcaniques mis à jour, ainsi que des conditions dans lesquelles ceux-ci ont évolué avant d'être recouverts (paléosols).

* pH et Al³⁺ : ces deux paramètres chimiques ont des valeurs caractéristiques de chaque type de sol, mais la minéralogie n'orienté pas les modifications liées au remodelage.

* Phosphore : le phosphore total du sol diminue dans d'importantes proportions à la suite des opérations de remodelage. Un aspect qualitatif de cette diminution a été abordé dans une étude récente de CHEVIGNARD et al. (1985). Il ressort de cette étude que :

- tous les sols étudiés ont un pouvoir fixateur très élevé vis-à-vis du phosphore, avec cependant un ordre de fixation croissant dans le sens Ferrisol < Sol brun < Andosol.

- les opérations de remodelage augmentent très nettement le pouvoir fixateur du sol, alors que les variations entre traitements TN et TC sont moins nettes.

Pour les autres caractères, on peut distinguer deux groupes de sols en fonction de leur comportement au remodelage :

Ferrisols et sols brun-rouille d'une part : ils ont des comportements très voisins du fait de la similitude de certaines caractéristiques physico-chimiques.

Andosols d'autre part : ils ont souvent un comportement original, notamment pour les caractères suivants :

- Capacité d'échange : la CEC, due à la fraction minérale, semble correspondre, pour chacun des types de sols, à celle des horizons de profondeur. Ramenée à la somme (argiles + limons fins), on a pu calculer qu'elle correspond à 26 ± 10 m.e./100 g pour les ferrisols et les sols brun-rouille, alors qu'elle atteint 46 ± 16 m.e./100 g pour les andosols. La mesure de la CEC des horizons de surface prend en compte à la fois la CEC due au minéral, et celle résultant de la présence de matière organique. L'accroissement de la CEC des horizons de surface par rapport aux horizons profonds va sensiblement de pair avec leurs teneurs en matière organique, pour les ferrisols et les sols brun-rouille. Lorsque ces sols sont remodelés, l'accroissement peut être considéré comme pratiquement nul. Dans le cas des andosols, la variabilité des accroissements de la CEC est beaucoup plus grande que pour les autres sols. Dans deux exemples sur trois, cependant, la CEC des sols remodelés est pratiquement deux fois supérieure à celle du témoin cultivé. Ces variations doivent être considérées avec prudence, du fait que les mesures ont été effectuées sur matériel séché et en raison de la difficulté de l'analyse granulométrique de tels sols. Les accroissements observés mettent en évidence la part prépondérante des allophanes dans le contrôle de la CEC des andosols, la matière organique semblant davantage responsable de l'occupation, que de la création de sites d'échanges.

- Densités apparentes : Les sols à allophanes sont les seuls à présenter des valeurs de densité apparente différentes pour le témoin cultivé et le sol remodelé (d.a. TC < d.a. R). Sur les autres types de sols, n'apparaît qu'un effet culture (d.a. TN < d.a. TC), alors qu'une étude (MBAGWU et al., 1984) sur des sols du Sud Nigeria met en évidence un accroissement de densité (bulk density) à la suite d'un décapage artificiel.

- Rétention d'eau : C'est dans les andosols que la rétention d'eau est la plus élevée (W_N , Tableau II), ce qui les différencie nettement des deux autres types de sols. Les variations liées aux opérations de remodelage (relations humidité-pF, Figure 4) sont difficiles à interpréter, dans la mesure où le séchage, même à l'air, de ces sols, modifie irréversiblement leurs propriétés vis-à-vis de l'eau. Néanmoins, il ressort que pour les trois types de sols, la quantité d'eau dite "utilisable" n'est pas modifiée.

Cette première partie de l'étude permet de souligner la difficulté de l'échantillonnage pour la triple comparaison "témoin naturel-témoin cultivé-sol remodelé". Les résultats obtenus montrent que pour pouvoir s'appuyer sur des éléments invariants, on doit donner la priorité à la minéralogie, et si possible, à la texture, pour le choix des échantillons à comparer.

DEUXIÈME PARTIE

CARACTÉRISATION DES MATIÈRES ORGANIQUES



CHAPITRE I

CINÉTIQUE DE RECONSTITUTION DU STOCK ORGANIQUE



CINÉTIQUE DE RECONSTITUTION DU STOCK ORGANIQUE

I. - METHODES ANALYTIQUES

Les teneurs en carbone et en azote des produits solides (sols, lyophilisats, humines et résidus d'hydrolyse) sont mesurées à l'aide d'un Analyseur Élémentaire CARLO-ERBA Mod-1106.

II. - RESULTATS

L'étalement dans le temps (1968-1977) des opérations de remodelage permet de suivre, toutes situations confondues, la vitesse de reconstitution d'un stock organique ramené artificiellement à un niveau très bas. Cette approche, bien qu'originale, est à rapprocher d'autres travaux sur la simulation mathématique de l'accumulation de matière organique dans le sol, à la suite d'apports réguliers ou non (JENKINSON, 1965 ; SAUERBECK et GONZALES, 1977).

Les teneurs utilisées pour établir les courbes correspondent toutes à celles mesurées après la récolte (pour la canne à sucre), cette période représentant des conditions climatiques (début de la saison sèche, ou "carême") et physiologiques bien précises (développement d'un nouveau système racinaire pour alimenter la nouvelle pousse, ou "rejeton", décomposition de l'ancien système racinaire) (Van DILLEWIJN, 1960 ; HUMBERT, 1968).

Les valeurs absolues des teneurs en carbone sont relativement dispersées (Tableau V) : 4 à 24 %, pour les sols remodelés, 19 à 49 % pour les témoins sous culture.

Les courbes expérimentales C (ou N) remodelé/ C (ou N) témoin = $f(t)$ ont été réalisées sur une population de 11 sols remodelés : toutes les situations ont donc été prises en compte, afin que les résultats aient quelque valeur statistique. Nous avons arbitrairement ajouté à cette population, le point $C\% = 0$ à $t = 0,5$ ans, puisque, en théorie, juste après le remodelage, on avait probablement des teneurs en carbone proches de zéro.

Les valeurs du carbone, notées en % du témoins cultivé représentant l'agrosystème en équilibre, s'ordonnent en fonction du temps, selon une courbe logarithmique (Figure 5) :

$$\frac{C \text{ remodelé}}{C \text{ témoin}} \times 100 = 12,322 \text{ Log } t_{\text{années}} + 10,23$$

avec $n = 12$

$r = 0,715$

$t_0 =$ année du remodelage

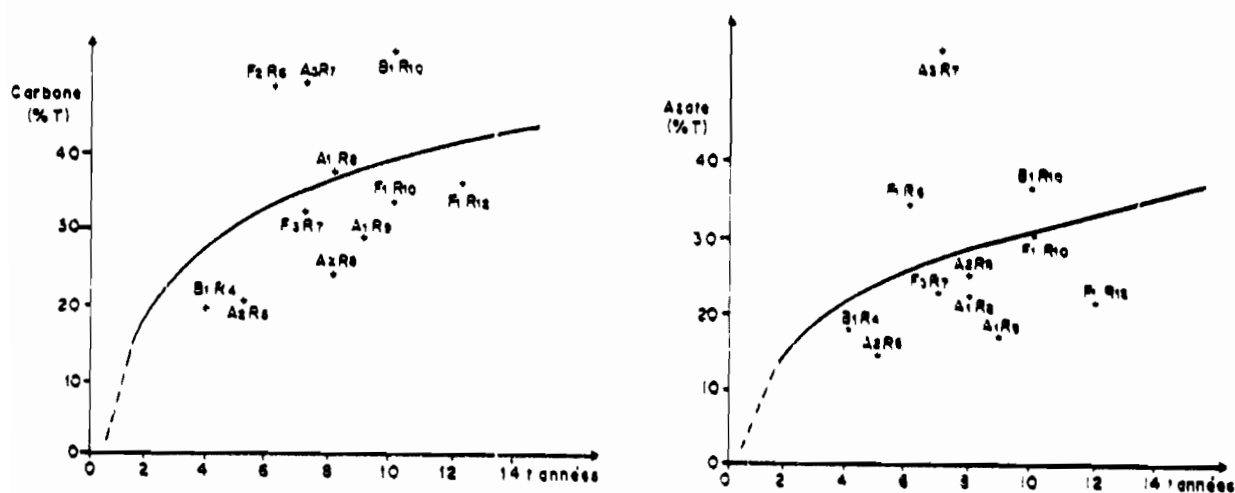


Figure 5.- Courbes de reconstitution du carbone et de l'azote des sols remodelés en fonction du temps.

Le rapport $C \text{ remodelé}/C \text{ témoin} \times 100$ atteint 30 % environ au bout de 5 ans, et est encore inférieur à 40 % après 10 ans. On a calculé, par extrapolation, qu'il faut 25 années après le remodelage, pour reconstituer 50 % du stock de carbone.

Si cette tendance générale est significative, il est plus aléatoire d'examiner des tendances particulières, étant donné le faible nombre de points dont on dispose par station.

La corrélation est relativement faible (0,715), mais ceci est dû à trois points qui sortent nettement du nuage. On peut tenter d'expliquer ces écarts par excès de la façon suivante :

* R_6 : Il s'agit d'un sol de la station F_2 , où l'étude des profils a révélé que le remodelage avait été suivi d'un régalage avec des matériaux provenant probablement d'horizons superficiels remaniés, en amont de la parcelle. Ceci signifierait que le stock de carbone au temps t_0 était déjà important, donc plus proche de l'agrosystème en équilibre.

- * R₇ : Ce sol de la station A₃ correspond à la seule situation de remodelage sous bananeraie, où la minéralogie soit restée identique à celle du témoin (allophanes). L'agrosystème concerné (bananeraie, sous pluviométrie élevée, sur sol à allophanes) peut expliquer en partie une reconstitution du stock organique plus rapide.
- *R₁₀ : Dans ce sol de la station B₁, on remarque que la teneur en carbone du témoin sous culture est anormalement faible (19,0 %). La valeur observée pour ce sol remodelé (10 %) étant tout à fait plausible, c'est le mode d'expression des valeurs (ramenées en % du témoin) qui surstime la rapidité de la reconstitution du stock dans ce cas précis.

Pour l'azote, on peut faire les mêmes remarques, avec cependant une reconstitution du stock moins rapide (figure 5) :

$$\frac{N \text{ remodelé}}{N \text{ témoin}} \times 100 = 10,358 \text{ Log } t_{\text{années}} + 7,40$$

avec n : 12

$$r = 0,636$$

t₀ = année du remodelage

Il faudrait, dans ces conditions, 61 ans après remodelage, pour reconstituer la moitié du stock azoté, ce qui ne constitue qu'une simple estimation, par extrapolation.



CHAPITRE II

DISTRIBUTION DES RÉSIDUS ORGANIQUES FIGURÉS
ET DU COMPLEXE ORGANO-MINÉRAL



DISTRIBUTION DES RÉSIDUS ORGANIQUES FIGURÉS ET DU COMPLEXE ORGANO-MINÉRAL

I.- METHODES ANALYTIQUES

1.- Fractionnement physique

On utilise une méthode de fractionnement par tamisage, voisine de celles de BRUCKERT et al. (1978) et de FELLER (1979).

Dans le cas présent, l'agitation du sol (< 2 mm) dans l'eau, avec des billes d'agate, est remplacée par un traitement aux ultra-sons (2 x 15 mn avec une cuve de 75 watts et 20 000 Hz), méthode mieux adaptée aux sols argileux.

Cette méthode conduit à l'obtention de 5 fractions granulométriques, par tamisage successifs sous eau, à 200 et 50 μm , comme le montre la figure 6.

On sépare ainsi les fraction suivantes :

- FM = fraction essentiellement minérale (sables)
- FO = fraction essentiellement organique (résidus figurés)
- FOM = fraction organo-minérale (particules inférieures à 50 μm)
- W = fraction hydrosoluble et particules en suspension dans l'eau, après centrifugation

La séparation FO-FM pour les particules supérieures à 50 μm se fait par flottation dans l'eau. Chaque fraction est amenée à sec par chauffage modéré à l'étuve (40°C). La fraction hydrosoluble (W) n'est pas étudiée.

2.- Détermination des teneurs en carbone et azote

Le carbone et l'azote de chaque fraction sont dosés à l'aide de l'Analyseur Élémentaire CARLO-ERBA Mod-1106, après broyage fin au mortier d'agate.

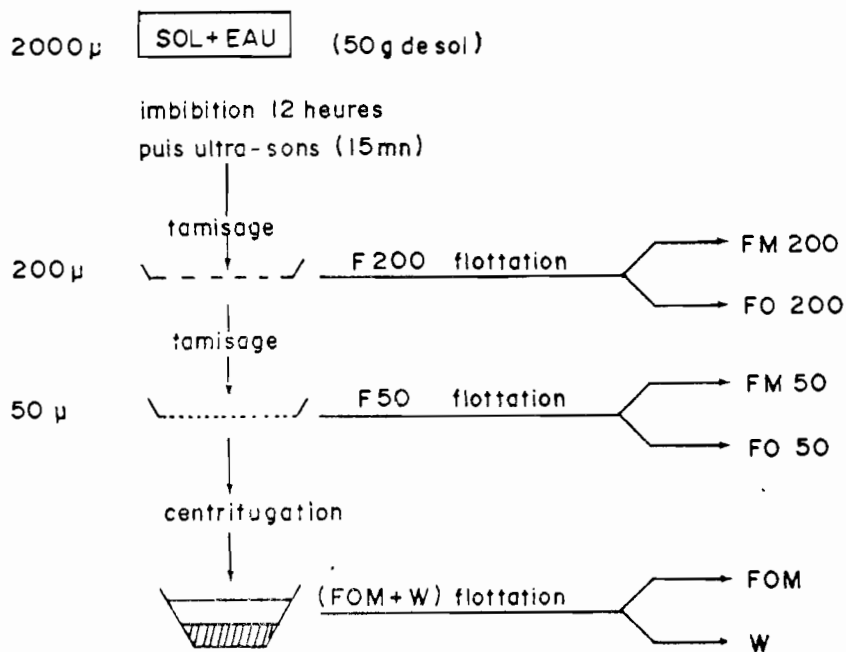


Figure 6.- Schéma de fractionnement physique des sols

II.- RESULTATS

A.- Problèmes méthodologiques et caractéristiques des fractions

1.- Les problèmes liés à la méthode

La séparation, au sein de la classe granulométrique 50-200µm des résidus figurés et des éléments minéraux (sables) n'est pas toujours aisée, et nous avons préféré faire l'approximation qui consiste à assimiler le carbone de la fraction minérale (FM 50) à celui de la fraction organique (FO 50), de sorte que ce sont les fractions globales F 50, qui sont représentées au diagramme de la figure 7. Pour les fractions 200-2000 µm, bien que l'isolement des résidus figurés soit facile, nous avons quand même choisi de ne représenter que la fraction globale F 200, pour ne pas surcharger le diagramme.

Pour les ferrisols et les sols bruns, le caractère encore "végétal" de la fraction F 50 est probable, puisque tous les C/N de FO 50 sont supérieurs à 15 et presque tous les C/N de FM 50 sont supérieurs à 13 (Tableau VII). Pour ces sols, le regroupement de fractions choisi est donc préférable à la solution qui aurait consisté à considérer la FM 50 comme du matériau organo-minéral, ce qui est le cas pour certains andosols.

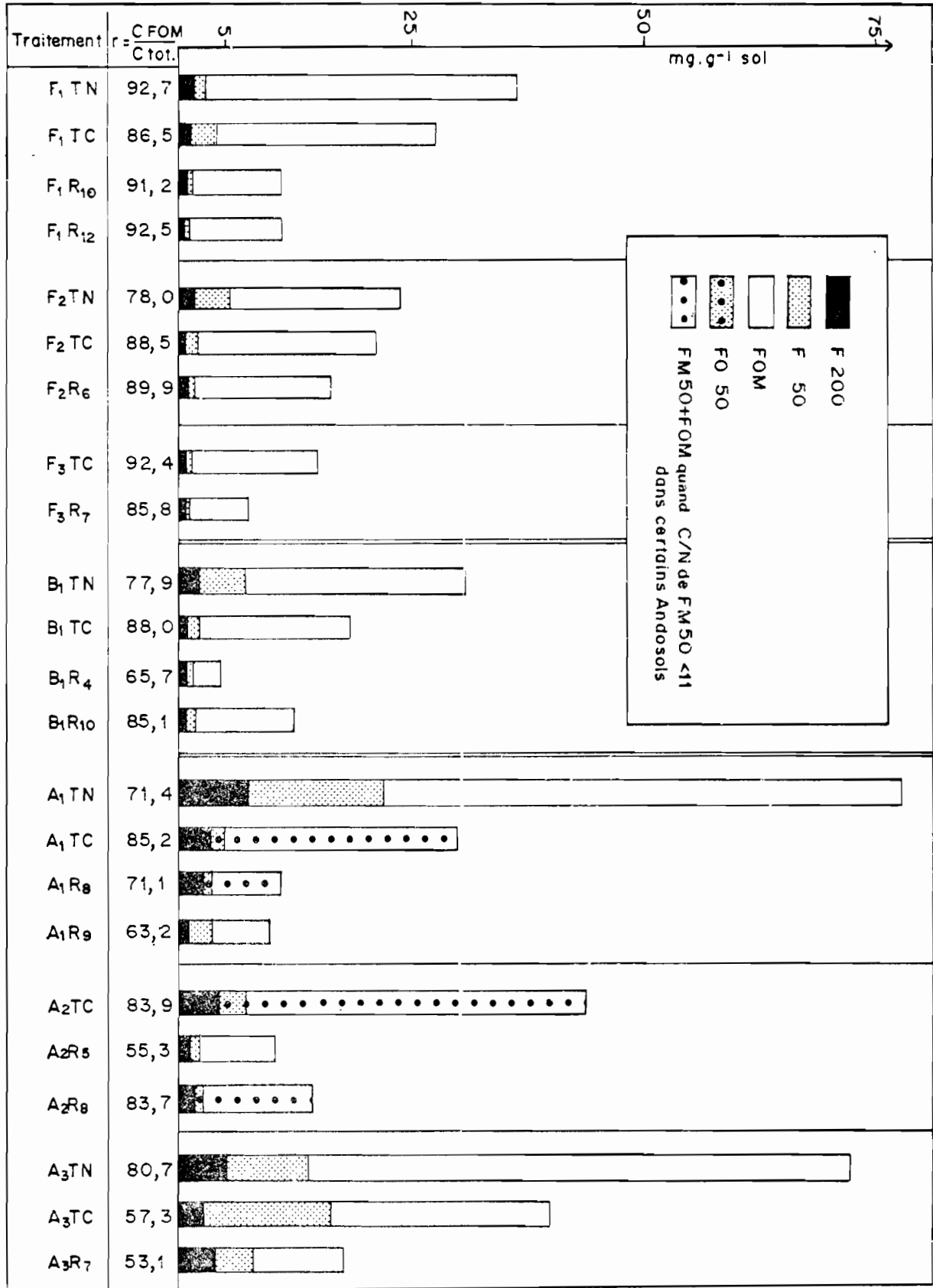


Figure 7.- Répartition du carbone dans les différentes fractions granulométriques.

Tableau VII.- Distribution du carbone dans les différentes fractions granulométriques et rapports C/N de chaque compartiment.

Traitement	FO 200		FM 200		FO 50		FM 50		FOM		Carbone total
	mg C x g ⁻¹ sol	C/N	mg C x g ⁻¹ sol	C/N	mg C x g ⁻¹ sol	C/N	mg C x g ⁻¹ sol	C/N	mg C x g ⁻¹ sol	C/N	
F ₁ TN	1,12	17,2	0,44	15,6	0,94	14,0	0,12	18,2	33,28	9,0	35,90
F ₁ TC	0,52	28,8	0,70	46,3	1,79	20,5	0,68	35,9	23,71	9,9	27,40
F ₁ R ₁₀	0,41	49,8	0,05	12,5	0,32	26,4	0,11	15,9	9,64	10,9	10,53
F ₁ R ₁₂	0,21	32,5	0,13	13,9	0,23	26,2	0,21	15,9	9,66	11,7	10,44
F ₂ TN	1,24	30,8	0,52	11,1	2,84	17,8	0,71	13,3	18,79	9,5	24,1
F ₂ TC	0,48	31,6	0,11	18,8	1,00	20,2	0,43	14,0	18,63	10,6	21,05
F ₂ R ₆	0,34	27,4	0,44	18,4	0,42	25,0	0,45	17,7	14,68	11,9	16,33
F ₃ TC	0,21	60,3	0,13	18,6	0,47	24,2	0,29	15,0	13,29	9,0	14,39
F ₃ R ₇	0,35	35,2	0,11	19,0	0,34	16,7	0,15	12,2	5,76	9,6	6,71
B ₁ TN	1,59	25,7	0,47	11,8	3,81	16,6	1,07	12,9	23,64	11,9	30,58
B ₁ TC	0,12	35,0	0,43	16,3	0,57	17,0	1,03	9,1	15,81	11,1	17,96
B ₁ R ₄	0,57	59,6	0,11	14,5	0,24	36,2	0,41	13,4	2,36	16,9	3,59
B ₁ R ₁₀	0,60	43,2	0,11	14,5	0,16	24,6	0,96	17,4	10,52	14,2	12,35
A ₁ TN	5,60	11,9	1,70	11,7	11,46	10,3	3,19	11,1	54,98	10,0	76,95
A ₁ TC*	0,24	20,7	3,36	12,2	0,94	12,2	4,62	10,3	20,53	9,8	29,49
A ₁ R ₈ *	0,79	36,5	1,79	12,7	0,73	13,4	1,62	10,1	6,54	11,0	11,47
A ₁ R ₉	0,74	36,3	0,52	21,0	0,49	15,3	1,84	14,9	6,17	13,1	9,76
A ₂ TC*	1,42	17,5	2,47	15,9	3,07	10,1	9,62	10,2	26,73	9,3	43,31
A ₂ R ₅	0,60	17,1	2,86	16,4	0,62	13,7	2,50	12,6	5,67	10,4	10,25
A ₂ R ₈ *	0,47	18,5	1,47	15,3	0,42	11,1	2,81	9,8	9,32	9,1	14,49
A ₃ TN	2,39	21,4	2,58	10,2	7,14	19,9	1,67	14,4	57,77	10,1	71,55
A ₃ TC	1,03	17,6	1,49	21,8	6,75	10,9	7,64	12,5	22,70	9,9	39,61
A ₃ R ₇	2,38	18,0	1,44	23,4	1,25	13,2	3,13	14,6	9,30	10,7	17,50

* Echantillons pour lesquels la FM 50 a été regroupée avec la FOM pour l'établissement de la figure 7 et le calcul du rapport c.

Signification des abréviations en Annexe I.

2.- Le problème général des sols sur matériaux d'origine volcanique

Certains sables, de couleur noire, et peut-être des limons, contiennent une quantité non négligeable de carbone. En effet, des dosages sur des fractions FM 200 et FM 50 ne contenant pas de résidus figurés visibles à la loupe binoculaire, ont donné une valeur à peu près constante de 4 % en carbone hérité de la roche-mère (cendres). Il en a été tenu compte pour le calcul du carbone à affecter aux résidus figurés, mais on a constaté que cette contamination était négligeable au niveau des stocks de carbone des fractions F 200 et F 50. Ce sont donc des valeurs non corrigées, qui ont servi à l'établissement du diagramme de la figure 7.

3.- Cas particulier des andosols

Le fractionnement physique ayant été réalisé sur des échantillons secs, il s'est formé, dans les andosols, des agrégats très stables. Leur présence dans la fraction F 50 constitue une "contamination" par le complexe organo-minéral, que l'on n'élimine pas, même en augmentant le temps de sonication (*) : plusieurs FO et FM 50 ont un C/N inférieur à 11 (Tableau VII). C'est pourquoi, dans ces cas nous considérerons au moins FM50 comme partie de FOM.

En conséquence, et en première approximation :

- on peut affecter, pour les ferrisols et les sols bruns, le carbone des fractions supérieures à 50 μm , aux résidus figurés ;

- pour les andosols, il faut être plus nuancé, et considérer, selon les cas, FM 50 comme partie de FOM.

