

MATIERE ORGANIQUE ET PROPRIETES DES SOLS CULTIVES TROPICAUX
EFFETS DE DIFFERENTS TYPES DE RESTITUTIONS ORGANIQUES

Conférence présentée par Alain ALBRECHT*

au Séminaire FIS-ORSTOM
("Amélioration biologique de la fertilité du sol")

* Laboratoire Matière Organique des Sols Tropicaux
ORSTOM
BP 81
97201 FORT DE FRANCE
Martinique (F.W.I.)

O.R.S.T.O.M. Fonds Documentaire
N° : 28763, ex 1
Cote : B

SOMMAIRE

INTRODUCTION

I - SYSTEME DE CULTURE, STOCK ORGANIQUE ET PROPRIETES DES SOLS

1. Statut organique et propriétés de sols anciennement cultivés.

- a. Exemple Brésil
- b. Exemple Sénégal

2. Restitutions organiques et propriétés de sols

- a. Les restitutions exogènes (par amendements organiques)
- b. Les restitutions rhizosphériques (endogènes)

II - METHODES DE CARACTERISATION DE LA MATIERE ORGANIQUE DU SOL. L'INTERET DE FRACTIONNEMENTS GRANULOMETRIQUE.

1. Fractionnements chimiques
2. Utilisation de la densimétrie
3. Fractionnements granulométrique de la matière organique du sol.

III - QUELQUES APPLICATIONS DE LA METHODE GRANULOMETRIQUES DANS L'ETUDE DE LA MATIERE ORGANIQUE DANS LES AGROSYSTEMES TROPICAUX.

1. Effets des restitutions organiques sur la nature du stock organique

- a. Apport de compost sur sol sableux
- b. Augmentation par une prairie à Digitaria decumbens du stock organique de vertisols cultivés en Martinique

2. Devenir de l'azote-engrais dans un sol sableux (ferrugineux tropical)

- a. Effets de la paille et du compost sur la répartition de l'azote-urée dans le système sol-plante
- b. Répartition de l'azote dans le sol selon la nature de l'apport : azote-paille (15N) ou azote-urée (15N).

3. Amélioration du stock organique et évolution des propriétés physiques d'un vertisol.

- a. Test de macro-agrégation
- b. Test de micro-agrégation

CONCLUSION

BIBLIOGRAPHIE

INTRODUCTION

En guise d'introduction, nous emprunterons quelques lignes à la synthèse sur les "Ecosystèmes Pâturés Tropicaux" faite en 1981 par UNESCO - PNUE - FAO - p. 105. "... L'effet de la culture sur l'abaissement des teneurs en matière organique, quoique établi sans aucun doute, a rarement été étudié quantitativement... Après une jachère, il se produit des pertes annuelles entre 5 et 10 % du carbone du sol (JONES et WILD, 1975). Le taux d'accroissement sous jachère arbustive ou à graminées a été peu étudié... CHARREAU et NICOU (1971) ont montré la faible influence de la jachère herbacée de courte durée... pour la reconstitution du stock organique... On doit insister sur le fait que la réduction progressive de la durée de la jachère de cinq à dix ans jusqu'à un an... ont eu pour résultat une diminution brutale de la teneur en matière organique et de la fertilité en particulier en zone sahélo-soudanienne. En même temps, et pour les mêmes raisons (pressions démographiques), les cultures vivrières ont progressé vers des régions de plus en plus arides, entamant les terres à pâturages et provoquant la désertification...

... La matière organique agit comme une source très importante d'éléments nutritifs pour les plantes, surtout d'azote... a des effets sur les propriétés physiques des sols... et sur la capacité d'échange cationique... donc sur l'acidification des sols... Ces trois effets sont importants lors de l'utilisation des sols. Quoique la matière organique ne soit pas essentielle pour la croissance des plantes, il est généralement nécessaire de maintenir les teneurs élevées... pour un aménagement rationnel".

