

Relação entre a evolução dos compartimentos húmicos sob cultura e os fatores físicos e químicos da fertilidade em diferentes solos tropicais

DABIN, B.

SUMARIO

O autor apresenta diferentes resultados obtidos por ele e por outros pesquisadores sobre adubação, tendo realizado ensaios na África Tropical.

As análises foram realizadas nos laboratórios centrais de ORSTOM.

Os métodos de fracionamento de humus são aqueles publicados por B. DABIN (1971-1976). Os ensaios estão localizados em três zonas da Costa do Marfim, sob clima muito úmido, medianamente úmido e estações contrastadas.

As parcelas estudadas contêm plantas de forragem, leguminosas e gramíneas, e foram com paradas às áreas de floresta, e parcelas de cultura próximas.

Outras amostragens foram feitas no Congo (Brazzaville) sob pousio e sob cultura de cana-de-açúcar, com 14 anos de duração nos latossolos; outras na República Centro-Africana sob cultura de algodão, nos latossolos; outras ainda nas terras de Barro (latossolos) no Togo, na floresta Sagrada, pousio, palmeira, e cultura de milho.

Ao lado das regiões úmidas, outras amostras provêm de regiões secas do Alto Volta com culturas irrigadas de cana-de-açúcar e outros lugares sem irrigação com cultura de milho, sob pousio e nos diferentes tipos de solo: ferruginosos tropicais e hidromórficos.

Os compartimentos de humus evoluem diferentemente em função do clima, com decomposição forte e evolução rápida sob climas úmidos, e decomposição e evolução mais lenta sob climas secos.

Os fatores físicos da estrutura, e os elementos químicos da fertilidade dos solos, apresentam uma correlação com o carbono total e os equilíbrios das frações húmicas.

ORSTOM - Laboratoire de Pedologie
70-74 Route d'Aulnay
93 Bondy, France

I - INTRODUCTION

Dans les régions tropicales les engrais minéraux sont souvent chers, et les apports en conséquence limités, par ailleurs l'appauvrissement des réserves organiques du sol est plus rapide qu'en sols tempérés, le maintien de ces réserves est une nécessité absolue pour conserver la richesse organique et minérale du sol, et éviter la chute de la production.

Les modalités pratiques de cette fertilisation sont variables et parfois difficiles à mettre en oeuvre, les déchets d'origine animale sont insuffisants sauf à proximité des villages, et c'est généralement par les résidus des récoltes, les plantes fourragères et les jachères naturelles que se fait la restitution organique, et aussi par voie de conséquence, une certaine restitution minérale.

De nombreux essais ont été réalisés dans les pays tropicaux, nous citons dans cet article, quelques exemples, pris dans différentes régions climatiques d'Afrique. L'évolution des matières organiques dans ces essais a été suivie par des analyses détaillées des fractions humiques effectuées dans nos laboratoires de l'ORSTOM à Bondy.

II - LOCALISATION DES ETUDES SUR L'EVOLUTION DE LA MATIERE ORGANIQUE

Les travaux de terrain ont été réalisés par des équipes d'agronomes ou de pédologues, soit appartenant à l'ORSTOM, soit étrangers ayant travaillé dans nos laboratoires.

Parmi les nombreuses parcelles d'essai étudiées, une gamme d'échantillons provenant de régions tropicales à pluviométrie décroissante a été sélectionnée.

1°) En régions tropicales humides forestières et préforestières, six emplacements ont été choisis :

- Trois en Côte d'Ivoire, Adiopodoumé, Gagnoa, Bouaké, correspondant à des pluviométries annuelles respectivement de 2000 mm, 1500 mm et 1200 mm, avec des durées de saisons sèches croissantes : moins de trois mois dans la première station d'Adiopodoumé, et plus de quatre mois dans la dernière ; Bouaké, qui se trouve

en savane avec un régime à une seule saison des pluies. La station intermédiaire Gagnoa est sous forêt comme Adiopodoumé avec un régime à deux saisons de pluies. Les sols sont de type ferrallitique, fortement, moyennement ou faiblement désaturés suivant l'importance de la pluviométrie.

- Trois autres séries de prélèvements ont été effectuées en sols ferrallitiques :

- Dans la vallée du Niari au Congo (pluviométrie moyenne 1200 mm) avec des sols rouges nettement acides.

- En République Centrafricaine à Grimari (environ 1300 mm de pluie) et des sols ferrallitiques moyennement désaturés.

- Dans les terres de barre du Sud Togo, que l'on peut classer comme sols ferrallitiques faiblement désaturés sous une pluviométrie de 900 à 1300 mm, mais avec le régime à double saison des pluies.

2°) En région tropicale sèche, avec un climat à saison alternée (une seule saison de pluies et une saison sèche de plus de six mois).

- Une partie des prélèvements vient de la région de Banfora, avec une pluviométrie annuelle voisine ou inférieure à 1000 mm.

Les sols sont de type ferrugineux tropicaux et hydromorphes, et l'on y pratique la culture irriguée de canne à sucre.

- L'autre partie des prélèvements vient de la région de Fada N'Gourma où la pluviométrie peut s'abaisser jusqu'à 550 mm.

Les sols sont également des sols ferrugineux tropicaux lessivés, avec ou sans gravillons et des sols hydromorphes.

Dans ces différentes régions des comparaisons ont été effectuées, pendant plusieurs années consécutives, entre des parcelles laissées sous forêt ou sous jachères de longue durée d'une part et des parcelles cultivées d'autre part, comportant soit des cultures continues de maïs, canne à sucre, coton, mil, suivant les régions, mais aussi des plantes fourragères et de couverture, et parfois des apports de résidus de récolte.

Ces essais ont permis d'étudier soit l'appauvrissement du sol, soit sa régénération.

III- METHODE D'ANALYSE DE LA MATIERE ORGANIQUE

La méthode utilisée pour les différentes analyses de matière organique a été publiée en 1971 et 1976 par B. DABIN.

Sur tous les échantillons on pratique systématiquement des dosages de carbone et azote total, et également des analyses de matières humiques.

Les différentes fractions analysées sont les suivantes (obtenues par extractions successives sur un même échantillon) :

1°) Une fraction soluble dans l'acide phosphorique 2M appelée acides fulviques libres

2°) Des débris végétaux non décomposés séparés par densité et filtration par ce traitement dénommés matières légères.

3°) Une solution obtenue par épuisement au pyrophosphate de soude 0,1M à pH = 9,8 qui donne une fraction d'acides humiques pyrophosphate et une fraction d'acides fulviques pyrophosphate séparés par précipitation à l'acide sulfurique à pH # 1.