B.- Etude statique : Comparaison des traitements et des divers types de sols (Figure 7)

1.- Comparaison des différents types de sols sous végétation naturelle

On note que pour les traitements TN, les ferrisols et les sols bruns sont proches (25 à 35 mg C/g de sol), mais sont différents des andosols (70 à 80 mg C/g de sol). Les différences portent aussi bien sur la fraction organo-minérale (FOM) que sur les fractions supérieures à 50 μm . Pour les fractions supérieures à 50 μm , on peut interpréter ces différences par l'intensité des apports, beaucoup plus élevés dans les forêts hygrophiles rencontrées sur andosols que dans les peuplements mésophiles installés en zones plus sèches. Pour les fractions FOM, c'est plutôt l'effet de stabilisation de la matière organique par les allophanes qu'il faut invoquer (TAN, 1966 ; SIEFFERMAN, 1969 ; INOUE, 1973 ; HETIER, 1975).

L'expression du carbone de la fraction organo-minérale en valeur relative (rapport r, Figure 7) fait apparaître que l'ensemble des sols correspondant aux traitements TN contiennent 70 à 93 % de carbone organo-minéral. Compte tenu du peu de situations analysées, on ne peut interpréter les différences entre les sols. On note toutefois la forte proportion des fractions organo-minérales, due aux fortes teneurs en éléments fins pour les ferrisols et sols bruns (à la différence des sols sableux : FELLER, 1979), et à l'effet de stabilisation par les allophanes pour les andosols.

Ce dernier effet est bien mis en évidence à partir des valeurs moyennes calculées à partir du Tableau VIII, où sont exprimées les teneurs en carbone (%) de la fraction FOM. On constate que dans les ferrisols et les sols bruns, la teneur moyenne, pour le traitement TN, est de 37,8 %, alors que dans les andosols, elle est de 91,8 %.

(*) Au-delà d'une durée de 15 minutes, le traitement aux ultra-sons risque de rompre les résidus figurés.

Tableau VIII.- Teneurs en carbone (mg C/g fraction) des fractions FOM.

Stations	Traitements			
	TN	TC	R _x *	R _y *
F ₁	38,4	33,2	11,0	11,4
F ₂	33,0	19,0	16,8	
F ₃		16,2	6,9	
B ₁	42,0	18,8	2,7	13,0
A ₂ **			10,6	17,2
Moyenne	37,8	21,8	11,2	
A ₁	98,6	44,5	14,2	10,1
A ₂		72,2		
A ₃	84,9	63,2	20,2	
Moyenne	91,8	60,0	14,8	

* x = 10, 6, 7, 4, 8, 5, 7 pour F₁, F₂, F₃, B₁, A₁, A₂ et A₃ respectivement
 y = 12, 10, 9, 8 pour F₁, B₁, A₁, A₂, respectivement

**Les sols remodelés de cette station sont développés sur matériau halloysitique
 On les a donc regroupés ici avec les stations F et B.

2.- Effets de la mise en culture

On constate que la mise en culture (Traitement TC) conduit à une diminution des stocks de carbone pour les trois types de sols envisagés. C'est pour les andosols que cette diminution est la plus importante (Tab. IX). Toutefois, les andosols cultivés présentent en moyenne des teneurs plus élevées (30 à 45 mg C/g de sol) que les ferrisols et les sols bruns (17 à 27 mg C par g de sol) (Tableau VII).

Tableau IX.- Teneurs en carbone des traitements TC et R en % de TN

Sols	Stations	Traitements		
		TC	R _x *	R _y *
Ferrisols	F ₁	76,3	29,3	29,1
	F ₂	87,3	67,8	
	F ₃ **	59,7	27,8	
Sols bruns	B ₁	58,7	11,7	40,4
Andosols	A ₁	38,3	14,9	12,7
	A ₂ **	56,3	13,3	18,8
	A ₃	55,4	24,5	26,5

* x et y = voir tableau VIII

** Lorsqu'il n'existe pas de traitement TN sur la station, on prend celui de la station la plus proche : F₂ pour F₃ et A₁ pour A₂.

Les proportions relatives des fractions figurées et organo-minérales (figure 7) ne sont pas sensiblement modifiées par la mise en culture, sauf pour la station A₃. Pour tous ces sols, on constate la très forte dominance de la fraction organo-minérale par rapport aux fractions figurées.

3.- Effet du remodelage

Le remodelage conduit à une très forte diminution du carbone en valeurs absolues et relatives par rapport aux traitements TN : le carbone des sols remodelés (C_R) varie de 5 à 15 mg/g de sol et de 12 à 68 % du carbone des sols sous végétation naturelle (C_{TN}).

Globalement, la répartition des fractions figurées et organo-minérales ne diffère pas entre les trois traitements, tous sols confondus :

$$r = \frac{C_{FOM}}{C_{total}} \times 100$$

$$r_{TN} = 75,8 \pm 3,7 \% \quad n = 5$$

$$r_{TC} = 83,1 \pm 10,8 \% \quad n = 7$$

$$r_R = 76,1 \pm 14,1 \% \quad n = 11$$

Si l'on distingue les divers types de sols pour le traitement R, les andosols présentent une répartition de fractions différente des ferrisols et sols bruns :

$$\text{- stations F, B et A}_2^* \quad r_R = 81,1 \pm 12,5 \% \quad n = 8$$

$$\text{- stations A}_1 \text{ et A}_3 \quad r_R = 62,5 \pm 7,3 \% \quad n = 3$$

Cette répartition différente des fractions figurées et organo-minérales selon les divers types de sols est due beaucoup plus aux fortes teneurs absolues (mg C par g de sol) en fractions figurées dans les andosols remodelés, plutôt qu'à de faibles teneurs en fractions organo-minérales.

Les résultats portés au tableau VIII nous montrent que les teneurs en carbone des fractions FOM (mg C par g de la fraction) sont très proches, pour les traitements R (cf. valeurs moyennes), des deux ensembles A et (F+B), alors que ce n'était pas le cas pour les traitements TN et TC. L'effet de stabilisation du carbone des fractions fines par les allophanes, très net pour les sols non remodelés (TN et TC) n'apparaît pratiquement plus dans les sols remodelés.

Ces résultats sont peut-être à relier à la nature des allophanes ayant pris naissance dans les horizons de profondeur, aujourd'hui mis à l'affleurement par le remodelage, ou à des modifications ayant affecté ceux-ci depuis leur mise à jour. Leurs caractéristiques peuvent être différentes des allophanes formés dans les horizons de surface, ce qui expliquerait que la stabilisation du carbone y soit peu dépendante d'un effet minéralogique, mais plutôt d'un effet texture : pour 1 g de FOM, on fixe la même quantité de carbone pour tous les types de sols remodelés.

* Les sols remodelés de cette station étant développés sur matériau halloysitique, nous les avons regroupés avec les stations F et B.

C.- Etude dynamique : Evolution des différentes fractions au cours des 4 mois suivant la récolte. Exemple d'un ferrisol.

Pour cette étude dynamique, nous avons choisi la station F₁ pour sa fiabilité en matière de remodelage (absence de régalage, matériau-mère homogène). Nous avons comparé l'évolution, à partir de la récolte, des différentes fractions organiques d'un sol remodelé (F₁R₁₀) et d'un sol témoin cultivé (F₁TC). Les prélèvements se sont échelonnés sur 4 mois, au rythme de un par mois (Tableau X).

Les résultats nous indiquent tout d'abord les variations concernant uniquement les fractions organiques grossières. Ceci montre bien l'intérêt de la méthode de fractionnement physique pour l'étude de tels sols, alors qu'une étude sur le sol total n'aurait fait apparaître aucune tendance.

* Les fractions FO 200 évoluent dans le même sens pour les deux traitements, à savoir que le carbone y augmente progressivement à partir de l'apport des résidus végétaux de canne à sucre). Ceci est logique pour un compartiment d'entrée de la matière organique, que le sol soit remodelé ou non ; ce qui importe, ce sont les techniques culturales. Les différences entre les deux traitements portent sur les rapports C/N de ces fractions : ils sont, au départ, deux fois plus élevés dans le sol remodelé que dans le sol témoin. De plus, l'évolution de ces rapports semble indiquer que le sol témoin présente une activité biologique supérieure, permettant une évolution plus rapide des résidus figurés, le rapport C/N des résidus de récolte (feuilles) étant identique pour les deux traitements (voir annexe II). On peut également expliquer ce comportement différent selon les traitements, par l'influence de la matière organique préexistante dans les fractions FO 200. Elle serait en faible quantité dans les sols remodelés, n'abaissant point artificiellement le rapport C/N de l'ensemble de la fraction.

* Dans la fraction FO 50 du sol remodelé, l'évolution de la quantité de carbone suit celle de la fraction FO 200, avec la différence que le rapport C/N diminue, ce qui traduirait une tendance à la réorganisation de l'azote, ou au moins, l'installation d'une certaine activité biologique. En sol témoin, l'évolution des matières organiques de la FO 50 est sans doute masquée par la présence d'un stock préexistant. On note cependant une chute de la teneur en carbone au quatrième mois.

* Les fractions organo-minérales sont stables dans les deux traitements. On note seulement que les concentrations sont moindres dans le sol remodelé. Il n'est donc pas possible d'apprécier en un seul cycle de culture, l'importance de l'apport de matière organique au compartiment organo-minéral.

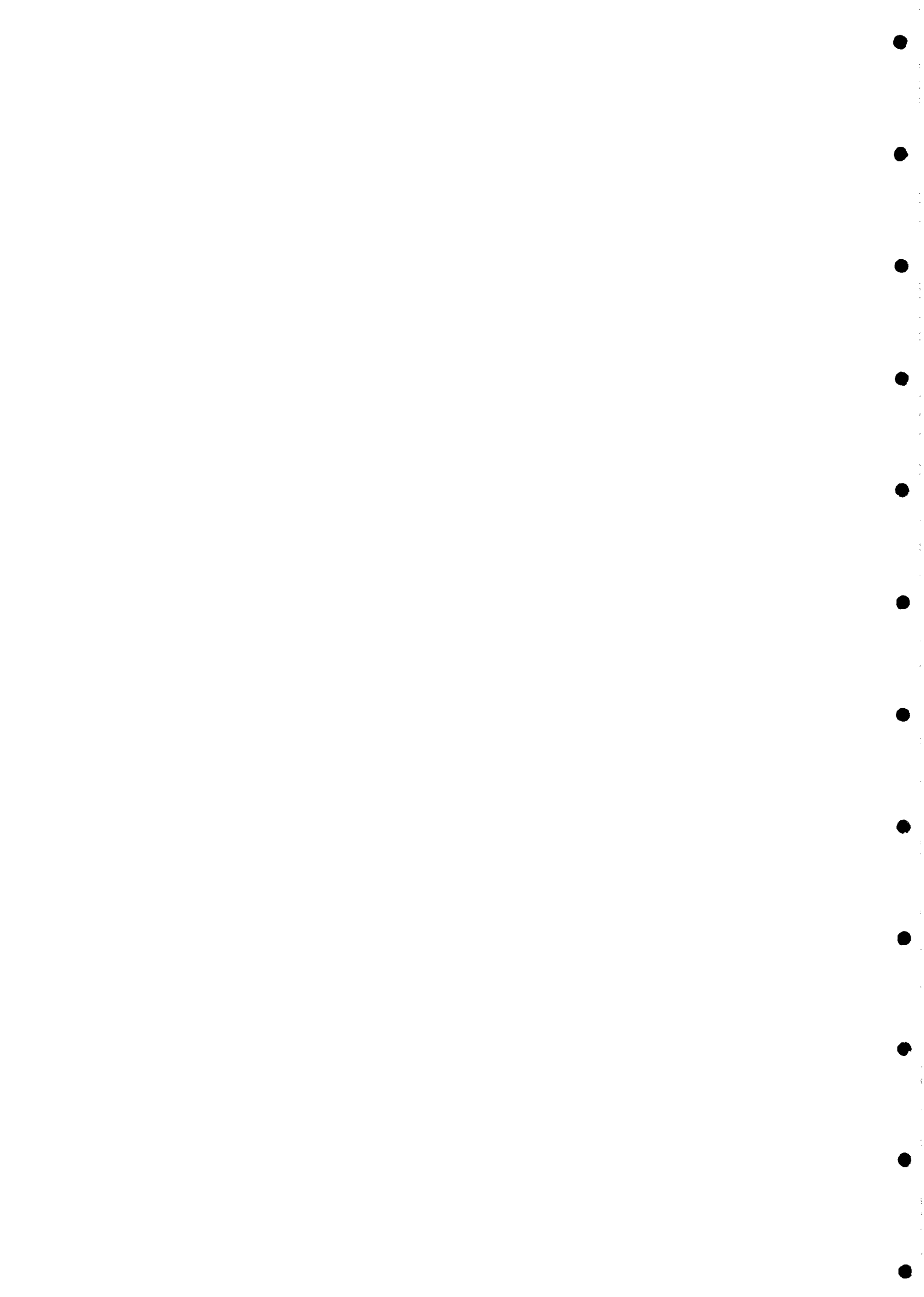
Tableau X.- Evolution des fractions FO 200, FO 50 et FOM au cours des 4 mois suivant la récolte. Exemple d'une station sur ferrisol.

	Mois après récolte	FO 200		FO 50		FOM		Total fractions	
		C % sol	C/N	C % sol	C/N	C % sol	C/N	C % sol	C/N
Sol remodelé (F ₁₅ 10)	1	0,41	49,8	0,32	26,4	9,64	10,9	10,53	14,7
	2	0,31	38,1	0,52	24,6	9,65	9,3	10,71	11,8
	3	0,92	47,1	1,41	29,3	10,12	14,5	12,61	15,7
	4	1,20	48,0	1,28	16,7	10,17	14,4	12,86	12,9
Sol témoin (F ₁ TC)	1	0,52	28,8	1,79	20,5	23,71	9,9	27,40	13,3
	2	1,18	21,9	2,13	15,9	21,86	10,3	26,80	11,5
	3	0,86	21,0	1,94	15,4	24,06	9,4	28,77	11,4
	4	2,45	19,9	1,29	18,8	19,48	11,3	24,97	10,6



CHAPITRE III

ÉTUDE DES MATIÈRES HUMIQUES
ET DES FORMES DE L'AZOTE



ÉTUDE DES MATIÈRES HUMIQUES ET DES FORMES DE L'AZOTE

I.- METHODES ANALYTIQUES

A.- Extraction des composés humiques

Deux méthodes sont utilisées : la première, sur un grand nombre d'échantillons, pour une caractérisation globale de la composition des humus; la seconde a été pratiquée sur un nombre réduit d'échantillons pour une étude plus précise des complexes organo-minéraux. Ces deux méthodes et les fractionnements consécutifs sont présentés à la figure 8.

1.- Extraction par le mélange pyrophosphate de sodium-soude 0,1M à pH 12 (noté "ps pH 12")

Les matières humiques totales (MHTps) sont extraites en deux fois, à raison de 20 g de sol pour 200 ml de solution alcaline. Les culots de centrifugation (ou humines HUpS) sont rincés à l'acide avant d'être amenés à sec. La séparation des acides humiques (AHps) et fulviques (AFps) se fait par acidification à pH 1 de la solution par HCl dilué.

2.- Extraction à la soude diluée à pH 10 (noté "s pH 10")

Les extractions sont réalisées en dispersant le sol (20 g de fraction inférieure à 50 μ m pour 100 ml d'extractant) dans NaOH 0,02 N ajustée à pH 10 avec NaOH 0,1 N. L'opération est répétée 6 fois. Le volume final des extraits est mesuré et additionné de 2 % de KCl pour flocculer les complexes organo-minéraux dispersables. Ceux-ci sont récupérés après séjour de 12 heures à 4°C, centrifugés, puis réunis à la fraction non extractible. L'ensemble des inextractibles (HUs) est lavé avec HCl 0,05 N et les eaux de lavage sont recueillies. Les extraits alcalins (MHTs) sont amenés à pH 1,5 avec HCl 2 N. Après 12 heures de repos à 4°C, les acides humiques (AHs) sont séparés des acides fulviques (AFs) par centrifugation à 3 000 t/mn.

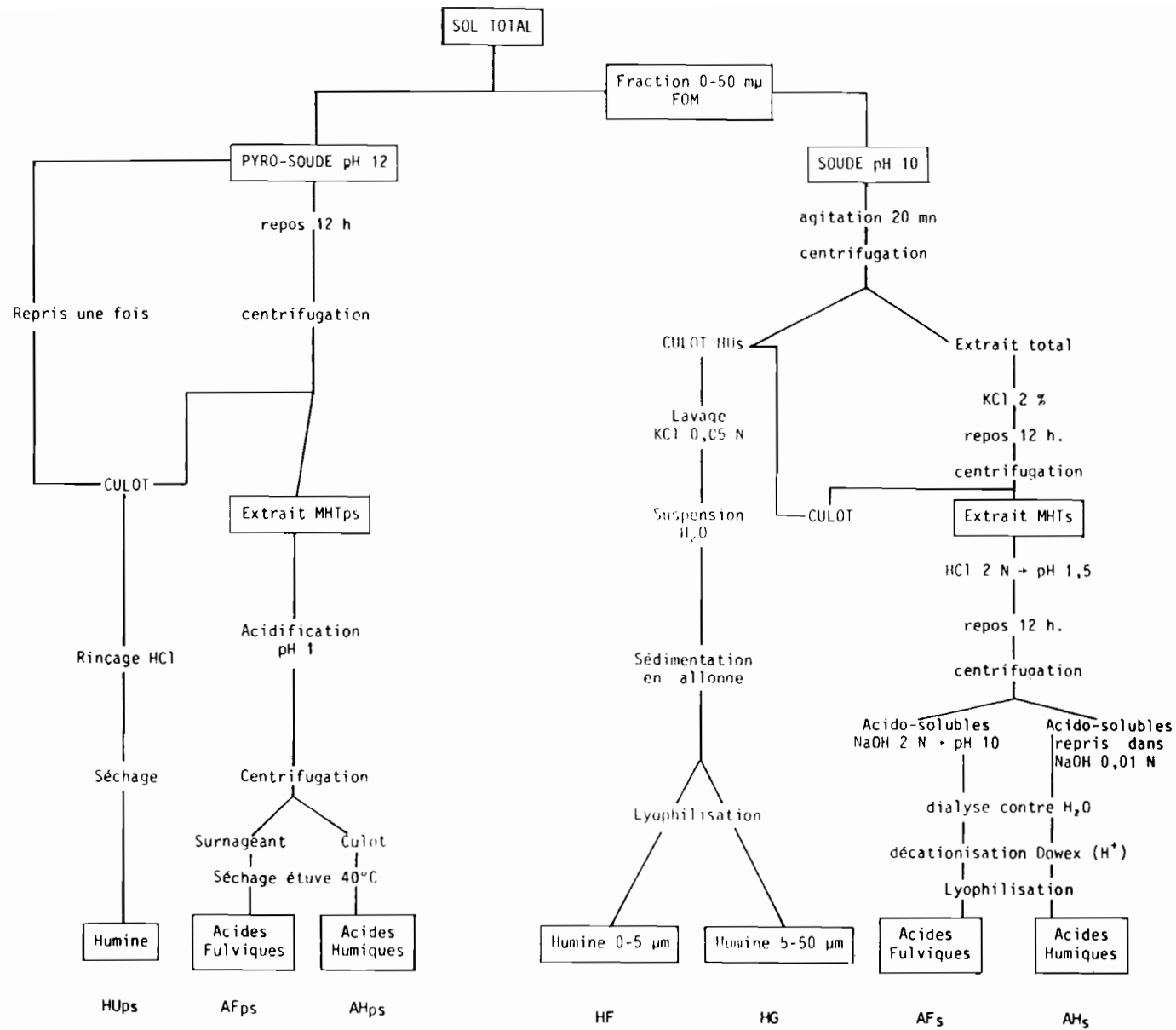


Figure 8.- Fractionnement des matières humiques

B.- Fractionnement physique des résidus inextractibles (HU_S)

Les résidus inextractibles sont mis en suspension dans l'eau. Si des phénomènes de floculation interviennent dans l'allonge, le pH est amené progressivement à 10 avec NaOH 0,1 N pour permettre la dispersion des particules. On sépare alors, par sédimentation, les particules 5-50 µm et 0,5 µm, notées respectivement humine grossière (HG) et humine fine (HF). Ces fractions sont ensuite lyophilisées et pesées.

C.- Purification des acides fulviques (AF_S) et acides humiques (AH_S)

Les AF_S sont amenés progressivement à pH ≈ 10 avec de la soude 2 N pour provoquer une précipitation éventuelle de β-humus (STEVENSON, 1965) (HOLTZCLAW et al., 1976). Le surnageant est ensuite concentré, puis dialysé contre l'eau distillée pour permettre l'élimination des ions Cl⁻ et OH⁻. On procède alors à la décationisation de la solution par percolation sur résines échangeuses de cations DOWEX W-50 (H⁺). Les effluents sont ensuite lyophilisés.

D.- Méthodes de caractérisation des composés humiques

1.- Analyse élémentaire du carbone et de l'azote

Les teneurs en carbone et azote des produits solides (sols, lyophilisats, résidus d'hydrolyse) sont mesurées à l'aide d'un Analyseur Élémentaire CARLO-ERBA Mod-1106.

Le carbone des extraits alcalins MHTs est dosé en retour par le sel de Mohr après oxydation par le bichromate de potassium à 2 % dans l'acide sulfurique (Méthode ANNE).

Le carbone des extraits alcalins MHTs est dosé par oxydation sèche au Carmograph 12 WÜSTHOFF.

L'azote total des extraits alcalins MHTs et des hydrolysats est déterminé par la méthode KJELDAHL.

2.- Encombrements moléculaires

On détermine les encombrements moléculaires des composés humiques par perméation sur gel SEPHADEX G 75. Les séparations sont matérialisées par enregistrement graphique de la densité optique à 280 nm des éluats, en fonction du temps. Le calcul du coefficient d'éluviation (Kav) permet d'apprécier les poids moléculaires équivalents aux poids moléculaires de protéines globulaires (ANDREWS, 1964).

3.- Absorption dans le spectre ultra-violet visible

Le spectre UV-visible des solutions d'AHs et AFs est enregistré en continu dans la région 200-750 nm à l'aide d'un spectrophotomètre BECKMAN 25. Le coefficient Q 4/6 correspond au quotient des densités optiques à

465 et 625 nm ; il permet une comparaison relative des degrés de polycondensation des composés en solution.

En outre, sur les extraits alcalins MHTps, on a mesuré les densités optiques à 405,492 et 578 nm à l'aide d'un spectrophotomètre "EPPENDORF 1101M". La comparaison des composés en solution se fait par le calcul des rapports d'extinction EQ 4/5 et EQ 5/6 (SALFELD et SÖCHTIG, 1974).

4.- Spectrographie infra-rouge

Les acides fulviques (AFs) et humiques (AHs) lyophilisés sont dilués à 0,2 % dans KBr anhydre et pastillés sous une pression de 10 T/cm². Les spectres d'absorption sont enregistrés à l'aide du spectrophotomètre BECKMAN IR 4250.

5.- Titration des acidités

Les acides humiques et fulviques lyophilisés sont dissous dans KCl 0,1 N (50 mg/20 ml). La neutralisation des solutions par NaOH 0,01 N s'effectue à la burette automatique. Les courbes de titration et leurs dérivées par rapport au temps sont obtenues par enregistrement direct à l'aide du dispositif "URETRON 5" de Tacussel (ROUILLER et al., 1980).

6.- Techniques hydrolytiques

a) Hydrolyse chlorhydrique

Les acides fulviques et humiques sont portés à reflux pendant 16 heures dans HCl 3 N (20 à 50 mg/50 ml HCl 3N). Pour les humines (HF et HG), la proportion est de 500 mg/50 ml HCl 3N.

Dans le cas des AF et des AH, le résidu d'hydrolyse est recueilli, puis séché et pesé sur filtre millipore BDWP (diamètre des pores : 0,6 µm), préalablement taré. Cette mesure permet le calcul par différence, de la perte de poids à l'hydrolyse.

Une partie de l'aliquote des hydrolysats doit être évaporée à sec et rincée trois fois par H₂O, en vue du dosage des formes d'azote.