Ainsi la connaissance du rôle de la matière organique des sols dans le fonctionnement des agrosystèmes tropicaux est-elle importante pour une gestion raisonnée de la fertilité et des propriétés des sols.

Nous pensons que la meilleure manière d'aborder ce type de recherches suit le cursus suivant :

- montrer les effets divers d'un système de culture sur les propriétés des sols, en particulier sur son stock organique,
- mettre en évidence, par l'étude des inter-relations, l'importance du niveau du stock organique sur les propriétés du sol et la productivité végétale,
- et enfin, de tenter de cerner les compartiments organiques du sol qui sont à l'origine de l'évolution des propriétés générales du sol, avec comme référence le système sol-plante.

Aussi cet exposé sera-t-il divisé en trois parties :

- 1 - Systèmes de culture, stock organique et propriétés des sols.
- 2 - Méthodes de caractérisation de la matière organique du sol. L'intérêt de fractionnements granulométriques.
- 3 - Applications à l'étude de différents types de restitutions organiques sur les fonctionnements de quelques sols cultivés tropicaux.

I - SYSTEMES DE CULTURE, STOCK ORGANIQUE ET PROPRIETES DES SOLS

Dans les système sol-plante, le sol intervient par ses propriétés physiques (porosité, structure), d'échanges (complexe absorbant) et biologiques (cycles du carbone, de l'azote, du soufre, du phosphore, ...). La matière organique du sol joue un rôle essentiel dans toutes ces propriétés. Dans ce premier chapitre, nous tenterons à partir d'exemples divers :

- d'illustrer tout d'abord, les conséquences de la diminution des stocks organiques dans des sols anciennement cultivés sur les propriétés des sols, en particulier la productivité,
- puis ensuite, les effets de différents types de restitutions organiques sur le niveau du stock organique du sol et les propriétés qui en découlent.

1. Statut organique et propriétés de sols anciennement cultivés.

Nous traiterons ici deux exemples :

- cultures continues de canne à sucre depuis 12 et 50 ans comparées à leur témoin naturel (forêt) sur sol ferrallitique (oxisols) de la région de Piracicaba (Brésil), (CERRI et al. 1985).
- cultures traditionnelles depuis 3, 12, 46 et 90 ans après défrichement de la forêt sur sol faiblement ferrallitiques sablo-argileux de Casamance (Sénégal) (SIBAND, 1972 ; SIBAND, 1974).