4°) Un nouvel épuisement à la soude 0,1N donne une fraction d'acides humiques soude et une fraction d'acides fulviques soude séparés également par l'acide sulfurique.

5°) La matière organique du résidu insoluble est l'humine globale, qui peut être également fractionnée (mais nous n'en parlons pas dans cet article).

Sur les différentes fractions on mesure le carbone, et parfois l'azote, en particulier par un analyseur élémentaire CHN et aussi d'autres méthodes chimiques ou physiques classiques.

Les extraits humiques pyrophosphate et soude ont été également étudiés par électrophorèse sur papier (séparant des acides humiques gris, intermédiaires et bruns), de même les formes de l'azote selon BREMNER sont déterminées sur le sol total et le colot d'humine (nous évoquons certains de ces résultats sans fournir ici de valeurs chiffrées).

IV - RESULTATS OBTENUS

1°) Evolution du carbone total et des fractions humiques dans les régions tropicales humides.

a) Essais de Côte d'Ivoire

Les résultats ont été publiés par TALINEAU, BONZON, HAINNAUX, FILLONNEAU et coll. en 1976, 1979, 1981, ils portent sur 5 années d'essais de 1967 à 1972, de parcelles de plantes fourragères comportant des graminées comme Panicum maximum et Cynodon aethiopicus, et des légumineuses comme Stylosanthes guyanensis et Centrosema pubescens. Ces parcelles subissent des coupes (3 à 8 par an), elles sont exploitées sans fertilisation ou reçoivent une fumure minérale complète. Nous donnons ici très succinctement quelques conclusions obtenues sur les trois stations déjà citées, Adiopodoumé (très humide), Gagnoa (moyennement humide), Bouaké (climat alterné).

- Evolution du carbone total -

Globalement à la fin des quatre années de prairies permanentes, des gains appréciables de carbone ont été enregistrés, les quantités, au début et à la fin de l'essai sont exprimées en tonnes ha sur une tranche de 0-10 cm.

	début	fin
Adiopodoumé	(21 à 24 tonnes sans engrais 21 à 26 tonnes avec engrais	
Gagnoa	(25 à 26 tonnes sans engrais 25 à 27 tonnes avec engrais	
Bouaké	(23 à 26 tonnes sans engrais 23 à 28 tonnes avec engrais	

Les courbes d'évolution du carbone en fonction du temps, montrent, malgré de fortes fluctuations, des augmentations plus importantes les deux premières années et une tendance à la stabilisation les 3^e et 4^e années.

Les légumineuses donnent des évolutions parallèles à celles des graminées, mais légèrement inférieures (9 à 13 % de carbone en moins à Adiopodoumé).

Pendant le même temps, les parcelles laissées nues montrent une perte importante de carbone, de 2 à 4 tonnes ha à Adiopodoumé et Gagnoa. Les taux de carbone à la fin de l'essai sont de 25% à 45% inférieurs à ceux des parcelles en graminées.

Evolution des différentes formes de l'humus

En ce qui concerne les fractions de l'humus, les auteurs donnent les conclusions suivantes :

A Adiopodoumé, l'enrichissement porte sur la matière légère, les acides humiques des extraits pyrophosphate et soude et les acides fulviques des trois fractions.

L'humine augmente peu, sauf dans le cas des légumineuses ; les graminées favorisent au contraire les acides humiques et fulviques. Il y a donc une biodégradation de l'humine en climat humide qui se transforme successivement en acides humiques soude, puis pyrophosphate puis acides fulviques qui augmentent.

A Gagnoa sous climat moins humide, l'enrichissement ne porte pas sur les matières légères qui se décomposent, par contre l'humine augmente, le passage aux acides humiques est plus lent, ces derniers augmentent peu, ils ont tendance à se dépolymériser et fournissent des acides fulviques qui augmentent.

A Bouake en climat alterné, il y a diminution des matières légères qui se biodégradent, et accroissement encore plus net de l'humine, le passage aux acides humiques est assez lent, ces derniers ont tendance à diminuer, et les acides fulviques diminuent nettement dans doute par biodégradation.

Dans les deux dernières stations, il y a peu de différences entre graminées et légumineuses.

Résultats chiffrés sur des parcelles de longue durée d'Adiopodoumé

Il s'agit de parcelles de démonstrations établies par ces mêmes auteurs sur lesquelles nous avons nous-même effectué des prélèvements.

Le tableau 1 montre comparativement à un témoin sous forêt l'évolution des fractions humiques sur cinq années, dans une culture de maïs en continu, et une jachère à Pueraria. Les résultats sont exprimés en valeur quantitative par rapport au sol sec, et en valeur relative.

Pour le carbone total, la jachère à légumineuses montre un enrichissement, par contre la culture de maïs en continu provoque un fort appauvrissement (presque des 2/3).

Les différentes fractions évoluent de façon variable soit dans le sens de l'appauvrissement soit dans le sens de l'enrichissement.

Avec l'appauvrissement sous culture, certaines fractions diminuent plus vite que le carbone total, il s'agit surtout des matières légères, des acides fulviques, de l'extrait soude, et de l'humine. Les acides fulviques libres diminuent à la même vitesse, par contre les acides humiques soude, les acides humiques pyrophosphate et surtout les acides fulviques pyrophosphate diminuent peu et leur proportion relative augmente ; cela montre bien la transformation de l'humine en acides humiques, et par ailleurs la dépolymérisation des acides humiques en acides fulviques liés (extrait pyrophosphate).

En ce qui concerne l'enrichissement du sol il porte essentiellement sur l'humine et sur les acides fulviques de l'extrait soude que l'on peut considérer comme des produits de début d'humification, les acides humiques pyrophosphate qui sont une forme de stabilisation augmentent également, toutes les autres fractions ont tendance à diminuer, en valeur relative, les matières légères diminuent par rapport à la forêt, mais augmentent par rapport à la culture de maïs.

b) Exemple du Congo Brazzaville (tabl. 2)

Les essais proviennent de plantations de canne à sucre dans la vallée du Nari, le climat est de type tropical moyennement humide à saisons alternées (1200 mm de pluies annuelles), le sol est un sol ferrallitique typique (moyennement désaturé).