La teneur en azote α-aminé + ammoniacal des hydrolysats est déterminée par colorimétrie à la ninhydrine (MOORE et STEIN, 1954). L'azote ammoniacal seul est obtenu par mesure spectrophotométrique à une longueur d'onde voisine de 630 nm, après réaction des ions NH₄⁺ avec le phénol et l'hypochlorite, en présence de nitroprussiate comme catalyseur (AFNOR, 1975).

b) Hydrolyse sulfurique

Les AF, AH et humines lyophilisées sont chauffées à reflux dans H₂SO₄ 3 N pendant 16 heures, en utilisant les mêmes proportions que pour l'hydrolyse chlorhydrique. La teneur en hexoses est mesurée sur l'hydrolysat filtré, par colorimétrie (625 nm) à l'anthrone, en milieu H₂SO₄ concentré

(STEVENSON, 1957). Les résultats sont exprimés en carbone d'équivalent-glucose.

II.- RESULTATS

A.- Composition globale de l'humus

La composition de l'humus a été étudiée globalement (ps pH 12) sur la totalité des échantillons de sols remodelés et témoins cultivés, correspondant au premier prélèvement après la récolte, et aux prélèvements réalisés au cours des 4 mois suivant la récolte. C'est d'abord la moyenne de ces variations que l'on considère pour chaque station.

1.- Extractibilité alcaline

Les taux d'extraction des sols témoins sont supérieurs à ceux des sols remodelés (les différences sont hautement significatives) :

- % extraction témoin : $42,03 \pm 7,55$
- % extraction remodelé : $28,87 \pm 7,97$

Ces chiffres impliquent une participation plus importante de matériaux non extractibles à la matière organique des sols remodelés.

La valeur des coefficients de variation (28 % dans les sols remodelés contre 18 % dans les sols témoins) reflète bien la distribution hétérogène de la matière organique au sein du matériau minéral des sols remodelés.

La répartition des points, toutes situations confondues, le long de la courbe représentant le carbone des matières humiques totales, en fonction du carbone total (Figure 9) permet aisément de distinguer le domaine remodelé du domaine à l'équilibre, à la fois par les niveaux et par les pentes. Le seuil d'évolution entre les deux domaines se situerait à environ 16 % de carbone total (abscisse de l'intersection des deux demi-droites).

En ce qui concerne la fraction inextractible, on note que le rapport C/N, peu différent de celui du sol total, est aussi plus élevé (19 à 26) dans les sols remodelés que dans les sols témoins (12 à 15) (Figure 10 et annexe III). Dans les stations F₁ et A₂, ce rapport diminue avec l'ancienneté du remodelage. Ceci suggère une participation plus importante des matières organiques peu humifiées à l'humine des sols remodelés, ce qui est en accord, du moins pour les andosols, avec la participation plus forte des fractions figurées au carbone total.

2.- Propriétés optiques des extraits totaux (MHTps)

L'analyse des densités optiques des extraits alcalins MHTps et la comparaison des rapports d'extinction à 405, 492 et 578 nm (EQ 4/5 et EQ 5/6, selon SALFELD et SÖCHTIG, 1974) montrent qu'il existe plusieurs familles de produits, et met en évidence une condensation croissante des substances humiques dans le sens sols remodelés-sols non remodelés (Figure 11).

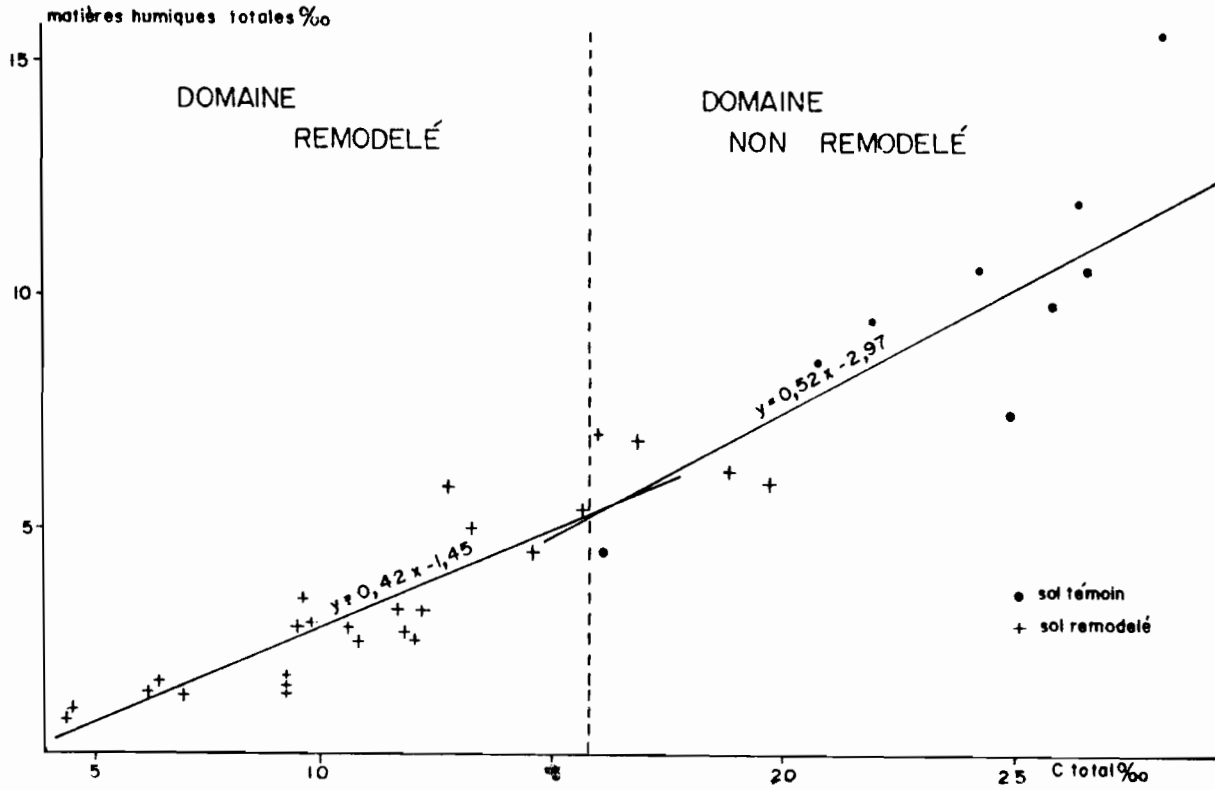


Figure 9.- Carbone de l'extrait humique (MHTps) en fonction du carbone total. Mise en évidence de deux domaines.

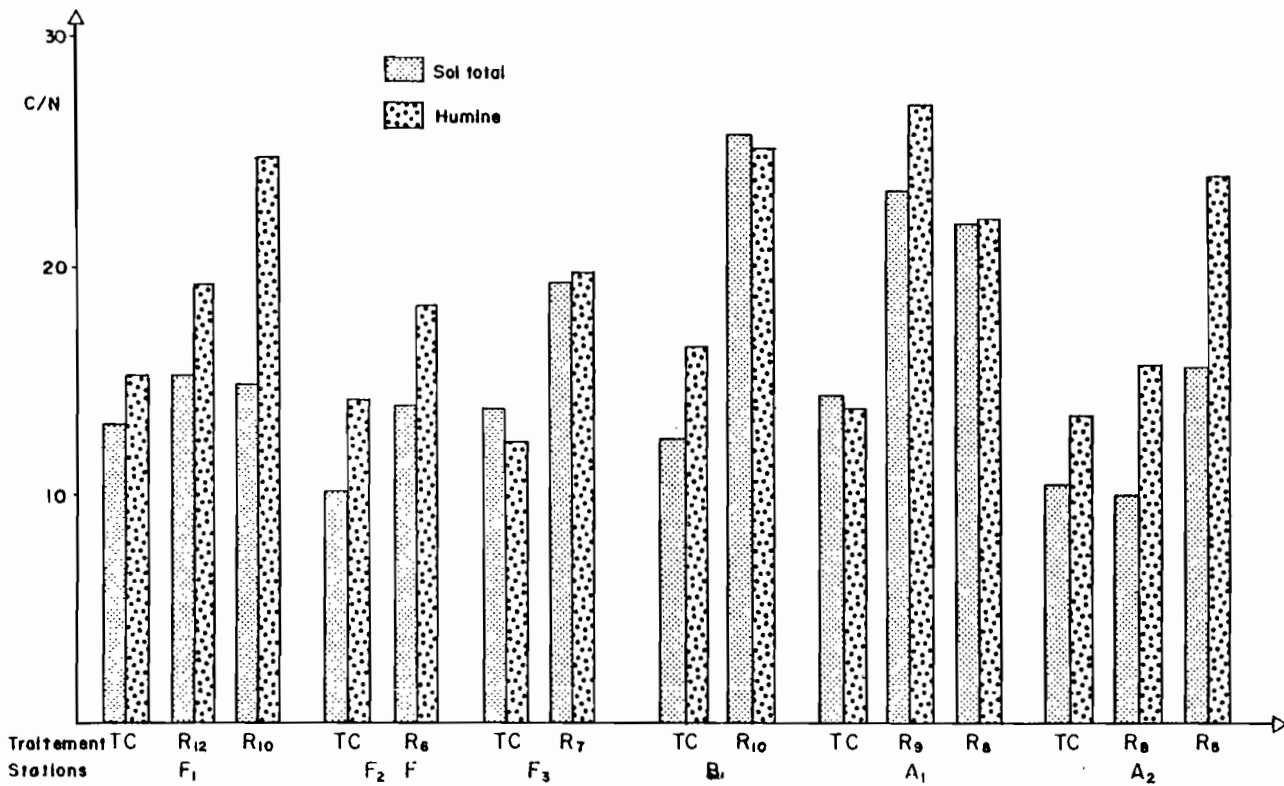


Figure 10.- Rapports C/N de l'humine (HUps) et du sol total (Situations de départ).

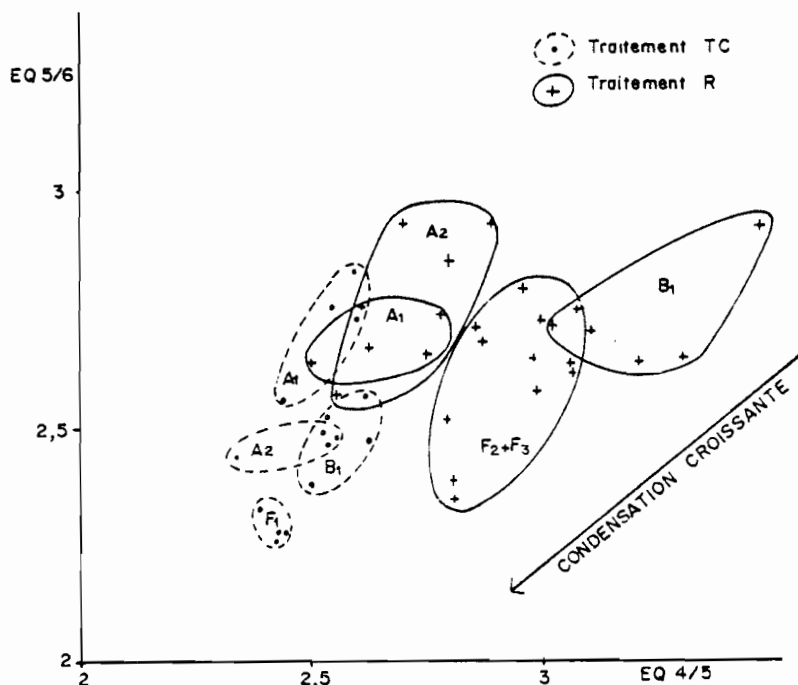


Figure 11.- Caractéristiques optiques des extraits humiques MHTps : Variations des coefficients EQ 4/5 et EQ 5/6 (selon SALFELD et SÖCHTIG, 1974)

La plus grande dispersion des points dans les sols remodelés traduit la dépendance structurale des matières humiques jeunes par rapport au végétal. Dans les sols à humification plus ancienne, les différences dues aux précurseurs végétaux sont "gommées" par l'évolution vers la polycondensation.

3.- Distribution des acides fulviques et des acides humiques (AFps et AHps)

L'étude quantitative de ces composés n'a été réalisée que pour les stations où :

- la minéralogie était identique pour tous les traitements,
- la réalité des divers traitements n'était pas ambiguë

Il ressort de ces contraintes, que ce sont les stations F_1 et A_1 (traitements TC et R), qui peuvent être comparées : un même agrosystème (canne à sucre) sur des sols différents, bien typés : ferrisol et andosol.

Nous avons comparé la moyenne des variations au cours du temps (4 mois après récolte) des proportions en AF et AH calculées en pourcentage du carbone total de chaque sol (Tableau XI).

Les proportions d'AF et AH obtenues (moyennes) sont très voisines pour le ferrisol et l'andosol témoins : les rapports AF/C et AH/C se situent respectivement vers 30 % et 10-15 % pour les deux sols.

Par ailleurs, on note un effet du traitement, qui affecte les rapports AF/AH, plus bas et relativement plus constants dans les sols témoins (1,3 à 4,4) que dans les sols remodelés (2,3 à 15,5). Le remodelage affecte en outre :

- la proportion des acides humiques dans les deux sols
- la proportion des acides fulviques dans l'andosol uniquement

Tableau XI.- Variations au cours des 4 mois suivant la récolte, des proportions d'acides humiques (AH) et acides fulviques (AF), calculées en pourcentage du carbone total (C), pour un andosol et un ferrisol, témoins et remodelés.

	Mois après récolte	ANDOSOL			FERRISOL		
		A ₁ TC	A ₁ R ₀	A ₁ R ₉	F ₁ TC	F ₁ R ₁₀	F ₁ R ₁₂
AH/C %	1	16,08	5,90	3,90	23,8	1,75	4,53
	2	10,37	2,88	1,03	10,5	2,96	4,17
	3	7,68	4,84	4,80	15,4	11,6	6,67
	4	7,82	5,09	2,69	13,0	6,55	10,3
	Moyenne	10,48 ± 3,40	4,7 ± 1,11	3,10 ± 1,41	15,67 ± 5,0	5,71 ± 3,83	6,42 ± 2,44
AF/C %	1	26,91	21,16	14,47	31,40	27,1	24,1
	2	32,66	14,65	15,50	24,75	32,3	21,3
	3	33,02	17,81	19,12	19,98	26,1	19,0
	4	34,00	17,69	18,49	32,70	23,8	23,6
	Moyenne	31,81 ± 2,86	17,82 ± 2,30	16,89 ± 1,95	27,20 ± 5,15	27,32 ± 3,11	22,0 ± 2,03
AF/AH	1	1,7	3,6	3,7	1,3	15,5	5,3
	2	3,1	5,1	15,1	2,3	10,9	5,1
	3	4,3	3,7	4,0	1,3	2,3	2,8
	4	4,4	3,5	6,9	2,5	3,6	2,3
	Moyenne	3,37 ± 1,09	3,97 ± 0,65	7,42 ± 4,60	1,85 ± 0,55	8,07 ± 5,39	3,87 ± 1,34

La représentation graphique (Fig. 12) des taux d'acides fulviques en fonction des taux d'acides humiques permet d'isoler les deux domaines déjà définis à la figure 9, tout en rappelant l'extractibilité supérieure des matières organiques dans les sols témoins. La forme des nuages de points diffère selon les traitements, ce qui traduit des variations différentes :

- variations à dominante humique pour les sols témoins (ellipsoïdes orientées plutôt horizontalement),

- variations à dominante fulvique pour les sols remodelés (ellipsoïdes orientées plutôt verticalement).

Ce graphique (Figure 12) et le niveau des rapports AF/AH (Tableau XI) nous indiquent bien que les composés (faiblement) extractibles des sols remodelés sont dominés par les acides fulviques, à caractères chimiques et physiques variables.

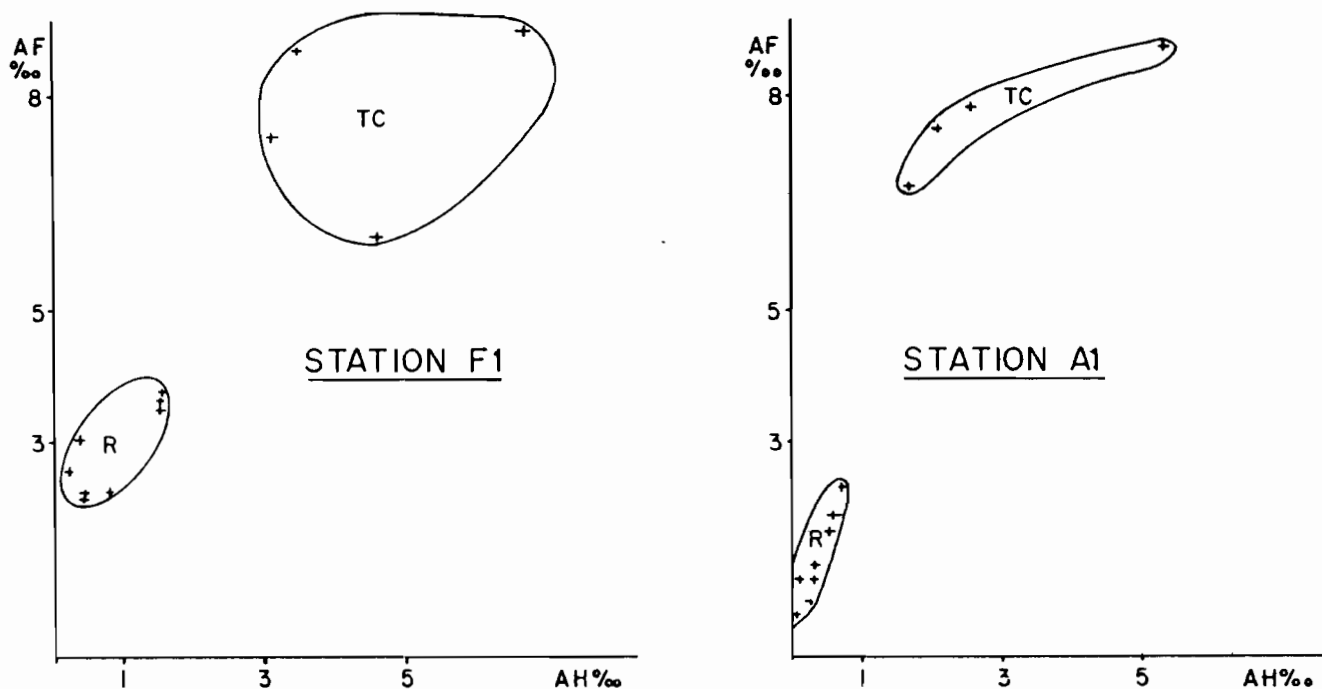


Figure 12.- Variation des teneurs en acides fulviques en fonction des teneurs en acides humiques dans un andosol (A₁) et un ferrisol (F₁), témoins et remodelés.

B.- Caractérisation des matières organiques humifiées

Les matières organiques liées à la matière minérale, constituant pour l'essentiel le complexe argilo-humique des sols, ont été étudiées à partir des fractions FOM obtenues après fractionnement physique des sols. Ici encore, ont été choisies les deux stations les plus représentatives, F₁ et A₁, avec leurs principaux traitements, TN, TC, et R₈ pour A₁, R₁₀ pour F₁.

Pour le fractionnement chimique des échantillons, on a choisi d'extraire les composés humiques par la soude pH 10 (BARRIUSO, 1981 ; BARRIUSO et al., 1985). Cette méthode, relativement douce, tend à limiter l'extraction aux composés les plus dissociés, et permet ensuite une étude plus fine des constituants organiques responsables des processus d'agrégation survenant au sein de l'humine.

1.- Extractibilités comparées du carbone et de l'azote organiques (Tableau XII)

La limitation du pH de la soude à 10 se traduit tout d'abord par une forte diminution du taux d'extraction par rapport à la méthode utilisant le pyrophosphate de sodium-soude à pH 12, mais on note toujours à peu près la même différence entre les traitements TC et R : le taux d'extraction en situation remodelée est environ moitié du taux d'extraction en situation témoin cultivé.

Tableau XII.- Distribution du carbone et de l'azote dans les composés humiques extractibles à pH 10, à partir d'un ferrisol (F₁ et d'un andosol (A₁) selon divers traitements (TN, TC et R).

			C organique extrait			N organique extrait			C/N
			mg C/g FOM	% du C de FOM	AF/AH	mg N/g FOM	% du N de FOM	AF/AH	
FERRISOL	F ₁ R ₁₀	Extrait total	0,80	8,2	4,7	0,11	12,3	10,1	7,3
		Ac. Fulviques	0,66	6,8		0,10	11,2		6,6
		Ac. Humiques	0,14	1,4		0,01	1,1		-
	F ₁ TC	Extrait total	5,27	16,1	2,8	0,76	26,2	1,7	6,9
		Ac. Fulviques	3,86	11,8		0,48	16,5		8,0
		Ac. Humiques	1,39	4,3		0,28	9,7		5,0
F ₁ TN	Extrait total	2,16	5,6	7,8	0,36	8,3	10,8	6,0	
	Ac. Fulviques	1,94	5,0		0,33	7,6		5,9	
	Ac. Humiques	0,25	0,6		0,03	0,7		8,3	
ANDOSOL	A ₁ R ₈	Extrait total	1,10	7,1	21	0,14	10,8	12,5	7,9
		Ac. Fulviques	1,05	6,7		0,13	10,0		8,1
		Ac. Humiques	0,05	0,4		0,02	0,8		-
	A ₁ TC	Extrait total	7,41	15,9	2,2	0,75	16,7	2,0	9,9
		Ac. Fulviques	5,10	10,9		0,50	11,1		10,2
		Ac. Humiques	2,31	5,0		0,25	5,6		9,2
A ₁ TN	Extrait total	26,56	23,4	1,0	2,85	28,2	0,8	9,3	
	Ac. Fulviques	12,99	11,4		1,30	12,9		11,0	
	Ac. Humiques	13,57	12,0		1,55	15,3		8,8	

Dans le ferrisol, l'extractibilité de l'azote est toujours supérieure à celle du carbone, quel que soit le traitement, l'écart le plus grand étant observé dans le témoin cultivé. Par contre, dans l'andosol, l'extractibilité de l'azote reste du même ordre de grandeur que celle du carbone. On note également la faible extractibilité du ferrisol sous végétation naturelle (TN), alors que le témoin correspondant sur andosol est au contraire le plus extractible.

Le réactif utilisé tend à sélectionner les matières organiques extractibles les plus jeunes. Ainsi, les rapports AF/AH des sols témoins cultivés sont-ils voisins de 2 dans les deux types de sols, que ce rapport soit calculé sur la base du carbone ou de l'azote. Dans les témoins naturels, on retrouve la disparité signalée entre les deux sols, l'andosol présentant les valeurs les plus basses et le ferrisol les valeurs les plus élevées. C'est dans les profils remodelés que les rapports AF/AH augmentent le plus par rapport aux témoins cultivés respectifs : calculé sur la base du carbone, ce rapport est doublé dans le ferrisol, et multiplié par 10 dans l'andosol. Lorsqu'il est calculé sur la base de l'azote, il est environ 6 fois plus élevé dans les deux types de sols remodelés. Ceci tend donc à confirmer que, dans les sols remodelés, pratiquement 90 % de l'azote extractible se trouvent sous forme d'acides fulviques.

Les rapports C/N des extraits sont toujours relativement bas, et inférieurs à ceux des sols correspondants. On note peu de différences entre les divers sols ou traitements, ainsi qu'entre les extraits fulviques et humiques. Ces résultats recourent, en les amplifiant, ceux présentés au paragraphe précédent (II.A.).

2.- Analyse physique et chimique des composés humiques extractibles purifiés

La spécificité du réactif choisi (NaOH pH 10) pour l'isolement des matières humiques solubles nous a permis de bien différencier les divers traitements, mais nous a limité en ce qui concerne les quantités de produits extraits, notamment pour les sols remodelés et le témoin sous végétation naturelle du ferrisol. Ceci explique qu'un certain nombre d'analyses n'ont pu être réalisées que sur les sols témoins (analyse élémentaire, acidités titrables, spectroscopie infra-rouge et hydrolyses acides).

a) Analyse élémentaire (Tableau XIII)

Tableau XIII.- Analyse élémentaire des acides humiques et fulviques des sols témoins (F₁TC, A₁TC, A₁TN)

		C %	H %	N %	C/H*	C/N*	Cendres %	Fe ‰	Al ‰	Si ‰
Acides humiques (AHs)	F ₁ TC	46,3	4,4	4,4	10,5	10,8	18	23,1	13,3	8,8
	A ₁ TC	26,7	3,1	2,6	8,5	11,7	27	33,3	64,5	54,0
	A ₁ TN	37,8	4,4	3,7	8,5	10,1	tr.	18,8	34,2	tr.
Acides fulviques (AFs)	F ₁ TC	39,2	4,4	2,5	9,0	16,6	16	0,9	6,7	13,4
	A ₁ TC	37,7	4,0	2,0	9,4	19,0	22	0,5	4,4	19,7
	A ₁ TN	38,5	3,8	4,5	10,2	16,2	3	0,5	5,1	tr.