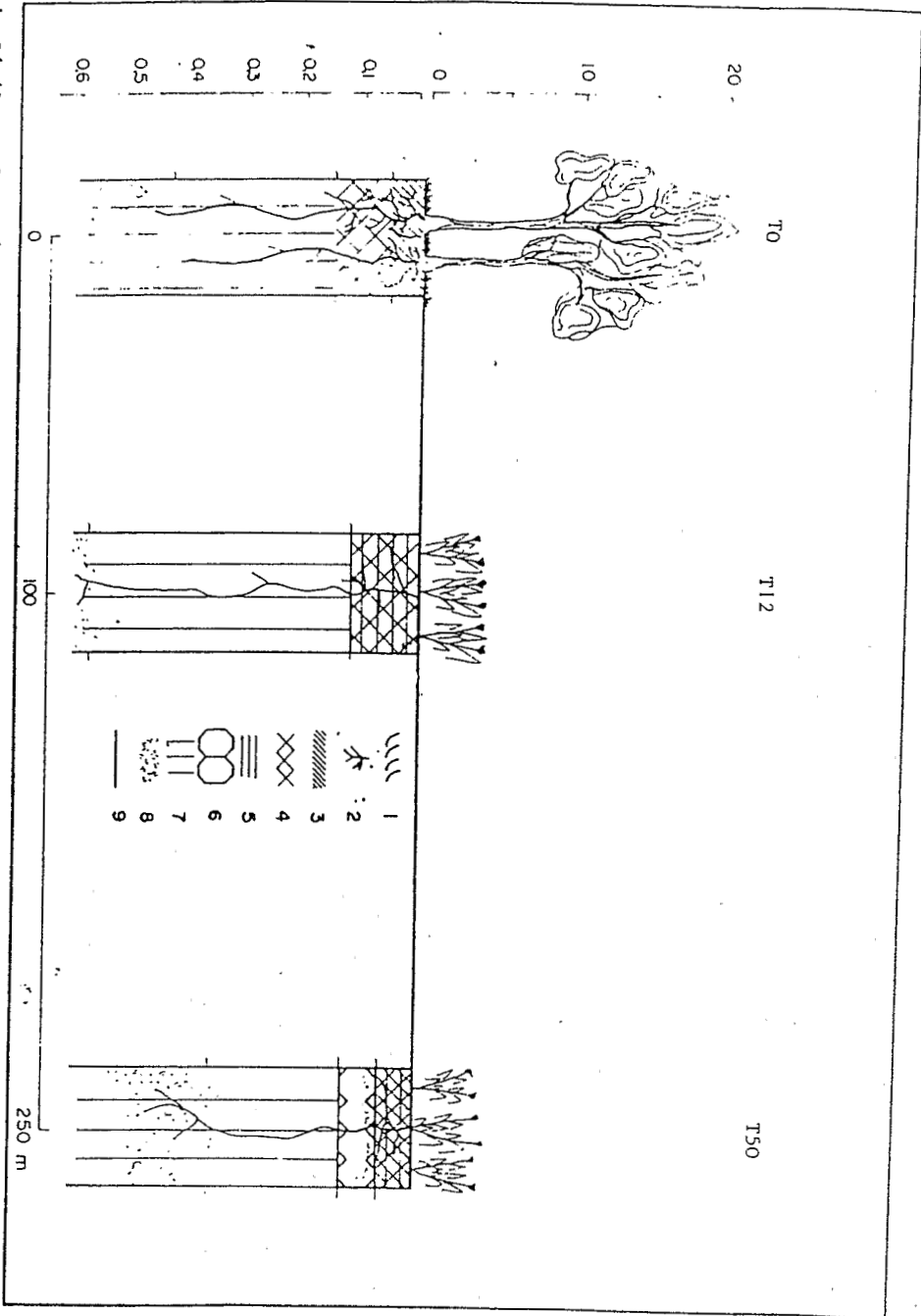
a) Exemple BRESIL

La mise en culture d'un sol à l'équilibre induit des transformations morphologiques du profil pédologique (Fig. 1). La litière disparaît et la structure des horizons humifères évolue dans le sens d'une augmentation des éléments structuraux (grumeaux ---> polyèdres ---> cubes). Dans les dix premiers centimètres, après 50 années de cultures, on observe une structure à tendance lamellaire.

Le stock organique du sol diminue de manière notable pour les horizons de surface (Tableau 1 et figure 2).

Tableau 1 : Evolution du stock organique en fonction de la durée de mise en culture.

	T0		T12		T50		
Profondeur (cm)	0.6	6.12	12.20	0.10	10.20	0.10	10.20
C mg.g ⁻¹ sol	47.8	23.2	16.4	16.5	15.5	14.6	15.7
t.ha ⁻¹ sol	35.0	19.2	17.7	20.5	23.5	18.4	19.0
C total 0-20 cm	71.9		44.0		37.4		



1. Litière ; 2. Racines ; 3. Structure grumelleuse ; 4. Structure polyédrique ; 5. Structure à tendance lamellaire ; 6. Structure cubique ; 7. Structure continue ; 8. Microagrégats.
 Figure 1 : Evolution de la morphologie du sol selon le temps de culture (d'après CERRI et al. 1985)