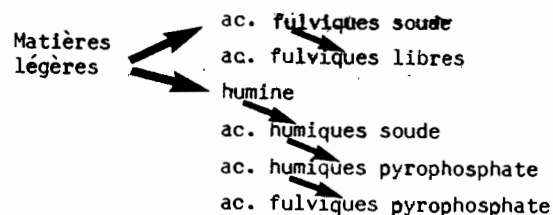
Les prélèvements ont été effectués par nous-même dans une jachère, dans une culture de maïs d'un an, et dans des cultures de canne à sucre de 14 ans, l'une ayant reçu des engrais

TABLEAU 1	SOLS FERRALLITIQUES DE CÔTE D'IVOIRE PARCELLES DE LONGUE DURÉE (ADIPODOUMÉ)					
	C % du sol sec			C % du C total		
	Forêt	Culture de maïs continue	Jachère à pueraria	Forêt	Culture de maïs continue	Jachère à pueraria
Carbone total	16,8	6,55	18,1	100	100	100
Matière légère	2,17	0,1	0,32	13	1,55	1,75
Ac. Fulviques libres	1,04	0,49	0,85	6,2	7,6	4,6
Ac. Fulviques pyrophosphate ...	1,3	1,09	1,2	7,8	16,6	6,5
Ac. Fulviques soude	1,69	0,4	2,61	10,2	6,2	14,3
Ac. Humiques pyrophosphate	1,28	0,92	2,07	7,6	14	11,5
Ac. Humiques soude	1,51	0,81	1,24	9,2	12,5	6,7
Humine	7,84	2,74	9,82	47	44	54

et l'autre récupérant le maximum de tiges de cannes sous forme de mulch. En ce qui concerne la matière organique totale (C %) il y a peu de changement après un an, par contre après 14 ans de canne, on note un enrichissement, surtout dans la parcelle avec mulch.

Cet enrichissement s'accompagne d'une évolution des fractions proche de celle étudiée précédemment.

L'humine varie peu quantitativement mais sa proportion relative diminue fortement dans les parcelles anciennes, ce qui montre sa transformation en composés humiques et fulviques. Ce sont essentiellement les acides fulviques soude d'une part et les acides fulviques pyrophosphate d'autre part qui bénéficient de l'enrichissement à long terme, les premiers étant des produits d'humification récente provenant de la matière végétale, les seconds étant une étape de dépolymérisation des acides humiques. Les acides humiques pyrophosphate montrent une augmentation dans les parcelles enrichies, quand aux acides humiques soude, ils varient peu, et sont en équilibre, entre leur formation à partir de l'humine d'une part, et leur évolution vers les acides humiques pyrophosphate d'autre part. L'enrichissement en carbone s'accompagne donc d'une évolution continue des fractions dans le sens suivant :



Les matières légères ont tendance à diminuer sous maïs, et se reconstituent sous le mulch de canne à sucre.

c) Exemple de RCA (tableau 3)

Les résultats ont été publiés par COINTEPAS (C.P. n° 3, 1982).

Cet exemple provient d'une moyenne de plusieurs parcelles, dans une station cotonnière de RCA, cultivées depuis de nombreuses années et comparées avec des sols restés sous végétation naturelle. Le climat est tropical moyennement humide (1300 mm) et le sol de type ferrallitique typique.

Les résultats confirment le sens de l'évolution des fractions sous culture de longue durée. La perte de carbone total se répercute principalement sur l'humine, les acides humiques soude, et les matières légères.

Les acides humiques pyrophosphate, diminuent peu, en revanche on note un accroisse-

	C % du Sol Sec				C % du C Total			
	Jachère	Maïs récent	(Canne à sucre (14 ans))		Jachère	Maïs récent	(Canne à sucre (14 ans))	
			(avec engrais)	(avec mulch)			(avec engrais)	(avec mulch)
Carbone total	16,9	17,8	18,8	24,8	100	100	100	100
Matière légère	0,54	0,30	0,51	0,87	3,19	1,68	2,71	3,5
Ac. Fulviques libres	1,18	1,31	2,22	2,01	6,98	7,35	11,80	8,10
Ac. Fulviques pyrophosphate	1,52	1,79	2,31	2,85	8,99	10	12,80	11,49
Ac. fulviques soude	1,60	1,70	2,02	3,19	9,46	9,55	11,11	12,86
Ac. Humiques pyrophosphate	0,99	1,09	1,42	1,56	5,85	6,12	7,55	6,29
Ac. Humiques soude	0,81	0,71	0,86	1,14	4,79	3,98	4,57	4,59
Humine	10,3	11,1	9,15	11,5	60,9	62,35	48,6	46,3

d'après COINTEPAS	C % du Sol Sec		C % du C Total	
	Jachère	Sol cultivé 30 ans	Jachère	Sol cultivé 30 ans
Carbone total	14,13	10,82	100	100
Matière légère	0,46	0,32	3,25	2,95
Ac. Fulviques libres	0,64	0,79	4,52	7,30
Ac. Fulviques Pyrophosphate	0,47	0,72	3,32	6,65
Ac. Fulviques soude	0,75	0,66	5,3	6,09
Ac. Humiques pyrophosphate	1,43	1,25	10,12	11,55
Ac. Humiques soude	1,08	0,68	7,64	6,28
Humine	9,3	6,4	65,8	59,1

ment considérable tant en valeur absolue qu'en valeur relative des acides fulviques pyrophosphate et des acides fulviques libres. Ces variations sont significatives du point de vue statistique.

Cet accroissement absolu et relatif des taux d'acides fulviques, est sans doute l'une des causes de la dégradation de la structure physique, et de l'entraînement des colloïdes (appauvrissement).

d) Evolution des sols dans les Terres de Barre du Togo (tableau 4)

Le climat est moyennement humide (1000 à 1200 mm de pluie) avec une saison sèche déjà bien marquée. Le sol est de type ferrallitique faiblement désaturé.

Les prélèvements ont été effectués par DEKADJEVI et les résultats présentés dans une thèse en 1974. L'auteur effectue la comparaison d'une forêt relique, d'une jachère arbusative, d'une palmeraie ancienne, et d'une culture ancienne de maïs et d'arachide pratiquement continue. Certaines fractions des acides humiques et fulviques ont été regroupées.

L'appauvrissement en carbone total sous culture est très spectaculaire puisqu'il représente 90 % du stock initial ; cette diminution joue sur la plupart des fractions, mais on note dans la parcelle la plus dégradée (maïs) une

perte maximum portant sur l'humine et une perte peu faible avec augmentation relative des acides fulviques libres et liés. Les acides humiques ont également tendance à se reconstituer à partir de la décomposition de l'humine.