* Rapports pondéraux.

D'une manière générale, les analyses élémentaires sont entachées de proportions élevées de cendres minérales, hormis le cas du sol A₁TN. Pour une même teneur en cendres, les AH du ferrisol sont plus riches en carbone que les AF, alors que c'est l'inverse pour les andosols. On peut penser que les moindres teneurs en carbone des AF sont dues à leur richesse en oxygène, supérieure à celle des AH, et qui peut avoisiner 50 % (SCHNITZER et KEAN, 1972; ANDREUX, 1979; BARRIUSO et al., 1985). Dans ces conditions, la teneur en oxygène des AF d'andosols devrait différer peu de celle de leurs AH.

Les AH des deux types de sols sont plus riches en azote que les AF correspondants, cette différence se traduisant par des rapports C/N nettement plus bas (entre 10 et 11) pour les AH que pour les AF (entre 16 et 19). La présence de cendres rend imprécise l'interprétation des teneurs en hydrogène : les valeurs trouvées s'échelonnent entre 3,1 et 4,4 %. Dans le cas du sol A₁TN, on note que les AF sont sensiblement moins riches en hydrogène que les AH, mais étant donné la faible teneur en carbone, ceci ne traduit pas un indice d'aromaticité élevé pour ces AF.

L'étude de la nature des cendres minérales montre que le fer est le principal contaminant des AH du ferrisol, alors que l'aluminium et le silicium prédominent dans les AH de l'andosol. Les AF sont surtout enrichis en aluminium et silicium dans les deux types de sols. Ceci tend à indiquer que des minéraux tels que les oxy-hydroxydes de fer et d'aluminium et les argiles fines sont restés associés aux AH, tandis que les AF renferment des minéraux argileux et de la silice imparfaitement séparés, aux côtés de petites quantités d'ions métalliques fortement complexés.

La répartition de la matière organique dans les fractions non extractibles à pH 10 (Tableau XIV) est d'abord fonction de la distribution pondérale des fractions grossières (HG, 5-50 μm) et fines (HF, < 5 μm) dans chaque type de sol. On peut voir que la part des fines est relativement élevée dans le ferrisol, notamment dans le profil remodelé (HF = 81,4 % des inférieurs à 50 μm). Dans l'andosol, les fines sont pondéralement moins abondantes, surtout dans le profil remanié (HF = 33,3 % des inférieurs à 50 μm).

Tableau XIV.- Répartition de la matière organique dans les fractions non extractibles à la soude pH 10

	Traitement	Fraction	% pondéral de la fraction < 50 μm	C ‰	N ‰	C/N
FERRISOL	F ₁ TN	HF		49,1	5,6	8,7
		HG				
	F ₁ TC	HF	75,2	27,8	3,3	8,4
		HG	24,8	19,1	1,1	17,4
	F ₁ R10	HF	81,4	7,8	0,7	11,1
		HG	18,6	12,0	0,7	17,1
ANDOSOL	A ₁ TN	HF	46,1	95,1	9,7	9,8
		HG	53,9	60,0	6,0	10,0
	A ₁ TC	HF	47,4	42,3	5,2	8,1
		HG	52,6	29,0	2,8	10,4
	A ₁ R8	HF	33,3	14,5	1,6	9,1
		HG	76,7	11,5	1,0	11,5

HF = Humine fine (< 5 μm) - HG = Humine grossière (5-50 μm)

Dans les témoins cultivés, les teneurs en carbone et azote des fines (HF) sont sensiblement supérieures à celles des fractions grossières (HG), et les rapports C/N sont plus bas pour les fractions fines, qui sont donc plus riches en azote.

Le remodelage a pour effet de diminuer surtout les teneurs en carbone et azote des fractions fines, en particulier dans le ferrisol, où les teneurs en carbone sont encore inférieures à 1 %, même après 10 années de remodelage.

b) Estimation des encombrements moléculaires

* Absorption de la lumière visible : La comparaison avec les résultats reportés sur la figure 11 est délicate, car il s'agissait d'extraits humiques globaux obtenus avec un réactif plus agressif que NaOH dilué. De plus, on ne compare ici que les acides fulviques, et sur deux stations seulement (Tableau XV).

Tableau XV.- Coefficients chromatiques (Q 4/6) des acides humiques et fulviques d'un ferrisol (F₁) et d'un andosol (A₁) et selon divers traitements

	Q 4/6 AH	Q 4/6 AF
F ₁ R ₁₀	-	3,4
F ₁ TC	7,6	10,8
F ₁ TN	9,2	18,2
A ₁ R ₈	-	6,8
A ₁ TC	6,7	14,8
A ₁ TN	7,3	14,5

Les rapports Q 4/6 obtenus avec cette méthode sont toujours plus élevés que ceux obtenus par la méthode de SALFELD sur les extraits totaux, confirmant qu'on est en présence ici de composés jeunes de faible degré de polycondensation. Ce qui est remarquable, c'est que ces composés, peu absorbants dans le visible à 665 nm, sont beaucoup plus abondants dans les AF des sols remodelés que dans ceux des sols témoins. Cela signifie peut-être que certaines catégories de composés humiques peu évolués ne peuvent se maintenir en surface que moyennant des conditions physico-chimiques qui n'existent plus dans les profils remodelés (colloïdes minéraux adsorbants moins abondants).

* Perméation sur gel de dextrane : Les courbes de fractionnement des AF et des AH sur gel G 75 sont reportées sur la figure 13. La fraction exclue peut être très importante, notamment pour les AH de l'andosol. L'exclusion intervient pour un PM équivalent supérieur à 15 000. Le calcul des coefficients d'éluion Kav (Tableau XVI) nous indique que les fractions retenues des AH présentent toutes des PM compris entre 4 000 et 10 000, les valeurs les plus élevées correspondant à l'andosol A₁TN et les plus basses à son équivalent cultivé. Le ferrisol cultivé présente une valeur de PM intermédiaire pour cette fraction retenue, qui semble prédominante.

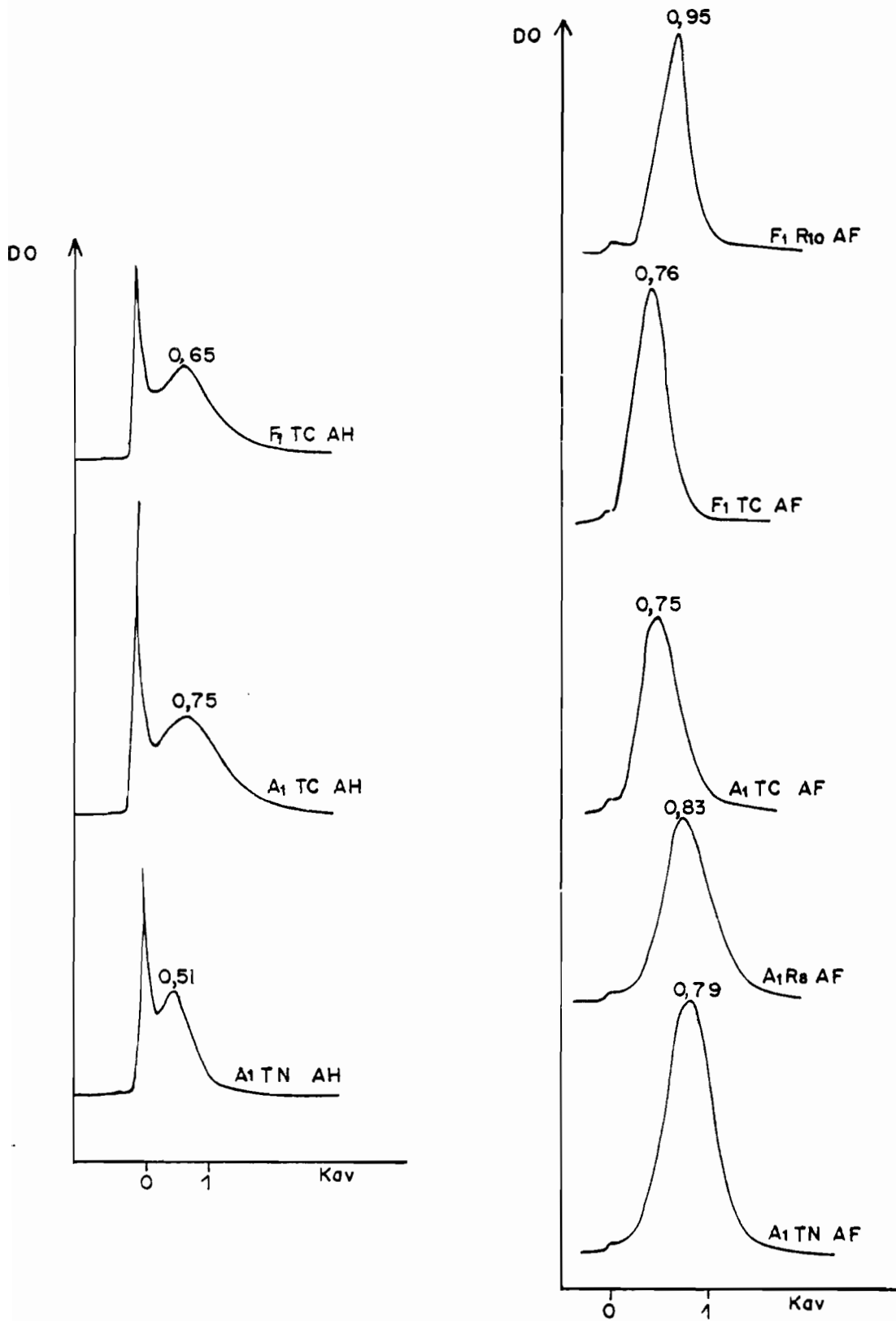


Figure 13.- Chromatogrammes d'élution des AH et AF sur Séphadex G 75

Tableau XVI.- Coefficients d'élu-tion et poids moléculaires équivalents des AF et des AH d'un andosol et d'un ferrisol, selon divers traitements

	Kav	PM équivalents
<u>Acides fulviques</u>		
F ₁ R ₁₀	0,95	< 2000
F ₁ TC	0,76	4000-5000
A ₁ R ₈	0,83	voisin de 3000
A ₁ TC	0,75	4000-5000
A ₁ TN	0,79	3000-4000
<u>Acides humiques</u>		
F ₁ TC	0,65	6000-7000
A ₁ TC	0,75	4000-5000
A ₁ TN	0,51	≥ 10000

Les acides fulviques ont, dans tous les cas, des PM équivalents inférieurs à 5000. Dans les sols remodelés (F₁R₁₀ et A₁R₈), les valeurs sont nettement inférieures à celles des sols témoins, alors que l'on sait par ailleurs que les AF constituent l'essentiel de la fraction extractible des sols remodelés.

c) Acidités titrables (Tableau XVII)

Tableau XVII.- Acidités titrables

		pH 5 acidité COOH	Pic final acidité totale	Acidité faible	Acidité COOH % acidité totale	Acidité faible % acidité totale
Acides humiques (AHs)	F ₁ TC	1,52	2,64	1,12	57,6	42,4
	A ₁ TC	0,84	2,15	1,31	39,1	60,9
	A ₁ TN	1,40	4,19	2,79	33,4	66,6
Acides fulviques (AFs)	F ₁ TC	3,31	5,34	2,03	62,0	38,0
	A ₁ TC	4,61	6,38	1,77	72,2	27,8
	A ₁ TN	4,45	6,22	1,77	71,5	28,2

Pour les deux types de sols, les AF sont nettement plus acides que les AH. C'est l'acidité due aux groupements -COOH qui prédomine (environ 60 % de l'acidité totale), sauf pour les AH de l'andosol, où elle n'est que de l'ordre de 40 % : c'est alors l'acidité due aux groupements -OH phénoliques qui est prédominante. Dans l'andosol, l'acidité totale des AH sous végétation naturelle est plus élevée que dans les AH du témoin cultivé.

d) Spectroscopie infra-rouge (Figures 14 et 15)

Les spectres des composés humiques purifiés confirment ce qui a été mis en évidence par la titration des acidités, notamment en ce qui concerne l'importance relative, dans les différents composés, de l'acidité due aux groupements -COOH (bandes à 1720 cm^{-1}) et celle due aux -OH phénoliques (zone $1200\text{-}1300\text{ cm}^{-1}$).

Dans les acides humiques d'andosols, on note l'importance d'une bande dont le maximum est à 1050 cm^{-1} : c'est une bande complexe, qui est l'indice, entre autres, de la présence de groupements alcooliques (hydrates de carbone). Elle est plus intense dans les AH du terrain cultivé, en raison de la présence de cendres minérales (réseau des silico-aluminates). On note également la faible intensité des pics des divers C-H aliphatiques ($2850\text{-}2920\text{ cm}^{-1}$).

Dans tous les AH, on voit nettement un pic vers 1540 cm^{-1} , attribuable aux groupements peptidiques. Il n'apparaît que sous forme d'épaulement dans les AF.

e) Hydrolyse acide et formes de l'azote organique labile

Tableau XVIII.- Comportement à l'hydrolyse acide des acides humiques et fulviques d'un ferrisol (F_1) et d'un andosol (A_1) selon divers traitements.

	Perte de poids corrigée %	% C hydrolysé	% N hydrolysé	C/N hydrolysats	N α -aminé % N hydrol.	N-NH ₄ % N hydrol.	N non identifié % N hydrol.	C hexose % C AH
F_1 TC	53,4	36,2	79,8	4,9	63,9	8,7	28,2	5,4
AH A_1 TC	66,6	42,0	88,5	4,8	52,4	21,8	24,0	6,9
A_1 TN	70,3	38,2	77,0	4,9	52,1	10,4	37,5	3,4
	% resté en solution							C hexose % C AF
F_1 TC	90,3	59,4	96,0	9,7	42,2	33,7	24,1	7,9
AF A_1 TC	92,3	63,2	100	8,2	58,6	24,1	16,9	8,2
A_1 TN	90,7	70,0	96,0	11,2	46,4	16,9	35,9	5,7

La perte de poids (corrigée des taux de cendres) des AH à l'hydrolyse HCl 3N est plus faible pour le ferrisol que pour l'andosol, alors que l'indice d'aromaticité (Tableau XIII) varie en sens inverse. Cette corrélation est en accord avec les résultats obtenus par ANDREUX (1978) et BARRIUSO (1985) (Figure 16).

Dans tous les cas, les AH sont plus résistants à l'hydrolyse acide que les AF, notamment en ce qui concerne l'azote (le pourcentage de N hydrolysable dans les AF est supérieur à 95 %). Ceci implique un C/N de l'hydrolysats plus faible pour les AH : l'hydrolyse chlorhydrique sélectionne donc des composés à dominante protéique dans les AH, ce qui n'est pas le cas pour les AF,

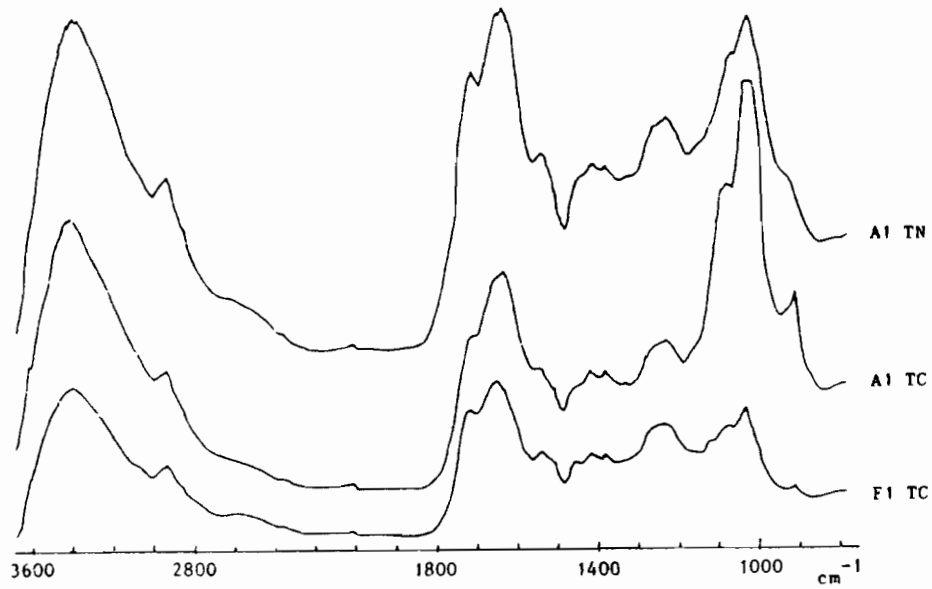


Figure 14.- Spectres d'absorption infra-rouge des Acides humiques.

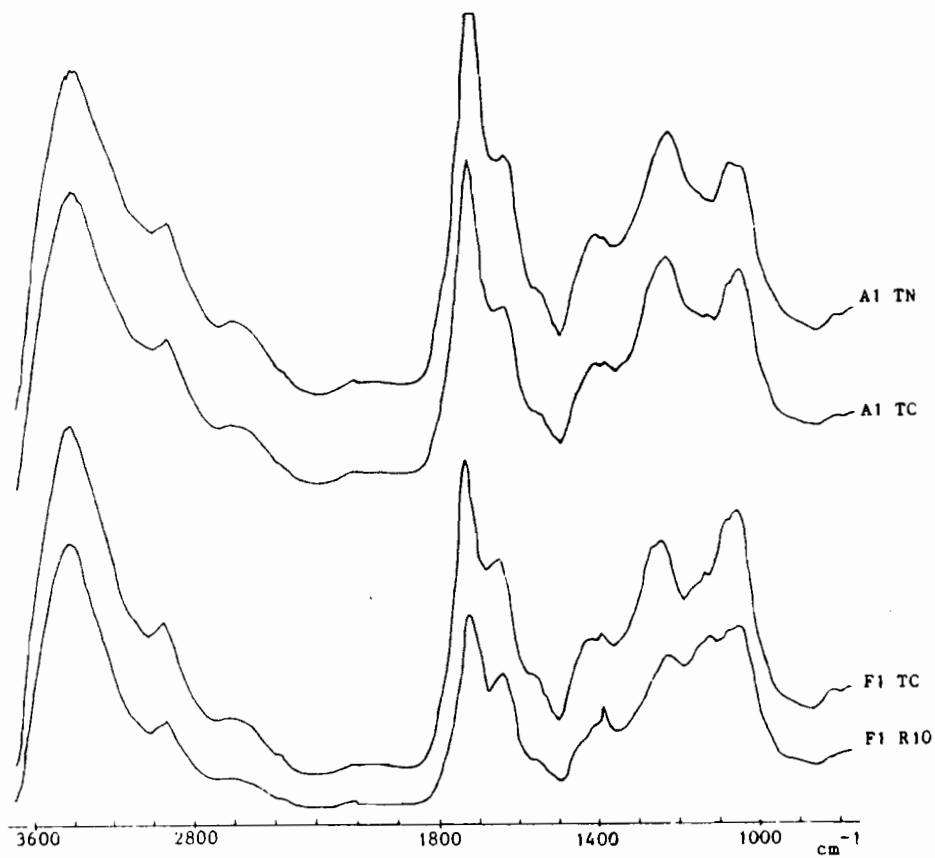


Figure 15.- Spectres d'absorption infra-rouge des acides fulviques.

qui restent pratiquement totalement en solution (JOCTEUR MONROZIER, 1984).

L'azote hydrolysable identifié (N α -aminé + N ammoniacal) est plus faible pour le traitement TN (AF et AH) que pour le traitement TC. L'azote α -aminé représente près de 90 % de l'azote identifié dans les AH du ferrisol alors que dans les AF de ce même sol, il y a presque autant d'azote ammoniacal que d'azote α -aminé. Pour l'andosol (traitements TC et TN), il y a peu de variations entre AF et AH en ce qui concerne les formes de l'azote : l'azote α -aminé représente 70 à 80 % de l'azote identifié.

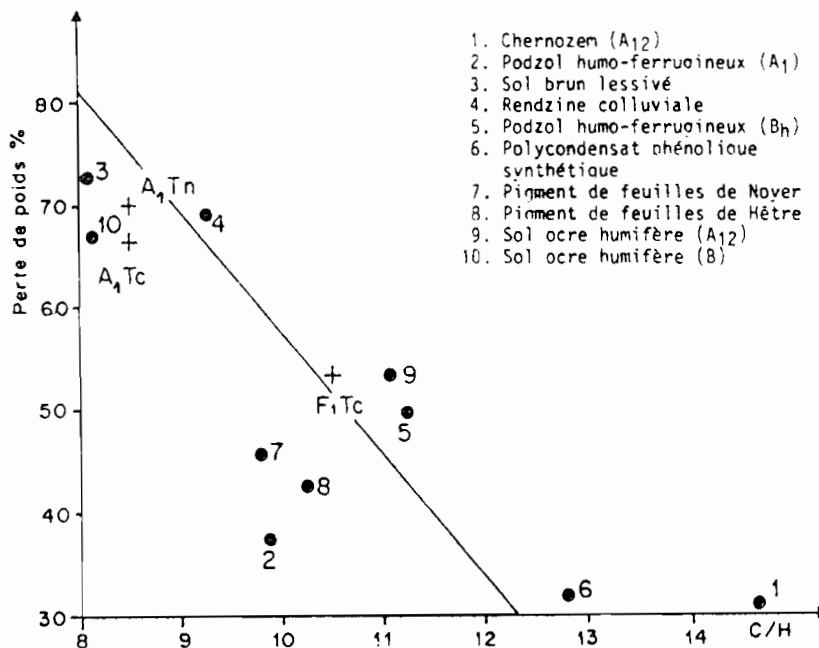


Figure 16.- Relation entre la perte de poids à l'hydrolyse et l'indice d'aromaticité des acides humiques (ANDREUX, 1978)

Les teneurs en sucres réducteurs mis en solution par l'hydrolyse sulfurique sont relativement faibles dans les composés extractibles des deux types de sols. On note une différence de teneurs de 2 % environ entre les AH et les AF, ces derniers étant les plus riches. C'est dans le traitement sous végétation naturelle (A₁TN) que l'on rencontre les teneurs les plus faibles : ceci semble logique si l'on considère la nature de la culture pratiquée de longue date, dans le cadre des traitements TC étudiés ici.

3.- Analyse chimique des composés inextractibles (humines)

Disposant dans ce cas de quantités suffisantes de matériel, on a pu procéder à la comparaison entre les sols témoins et les sols remodelés des stations F₁ et A₁. On a comparé les principales formes de carbone et d'azote hydrolysables, à partir des deux fractions de l'humine, inférieure et supérieure à 5 µm (HF et HG) (Tableau XIX).

Tableau XIX.- Comportement à l'hydrolyse acide des humines fines (HF) et grossières (HG) d'un ferrisol (F₁) et d'un andosol (A₁) selon divers traitements.

		% C hydrolysé	% N hydrolysé	C/N hydrolysé	N α-aminé % N hydroly.	N-NH ₄ % N hydroly.	N non identifié % N hydroly.	C hexose % C HF	C hexose % C HG
Humine 0-5 µm (HF)	F ₁ R10	65,7	94,3	7,3	66,6	tr.	33,4	10,8	
	F ₁ TC	53,2	84,8	5,3	78,6	5,7	15,7	8,1	
	A ₁ R8	60,6	90,9	5,9	80,0	tr.	20,0	6,1	
	A ₁ TC	55,5	78,8	5,7	90,2	4,4	5,4	6,3	
	A ₁ TN	48,1	85,6	5,5	81,9	2,2	15,9	7,2	
Humine 5-50 µm (HG)	F ₁ R10	65,8	64,3	17,5	100	tr.	0		12,7
	F ₁ TC	49,2	90,9	9,4	82,0	18,0	0		10,3
	A ₁ R8	79,1	71,0	14,5	100	tr.	0		14,3
	A ₁ TC	72,4	92,9	8,1	84,6	tr.	15		14,8
	A ₁ TN	60,8	90,9	6,5	72,2	2,6	25,5		10,1

tr. = traces

a) Carbone hydrolysable

On note pour les deux fractions, que les sols remodelés libèrent, lors de l'hydrolyse acide, plus de carbone que les sols témoins (ferrisol et andosol). En outre, on constate, comme dans le cas des acides humiques, que le témoin sous végétation naturelle oppose la plus grande résistance à l'hydrolyse en ce qui concerne le carbone. De plus, on observe, en particulier pour l'andosol, que les humines 5-50 µm sont plus hydrolysables que les humines fines, quel que soit le traitement.