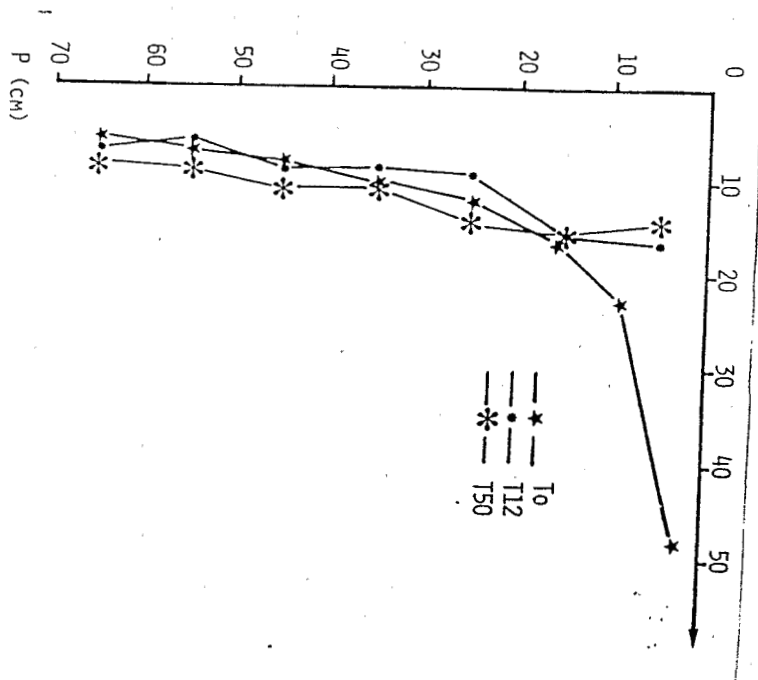


FIG. 2 : EVOLUTION DU TAUX DE MATIERE ORGANIQUE AVEC LA PROFONDEUR ET LE TEMPS (BRESIL), (D'APRES.CERRI ET AL., 1985)

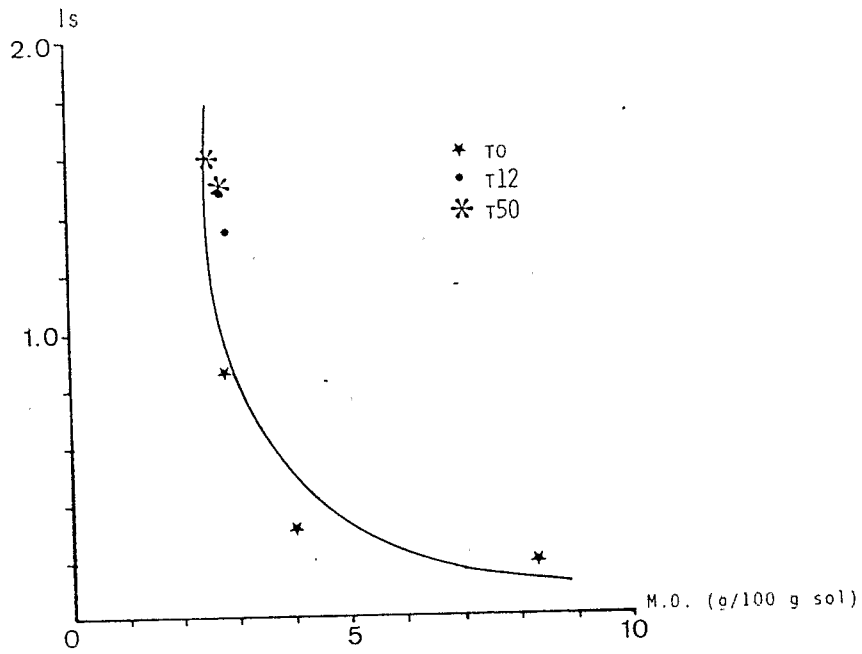


FIG. 3 : RELATION ENTRE TAUX DE MATIÈRE ORGANIQUE ET LA STABILITÉ STRUCTURALE (BRÉSIL), (D'APRÈS CERRI ET AL., 1985)