Les autres parcelles présentent des évolutions intermédiaires.

2°) Evolution de la matière organique dans les régions sèches.

a) Sous culture irriguée à Banfora. (Haute Volta). (tableau 5)

L'étude a été réalisée par SOURABIE et les résultats présentés dans sa thèse en 1979. Il compare trois types de sol : peu évolués assez riches en sable grossier, ferrugineux tropicaux lessivés à gravillons, et enfin hydromorphes.

Les sols hydromorphes sont nettement plus argileux et ont une rétention d'eau beaucoup plus élevée que les sols ferrugineux tropicaux et peu évolués.

La culture est la canne à sucre avec irrigation et apport d'engrais.

Les sols présentent des teneurs en carbone total qui augmentent dans le sens suivant : peu évolué < ferrugineux tropical < hydromorphe.

	TERRES DE BARRE DU TOGO							
	C % du Sol Sec				C % du C Total			
	Bois sacré	Jachère	Culture continue Palmeraie	Maïs	Bois sacré	Jachère	Culture continue Palmeraie	Maïs
Carbone total	66	16,8	4,97	5,09	100	100	100	100
Ac. Fulviques libres	0,59	0,35	0,24	0,23	0,89	2,08	4,82	4,6
Ac. Fulviques liés	4,79	1,31	0,58	0,67	7,25	7,79	11,67	13,4
Ac. Humiques totaux	6,33	2,4	0,54	0,77	9,60	14,28	10,86	15,4
Humine + Matière légère	54,29	12,74	3,6	3,4	82,3	75,83	72,6	68

	CULTURE IRRIGUÉE A BANFORA (HAUTE VOLTA)											
	CANNE A SUCRE (4 ans)						C % du C total					
	Sol peu évolué		Sol ferrugineux tropical		Sol hydromorphe		Sol peu évolué		Sol ferrugineux tropical		Sol hydromorphe	
	Jachère	Culture	Jachère	Culture	Jachère	Culture	Jachère	Culture	Jachère	Culture	Jachère	Culture
Carbone total	4,61	4,53	2,9,6	2,5	19,8	8,3	100	100	100	100	100	100
Matière légère	0,64	0,05	0,69	0,09	0,29	0,22	13,8	1,10	7,18	3,53	1,46	2,63
Ac. Fulviques libres	0,24	0,29	0,29	0,22	2,42	0,76	5,2	6,4	3,01	8,63	12,2	9,08
Ac. Fulviques Pyrophosphate..	0,26	0,3	0,53	0,15	1,18	0,92	5,64	6,62	5,51	5,88	5,85	10
Ac. Fulviques soude	0,36	0,44	0,72	0,21	2,10	0,84	7,81	9,71	7,49	8,23	10,58	10,03
Ac. Humiques pyrophosphate ..	0,43	0,55	1,29	0,35	2,08	1,25	9,33	12,14	13,42	13,72	10,48	14,9
Ac. Humiques soude	0,17	0,27	0,71	0,15	1,99	0,66	3,69	5,96	7,38	5,88	10,03	7,8
Humine	2,51	2,63	5,38	1,38	9,78	3,72	54,4	58,06	55,98	54,12	49,3	44,4

Si l'on considère le témoin sous jachère des sols peu évolués qui sont les plus sableux, on note, comparativement à la moyenne des sols des régions humides, Côte d'Ivoire ou Congo, des teneurs en carbone total nettement plus faibles, des teneurs en matières légères qui peuvent être élevées, mais qui évoluent fortement, des valeurs relatives d'acides fulviques plus faibles, des valeurs relatives d'acides humiques pyrophosphate égales ou plus élevées, des valeurs d'acides humiques soude plus faibles, et des pourcentages d'humine équivalents. Dans les sols hydromorphes on tend vers des quantités et des proportions de fractions humiques qui rappellent les sols des régions humides.

L'évolution sous culture après quatre années montre que :

Dans les sols peu évolués sableux

Le carbone total demeure stable. Seule la matière légère diminue fortement, les autres fractions ont tendance à rester stables ou même à augmenter comme l'humine qui se forme aux dépens de la matière légère. On ne note pas de très fortes augmentations relatives des acides fulviques pyrophosphate comme dans le cas des régions humides.

Dans les sols hydromorphes on retrouve par contre une forte diminution du carbone total sous culture, une augmentation relative des acides fulviques pyrophosphate, et une diminution absolue et relative de l'humine avec passage vers les acides humiques pyrophosphate ; les conditions rappellent celles des sols des régions humides.

Les sols ferrugineux tropicaux irrigués montrent des évolutions intermédiaires.

b) Sols de Haute Volta non irrigués, région de Fada'N'Gourma. (tableau 6)

Le travail a été réalisé par F. PALLO et présenté également dans une thèse en 1982. Il compare des sols ferrugineux tropicaux lessivés, à gravillons et sans gravillons et des sols hydromorphes.

Certaines parcelles sont sous jachère de longue durée, d'autres sous culture de mil pendant 3 ou 4 ans.

Le taux de carbone total est faible dans les sols ferrugineux sableux (sans gravillons) et augmente dans les sols plus argileux (sols ferrugineux tropicaux avec gravillons et sols hydromorphes).