Les sucres réducteurs, qui sont l'une des formes carbonées les plus simples et les plus significatives du point de vue biologique et pédogénétique, sont en plus forte proportion dans les fractions 5-50 µm (10-15 % du carbone hydrolysable) que dans les humines fines (< 10 %).

On note un effet du remodelage dans le ferrisol uniquement : les teneurs en sucres réducteurs sont sensiblement plus élevées dans le sol remodelé, et ceci pour les deux fractions, fine et grossière.

b) Azote hydrolysable

En ce qui concerne l'azote, le comportement des sols diffère beaucoup plus selon les fractions :

* Fraction 0-5 μm : l'azote des sols remodelés est plus labile que celui des témoins. Par suite, les rapports C/N des hydrolysats sont très bas et voisins pour tous les traitements. La valeur élevée des taux d'azote hydrolysable dans cette fraction des sols remodelés (plus de 90 %) traduit bien l'importance relative des produits jeunes dans ces sols. L'azote α -aminé est prépondérant dans tous les hydrolysats, mais il est cependant légèrement plus faible dans les sols remodelés, où l'on met en évidence respectivement 20 et 33,4 % d'azote non identifié pour l'andosol et le ferrisol.

Dans les humines fines, l'hydrolyse tend donc à sélectionner des composés jeunes, très riches en azote et essentiellement protéiques. Cependant, une partie de cet azote peut être hétéroprotéique, ou donner lieu à des recombinaisons avec d'autres composés (hydrates de carbone notamment) lors de l'hydrolyse acide (JOCTEUR MONROZIER et ANDREUX, 1981), en particulier dans le cas des matériaux jeunes extraits à partir des sols remodelés.

* Fraction 5-50 μm : L'azote des sols remodelés est plus résistant à l'hydrolyse acide que celui des sols témoins. Par suite, le C/N des hydrolysats est nettement plus élevé dans le traitement R (15 à 18) que dans les traitements TC ou TN (7 à 9) ; cette différence est d'autant plus marquée que le carbone est plus hydrolysable dans les sols remodelés que dans les sols témoins. Il n'y a donc pas, comme dans les AH et les humines fines, de sélection de composés protéiques lors de l'hydrolyse acide. Ceci traduit à nouveau la relative instabilité de matières organiques des sols remodelés.

L'étude des différentes formes de l'azote fait apparaître que la majeure partie de l'azote hydrolysable des humines est de nature protéique. En particulier, dans les sols remodelés, la totalité de l'azote hydrolysé est identifiée en tant qu' α -amino-acides, seul le témoin sous végétation naturelle présentant encore une proportion importante d'azote non identifié (25,5 %).

III.- CONCLUSION

Nous avons abordé le problème du stock organique dans des sols tropicaux, développés sur matériaux très différents, orientant des pédogénèses présentant peu de points communs en ce qui concerne l'économie des matières organiques. D'autre part, en raison de la diversité des méthodes d'approche, et parfois de la lourdeur méthodologique des mesures effectuées, on a dû, après une étude statistique proposant des schémas d'ensemble, restreindre la sélection des échantillons aux stations les mieux caractérisées, tant sur le plan de l'homogénéité des substratums minéraux, que sur celui des caractéristiques des matières organiques. Pour la même raison, on s'est adressé à des horizons de surface (A_{11} , A_{12} , A_p , selon le cas). Les deux groupes de sols les plus opposés ont été retenus, à savoir les sols à allophanes et les ferrisols, avec pour chacun un témoin naturel et/ou cultivé et un homologue remodelé.

Les études statistiques globales permettent de souligner la teneur systématiquement plus faible des sols remodelés en matière organique, en particulier en azote total, par rapport aux témoins. Dans les meilleurs cas, il a été estimé qu'une période de 20 à 50 ans était nécessaire pour parvenir à reconstituer 50 % du stock existant dans les témoins, en appliquant les mêmes pratiques culturales aux uns et aux autres.

Du point de vue morphologique et textural, la matière organique des sols remodelés diffère d'autant moins de celle des témoins que la granulométrie du matériel d'origine est fine. Ainsi, dans les ferrisols et les sols bruns, il n'y a pas de différences entre les traitements, et plus de 80 % des matières organiques sont incorporées dans le complexe organo-minéral, alors que dans les andosols, la part de ces matières organiques liées reste voisine de 60 % dans les sols remodelés, les témoins correspondants étant identiques à ceux des autres sols.

Ces valeurs montrent que la matière organique est moins humifiée (plus forte proportion de résidus figurés) dans les sols rajeunis, ce phénomène étant particulièrement perceptible dans les sols à granulométrie grossière. Le suivi, durant 4 mois, de l'évolution des fractions figurées dans le cas le moins contrasté (ferrisol) nous indique que les fractions les plus grossières (50-200 μ m) du sol remodelé présentent un rapport C/N beaucoup plus élevé que dans le témoin. Ceci peut s'interpréter en termes d'"humification ralentie", par suite d'une activité biologique moindre et d'une faible proportion de matière organique, à rapport C/N bas dans les sols remodelés.

L'extractibilité alcaline des matières humiques liées permet de différencier globalement les profils remodelés des témoins. Les composés humiques des sols remodelés sont environ deux fois moins extractibles à pH 12 (en % du C total des horizons respectifs) et caractérisés par des degrés de polycondensation (établis indirectement par des méthodes optiques) beaucoup plus bas que ceux des sols témoins. Cette distinction est retrouvée au niveau des variations dans le temps des teneurs en acides fulviques et humiques, caractérisant respectivement les milieux remodelés et les témoins, alors que la comparaison ponctuelle des rapports AF/AH permet plus difficilement de distinguer les différents traitements.

En recourant à un réactif plus doux (NaOH à pH 10), permettant de limiter l'extraction aux composés les plus fortement dissociés, on a pu préciser certaines différences dues aux substratums, et d'autres résultant du traitement de chaque station. Les rapports AF/AH, calculés sur la base du carbone ou de l'azote organique, montrent, pour ces catégories de composés, des valeurs toujours beaucoup plus élevées dans les profils remodelés que dans les témoins cultivés, le contraste étant généralement beaucoup plus accentué sur andosols que sur ferrisol. Ceci confirme la prédominance dans les matières organiques jeunes des systèmes remodelés, de composés plus acides et moins polycondensés que dans les systèmes témoins.

L'analyse physique et chimique des composés extraits et purifiés tend à confirmer ces premiers indices : ainsi, on note, sur ferrisol remodelé, un faible degré de condensation des acides humiques et fulviques. Pourtant, d'après des mesures effectuées sur les témoins, les composés humiques des ferrisols se caractérisent par leur moindre acidité titrable, leur plus grande stabilité à l'hydrolyse acide, et leur plus grande richesse en protéines hydrolysables, que ceux des andosols.

La nature des composés humiques inextractibles : les concentrations en humine sont nettement plus faibles dans les sols remodelés, et ce malgré la proportion restreinte d'alcalino-solubles dans ces sols. Cette situation va de pair avec leur état de reconstitution incomplète du stock organique. D'une façon générale, on a pu montrer que les composés organiques associés à l'humine des sols remodelés étaient plus labiles que ceux des témoins correspondants, en particulier en ce qui concerne l'azote protéique et les glucides.

CONCLUSIONS GÉNÉRALES



CONCLUSIONS GÉNÉRALES

La pratique du remodelage sur les sols cultivés de la Martinique a pour objectif de faciliter la mécanisation des cultures en régularisant le microrelief des parcelles, et en remaniant très fortement les horizons organo-minéraux de surface et de moyenne profondeur. Les conséquences de cette pratique sur les propriétés morphologiques, physico-chimiques et biologiques des sols sont souvent spectaculaires :

Le profil pédologique est tronqué et les horizons B ou C sont mis en surface, devenant alors le nouveau substratum des cultures. La stabilité structurale diminue fortement, tandis que les densités apparentes augmentent.

Si la capacité d'échange est peu modifiée par suite du caractère argileux (ou allophanique) de ces sols, la fixation du phosphore, déjà très forte pour les sols témoins, est encore accrue pour les sols remodelés (CHEVIGNARD et al., 1986). Ce phénomène a une incidence considérable sur la conduite de la fumure phosphatée de tels sols.

L'ensemble des propriétés biologiques est probablement bouleversé. Une étude en cours (VALONY, 1985) montre qu'il y a modification importante du cycle de l'azote dans les sols remodelés, puisque la nitrification à partir de l'azote-urée et de l'azote du sol est très faible. Ces résultats sont en accord avec des études plus anciennes (ECK, 1969) sur la disponibilité en azote dans des sols arasés des grandes plaines du Sud des Etats-Unis.

A la source de ces phénomènes, il convient d'attribuer une importance fondamentale au mode de reconstitution du stock humique du profil cultural remanié, et notamment au mode d'incorporation de la matière organique dans les nouveaux horizons Ap. En effet, quel que soit le matériau, les quantités de matière organique présentes en Ap, environ 10 ans après le remodelage, sont encore trois à quatre fois plus faibles en moyenne que dans les témoins respectifs. Le nouveau stock se caractérise, dans tous les milieux, par une matière organique moins humifiée, moins riche en azote organique et où prédominent des produits faiblement polycondensés, notamment les acides fulviques.

Ces différences qualitatives ou quantitatives entre sols témoins et sols remodelés sont pourtant susceptibles de s'atténuer avec le temps : des études statistiques globales ont montré qu'on pouvait espérer reconstituer la moitié du stock de carbone en 25 ans. Ceci, traduit en carbone accumulé dans ces parcelles du seul fait de la culture de canne, est en accord avec des résultats récents (CERRI *et al.*, 1984), obtenus par une autre approche sur des sols ferrallitiques du Brésil, cultivés en canne à sucre. Cependant, ces chiffres restent inférieurs à ce qui a été observé en Nouvelle Zélande (ROSS *et al.*, 1982) sous prairies de graminées et légumineuses en mélange, où, en trois ans, le stock de carbone organique reconstitué passe de 40 à 58 % du stock témoin.

La perturbation du profil cultural peut paraître plus longue à résorber, si on se réfère à l'évolution des rendements des cultures : même après 15 ans, la productivité végétale reste faible (rendement en cannes : 45 t/ha en sol remodelé, contre 92 t/ha en sol témoin), malgré des fertilisation minérales importantes. Ceci est confirmé par LINARES et DUMAS (1975) pour des sols ferrallitiques de Guadeloupe, cultivés en canne, et par MBAGWU *et al.* (1984) pour des cultures de maïs et de niébé (*Vigna unguiculata*), où différentes formules fertilisantes n'ont pu pallier les effets du remodelage sur le rendement.

Ces convergences entre bilans organiques sur matériaux très différents du point de vue minéralogique et physico-chimique tendent à montrer que la reconstitution du stock organique est ici moins dépendante de la qualité des supports minéraux que des transformations biologiques et climatiques des résidus organiques, elles-mêmes soumises à l'influence déterminante du facteur temps.

A partir d'un objectif de rentabilité agro-économique à court terme, les opérations de remodelage sur divers types de sols de la Martinique ont en fait hypothéqué la fertilité des sols à moyen ou long terme. Peut-on faciliter le processus de restauration de ces sols, ou, autrement dit, comment est-il possible d'accélérer la reconstitution du stock organique ?

PERSPECTIVES

Plusieurs solutions sont envisageables pour accélérer la reconstitution du stock organique, mais avec des contraintes et des effets variables :

Amendements organiques :

- Compost de bagasse : BROSSARD *et al.* (1984) ont montré que l'épandage de ce compost à raison de 20 tonnes de matière sèche par hectare et par an sur plusieurs types de sols de la Martinique n'a pas d'effet sur l'augmentation du stock de matière organique au bout de trois ans. Il faudrait prolonger l'expérience plus longtemps, mais en culture de canne à sucre, l'enfouissement de ces résidus ne serait possible que tous les quatre ans environ, à chaque nouvelle plantation.

- Boues résiduaires : CLAIRON (communication orale) a constaté, en Guadeloupe, les effets spectaculaires d'apports élevés (100 tonnes de matière sèche par hectare) de boues résiduaires : la productivité végétale est améliorée (maïs) en l'absence de fertilisation minérale, et le stock organique des sols s'accroît significativement. En outre, ces boues ne semblent pas poser de problèmes de métaux lourds, étant donné la faible industrialisation de ces zones tropicales.

Cultures fourragères

Les apports par voie racinaire, grâce aux cultures fourragères, semblent être une solution efficace à notre problème. Plusieurs expériences tendent à le prouver : NJOH-ELONG (1984) a étudié l'effet de la culture de "Pangola" (*Digitaria decumbens*) sur les vertisols de Sainte-Anne (Martinique). Au bout de 5 ans, le stock organique du sol est multiplié par un facteur de 1,5 à 2, en présence d'une fertilisation azotée intensive, alors que les cultures maraîchères ne modifient pas ce stock avec une fumure identique. McCOLL et al. (1982) ont démontré, avec des essais en pots, qu'une culture de Ray-Grass anglais, associée à l'action des vers de terre, augmentait la productivité de sols remodelés de Nouvelle-Zélande. Nous avons déjà cité l'effet bénéfique de prairies temporaires (graminées-légumineuses) (ROSS et al., 1982) : l'implantation de prairies semble activer la reconstitution du stock organique sur sols remodelés ou non, mais l'introduction de l'élevage dans des zones vouées à la monoculture de la canne à sucre depuis plus d'un siècle, impliquerait un bouleversement des systèmes de production dans les exploitations cannières de la Martinique. Cette mutation est-elle envisageable dans l'état actuel des structures ? Rappelons que le développement de l'élevage local est souhaité.

Les contraintes issues de ces diverses solutions proposées pour accélérer le processus de restauration des sols remodelés devraient faire réfléchir à l'avenir de la pratique du remodelage : si elle semble encore désirée dans certaines zones, elle devra au moins s'accompagner de précautions essentielles, qui pourront hâter le retour à l'équilibre, à savoir le régalage sur l'ensemble de la parcelle des horizons humifères arasés.

BIBLIOGRAPHIE

AFNOR, 1975 - Essai des eaux. Dosage de l'azote ammoniacal. NF T 90-015. Paris.

ANDREUX (F.), 1978 - Etude des étapes initiales de la stabilisation physico-chimique et biologique d'acides humiques modèles. Thèse Doct. Etat, Univ. Nancy I, 174 p.

ANDREUX (F.), 1979 - Genèse et propriétés des molécules humiques. In : Pédologie. Tome II : "Constituants et propriétés du sol". M. Bonneau et B. Souchier eds. Masson, Paris, Publ., 459 p.

ANDREWS (P.), 1964 - Estimation of the molecular weights of proteins by sephax gel filtration. Biochem. J., 91, 222-233.

AYRES (A.S.), 1952 - Méthodes d'analyses de l'Hawaiian Planters Association. HSPA.

BARRIUSO (E.), 1981 - Contribution à l'étude quantitative et qualitative des méthodes d'isolement des composés humiques des sols. D.E.S. Pédologie, Univ. Nancy I, C.P.B. Nancy.

BARRIUSO (E.), 1985 - Caractérisation des fractions organo-minérales et des constituants humiques d'un sol de pelouse subalpine. Thèse Université Nancy I, 170 p.

BARRIUSO (E.), PORTAL (J.M.), FAIVRE (P.) et ANDREUX (F.), 1985 - Séparation des composés humiques et des associations organo-minérales d'un sol ocre-humifère à structure microagrégée (Umbric Dystrochrept) : influence du pH des réactifs d'extraction. Pédologie, Gand, sous presse.

BONNEAU (M.) et SOUCHIER (B.), 1979 - Pédologie. Tome II : Constituants et propriétés du sol. Masson, Paris Publ., 459 p.

BOYER (J.) et COMBEAU (H.), 1960 - Etude de la stabilité structurale de quelques sols de la République Centrafricaine. Sols africains, 5 (1), 5-24.

BROSSARD (M.), BALESSENT (J.), FELLER (C.), PLENECASSAGNE (A.) et TURENNE (J.F.), 1984 - Etude de la matière organique des sols par fractionnement granulométrique. I. Décomposition au champ d'un compost enfoui dans plusieurs types de sols des Antilles. Comm. 20ème Cong. C.S.C.S., Sainte-Croix.

BRUCKERT (S.), ANDREUX (F.), CORREA (A.) et AMBOUTA (K.J.M.), 1978 - Fractionnement des agrégats appliqué à l'analyse des complexes organo-minéraux des sols. Note Technique n° 22, C.P.B. Nancy.

- CERRI (C.), FELLER (C.), BALESSENT (J.), VICTORIA (R.), PLENECASSAGNE (A.), 1984 - Application du traçage isotopique naturel ^{13}C à l'étude de la dynamique de la matière organique des sols. C.R. Acad. Sci. Paris, 33, II(9), 423-428.
- CHEVIGNARD (T.), FARDEAU (J.C.), DOULBEAU (S.), FELLER (C.), TURENNE (J.F.) et VALLERIE (M.), 1986 - Effets du remodelage parcellaire sur la fixation des phosphates en divers types de sols des Antilles". Agronomie, 2 (sous presse).
- COLMET-DAAGE (F.) et LAGACHE (P.), 1965 - Caractéristiques de quelques groupes de sols dérivés de roches volcaniques aux Antilles Françaises. Cah. ORSTOM, Sér. Pédol., 3 (2), 91-121.
- COLMET-DAAGE (F.), GAUTHEYROU (M.), KIMPE (C. de) et FUSIL (G.), 1972 - Dispersion et étude des fractions fines de sols à allophane des Antilles et d'Amérique latine. 1ère Partie : La dispersion. Cah. ORSTOM, sér. Pédologie, X (2), 169-191.
- DABIN (B.), 1968 - Sur une méthode d'analyse du phosphore dans les sols tropicaux. Comm. Coll. sur la Fertilité des sols tropicaux, Tananarive, Madagascar. Agronomie Tropicale, Suppl. aux n° 2 et 5.
- DUCHAUFOR (Ph.), 1984 - Pédologie. Tome I : "Pédogénèse et classification". Masson, Paris, Publ., 491 p. (2ème édition).
- ECK (H.V.), 1969 - Restoring productivity on Pullman silty clay loam subsoil under limited moisture. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 33, 578-581.
- FELLER (C.), 1979 - Une méthode de fractionnement granulométrique de la matière organique des sols. Application aux sols tropicaux à textures grossières, très pauvres en humus. Cah. ORSTOM, sér. Pédol., 17 (4), 339-346.
- FIELDER (M.) et PERROT (K.W.), 1966 - The nature of allophane in soils. Part 3. Rapid field and laboratory test for allophane. N.Z. J. Science, 9 (3), 623-629.
- FRANCOIS (C.), 1984 - Nouvelles recherches sur la composition et l'évolution initiale des pigments bruns des litières foliaires de hêtre. Mém. D.E.A., Univ. Nancy I, 35 p.
- HENIN (S.), GRAS (R.) et MONNIER (G.), 1969 - Le profil cultural. Masson, Paris.
- HETIER (J.M.), 1975 - Formation et évolution des andosols en climat tempéré. Thèse Doct. Etat, Univ. Nancy I, 194 p.
- HOLTZCLAW (K.M.), SPOSITO (G.) et BRADFORD (G.R.), 1976 - Analytical properties of the soluble metal. Complexing fractions in sludge-soil mixtures. I. Extraction and purification of fulvic acid. Soil Sci. Soc. Amer. J., 40, 254-258.
- HUMBERT (R.P.), 1968 - The growing of sugarcane. Revised Edition. Elsevier Publ. Co., Amsterdam, 779 p.
- INOUE (T.), 1973 - A preliminary study of organo-minéral complexes in a glassy volcanic ash soil containing imogolite and allophane as principal clay minerals. Pedorojisuto, 17, 26-36.
- JENKINSON (D.S.), 1965 - Studies on the decomposition of plant material in soil. The J. Soil Sci., 16, 104-115.

JOCTEUR MONROZIER (L.), 1984 - Nature et évolution de l'azote organique dans les sols et les sédiments marins récents. Thèse Doct. Etat, Univ. Nancy I, 176 p.

JOCTEUR MONROZIER (L.) et ANDREUX (F.), 1981 - L'azote organique des sols : exemples de quantification des formes protéiques et des combinaisons complexes. Bull. A.F.E.S., Science du sol, 3, 219-242.

KONONOVA (M.M.), 1966 - Soil Organic Matter. Pergamon Press . 2ème édition.

LINARES (A.A.) et DUMAS (Y.), 1975 - Profil cultural et croissance de la canne à sucre. Etude de quelques cas typiques dans divers milieux de la Guadeloupe. Rapp. mult., INRA-CRAAG, Guadeloupe, 24 p.

MBAGWU (J.S.C.), LAL (R.) et SCOTT (T.W.), 1984 - Effects of desurfacing of Alfisols and Ultisols in Southern Nigeria. I. Crop performance. Soil Sci. Soc. Amer. J., 48, 828-833.

McCOLL (H.P.), HART (P.B.S.) et COOK (F.J.), 1982 - Influence of earthworms on some soil chemical and physical properties, and the growth of ryegrass in a soil after topsoil stripping - a pot experiment. N.Z. J. Agric. Research, 25, 229-237.

MOORE (S.) et STEIN (W.H.), 1954 - A modified ninhydrin reagent for the photometric determination of amino-acids and related compounds. J. Boil. Chem., 211, 907-913.

MOREAU (R.), 1978 - Influence de l'ameublissement mécanique et de l'infiltration d'eau sur la stabilité structurale d'un sol ferrallitique dans le centre de la Côte d'Ivoire. Cah. ORSTOM, sér. Pédol., 16 (4), 413-424.

NATIVEL (M.), 1980 - Caractères de la matière organique du sol dans trois compartiments de l'écosystème insulaire antillais. Rapp. Ronéo, ORSTOM Fort-de-France, 48 p.

NEWBOULD (P.), 1980 - Losses and accumulation of organic matter in soils. Land use seminary on soil degradation. Wageningen, 107-131.

NJOH-ELLONG (D.C.A.), 1984 - Etude des pâturages artificiels de la Martinique. Stage D.E.S.S., Univ. Val de Marne. Rapp. Mult. ORSTOM Martinique, 66 p. + annexes.

QUANTIN (P.), 1984 - Note sur une analyse de quatre sols de la Martinique par les réactifs de Tamm et de Mehra-Jackson. Communication écrite.

ROSS (D.J.) SPEIR (T.W.), TATE (K.R.), CAIRNS (A.), MEYRICK (K.F.) et PANSIER (E.A.), 1982 - Restoration of pasture after topsoil removal : effects on soil carbon and nitrogen mineralization, microbial biomass and enzyme activities. Soil Biol. Biochem., 14, 575-581.

ROUILLER (J.), GUILLET (B.) et BRUCKERT (S.), 1980 - Cations acides échangeables et acidités de surface. Bull. A.F.E.S., Science du sol, 2, 161-175.

SALFELD (J.C.) et SÖCHTIG (H.), 1974 - Proposals for the characterization of soil organic matter as an approach to understand its dynamic. Biochem. J., 91, 222-233.

SAUERBECK (D.R.) et GONZALES (M.A.), 1977 - Field decomposition of carbon-14 labelled plant residues in various soils of the Federal Republic of Germany and Costa-Rica. In : Proc. Symp. on "Soil Organic Matter Studies", I.A.E.A.-SM-211/18, Vienna, vol. 1, 159-170.

SCHNITZER (M.) et KHAN (S.V.), 1972 - Humic substances in the environment. Ed. Marcel Dekker, New York.

SIEFFERMAN (G.), 1969 - Les sols de quelques régions volcaniques du Cameroun. Thèse Univ. Louis Pasteur, Strasbourg, 285 p.