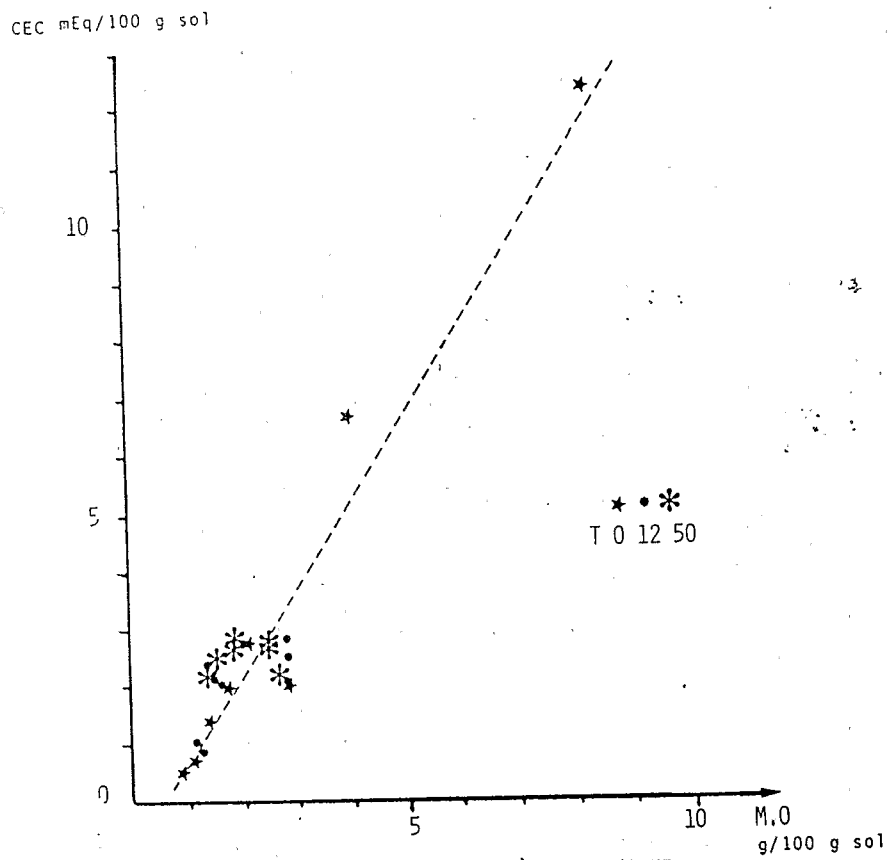


FIG. 4 : RELATION ENTRE TAUX DE MATIÈRE ORGANIQUE ET LA CAPACITÉ D'ÉCHANGE CATIONIQUE (BRÉSIL), (D'APRÈS CERRI ET AL., 1985)

La dégradation de la structure du sol avec la durée de culture est confirmée par la mesure de l'indice d'instabilité structurale I_s de HENIN (1969). Les résultats obtenus par ce test sont tout-à-fait corrélés aux taux de matière organique (fig. 3).

D'un point de vue chimique, on note une nette diminution de la capacité d'échange cationique en fonction du temps de culture dans les horizons de surface.

On obtient la corrélation suivante entre taux de matière organique et CEC (fig. 44) :

$$\text{CEC (mEq/100 g)} = - 0.779 + 1.556 (\text{MO } \%)$$

Pour ces types de sols dont la fraction argilo-limoneuse est essentiellement composée de sesquioxides ($\text{CEC} < 1 \text{ mEq/100 g}$), la capacité d'échange cationique induite par la matière organique domine dans le complexe absorbant. Notons que la CEC de la matière organique est comprise entre 130 et 160 mEq/100 g de matière organique (de BOISSEZON, 1970).

b) Exemple SENEGAL

SIBAND (1974) étudie les propriétés des sols ferrallitiques sablo-argileux de Casamance (Sénégal) cultivés "traditionnellement" (faibles restitutions organiques et minérales) depuis 3, 12, 46 et 90 ans après défrichage de la forêt.