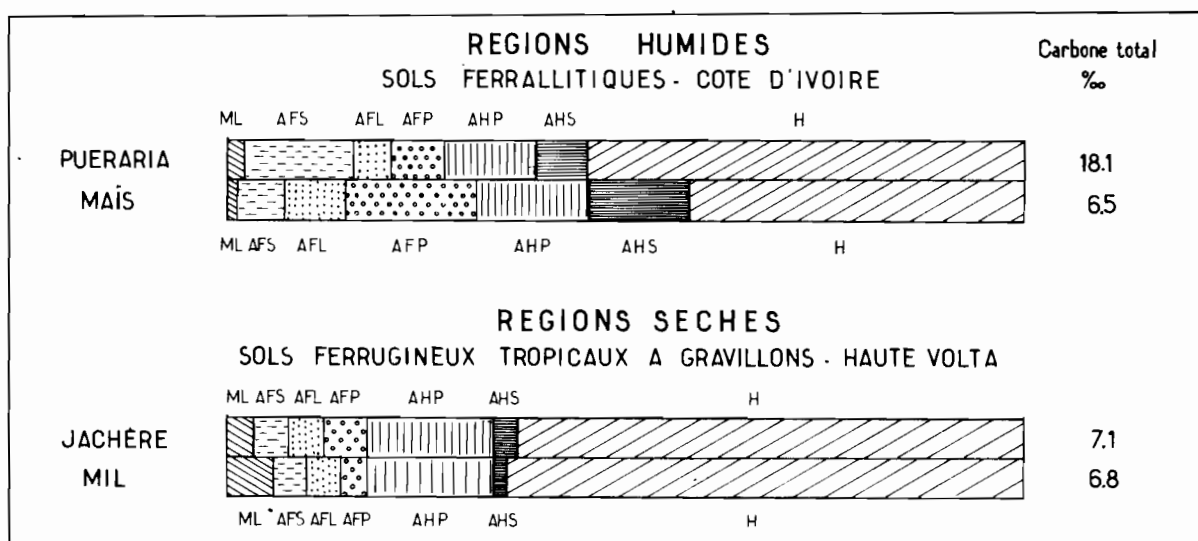


Figure 1 - Matières Organiques en % de Carbone total : ML, matières légères; AFS, acides fulviques soude; AFL, acides fulviques libres; AFP, acides fulviques pyrophosphate; AHP, acides humiques pyrophosphate; AHS, acides humiques soude; H, humine.

d'après PALLO	C % du sol sec				C % du C total							
	Sol ferrugineux tropical, sans gravillons	Sol ferrugineux tropical, à gravillons	Sol hydromorphe	Sol ferrugineux tropical, sans gravillons	Sol ferrugineux tropical, à gravillons	Sol hydromorphe	Sol hydromorphe	Sol hydromorphe				
	Jachère	M11	Jachère	M11	Jachère	M11	Jachère	M11				
Carbone total	4,3	2,3	7,1	6,8	16,3	11,9	100	100	100	100	100	100
Matière légère	0,12	0,07	0,22	0,36	1,38	0,14	2,5	3	3	5,5	8,5	1
Ac. Fulviques libres	0,14	0,07	0,27	0,29	0,6	0,48	3	3	4	4,5	3,5	4
Ac. Fulviques pyrophosphate	0,49	0,22	0,40	0,20	0,66	0,49	11	9	5,5	3,0	4	4
Ac. Fulviques soude	0,2	0,16	0,30	0,30	0,58	0,49	4,5	6,5	4,5	4	3,5	4
Ac. Humiques pyrophosphate	0,65	0,41	1,11	1,06	2,90	2,01	15,5	17	15,5	15,5	18	17
Ac. Humiques soude	0,23	0,07	0,18	0,11	1,37	0,59	5,5	3,0	2,5	1,5	8,5	5
Humine	2,5	1,4	4,64	4,48	8,8	7,7	58	58,5	65	66	54	65

Ce qui est assez caractéristique dans l'évolution de ces sols cultivés sans irrigation, est le maintien relatif des matières légères dans les sols ferrugineux, le maintien relatif des acides fulviques libres et extraits à la soude, et la nette diminution absolue et relative des acides fulviques pyrophosphate. Les acides humiques de l'extrait pyrophosphate paraissent assez stables et en valeur relative atteignent des proportions élevées.

Les acides humiques soude diminuent d'une façon absolue et relative dans tous les sols alors que l'humine tend à augmenter en valeur relative.

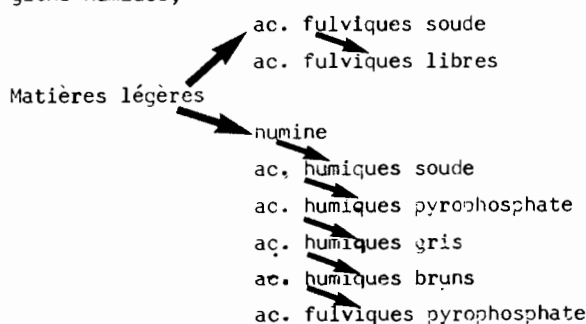
Les sols hydromorphes se comportent d'une façon assez comparable aux autres sols excepté une perte de carbone plus importante et aussi de matières légères.

Il apparaît que sous culture les sols des régions sèches évoluent d'une façon différente de celle des sols des régions humides.

Des calculs de corrélation de rang, faits par PALLO, sur l'ensemble de ses résultats, montrent que dans les sols ferrugineux tropicaux la mise en culture accroît l'accumulation des produits organiques non ou peu transformés : matière organique légère, mais aussi "humine héritée", par contre ce sont les substances humiques telles que les acides humiques soude, et aussi les acides fulviques pyrophosphate qui sont davantage biodégradés (à l'inverse des sols des régions humides).

En ce qui concerne les acides humiques de l'extrait pyrophosphate, ils sont fortement dépolymérisés, puisque la culture du mil provoque l'augmentation des acides humiques bruns qui passent de 11,5 % à 24 % en moyenne, au détriment des acides humiques gris.

En conclusion, si nous reprenons le schéma d'évolution présenté pour les sols des régions humides,



Il apparaît que les premiers stades de décomposition des matières végétales avec formation d'humine héritée peuvent se produire, par contre l'humification proprement dite avec passage de l'humine héritée aux acides humiques soude paraît fortement ralentie.

La maturation des acides humiques soude en acides humiques pyrophosphate est favorisée par l'alternance climatique.

La biodégradation joue essentiellement sur les composés les moins polymérisés tels que les acides fulviques pyrophosphate.

La dépolymérisation des acides humiques gris, va jusqu'au stade acides humiques bruns, mais atteint difficilement le stade acides fulviques.

C'est la longueur de la saison sèche, et la période humide trop brève au cours de laquelle se produisent les actions biologiques qui provoquent ces ralentissements, d'une part au niveau de l'humification des résidus végétaux, et d'autre part au niveau de la dépolymérisation des humus formés.

Dans les régions humides par contre ou dans les sols irrigués, les processus de décomposition, d'humification, de dépolymérisation, se produisent continuellement, avec passage rapide d'un compartiment humique à un autre.

3°) Conclusions sur l'enrichissement et l'appauvrissement des sols en matières organiques. (graphique 1)

Les différentes études citées ont montré que l'enrichissement des sols en matières organiques dépend beaucoup des conditions climatiques et du régime hydrique des sols.

Dans les régions chaudes et humides, l'enrichissement est lié directement aux apports de matières végétales fraîches, qui se décomposent et s'humifient rapidement. Il y a accroissement des matières légères, et les autres compartiments de l'humus se transforment rapidement les uns dans les autres, avec accroissement ou maintien des produits fraîchement humifiés (acides humiques et fulviques soude).