STEVENSON (F.J.), 1965 - Gross chemical fractionation of organic matter. In : Methods of soil analysis, 2, 1409-1421.

STEVENSON (F.J.), 1957 - Investigation of amino-polysaccharides. I. Colorimetric determination of hexosamines in soil hydrolysates. Soil Science, 83 (2), 113-122.

TAN (K.H.), 1966 - On the pedogenetic role of organic matter on volcanic ash soils under tropical conditions. Soil Sci.Plant Nutr., 12, 80-84.

U.S.D.A., Soil Survey Staff, 1960 - Soil Classification. A comprehensive system. 7th Approximation. 265 p.

VAN DILLEWIJN (C.), 1952 - Botany of sugarcane. Waltham ed., Mass. USA, 371 p.

Van VEEN (J.A.) et PAUL (E.A.), 1981 - Organic carbon dynamics in grassland soils. I. Background information and computer simulation. Can. J. Soil Sci., 61, 185-201.

VORONEY (R.P.), Van VEEN (J.A.) et PAUL (E.A.), 1981 - Organic carbon dynamics in grassland soils. II. Model validation and simulation of the long-term effects of cultivation and rainfall erosion. Can. J. Soil Sci., 61, 211-224.

ANNEXES

- I. Abréviations des différents tableaux
- II. Diagnostics foliaires
- III. Teneurs en carbone et caractéristiques optiques des composés humiques extractibles à pH 12
- IV. Descriptions de profils
- V. Diagrammes rayons X des argiles
- VI. Analyses de quelques échantillons par les réactifs de Tamm et Mehra-Jackson
- VII. Comparaison des teneurs en carbone obtenues avec différents appareils et en divers lieux
- VIII. Légendes générales des symboles utilisés dans les figures.

ANNEXE I

ABREVIATIONS DES DIFFERENTS TABLEAUX

F	Ferrisols	TC	Sols témoins sous culture
B	Sols brun rouille à halloysite	R	Sols remodelé (R10 = sol remodelé depuis 10 ans)
A	Andosols	s	Horizon de surface (0-15 cm)
IN	Sols témoins sous végétation naturelle	p	Horizon de profondeur (30-50 cm)

Minéralogie des argiles

FC	Fire-Clay	H	Halloysite
M	Montmorillonite	MH	Métahalloysite
Go	Goethite	Cri	Cristobalite
He	Hématite	All	Allophane
Gi	Gibbsite		

Analyse mécanique (en % poids sec à l'air)

A = Argile (0-2 μm) - LF = Limon fin (2-20 μm) - LG = Limon grossier (20-50 μm)
 SF = Sable fin (50-200 μm) - SG = Sable grossier (200-2000 μm)

Wn = teneur en eau à l'état naturel" (au moment du prélèvement)	S = Somme des bases échangeables (K ⁺ , Na ⁺ , Ca ⁺ ...)
da = densité apparente (prélèvement cylindre)	CEC = Capacité d'échange cationique (à pH 7,0 par NH ₄ ⁺)
Is = Indice d'instabilité structurale de HENIN	pH = dans H ₂ O et KCl - rapport sol-solution = 1:2,5
pF = Teneurs en eau (%) à pF	P ₂ O _{5t} = phosphore total (%)
K ⁺ , Na ⁺ , Ca ⁺ , Mg ⁺⁺ , Al ⁺⁺⁺ , H ⁺ = cations échangeables en m.e./100 g de sol	P ₂ O ₅ = phosphore assimilable (%) (1) selon AYRES - (2) selon OLSEN et DABIN

Matière organique

C = Carbone (%) - N = Azote (%)
 Humus : extraction pyrophosphate-Na (0,1 M) - soude (0,1 N)
 MHT = Matière Humiques Totales (C %)
 AF = Acides fulviques (C %)
 AH = Acides humiques (C %)
 HU = Humines (C %)

Fractionnement granulométrique de la matière organique

FO 200 = Fraction organique végétale 200-2000 μm	FOM = Fraction "organo-minérale" 0-50 μm
FM 200 = Fraction minérale 200-2000 μm	T = Somme des fractions
FO 50 = Fraction organique "végétale" 50-200 μm	% _o p = mg C ou N/g fraction
FM 50 = Fraction minérale 50-200 μm	% _o s = mg C ou N/g sol

Densités optiques (D.O.) des matières humiques totales à 405, 492 et 578

exprimées en rapport $E_{45} = E_{405}/E_{492}$ et
 $E_{56} = E_{492}/E_{578}$

ANNEXE II

DIAGNOSTIC FOLIAIRE (Teneurs en %)

Echantillon	P	K	Ca	Mg	C	N	C/N
F ₁ R10	0,19	1,15	0,15	0,14	42,71	1,16	36,8
F ₂ TC	0,21	1,65	0,21	0,14	42,93	1,67	25,7
F ₂ R6	0,17	1,49	0,18	0,10	42,88	1,13	37,9
B ₁ TC	0,20	1,24	0,14	0,11	43,61	1,27	34,3
B ₁ R4	0,21	1,45	0,13	0,11	43,24	1,34	32,3
A ₁ TC	0,18	1,54	0,15	0,12	42,61	1,24	34,4
A ₁ R8	0,17	1,25	0,16	0,11	43,35	1,27	34,1
A ₁ R9	0,15	1,48	0,16	0,16	42,70	1,35	31,6
Norme	0,21	1,2-1,6				1,8-2	

ANNEXE III

Echantillon n°	Sol total		Matières humiques solubles					Humine			
	C (%)	C/N	MHT (C %)	AF (C %)	AH (C %)	AF/AH	D.O.		C (%)	C/N	
							E45	E46			
F ₁ TN	s ₁	44,1	9,5					3,06	2,90	26,2	9,8
	s ₂	12,5	10,4					2,62	2,48		
F ₁ TC	s	28,1	13,3	15,5	8,8	6,7	1,3	2,39	2,33	16,7	15,3
F ₁ R10	s	9,4	14,7	2,7	2,56	0,16	15,5	2,81	2,35	6,24	24,8
F ₁ R12	s	9,7	15,3	2,8	2,4	0,4	5,3	2,94	2,79	6,66	19,2
F ₂ TN	s	37,1	11,8					2,50	2,40		
F ₂ TC	s	25,7	9,5	9,65	6,86	2,79	2,5	2,52	2,52	16,4	15,2
	p										
F ₂ R6	s	12,6	13,4	5,7	4,13	1,57	2,6	2,80	2,82	6,95	18,3
F ₃ TC	s	24,5	13,9	9,37	8,33	1,04	8,1	2,57	2,83	11,5	12,4
F ₃ R7	s	7,9	19,2	2,60	2,12	0,48	4,4	2,82	2,17	5,51	19,9
	p										
B ₁ TN	s	39,2	12,7					2,83	2,49	11,8	16,8
B ₁ TC	s	19,0	18,4	10,5	8,8	1,7	5,3	2,53	2,52	12,3	16,5
	p										
B ₁ R4	s	4,0	21,3	0,94	1,0	tr.	-	3,30	2,65		
B ₁ R10	s	9,9	26,2	3,33	2,71	0,62	2,1	3,07	2,75	6,5	25,2
	p										
A ₁ TN	s	66,9	10,3					3,06	2,90	33,2	11,5
	p	16,7	9,8								
A ₁ TC	s	32,7	14,5	14,1	8,8	5,3	1,7	2,44	2,56	14,6	13,8
	p										
A ₁ R8	s	12,0	21,1	2,41				2,78	2,74	8,6	22,0
	p										
A ₁ R9	s	9,2	21,9	1,35	1,39	tr.	-	2,68	2,28	8,7	25,6
	p										
A ₂ TC	s	52,6	10,3	22,57	16,66	5,91	2,8	2,55	2,49	28,7	13,2
A ₂ R5	s	10,9	14,4	3,43	2,07	1,36	1,5	2,44	2,30	5,3	23,7
	p										
A ₂ R8	s	12,1	9,4	5,21	4,35	0,87	5,0	2,44	2,53	6,4	15,4
	p										
A ₃ TN	s	67,5	11,8					2,56	2,30		
A ₃ TC	s	48,9	10,3					2,39	2,46		
	p										
A ₃ R7	s	24,1	9,1								

Teneurs en carbone et caractéristiques optiques des composés humiques extractibles à pH 12.

ANNEXE IV

DESCRIPTIONS DE PROFILS

Station F₁
Traitement TN

Savane arborescente (arbres < 15 m)
Litère de feuilles.

A₁₁ (0-2 cm) frais. Couleur : 10 YR 3/2 = brun grisâtre très foncé
Texture argileuse.
Structure polyédrique moyenne très bien développée.
Nombreuses racines moyennes et fines. Quelques racines
grossières horizontales.
Macroporosité forte. Microporosité moyenne.
Quelques débris de roche non altérée.
Activité biologique importante.
Transition distincte avec

(2-20cm) frais. Couleur identique à (0-2 cm).
Texture argileuse.
Structure polyédrique grossière bien développée.
Moyennement compact.
Très nombreuses racines moyennes.
Pas de taches.
Macroporosité forte. Microporosité moyenne.
Nombreux nodules ferro-manganifères.
Quelques pierres non altérées à la base de l'horizon
Activité biologique importante.
Transition graduelle avec

A₁₂ (20-40cm) frais. Couleur 10 YR 4/3 = brun à brun foncé.
Texture argileuse.
Structure polyédrique grossière bien développée.
Tendance à surstructure prismatique peu nette.
Enracinement important jusqu'à la base de cet horizon, faible
ensuite.
Nombreuses taches jaune-rouge diffuses rappelant l'horizon
sous-jacent.
Macroporosité faible. Microporosité moyenne.
Transition graduelle avec

B (ou A/B)
(40-65 cm) frais. Couleur 10 YR 5/4 = brun jaunâtre.
Texture argileuse
Structure polyédrique grossière moyennement développée.
Horizon compact
Macroporosité faible. Microporosité moyenne.
Quelques taches rouilles diffuses.
Transition graduelle avec

C (ou B/C) frais. Couleur 7,5 YR 5/6 = brun vif.
(> 65 cm) Texture argileuse.
Structure polyédrique moyenne à grossière bien développée.
Horizon compact.
Quelques faces de glissement ou de pression.
Taches rouilles nombreuses.
Cet horizon est peut-être un B_g. Ferrisol hydromorphe ?

N.B. : Sur une des faces du profil, il y a des traces de brûlis sur 20 cm
(Charbon de bois, terre rouge vif).

Test allophane : négatif.

Station F₁
Traitement TC

Après labour, sol nu dans parcelle partiellement remodelée sur ancienne trace et talus.

Ap (0-20 cm) frais : Horizon humifère. Couleur 10 YR 3/2 : brun grisâtre très foncé.
Texture argileuse.
Structure grenue bien développée, très meuble (lié au travail du sol).
Racines moyennes et fines.
Macro- et microporosité bonnes.
Transition distincte avec

A₁₁ (20-50 cm) frais : Horizon humifère. Couleur 10 YR 3/2 : brun grisâtre très foncé.
Texture argileuse.
Structure polyédrique grossière.
Racines moyennes et fines.
Compact. Activité biologique forte.
Macro- et microporosité bonnes.
Transition graduelle avec

A₁₁(B) (50-80 cm) frais: Horizon faiblement humifère.
Couleur 10 YR 3/3 : brun jaunâtre.
Texture argileuse.
Structure polyédrique moyenne bien développée.
Quelques racines.
Autres caractères : idem à précédent.
Transition graduelle avec

(B)/C (80-100cm) frais : Encore légèrement humifère.
Couleur 10 YR 5/5 : brun jaunâtre.
Texture argileuse.
Pratiquement pas de racines.
Autres caractères identiques à précédent.
Quelques concrétions (taille 0,5 mm) Fe-Mn.

CONCLUSION

Ferrisol peu évolué. Les horizons d'altération bariolés rouge (voir Fig. 3) n'ont pas été atteints lors de l'ouverture de ce profil. Ce sol témoin sous culture est tout à fait identique au sol témoin sous végétation naturelle.

Station F₁
Traitement R₁₀

Profil ouvert depuis 6 mois

Observations faites 15 jours après la coupe (cannes brûlées) et deux jours après épandage d'engrais.

Sécheresse depuis plusieurs semaines - Fentes de retrait.

A (0-15 cm) légèrement frais : Couleur 7,5 YR 4/4 = brun à brun foncé.

Texture argileuse.

Structure polyédrique moyenne sur 1 cm (liée à la dessiccation de surface), puis polyédrique très grossière avec légère tendance à surstructure prismatique. Dès la surface, très nombreuses taches rouilles diffuses et jaunes, ainsi que concrétions friables, beige et jaune (taille 2 mm) représentant au total 60 % de l'horizon (taches rouilles = remontées du matériau sous-jacent).

Quelques faces de pression.

Racines fines et moyennes très denses dans les deux premiers centimètres, plus faibles ensuite.

Macroporosité forte (nombreuses fentes verticales de l'ordre du mm) - Microporosité moyenne à faible.

Transition nette et ondulée (correspond au travail du sol) avec horizon d'altération.

(C)/R > 14 cm frais : Matériau bariolé jaune rouille avec nombreuses petites taches blanchâtres. Très peu humifère.

Grandes taches jaunes : couleur 7,5 YR 5/8 = brun vif (taille 15-20 cm).

Taches rouges : 2,5 YR 4/8.

Quelques morceaux (blocs) de roche très altérée encore un peu indurée.

Quelques fines racines.

Test allophane : négatif.

Station F₂
Traitement TN

Sur pente assez forte, au sommet d'une parcelle plantée en cannes, sous bambou et arbre à pain.

Litière de feuilles de bambou de 2 à 3 cm. Lacs racinaire en surface, s'incorporant progressivement au sol.

- A₁₁ (0-10 cm) frais : Couleur 5 YR 3/2 = Brun rougeâtre foncé.
Texture argileuse.
Structure grumeleuse très bien développée.
Pas d'éléments grossiers. Compacité moyenne.
Quelques débris de charbon de bois.
Racines très nombreuses, moyennes et fines.
Macroporosité et microporosité bonnes.
Activité biologique bonne.
Transition graduelle et régulière avec
- A₁₂ (18-40 cm) frais : Couleur 5 YR 3/4 = brun rougeâtre foncé.
Texture argileuse.
Structure polyédrique moyenne bien développée.
Pratiquement pas d'éléments grossiers.
Très nombreuses racines moyennes.
Macro- et microporosité bonnes.
Activité biologique forte.
Transition distincte horizontale avec
- B (40-65 cm) sec : Couleur 5 YR 4/6 = rouge jaunâtre.
Texture argileuse.
Structure massive, débit à tendance polyédrique.
Très compact.
Quelques très petites taches jaunâtres de l'ordre du mm (lithoreliques).
Peu de racines.
Macroporosité faible, microporosité moyenne.
Activité biologique faible.
Transition graduelle avec
- B/C (65-100 cm) sec : Couleur 5 YR 5/6 (un peu plus jaune que B)
Identique à B, mais lithoreliques beaucoup plus nombreuses.
Peu de racines.

REMARQUE : Les faces aval et amont du profil sont différentes quant à l'épaisseur des horizons : en face aval, l'horizon A₁₁+A₁₂ descend jusqu'à 60 cm. Il s'ensuit que l'enracinement est plus profond sur cette face.

Station F₂
Traitement TC

Bas de parcelle non coupée (cannes plantées), au niveau de la rupture de pente. Blocs non altérés à la surface du sol.

- I (0-40 cm) frais : Horizon humifère
Couleurs 7,5 YR 4/4 = brun à brun foncé
Texture argileuse.
Structure massive, débit à tendance polyédrique grossiers.
Compacité forte dans le sillon. Assez nombreux débris de roche, jaunes à noirs suivant le degré d'altération. de l'ordre du cm, et de formes variées (ronds, anguleux, etc.). Quelques blocs grossiers peu latérés. Quelques nodules de calcaire dur probablement rapportés comme amendement.
Chevelu et fines racines également répartis et faibles. Macroporosité faible, microporosité bonne.
Activité biologique assez faible.
Dans le billon, la cohésion de l'horizon est très faible.
La structure est polyédrique moyenne bien développée. La macroporosité est élevée.
L'activité biologique est très forte.
Transition distincte, peu nette et horizontale avec
- II (40-70 cm (A₁₁)) : Particulièrement humide
Couleur 7,5 YR 3/2 = brun foncé
Texture argileuse.
Structure polyédrique moyennement développée.
Compacité forte. Débris de roche altérée de l'ordre de 0,5 cm, noirs. Peu d'autres éléments grossiers.
Peu de racines.
Macroporosité bonne. Microporosité très bonne (sillon).
Activité biologique importante.
Transition graduelle peu nette avec
- A₁₂ (70-100 cm) : Couleur 7,5 YR 4/4.
Texture argileuse.
Structure massive. Débit à tendance polyédrique grossier.
Compacité plus forte que A₁₁.
Nombreux débris de roche altérée, jaunes à noirâtres (plats, gros : 0,5-3 cm, altération moins poussée).
Peu de racines.
Microporosité moyenne.

CONCLUSION

Horizon humifère rapporté sur 40 cm.

Station F₂
Traitement R6

Rejeton âgé de 3 mois 1/2. Parcelle fumée il y a 3 mois.
Profil creusé dans le billon, sous un pied de canne chétif.

- I (0-10 cm) : dans le système racinaire.
Structure polyédrique moyenne à grossière très bien développée.
Racines moyennes très nombreuses.
Activité biologique très forte.
Passage distinct et ondulé avec
- (10-40 cm) : matériau très remanié, à couleur dominante 2,5 YR 3/4 (brun rougeâtre foncé).
Texture argileuse.
Structure massive
Enracinement essentiellement localisé à cet horizon (I).
Alternance horizontale plus ou moins diffuse de couches argileuses rouges compactes (couleur dominante de l'horizon) et de couches humifères brunes (10 YR 3/3 = brun foncé) à structure grumeleuse. On observe également quelques taches jaunâtres rappelant l'horizon sous-jacent.
Éléments grossiers à dominance non altérée.
Compacité forte de l'horizon.
Microporosité faible dans les lits rougeâtres, plus élevée dans les lits humifères.
Transition très nette, horizontale et régulière avec
- II (> 40 cm) : horizon en place, de couleur dominante brun jaunâtre (10 YR 5/5).
Très nombreux débris de roche fortement altérée (altération noire concentrique).
Très compact.
Les éléments grossiers dominant.

CONCLUSION

Le remodelage a été effectué à la limite I/II. Cette limite est nette, aucun travail du sol n'ayant été réalisé depuis le remodelage (6 ans).
Le matériau de l'horizon I est un apport en provenance des horizons A et B remaniés en amont.

Station F₃
Traitement TC

Talus en bordure de champ de cannes coupées.

- A₁₁ (0-20 cm) : Couleur 10 YR 3/2,5 (brun foncé).
Texture argileuse.
Structure grenue grossière très bien développée.
Chevelu de racines très nombreuses.
Quelques éléments grossiers de l'ordre du centimètre.
Macroporosité très importante, fentes de l'ordre du centimètre, qui s'arrêtent au bas de cette horizon. Microporosité moyenne.
Activité biologique forte.
Transition distincte et ondulée avec
- A₁₂ (20-40 cm) : Couleur 5 YR 3/4 (brun rougeâtre foncé).
Texture argileuse.
Structure polyédrique grossière bien développée.
Racines moyennes et fines.
Macroporosité importante.
Transition graduelle avec l'horizon B rougeâtre.
- B (40-70 cm) : Couleur 2,5 YR 4/4 (brun rougeâtre).
Texture argileuse.
Structure polyédrique très grossière à tendance plus ou moins lamellaire.
Surstructure prismatique peu développée.
Peu de racines.
Quelques plages plus rougeâtres ou grisâtres rappelant les horizons sous-jacents.
Macroporosité bonne.
Transition distincte et régulière avec
- C₁ (> 70 cm) : Horizon tacheté à couleur dominante jaune (10 YR 7/6).
Structure massive.
Quelques racines moyennes et fines.
Nombreuses lithoreliques jaunâtres altérées, donnant la couleur dominante de l'horizon. Passées violacées et jaunâtres.

Les horizons d'altération (C₂ ...) sous-jacents sont de plus en plus indurés.

CONCLUSION : Ce témoin a probablement été un peu remanié.

Station F3
Traitement R7

Jeunes cannes plantées, par encore coupées.

* En surface (quelques centimètres) et sur le billon, structure poudreuse, grenue, très peu cohérente (lié au travail du sol).
Texture argileuse.

* On se trouve ensuite directement sur l'horizon profond d'altération (tuf volcanique).
Nombreuses lithoreliques d'altération rougeâtres (voir C₁ et C₂ du profil témoin correspondant).
Des racines existent encore à 60 cm.

CONCLUSION

Transition brutale entre la fine couche de terre poudreuse et le tuf volcanique. Le sol a été fortement remodelé, mais non recouvert par des apports en provenance d'horizons situés en amont.

Station B₁
Traitement TN

Profil sous belle futaie de Mahogany (bois domanial).
Litière importante en contact direct avec l'horizon A.
Activité biologique très forte.

- 0-15 cm frais : Couleur 10 YR 3/1 (gris très foncé)
Texture argileuse.
Structure polyédrique très grossières à sous-structure grumeleuse.
Horizon hétérogène dans l'intensité de la couleur noire.
Racines fines et moyennes
Macroporosité élevée. Microporosité très bonne.
Cohérence moyenne, compacité moyenne.
Activité biologique très forte.
Transition distincte et irrégulière avec
- 15-40 cm : Couleur 7,5 YR 3/2 (brun foncé).
Texture argileuse.
Structure polyédrique moyenne bien développée.
Intensité de la couleur hétérogène.
Quelques rares éléments grossiers vers 40 cm (roche jaunâtre plus ou moins altérée).
Nombreuses racines moyennes.
Compacité moyenne.
Activité biologique très forte.
Transition diffuse et graduelle avec
- > 40 cm : Couleur identique à l'horizon précédent, mais plus homogène.
Texture argileuse.
Structure massive à polyédrique peu nette.
Quelques racines moyennes.
Horizon plus compact et plus cohérent que les précédents.
Activité biologique moyenne à forte.

Les deux premiers horizons apparaissent plus hétérogènes dans leur couleur que l'horizon sous-jacent. Possibilité de remaniement, lié soit au chemin, soit à la plantation.

Test allophane (horizon 70-80 cm) : ε

Station B₁
Traitement TC

Profil sur témoin plat ; cannes coupées depuis une semaine environ.

- Ap (0-18 cm) : Couleur 7,5 YR 4/4 (brun à brun foncé)
Texture argilo-sableuse fine, collant à l'état humide.
Macrostructure anguleuse à angles aigus, avec matière organique sur les faces.
Débit polyédrique à grumeleux en surface.
Quelques racines.
Activité biologique forte (nombreux pores).
- (18-38 cm) : Couleur 7,5 YR 4,5/4 (brun).
Texture argilo-sableuse.
Macrostructure à polyèdres à angles vifs.
Microstructure polyédrique fine.
Revêtements organiques sur les faces des agrégats.
Nombreuses racines mortes (ancienne récolte).
Bonne porosité ; cohérent, ferme.
Transition très graduelle.
- B (38-78 cm) : Couleur 7,5 YR 4,5/6 (brun un peu plus clair).
Texture argilo-sableuse.
Macrostructure polyédrique à angles vifs.
Beaux revêtements organiques dans les pores.
Nombreux biopores.
- B/C (> 78 cm) : Couleur 8,75 YR 5/6 (brun vif à brun jaunâtre).
Texture un peu plus limoneuse.
Structure fondue.
Taches jaunes (10 YR 5/8 : brun jaunâtre) et plages beige rouille (débris de tuf altéré).
Traces d'enracinement jusqu'au fond du profil.
Bonne porosité.
Cohérent, ferme.

Test allophane : surface : ε
60-70 cm : +

CONCLUSION

Sol brun rouille à halloysite, avec transition allophanique.
Profil remanié en partie.

Station B₁
Traitement R10

Profil situé en haut de parcelle. Pente très forte en dessous.
Cannes coupées depuis quelques jours.
Description dans le billon.