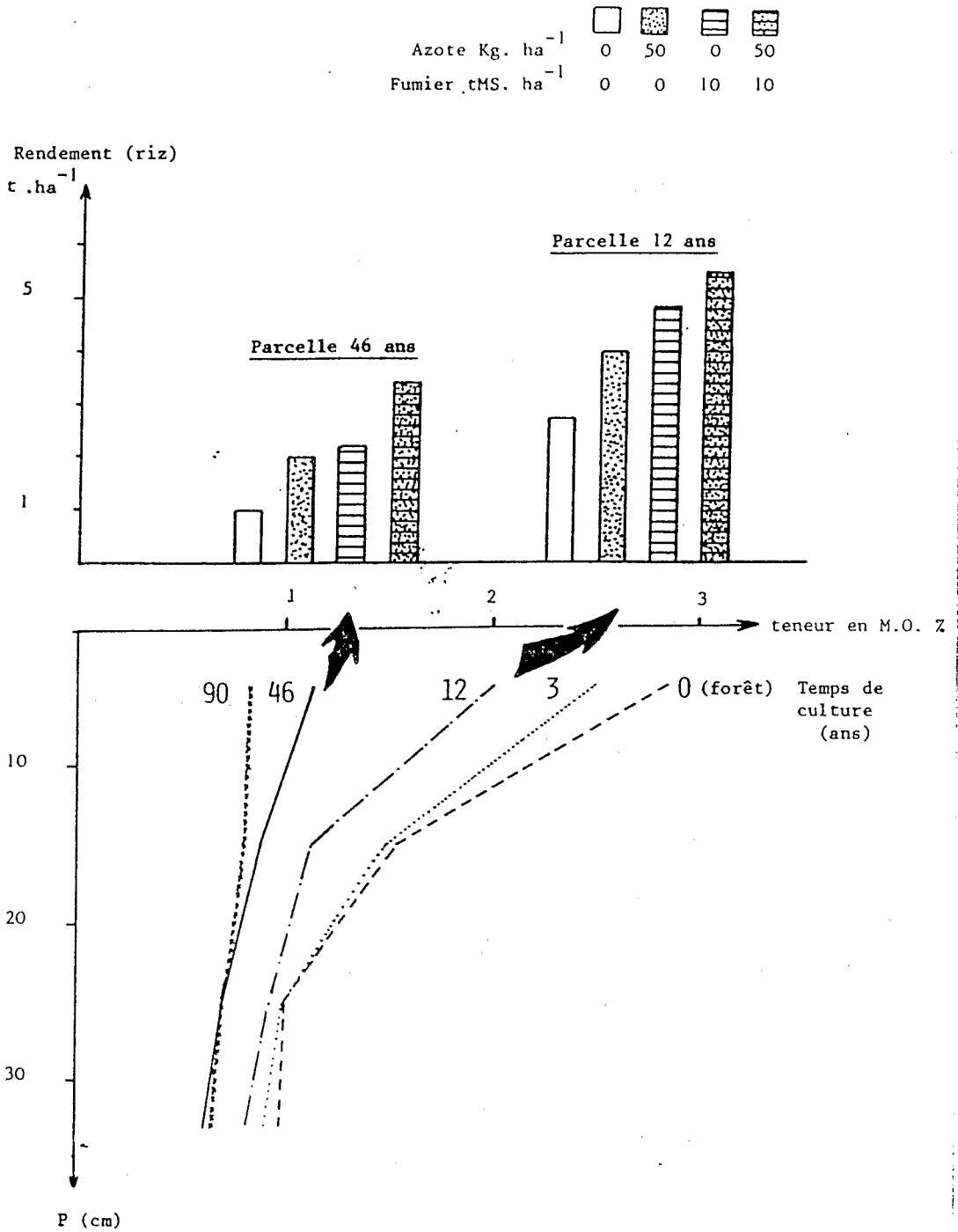
La diminution du stock organique au cours du temps s'accompagne :