La cessation des apports végétaux provoque une perte rapide de carbone total et une dépolymérisation de toutes les fractions humifiées. Il y a en particulier perte importante d'humine, augmentation très forte d'acides fulviques, pyrophosphate, et maintien relatif des acides humiques par transformation de l'humine.

Dans les sols des régions sèches, surtout en sols sableux, l'amélioration du stock organique est limité par le faible degré de décomposition et d'humification des apports végétaux en raison de la courte saison des pluies.

Le carbone total est corrélé négativement à l'humine héritée et aux acides fulviques soude, et ce sont les produits issus de leur transformation, c'est-à-dire l'humine liée à l'argile, et les acides humiques soude qui sont corrélés positivement avec le carbone (PALLO 1982).

L'enrichissement du sol est donc lié directement à la possibilité d'humification et non uniquement à l'apport. L'appauvrissement du sol se manifeste au contraire par une augmentation relative de l'humine, une perte d'acides fulviques pyrophosphate et une perte d'acides humiques soude qui se renouvellent difficilement.

V - AUTRES ELEMENTS DE LA FERTILITE DES SOLS LIES A L'EVOLUTION DE LA MATIERE ORGANIQUE

1°) Propriétés physiques

Dans les essais de plantes fourragères d'Adiopodoumé en Côte d'Ivoire (TALINEAU et coll. 1976-1979-1980-1981), des mesures systématiques sur la structure du sol ont été effectuées, ces mesures comportent des analyses d'agrégats et de dispersion d'éléments fins (indice Is de HENIN).

Dans les sols sableux d'Adiopodoumé c'est surtout le taux d'agrégats stables dans l'eau après un prétraitement au benzène, qui a montré une augmentation significative dans

TABLEAU 7

PARCELLES DE LONGUE DUREE (ADIOPODOUME)

Sols ferrallitiques fortement désaturés

	pH	N %	Cations échangeables mé.				K	P ₂ O ₅ % total	P ₂ O ₅ % ass.	Fe ₂ O ₃ libre
			S mé	Ca	Mg					
Forêt	4,4	1,26	1,72	1,50	0,12	0,07	0,549	0,050	1,5	
Culture de maïs continu	4,8	0,426	0,31	0,05	0,18	0,03	0,549	0,045	1	
Pueraria (5 ans)	5,7	1,43	4,11	2,90	1,01	0,16	0,801	0,125	1,4	

TABLEAU 8

CONGO - Sol du Nlari
SOLS FERRALLITIQUES MOYENNEMENT DESATURES

	Is	pH	N %	Cations échangeables mé.				P ₂ O ₅ % total	P ₂ O ₅ % ass.	Fe ₂ O ₃ libre
				S	Ca	Mg	K			
Jachère	5,5	1	2,97	1,5	0,51	0,25	0,847	0,075	6,4	
Maïs récent	5	1	1,97	1,5	0,21	0,25	0,916	0,110	3,2	
Canne à sucre 14 ans avec engrais	4,2	1,04	0,48	0,05	0,06	0,36	1,830	0,130	6,5	
Canne à sucre 14 ans avec mulch	4,6	1,62	1,18	0,63	0,27	0,27	1,240	0,030	7,3	

TABLEAU 9
d'après DEKADJEVITOGO (TERRES DE BARRE)
SOLS FERRALLITIQUES FAIBLEMENT DESATURES

	Is	pH	N %	Cations échangeables mé.				P ₂ O ₅ % total	P ₂ O ₅ % ass.	Fe ₂ O ₃ libre
				S	Ca	Mg	K			
Forêt sacré	0,09	6,9	4,83	18,8	14,4	3,8	0,98	1,030	0,110	2
Jachère	0,41	6,6	1,2	8,25	4,39	1,8	0,12	0,485	0,065	1,5
Palmeraie continue	0,71	5,8	0,43	2,70	1,31	1,32	0,05	0,251	0,020	0,5
Culture de maïs continue	1,74	4,2	0,4	1,57	0,83	0,67	0,05	0,309	0,070	1,3

TABLEAU 10
d'après SOURABIESOLS DE REGIONS SECHES
SOLS IRRIGUES (DANFORA)
CULTURE DE CANNE A SUCRE (4 ANS)

	Is	pH	N %	Cations échangeables mé.				P ₂ O ₅ % total	P ₂ O ₅ % ass.	Fe ₂ O ₃ libre	
				S	Ca	Mg	K				
Sol peu évolué	Jachère	0,6	5,80	0,31	2,33	0,90	1,35	0,07	0,350	10	1,25
	cultivée	1,10	6,5	0,32	5,68	4,05	1,5	0,06	0,270	20	2,1
Sol ferrugineux tropical	Jachère	0,8	6,5	0,63	3,79	2,10	0,75	0,32	0,180	5	0,45
	cultivée	0,90	5,5	0,22	0,97	0,45	0,45	0,06	0,180	10	0,7
Sol hydromorphe	Jachère	0,8	4,9	1,54	0,95	0,45	0,3	0,17	0,620	40	2,95
	cultivée	1,5	5,2	0,64	1,55	1,05	0,3	0,18	0,440	60	2,6

TABLEAU 11
d'après PALLOSOLS DE REGIONS SECHES
SOLS NON IRRIGUES (FADA'N'GOURMA)
CULTURE DE MIL (4 ANS)

	Is	pH	N %	Cations échangeables mé				P ₂ O ₅ % total	P ₂ O ₅ % ass.	Fe ₂ O ₃ libre	
				S mé	Ca	Mg	K				
Sol ferrugineux tropical sans gravillons	Jachère	1,3	6,3	0,33	2,4	1,8	0,45	0,02	0,250	70	0,8
	cultivé	1,1	6,1	0,11	1,4	0,8	0,5	0,05	0,110	10	0,5
Sol ferrugineux tropical à gravillons	Jachère	1,6	6,2	0,5	4,6	3,0	1,5	0,08	0,200	20	1,5
	cultivé	2,2	6,3	0,5	5	2,2	2,2	0,04	0,200	10	4,9
Sol hydromorphe	Jachère	0,7	6,2	1	17,6	13,5	3,7	0,3	0,470	40	3,5
	cultivé	1,7	5,9	0,9	21,4	15,7	5,3	0,3	0,430	20	2,8

les parcelles de plantes fourragères, ce sont les agrégats de $d = 100 \mu$ qui ont été les plus représentatifs, montrant une nette amélioration en 2^e année de culture. Les plantes à port dressé *Panicum* et *Stylosanthes* donnent des augmentations d'agrégats plus significatives que les plantes rampantes, l'apport de fertilisation minérale accroît significativement cette amélioration.