- Ap (0-20 cm) : Horizon humifère. Couleur 7,5 YR 4/4 (brun à brun foncé).
Texture argileuse.
Structure polyédrique moyenne à sous-structure grumeleuse moyennement développée.
Inclusions de l'horizon sous-jacent (effet labour) sous forme de lits rougeâtres et petites taches rouges (1 mm) : représente environ 5 % de l'horizon. Pas d'éléments grossiers.
Les taches rouges deviennent plus nombreuses à la base de l'horizon.
Racines fines, très nombreuses dans la partie travaillée.
Bonne macroporosité. Microporosité moyenne.
Compacité moyenne.
Activité biologique moyenne.
Transition distincte et discontinue avec
- B (ancien) (20-50cm) : Couleur 2,5 YR 4/8 (rouge).
Texture argileuse.
Structure massive à débit polyédrique grossier.
Quelques agrégats plus indurés, plus ou moins jaune-rougeâtre.
Racines fines.
Macroporosité faible. Microporosité moyenne.
Compacité élevée. Cohésion élevée.
Activité biologique faible.
Transition graduelle, régulière et horizontale avec
- C (ancien) (50-80cm) : Couleur 2,5 YR 4/6 (rouge)
Texture argileuse.
Structure massive à polyédrique grossière.
Taches indurées gris-jaunâtre et rouille (15 %)
Quelques racines.
Macro- et microporosité faibles.

Test allophane (horizon 20-50 cm) : ε

Station B₁
Traitement R4

Cannes coupées depuis 15 jours environ.

- C₁ (0-7 cm) : Couleur dominante 7,5 YR 5/6 (rouge-jaunâtre).
Texture argilo-limoneuse.
Structure polyédrique moyennement développée.
Par place, morceaux de tuf entièrement altérés, friables.
Nombreuses racines horizontales.
Transition nette, irrégulière et discontinue avec
- C₂ (7-40 cm) : Matériau bariolé d'altération (bariolage de jaune, gris, rouge, blanc).
Macrostructure polyédrique grossière.
Nombreuses lithoreliques altérées.
Cohérence moyenne, compacte, peu perméable.
Racines horizontales.
- > 40 cm : Tuf altéré, friable.

CONCLUSION

Horizon A pratiquement inexistant, surtout localisé au billon.
Enracinement homogène sur 40 cm.
Début de formation d'un sol sur horizon C d'un ferrisol.

Station A₁
Traitement TN

Sous forêt sur falaise surplombant un marigot.
Litière de feuilles assez épaisse.

- A₁₁ (0-10 cm) sec : Couleur 10 YR 3/3 (brun foncé)
Texture argilo-limoneuse ? (structure très stable)
Structure grumeleuse bien développée. Cohésion de l'horizon faible.
Quelques roches grossières non altérées.
Racines fines et chevelu racinaire très important.
Macroporosité très bonne.
Activité biologique peu visible.
Transition distincte et ondulée avec A₁₂.
- A₁₂ (10-20 cm) sec : Couleur 10 YR 6/6 (jaune brunâtre). Paraît décoloré par rapport à l'horizon sous-jacent. La couleur rappelle celle de l'horizon sous litière du témoin sous culture.
Texture sablo-argileuse.
Structure polyédrique moyenne. Cohésion faible. Compacité faible. Terre fine individualisée par rapport aux agrégats.
Peu de roches grossières non altérées.
Racines moyennes nombreuses de direction horizontale à la base de cet horizon.
Macro- et microporosité bonnes.
Transition graduelle avec
- B₁₁ (20-40 cm) frais: Couleur 7,5 YR 6/6 (jaune rougeâtre).
Texture argilo-sableuse.
Structure massive à polyédrique grossière.
Zones (50 %) plus compactes = reliques de roches altérées, sous forme de prismes.
Compacité forte de l'horizon.
Racines fines et moyennes. Quelques grosses racines.
Microporosité très bonne, même dans la roche.
Transition graduelle avec
- B₁₂/C (40-80 cm) frais : Couleur 7,5 YR 5/8 (brun vif).
Texture argileuse.
Structure polyédrique fine avec pratiquement pas d'éléments grossiers.
Compacité moyenne.
Pas de taches. Quelques racines petites, moyennes et grosses. Enracinement très profond.
Profil pas assez profond pour déterminer la roche-mère.
- Test allophane : A₁ ++
A₂ +++
B₁₁ +++
B₁₂ +++

Station A₁
Traitement TC

I

En surface, sous la litière, débris de roche altérée très fragiles, de 1 à 2 cm de diamètre ; couleur 2,5 YR 8/6 (jaune pâle).

A (0-10 cm) frais : Couleur 10 YR 5/8 (brun jaunâtre.
Texture argilo-sableuse.
Structure grenue.
Cohésion très faible de l'horizon.
Pas de taches : débris de roche très peu indurés, assez nombreux et de taille variable.
Juste à la limite de la litière et du sol, couleur plus claire due aux débris de roche.
Chevelu racinaire très important. Bel enracinement de surface.
Microporosité très forte. Macroporosité peu visible.

B/C (10-65 cm) : Transition distincte et ondulée avec l'horizon précédent.
Couleur 7,5 YR 5/6 (brun vif)
Texture argilo-sableuse.
Structure massive à débit polyédrique fin. Cohésion forte de l'horizon.
Compacité élevée.
Quelques racines fines.
Pas de taches, mais très nombreux éléments grossiers de roche à divers degrés d'altération.
Transition distincte à nette et plane avec R.

R (65-95 cm) : Roche très altérée, de couleur 10 YR 6/8 (jaune brunâtre).
Macroporosité faible. Microporosité très bonne.
Pas de racines.

Transition très nette et plane avec l'horizon sous-jacent.

II

(A) (95-115 cm) : Horizon humifère frais, de couleur 7,5 YR 4/4 (brun foncé).
Texture argileuse.
Structure polyédrique moyenne, peu compacte, à cohésion forte.
Quelques racines.
Concrétions rouges de l'ordre du cm. Pas d'éléments grossiers.

Test Allophane : A +++
B/C ++
R ++
(A) +

Station A₁
Traitement R8

- A (0-30 cm) frais : Horizon humifère. Couleur 5 YR 4/6 (rouge jaunâtre).
Texture argilo-sableuse.
Structure massive, débit polyédrique moyen.
Cohésion forte à moyenne.
Juste sous la litière, début de structure grenue.
Quelques morceaux de roche très altérée, un peu indurés, de 1 à 2 cm de diamètre (couleur marron violacé, semblable au témoin).
Chevelu racinaire en surface. Quelques racines moyennes et fines en profondeur.
Macroporosité faible. Microporosité bonne.
Activité biologique faible.
Transition distincte, très irrégulière et discontinue avec
- R (> 30 cm) : Roche altérée, jaune brunâtre, identique à profil témoin cultivé.
- Test allophane : A +++
 R +++

Station A₁
Traitement R9

Cannes (2ème rejeton) âgée de 3 mois environ après coupe. Cannes non brûlées.
Profil sur billon.

Surface : litière de feuilles de cannes séchées, au contact avec le sol sur
0,5 cm.

Couche H: débris de feuilles de cannes et nombreux agrégats noirs sphériques
(boulettes fécales).

A (0-4 cm) humide : Horizon très faiblement humifère.
Couleur 5 YR 5/6 (rouge jaunâtre).
Texture argilo-limoneuse.
Structure massive, débit polyédrique grossier.
Surface compacte. Cohésion.
Petites taches rouges diffuses peu nombreuses (2,5 YR4/6)
Enracinement très fort dans le premier centimètre :
nombreux chevelus et fines racines. Devient beaucoup moins
important ensuite.
Microporosité bonne. Macroporosité nulle.
Activité biologique en surface : quelques fourmis, un ver
blanc.
Transition peu nette, sur 3-4 cm, avec

C₁ (4-30 cm) : Couleur 7,5 YR 5/6 (brun vif).
Texture argilo-limoneuse.
Structure massive. Débit polyédrique fin. Mieux structuré
que A.
Nombreuses taches et traînées gris-blanc (10 YR 6,5/1) et
rouille (2,5 YR 4/6) représentant au total 30 % de l'ho-
rizon. Les traînées grises (taille : 5 cm) sont à limites
nettes. Les taches rouille, de l'ordre du cm, sont diffuses.
Racines moyennes et fines, nombreuses à l'aplomb de can-
nes.
Activité biologique faible.
Transition diffuse et ondulée avec C₂.

C₂ (30 cm) : Identique à C₁, mais entachement rouille et gris beau-
coup plus fort. L'abondance particulière des plages rouil-
le donnent à l'horizon une couleur dominante (2,5 YR 4/6).
Texture argilo-sableuse.
Structure polyédrique moyenne.
Les horizons C₁ et C₂ sont beaucoup plus secs que l'ho-
rizon A.

Test allophane : A ε
 C₁ nul
 C₂ nul
un peu d'amorphes en surface.

Station A₂
Traitement R5

Bananeraie dans sa 2^{ème} année
Profil dans Billon

Ap (0-40 cm) : Horizon travaillé, frais, très légèrement humifère. Couleur 10 YR 6/6 jaune brunâtre). Texture sablo-argileuse. Structure massive à débit polyédrique. Nombreux éléments grossiers peu indurés de tailles diverses, provenant du remaniement de l'horizon sous-jacent. Réticulé par de nombreux canaux de la taille du mm à revêtement noirâtre organique. (Pénétration racinaire). Eléments grossiers un peu plus rougeâtres représentant 40 % de l'horizon. Racines moyennes dans les 20 premiers cm, puis plus fines et plus ou moins décomposées assez nombreuses à la limite de l'horizon sous-jacent (lequel pénètre en langues - effet labour - dans l'horizon supérieur). Porosité assez bonne. Activité biologique assez bonne. Transition nette et irrégulière, avec

C (40-60 cm) : Arène très altérée en place, plus ou moins grisâtre jaune, avec association des plages marron clair, blanchâtres, verdâtres et orangées. Texture sableuse. Réticulation racinaire très importante. Pas de racines vivantes.

Test allophane : +

Station A₂
Traitement TC

Parcelle en cours de plantation. Billonnage récent à 40 cm. Profil dans billon.

- I
Ap (0-55 cm) : Matériau humifère de couleur 10 YR 3/2,5 (brun foncé)
Terre fine argileuse, mélangée avec de très nombreux éléments grossiers (remaniement par billonnage). Très meuble.
Quelques racines moyennes en bas de l'horizon.
Transition nette, régulière et horizontale avec
- (55-70 cm) : Horizon humifère plus foncé (10 YR 2,5/1) (noir)
Plus compact.
Nombreux éléments grossiers jaunâtres.
Quelques racines moyennes.
Transition graduelle et discontinue avec
- A₁₂/C (70-100cm) : Couleur 10 YR 4/4 (brun jaunâtre).
Beaucoup d'éléments grossiers, mais plus fins. Peu de terre fine.
Quelques racines fines.
- C (100-115 cm) : Identique à l'horizon supérieur, mais pratiquement pas de terre fine.
Couleur 7,5 YR 5/8 (brun vif).
Transition très nette avec II, caractérisée par une couche rougeâtre oblique ferruginisée, dans le sens de la pente.
- II (115-130 cm) : Matériau argileux à éléments grossiers, jaunâtres, indurés.
Même couleur que I(C).
Transition très nette avec
- III (>130 cm) : Ponces fines à dominante jaune (7,5 YR 5/8), et très nombreux sables noirs.

CONCLUSION

Matériau différent des sols remodelés.
Importante masse de matière organique enfouie dans l'horizon 0-60 cm.

Test allophane +++

Station A₃
Traitement TN

Sous forêt, avec balisiers, bambous en sous-bois sur pente assez forte.
Litière épaisse (1-2 cm) de feuilles.
Lacis racinaire important dès la surface.

A₁₁ (0-15 cm) : Texture argilo-limoneuse. Structure grumeleuse bien développée très riche en racines moyennes et fines, macro- et microporosité très bonnes. Activité biologique très forte. Transition distincte et régulière, avec

A₁₁ (15-45 cm) : Même texture. Structure à débit polyédrique moyen bien développé. Racines moyennes et fines. Macroporosité faible et microporosité bonne.
Quelques pierres non altérées (remaniement local).

Station A₂
Traitement R8

Profil dans billon.

- Ap : Horizon très remanié, frais, de 5 à 30 cm d'épaisseur, ondulé, à caractère humifère très variable, dû à des poches brun foncé (7,5 YR 4/4).
Texture variable : argileuse dans les poches, sablo-argileuse ailleurs.
Mélange d'éléments grossiers plus ou moins indurés, provenant des horizons inférieurs et de niveaux argileux rouille (10 R 3/6 = rouge foncé) probablement rapportés de l'amont.
Dans le sillon, humification stratifiée.
Structure à tendance polyédrique moyenne à grossière.
Très nombreux éléments grossiers de couleur blanche, jaune (arène altérée).
Quelques racines moyennes et fines.
Activité biologique forte.
Transition nette avec
- C₁ (jusqu'à 60 cm) : Couleur 10 YR 5/6 (brun jaunâtre).
Structure massive.
Quelques éléments grossiers peu indurés, gris, jaunes et blancs. Peu compact.
Quelques racines moyennes vivantes et anciennes.
Passage discontinu avec arènes plus ou moins indurées, entre 50-60 et 80 cm.

CONCLUSION

Profil très remanié, grande variabilité.
Importance plus ou moins grande du niveau rouge.

Test allophane : Niveau rouge 0
 niveau jaune (C) +

Station A₃
Traitement TC

Parcelle labourée et plantée récemment.
Profil dans le billon.

I

- A11p (0-50 cm) : Couleur 10 YR 4/4 (brun à brun foncé) Texture argilo-sableuse.
Texture grenue à particulaire (travail du sol) ; très meuble, peu cohérent.
Hétérogénéité de couleur, selon l'horizon humifère remanié. Quelques mottes (remontées de A_{12p}). Quelques racines. Macro- et microporosité bonnes. Transition distincte avec
- A12p (50-80 cm) : Horizon plus clair 10 YR 5/4 brun jaunâtre. Texture argilo-sableuse.
Structure à tendance polyédrique grossière plus compacte. Traces de racines sur les agrégats et nombreuses racines moyennes plus ou moins humifiées.
Nombreuses racines moyennes et fines.
Macroporosité moyenne, microporosité très bonne. Transition nette et horizontale (liée au travail du sol) avec
- C (80-110 cm) : Couleur 10 YR 4,5/6 (brun jaunâtre foncé). Texture sablo-argileuse.
Horizon très compact. Nombreuses lithoreliques. Arène très altérée.
Traces de vieilles racines noirâtres. Macroporosité nulle, microporosité moyenne. Transition nette et régulière avec
- II
- A12/B (110-130 cm) : Couleur 7,5 YR 5/6 (brun vif) Texture argileuse.
Structure massive à débit polyédrique grossier. Quelques taches rouilles (2 à 3 mm). Très peu d'anciennes racines. Macroporosité faible, microporosité bonne. Transition graduelle avec
- B (130-170 cm) : Couleur 7,5 YR 5/8 (brun vif) (moins humifère). Texture argileuse. Structure massive à débit polyédrique grossier. Taches rouilles diffuses et nombreuses. Canaux de vieilles racines formant la macroporosité, microporosité moyenne.

Test allophane : +++ partout.

Station A₃
Traitement R7

Bananeraie en place depuis plusieurs années.
Profil dans le sillon du grand rang.

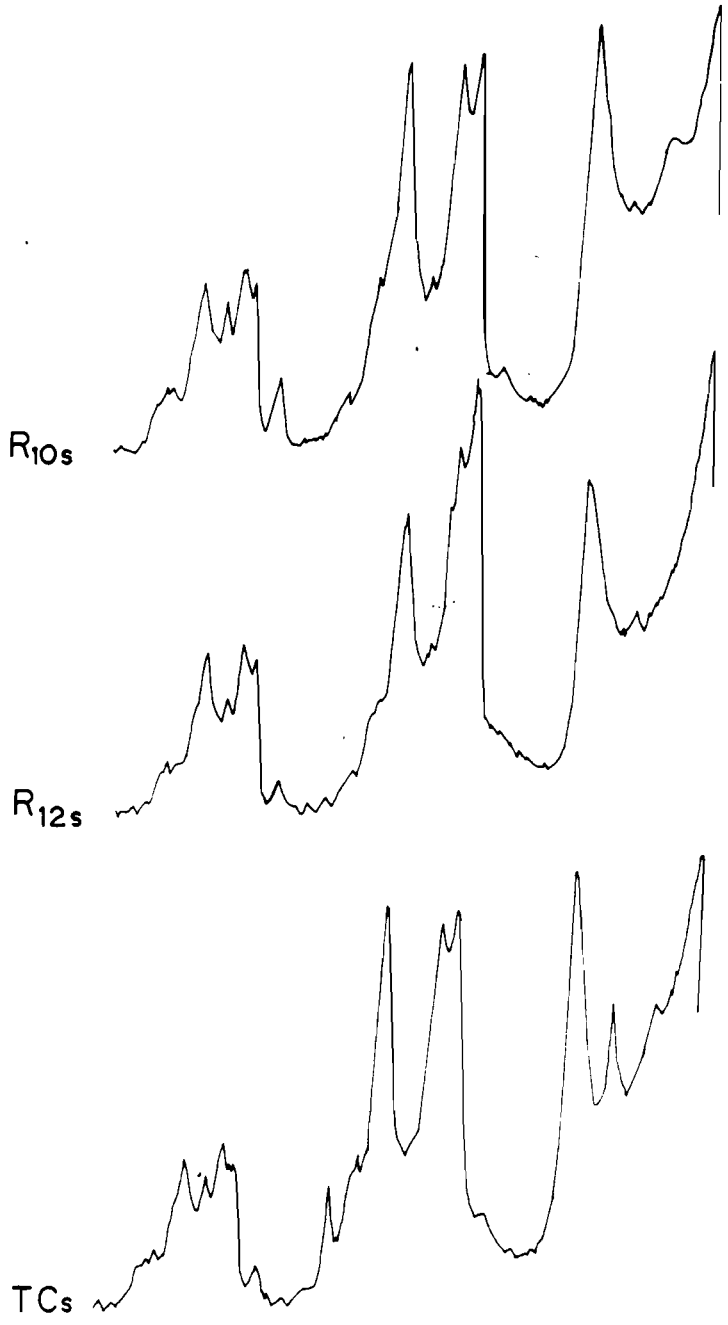
- Ap (0-40 cm) : Frais, couleur 10 YR 4/3 (brun à brun foncé) (hétérogénéité de la couleur due au caractère plus ou moins humifère).
Texture argileuse.
Structure polyédrique fine, meuble, légèrement humifère en moyenne. Nombreuses racines moyennes et grosses. Débris de laves bleuâtres et mauves à divers degrés d'altération. Transition nette, régulière, horizontale avec
- (40-60 cm) : Couleur 5 YR 4/2 (gris olive). Texture argilo-sableuse.
Structure massive à débit polyédrique grossier. Horizon plus ou moins discontinu, en poches, grisâtres à nombreuses taches et traînées d'oxydation.
Quelques racines moyennes. Nombreuses racines mortes. Transition distincte et irrégulière avec
- > 60 cm : Horizon argileux de couleur 7,5 YR 5/4 (brun)
Peu d'éléments grossiers.

Test allophane : horizon de surface +++
 horizon de profondeur ++

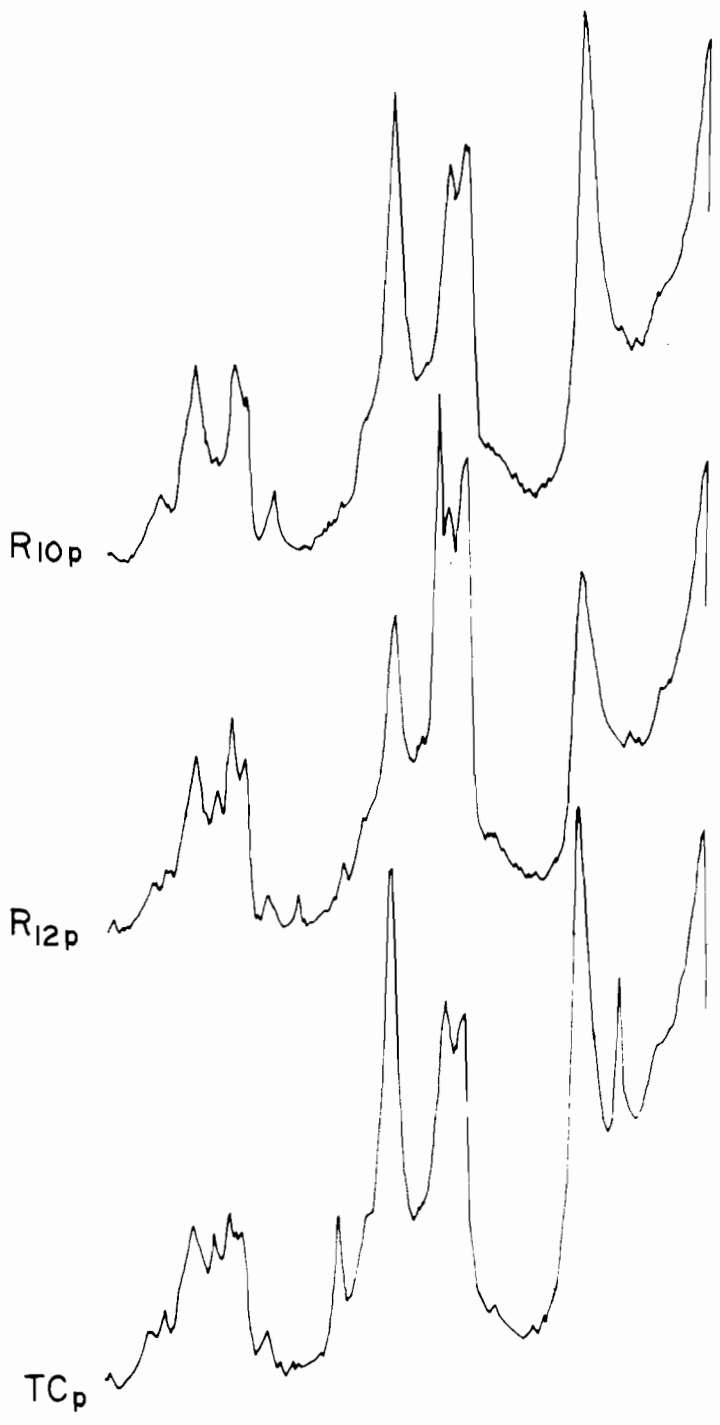
ANNEXE V

DIAGRAMMES RAYONS X DES ARGILES

STATION F₁
surface



STATION F₁
profondeur



STATION F₂

surface

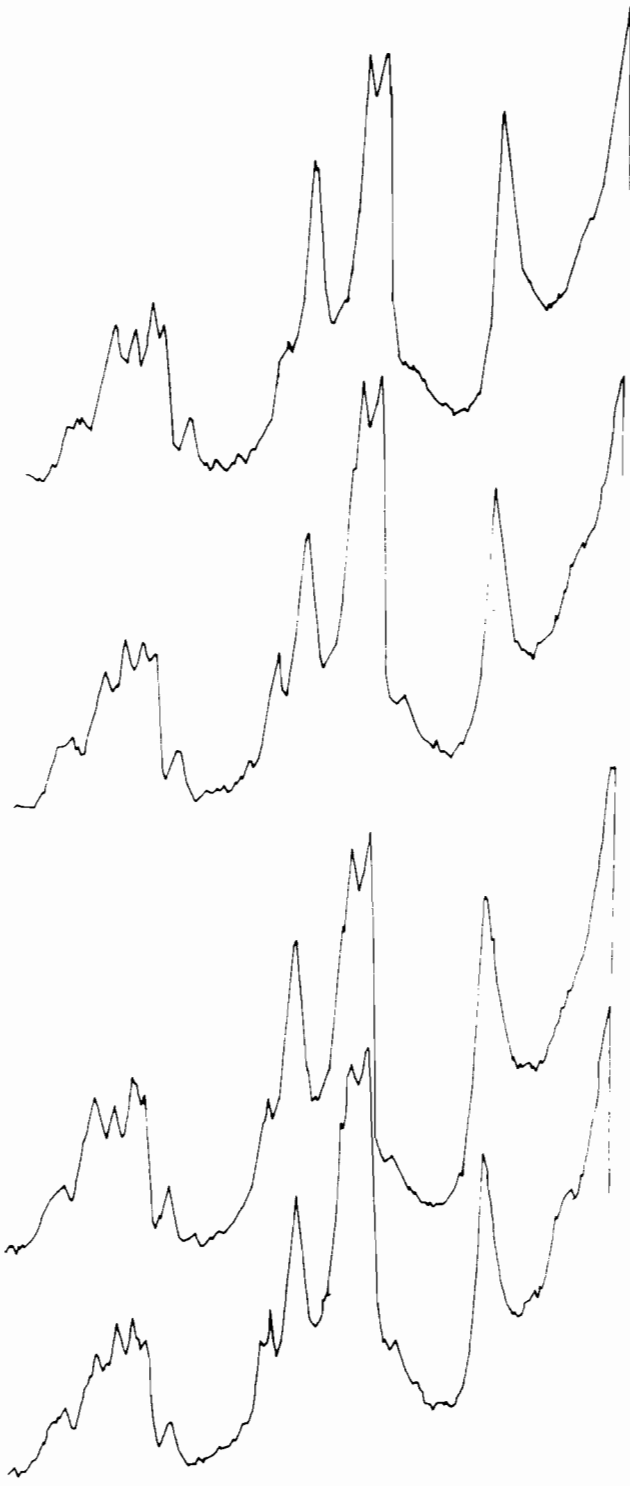
R_{6s}

TC_s

profondeur

R_{6p}

TC_p



STATION F₃

surface

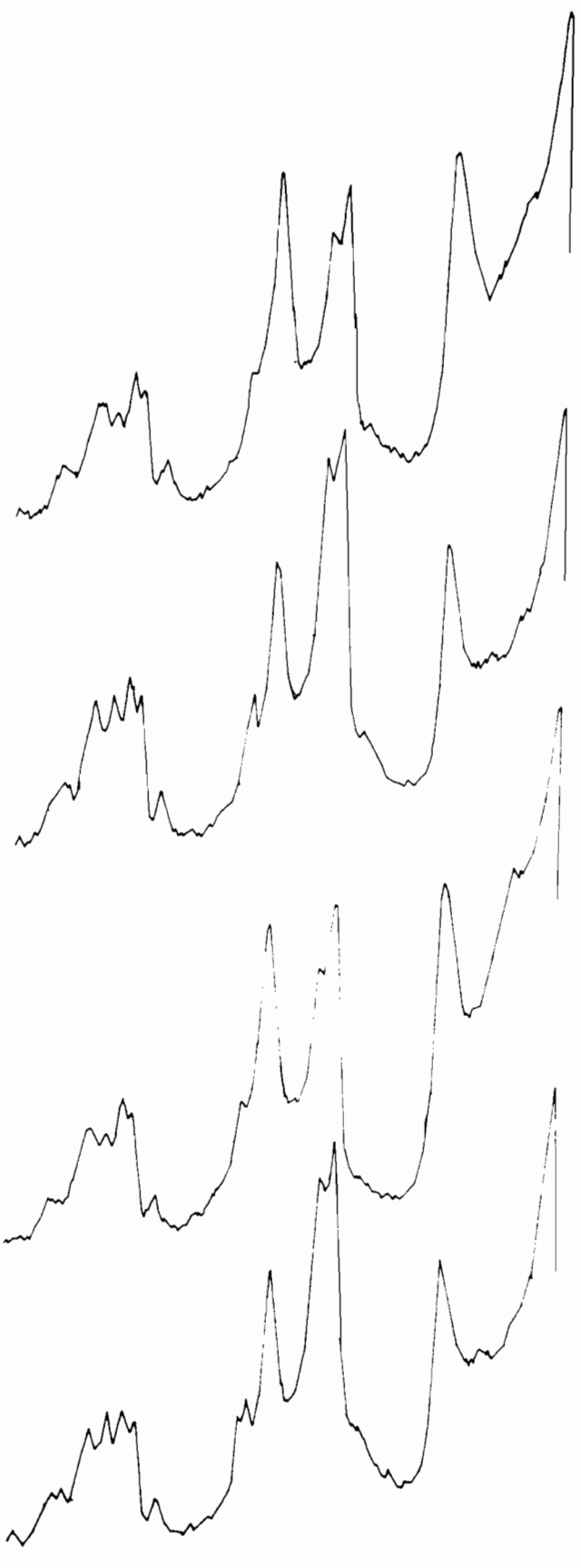
profondeur

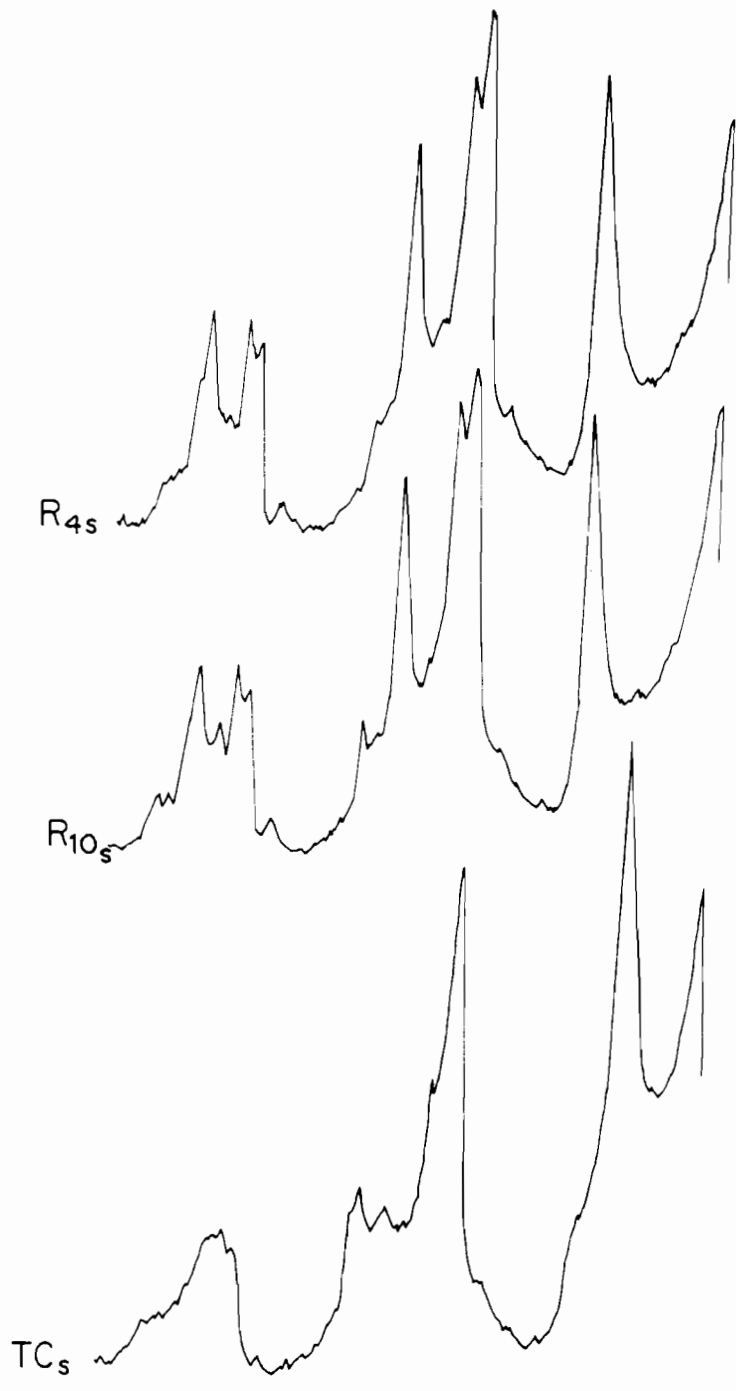
R_{7s}

TC_s

R_{7p}

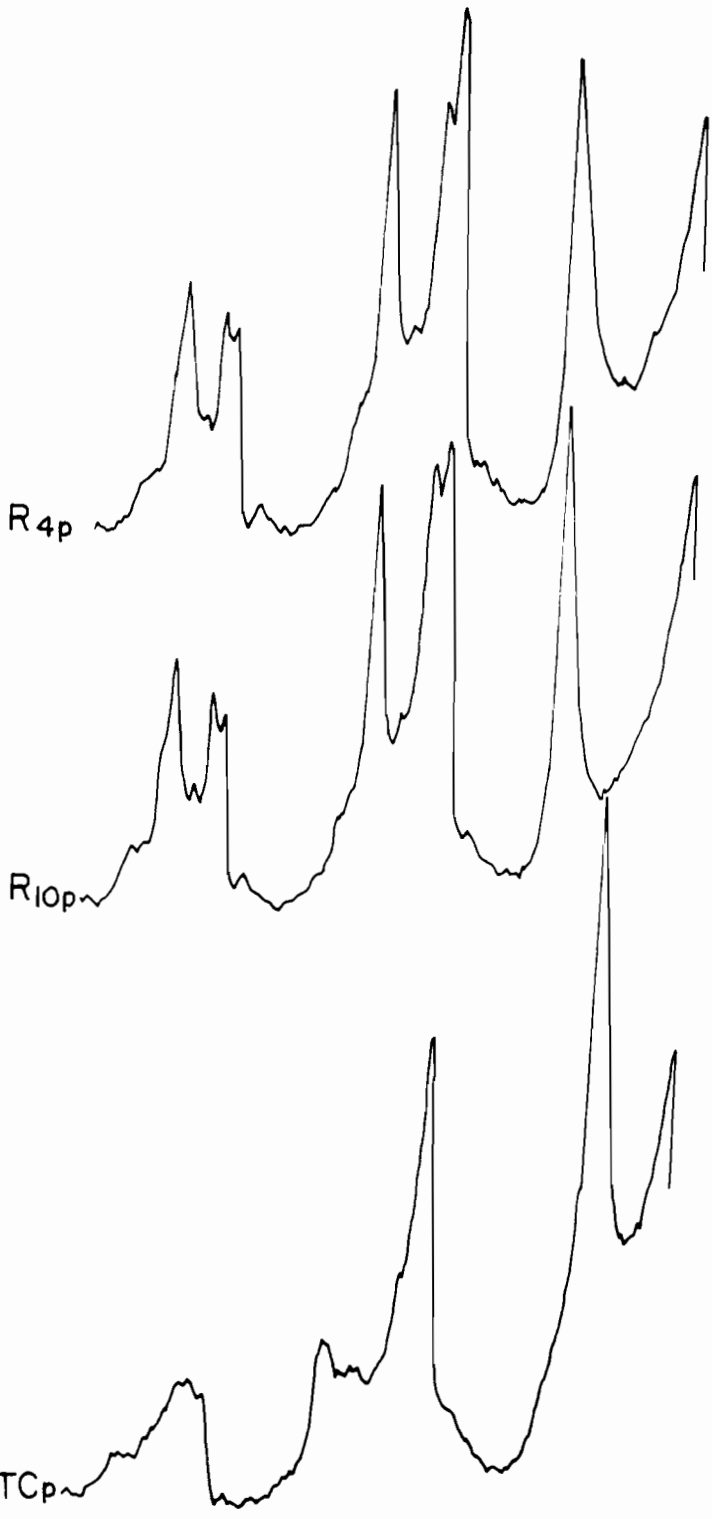
TC_p

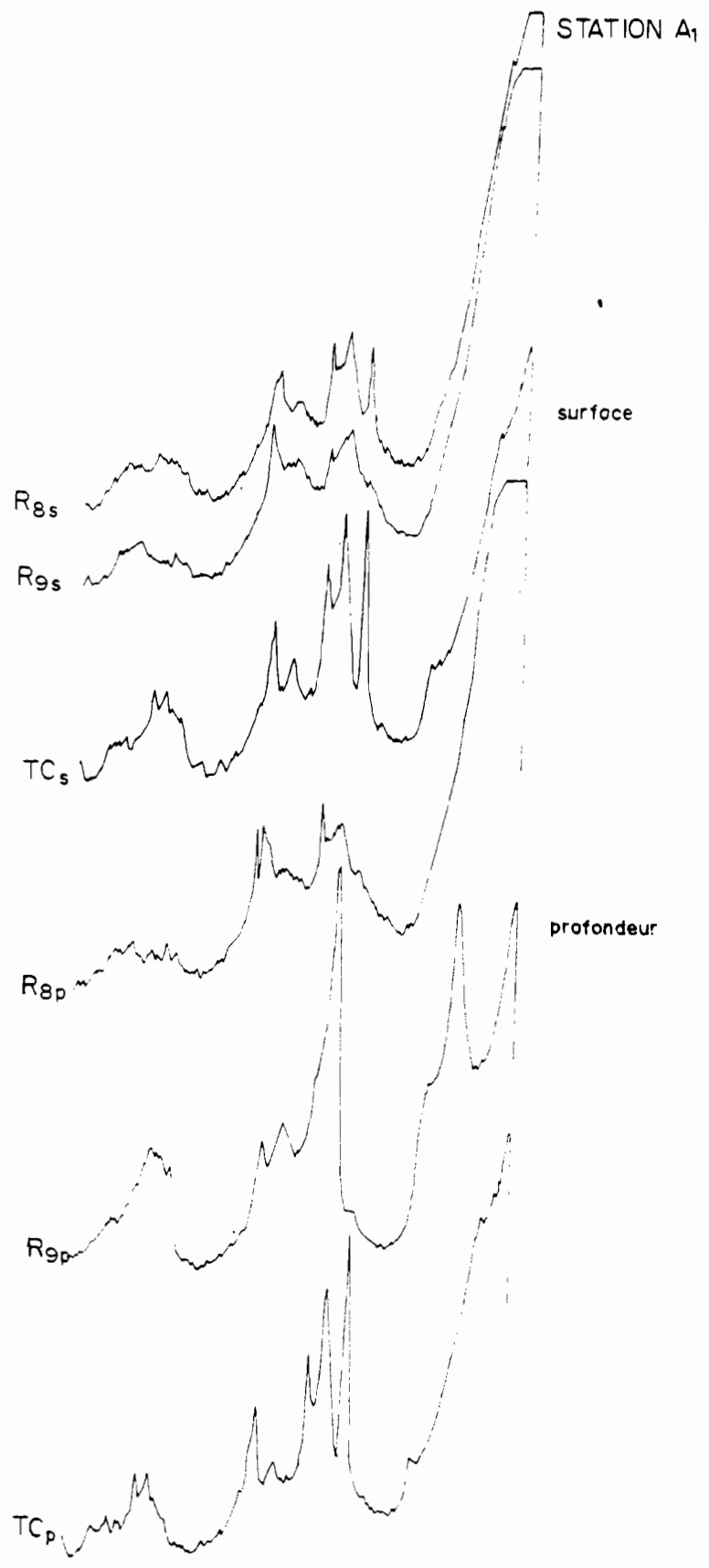




STATION B₁
surface

STATION B₁
profondeur





STATION A₂

surface

profondeur

R_{5s}

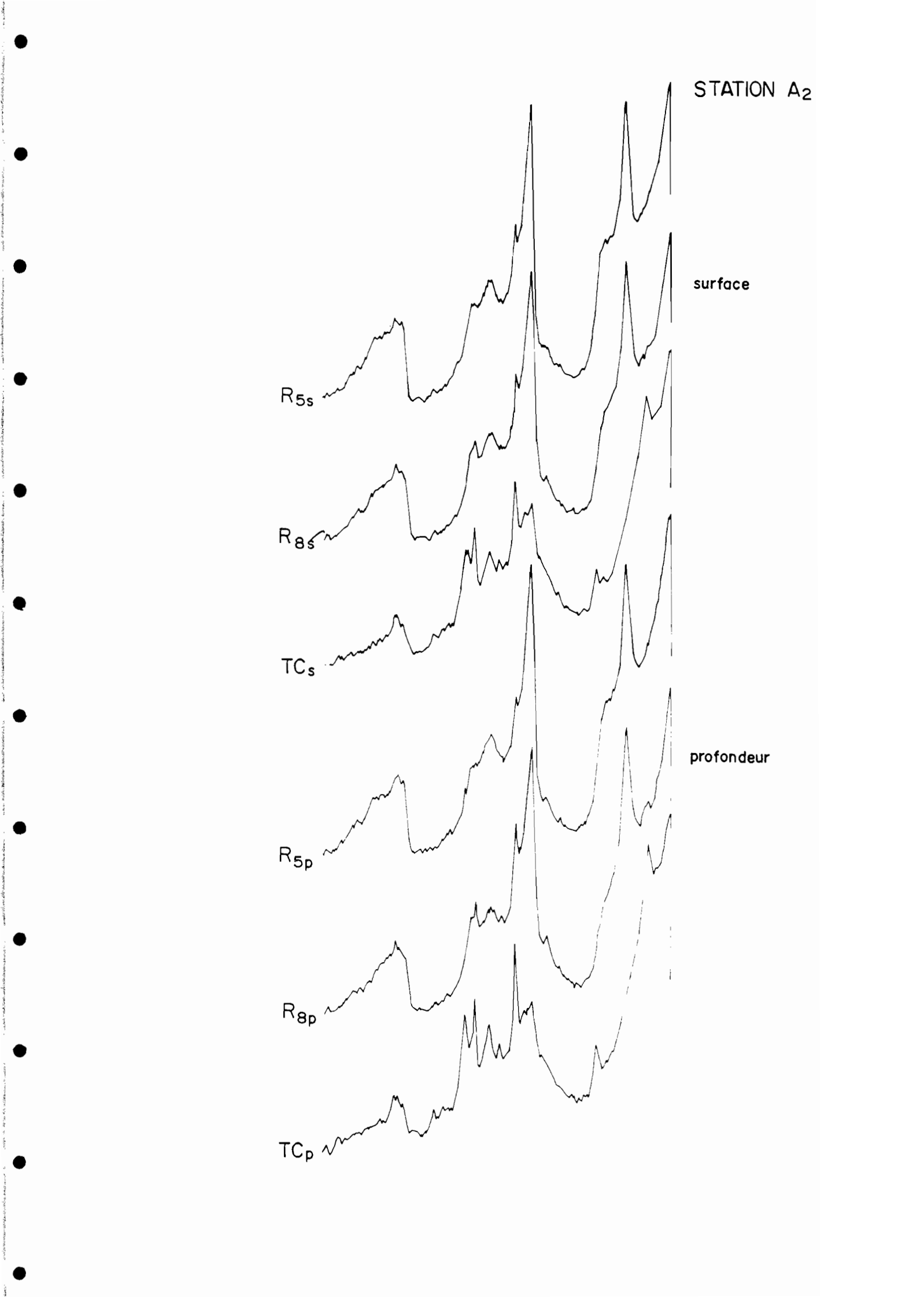
R_{8s}

TC_s

R_{5p}

R_{8p}

TC_p



ANNEXE VI

ANALYSE DE QUELQUES ECHANTILLONS PAR LES REACTIFS DE TAMM et MEHRA-JACKSON

Résultats exprimés en ‰.

Echantillons	Oxalate (1)			C.B.D. (2)		
	Fe	Al	Si	Fe	Al	Si
A ₂ TC	6,1	17	7,0	8,5	6,5	1,3
A ₂ R5	5,9	13	7,0	23	6	3,5
A ₁ TC	9,2	35	42	27,5	12,5	2,3
A ₁ R8	5,6	48	60	27,5	14,5	2,8
B ₁ TC	5,1	5,2	1,4	40	6	2,4
B ₁ R4	0,5	1,5	0,4	40	4	1,0
F ₁ TC	7,8	1,5	0,6	40	4	1,5
F ₁ R10	1,8	1,5	0,4	60	6,5	1,0

(1) Oxalate pH 3 : Réactif de TAMM

(2) C.B.D. = Citrate-bicarbonate-dithionite : Réactif MEHRA-JACKSON

ANNEXE VII

















COMPARAISON DES TENEURS EN CARBONE OBTENUES AVEC DIFFERENTS APPAREILS
ET EN DIVERS LIEUX (Fraction inférieure à 50 µm)

Echantillons	C % (C-H-N Martinique)	C % (Carmhograph Nancy)	C % (C-H-N Nancy)
F ₁ R10	1,09	0,97	0,86
F ₁ TC	3,32	3,27	3,18
A ₁ R8	1,15	1,56	1,27
A ₁ TC	4,44	4,66	4,32
A ₁ TN	9,85	11,35	10,37

Les valeurs au C-H-N sont pratiquement toujours inférieures aux valeurs obtenues au Carmhograph. La variabilité due au lieu d'analyse (opérateur) est plus faible que celle due à l'appareillage.

ANNEXE VIII

LÉGENDE GÉNÉRALE DES SYMBOLES UTILISÉS DANS LES FIGURES

	Couche organique peu décomposée (A_0)
	Horizon humifère particulaire peu actif
	Horizon humifère grumeleux actif
	Carbonate de chaux
	Argile 2/1 (illite, vermiculite, montmorillonite - avec oxyde de fer absorbé)
	Argile 1/1 (kaolinite)
	Horizon cendré ou blanchi
	Accumulation de fer ferrique hydraté (ocre vif ou rouille)
	Accumulation de fer ferrique deshydraté (rouge)
	Précipitation localisée de fer ferrique
	Concrétions ferro-manganiques
	Gley: fer ferreux dominant (gris verdâtre)
	Alumine libre
	Roche mère en cours d'altération
	Roche mère siliceuse non altérée
	Roche mère calcaire non altérée

N.B.- L'abondance des différents éléments est indiquée par l'espacement plus ou moins grand des lignes ou la densité des symboles utilisés

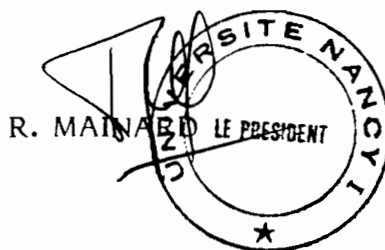
NOM DE L'ETUDIANT : CHEVIGNARD Théodore

NATURE DE LA THESE : Doctorat de 3ème Cycle en Biologie et Physiologie végétales

VU, APPROUVE ET PERMIS D'IMPRIMER

NANCY, le 24 MAI 1985 n° 813

LE PRESIDENT DE L'UNIVERSITE DE NANCY I



RESUME

Le remodelage des terres agricoles en Martinique est une opération de génie rural pratiquée depuis la fin des années 60, consistant en un nivellement des collines, afin de faciliter la mécanisation des cultures (canne à sucre principalement). L'horizon humifère A n'est pas conservé, et la culture est implantée directement sur les horizons B ou C mis à jour. Les situations ainsi créées sont utilisées comme modèles en vraie grandeur pour étudier les étapes initiales de la reconstitution sur 15 ans des horizons humifères de sols cultivés en canne et se différenciant par leur minéralogie : matériaux à halloysite (sols bruns), à kaolinite et smectite (sols ferrallitiques), à allophane (andosols).

Les profils des sols remodelés montrent une faible différenciation en horizons A_p, B et C ou A_p et C. Par contre, d'importantes modifications des caractéristiques physico-chimiques sont constatées à la suite du remodelage, parmi lesquelles : détérioration de la stabilité structurale, augmentation de la densité apparente, de la rétention en eau, du pouvoir fixateur vis-à-vis du phosphore.

La vitesse de reconstitution des stocks de carbone et d'azote s'exprime par une fonction logarithmique, qui permet de calculer, par extrapolation, qu'environ 30 à 60 ans sont nécessaires pour reconstituer la moitié du stock initial.

La matière organique stockée dans les sols remodelés est jeune par définition (moins de 20 ans). La comparaison avec les sols cultivés non remodelés (témoins) montre que son accumulation se réalise essentiellement sous forme de composés humifiés liés à la matière minérale, sauf dans certains sols à texture grossière, où la quantité de fractions organiques figurées est à peu près identique pour toutes les situations (témoins, remodelés). Comparativement aux terrains cultivés, le caractère de jeunesse de la matière organique liée des sols remodelés est bien exprimé par :

- le rapport AF/AH élevé des matières humiques extractibles,
- les faibles teneurs en carbone et azote des humines, et leurs rapports C/N souvent élevés,
- l'abondance, dans les humines, des composés solubilisés par l'hydrolyse acide (amino-acides, glucides).

Cet ensemble de résultats montre que le "pari" pris sur l'avenir par le remodelage des sols est risqué, même si des considérations économiques se justifiaient à court terme, car l'amélioration des caractéristiques édaphiques, dont dépend la productivité végétale, ne peut s'envisager qu'à moyen et long terme.

MOTS CLES : Sols tropicaux - Andosols - Sols tronqués - Stock organique - Composés humiques - Canne à sucre.