En ce qui concerne les fractions de la matière organique, l'humine donne des corrélations positives avec la structure, qui sont variables suivant les stations ; cependant les acides humiques soude donnent des corrélations positives dans tous les cas, par contre l'augmentation des acides fulviques par rapport aux acides humiques est toujours défavorable à la structure.

Il y a peu de différences entre les plantes fourragères, cependant les légumineuses ont une meilleure action en saison des pluies que les graminées.

L'amélioration de l'état structural correspond à des modifications qualitatives dans l'équilibre des fractions de l'humus.

SOURABIE, dans les sols sous canne à sucre irrigués en Haute Volta (Banfora), mesure l'indice *Is* de HENIN, en fonction du temps de culture ; il note dans les sols ferrugineux tropicaux une dégradation de la structure puisque *Is* varie de 0,6 à 1,3 en 3 ans.

En revanche dans les sols peu évolués et hydromorphes, l'indice *Is* commence à augmenter au bout d'un an puis diminue jusqu'à 0,3 après 3 ans ou 4 ans de canne à sucre, lié sans doute aux apports importants de résidus organiques. (1)

Dans les sols ferrallitiques au Togo (terres de barre) l'augmentation de la valeur *Is* est très nette entre d'une part la forêt relique et d'autre part les sols cultivés en maïs (0,09 à 1,74), nous avons vu que cela correspondait à une perte de matière organique, et à une modification de l'équilibre des fractions humiques (corrélation négative à 1 % entre (humine/C) et *Is*, corrélation positive à 5 % entre (AF/humine) et *Is*). (tableau 9).

Dans les régions plus sèches de Haute Volta, les comparaisons ne sont positives que par type de sol cultivé ou non cultivé. La valeur de *Is* tend à augmenter dans les sols cultivés, sauf dans le cas du sol ferrugineux sans gravillons dont la texture est très sableuse. (tableau 11)

2°) Evolution des facteurs chimiques de fertilité.

Les tableaux de résultats présentés (7-8-9-10-11) correspondent aux divers sols dont les fractions organiques ont été étudiées (à l'exception des sols de RCA), c'est-à-dire : sols ferrallitiques de Côte d'Ivoire, du Congo, du Togo, sols ferrugineux tropicaux et hydromorphes de Haute Volta. Les conclusions se réfèrent également aux calculs statistiques (corrélations de Spearman) effectués par les auteurs.

En ce qui concerne l'azote total il est aisé de constater une liaison positive avec le carbone total.

Le pH tend à s'acidifier sous l'influence de la culture continue, ceci est vrai principalement dans les sols des régions humides, l'exemple du Togo est particulièrement net (pH de 6,9 à 4,2). Cependant en Côte d'Ivoire l'amélioration du sol par une jachère à *pueraria*, augmente le pH par rapport à la forêt et relève le taux de base. Au Congo la culture de canne de longue durée augmente fortement l'acidité, même avec engrais, par contre le mulch qui améliore la matière organique, relève également le calcium et le magnésium. Dans les régions sèches de Haute Volta l'acidification du sol est moins nette, et la culture de canne à sucre avec engrais, accroît le pH dans certains sols.

Tous les calculs de corrélation de rang réalisés par DEKADJEVI au Togo, PALLO et SOURABIE en Haute Volta, montrent des corrélations positives entre le carbone total d'une part, et aussi l'humine en pourcentage du carbone, et les teneurs en cations échangeables d'autre part, surtout Ca et Mg ; le potassium montre les mêmes corrélations, par contre les fractions solubles de l'humus sont moins bien corrélées avec les cations, à part dans certains cas les acides fulviques libres et les acides humiques soude.

Le phosphore total montre presque toujours une corrélation positive avec la matière organique totale, et le pourcentage relatif de l'humine, les acides humiques soude, sont aussi fréquemment corrélés au phosphore total. Pour le phosphore assimilable les corrélations sont très variables, certains auteurs montrent des relations positives avec les acides fulviques libres, et également les acides humiques soude, mais l'apport récent d'engrais peut modifier fortement les teneurs.

Enfin en ce qui concerne le fer libre, la plupart des études montrent une corrélation positive, avec les acides fulviques libres, les acides humiques pyrophosphate, et enfin l'humine de précipitation dite "liée au fer".

VI - CONCLUSION GENERALE

Il a été montré dans cet article que les propriétés physiques et chimiques des sols sont liées aux quantités de matières organiques, et à l'équilibre des différentes fractions des compartiments humiques susceptibles d'évoluer au cours des phases d'appauvrissement ou d'enrichissement. Cet équilibre des fractions exprimé en % du carbone total, est mesuré à l'aide de réactifs d'extraction utilisés successivement et qui servent à leur identification, ces fractions en apparence conventionnelles montrent des variations cohérentes en fonction des conditions de milieu et les équilibres ont lieu de proche en proche à partir de fractions peu humifiées, vers des fractions de plus en plus transformées, en passant par les divers stades intermédiaires.

Des travaux d'analyse (FLAIG 1970, SCHNITZER 1976, MOUCAWI 1981) ont montré que l'humine héritée était proche des matières végétales (soluble dans le bromure d'acétyle, riche en produits aliphatiques (ATD(2), avec

(1) Il s'agit de moyennes, les résultats du tableau 10 indiquent une dégradation.

(2) analyse thermique différentielle.

de l'azote aminée ou protéique, par contre l'humine évoluée contient surtout des produits aromatiques (ATD) pratiquement privés d'azote. Les études aux spectres infrarouges ont montré que dans le sens : humine de précipitation liée à l'argile, liée au fer, acide humique extrait à la soude, acide humique extrait au pyrophosphate, les pics caractéristiques de la lignine qui sont encore très nets dans les premiers compartiments s'affaiblissent de plus en plus jusqu'au dernier, les pics correspondant aux chaînes aliphatiques (2920 cm^{-1}) diminuent dans le même sens, par contre le pic des groupements $\text{C} = \text{O}$ carboxyliques (1720 cm^{-1}) augmentent depuis l'humine de précipitation jusqu'aux acides humiques pyrophosphate, les extraits soude étant intermédiaires.

Les acides fulviques de l'extrait pyrophosphate ont une composition très voisine des acides humiques du même extrait, mais avec un poids moléculaire plus faible, et une acidité nettement plus élevée (1).

Les humines de précipitation et les acides humiques soude seraient les premiers produits de condensation au cours de synthèses lignoprotéiques. La maturation ultérieure consisté en une oxydation, une perte de produits aliphatiques, une modification des composés azotés, une évolution des poids moléculaires que l'on contrôle par électrophorèse.

Les variations de composition chimique confirment donc le sens de l'évolution que l'on observe par les modifications quantitatives des fractions au cours des essais sur le terrain.

L'intérêt de cette analyse des fractions est donc de déterminer dans chaque cas le degré de transformation globale de la matière organique, qui est soit peu avancé, soit au contraire très poussé, ce qui conditionne fortement les propriétés physiques et chimiques, qui sont différemment corrélées aux fractions humiques et fulviques. L'influence de ces fractions du point de vue agronomique, a été montrée dans les différents climats humides ou secs, soit dans les jachères ou les prairies, soit dans les cultures.

OUVRAGES CONSULTÉS

- COINTEPAS et MAKILO (1982) - Bilan de l'évolution des sols sous culture intensive dans une station expérimentale en milieu tropical humide.
Cahiers ORSTOM, série pédologie, vol. 19, n° 3 (1982).
- DEKADJEVI (1974) - Contribution à l'étude de la dégradation physicochimique et chimique des terres de Barre sous culture au Togo.
Thèse - Paris VI - ORSTOM (224 p.).
- DABIN B. (1971) - Etude d'une méthode d'extraction de la matière humique.
Sc. du sol, n° 1, 1971 (47-63).
- DABIN B. (1975) - Application d'une méthode de fractionnement des matières humiques du sol à quelques études pédologiques et agronomiques dans les sols ferrallitiques.
Multigraphie ORSTOM 1975 (24 p.).
- DABIN B. (1976) - Méthode d'extraction et de fractionnement des matières humiques du sol. Application à quelques études pédologiques et agronomiques dans les sols tropicaux.
Cahiers ORSTOM, Sér. pédol., vol. XIV, n° 4, 1976 (287-297).
- FLAIG W. (1970) - Contribution à la connaissance de la constitution et de la synthèse des acides humiques.
Sc. du sol, n° 2, 1970.
- MOUCAWI J. (1981) - Recherches sur l'évolution de la matière organique des sols des Plaines Atlantiques.
Thèse, Université de Poitiers, sept. 1981, (176 p.).
- NEYROU Y.A. et SCHNITZER M. (1976) - Sur la structure des acides humiques et fulviques du sol.
Colloque international sur les études concernant les matières organiques du sol. Brunswick RFA (1976).
- PALLO F. (1982) - Comparaison des caractères physicochimiques de la matière organique de trois pédon cultivés et vierges situés entre Fada N'Gourma et Piéga (Haute Volta). Thèse Université Aix Marseille ORSTOM (175 p.).
- SOURABIE N. (1979) - Influence de la culture de la canne à sucre sur les sols de Béréga-dougou (Haute Volta). Cas particulier des facteurs de fertilité liés à la matière organique.
Thèse Université Aix Marseille, ORSTOM (190p.).
- TALINEAU J.C., HAINNAUX G., BONZON F., FILLONNEAU C., PICARD D., SICO M. (1976) - Quelques conséquences agronomiques de l'introduction d'une sole fourragère dans une succession culturale du milieu tropical humide de Côte d'Ivoire.
Cah. ORSTOM Série Biol., vol XI, n° 4, 1976.
- TALINEAU J.C., BONZON B., FILLONNEAU C., HAINNAUX G. (1979) - I - Contribution à l'étude d'un agrosystème prairial dans le milieu tropical humide de Côte d'Ivoire. Analyse de quelques paramètres de l'état physique du sol.
Cah. ORSTOM, série pédologie, vol. XVII, n° 2, 1979.
- Mêmes auteurs (1980-1981) - II - Analyse des données relatives à l'état de la matière organique. Cah. ORSTOM, série pédologie, vol. XVII, n° 1, (1980-1981).

(1) ce qui incite à penser qu'il y a passage des acides humiques pyro aux acides fulviques pyro au cours des phénomènes de dégradation de l'humus.

Proceedings of the

**REGIONAL COLLOQUIUM
ON SOIL ORGANIC
MATTER STUDIES**

Anais do

**COLÓQUIO REGIONAL
SOBRE MATÉRIA
ORGÂNICA DO SOLO**

*October, 18 - 22, 1982
Piracicaba, SP-Brasil*

Editors

CARLOS CLEMENTE CERRI
DIVA ATHIÉ
DÉCIO SODRZEIESKI



Centro de Energia Nuclear na Agricultura — CENA/USP



*Companhia de Promoção de Pesquisa Científica e
Tecnológica do Estado de São Paulo — PROMOCET*

GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO

Governador
JOSÉ MARIA MARIN

Secretário da Indústria, Comércio, Ciência e Tecnologia
OSVALDO PALMA

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

Reitor
ANTONIO HÉLIO GUERRA VIEIRA

Centro de Energia Nuclear na Agricultura

Diretor
ENEAS SALATI

The Organizing Committee has sent for publication only the papers received within the established time.

Contents and review of papers published in these Proceedings are of the entire responsibility of the respective authors.

*Copy of the Proceedings can be requested to:
Regional Colloquium on Soil Organic Matter Studies
CENA - Centro de Energia Nuclear na Agricultura
Av. Centenário s/n.º - Caixa Postal 96
Phone: (0194) 33-5122 - Telex: (019) 1097 CENA BR
13400 Piracicaba, SP - BRASIL*

O Comitê Organizador do Colóquio encaminhou, para publicação, apenas os trabalhos enviados dentro do prazo pré-estabelecido.

O conteúdo e a revisão dos textos dos trabalhos publicados, nestes Anais, são de inteira responsabilidade dos respectivos autores.

Cópias destes Anais podem ser obtidas mediante solicitação ao:

Colóquio Regional sobre Matéria Orgânica do Solo
CENA - Centro de Energia Nuclear na Agricultura
Av. Centenário s/n.º - Caixa Postal 96
Tel.: (0194) 33-5122 - Telex: (019) 1097 CENA BR
13400 Piracicaba, SP - BRASIL

© Companhia de Promoção de Pesquisa Científica e Tecnológica do Estado de São Paulo - PROMOCET

Printed in São Paulo, October, 1982.
Impresso em São Paulo em outubro de 1982.

PROMOCET
Av. Angélica, 2632 - 4.º andar
01228 São Paulo - SP - BRASIL
Telex: (011) 32516 SEAI BR