- d'une baisse des teneurs en azote et en bases échangeables,
- d'une diminution des capacités d'échange et taux de saturations,
- d'une modification notable (en baisse) de propriétés hydriques (capacité au champ et point de flétrissement),
- d'une modification de la structure de l'horizon 0-20 cm, grenue sous forêt, elle devient particulaire sous cultures, et favorise une ségrégation horizontale des éléments grossiers et des éléments fins (litages). Ces observations rappellent celles de CERRI et al. (1985) présentées plus haut.

Des essais de fertilisation, mis en place ensuite sur les mêmes parcelles (traitements N, fumier et N x fumier) cultivées en riz pluvial, font apparaître de manière nette que la matière organique du sol peut être un facteur limitant de la production de riz, les rendements de tous les traitements sur "vieilles" parcelles étant nettement plus faibles que ceux des parcelles plus "jeunes" (fig. 5).

Cette étude permettrait même de situer un seuil de risque (pour les itinéraires techniques utilisés et ce type de sol) à des teneurs en matière organique d'environ 1,5 %.

Figure 5 - Teneur en matière organique du sol et rendements culturaux (riz) suivant le temps de culture (d'après SIBAND, 1974).



Les deux exemples analysés procèdent de deux systèmes de cultures fondamentalement différents :

- l'un de type agro-industriel à fortes entrées d'engrais
- l'autre de type traditionnel à faibles entrées minérales et faibles restitutions organiques.

Dans les deux cas, on observe des transformations identiques des propriétés des sols, par exemple :

- dégradation de la structure
- diminution du pouvoir absorbant et acidification
- diminution de la productivité végétale (au Brésil, non mesuré)

toutes liées à la diminution du stock organique.

Ainsi, le maintien à un niveau "optimum"* ou l'augmentation du stock organique apparaît souvent comme une nécessité pour une conservation à moyen et long terme de la fertilité et des propriétés des sols tropicaux, en particulier ceux à faibles surfaces spécifiques. Nous donnons des exemples de différentes pratiques de restitutions organiques et de leurs effets sur le sol.

2. Restitutions organiques et propriétés des sols

On étudiera, ici, deux grands types de restitutions organiques :

- les restitutions exogènes qui sont des amendements organiques transformés ou non et d'origine rurale ou urbaine : les fumiers, pailles, composts, boues résiduelles, etc...
- les restitutions rhizosphériques qui sont partie intégrante du système et sont incorporées au sol sans transformation.

Nous traiterons les effets des restitutions organiques à partir d'exemples pris dans la bibliographie et de travaux effectués au laboratoire Matière Organique des Sols Tropicaux de l'ORSTOM.

a) Les restitutions exogènes (par amendements organiques).

- Fumiers

Les apports organiques sous forme de fumiers sont très fréquents dans les agricultures paysannes où l'élevage fait partie du système de production. Il est à noter toutefois que, dans les exemples que nous exposerons ci-dessous, les doses de fumier apportées sont généralement élevées par rapport à celles utilisées en milieu paysan.

* Des études d'inventaire, à partir de situations existantes ou passées, restent bien souvent à faire pour situer ce niveau.

1er exemple : Essai de SARIA (BURKINA-FASSO)
SEDOGO et al., 1979

Sur sol ferrugineux tropical, il a été mis en place un essai agronomique depuis 1961 afin d'étudier l'évolution des propriétés du sol et sa productivité sous l'influence de fumures minérales et organiques à différentes doses en relation avec les successions culturales : sorgho continu, sorgho-cotonnier, sorgho-légumineuse.

Les résultats sont présentés dans le tableau 2 et figure 6.

Les apports répétés de fumures exclusivement minérales ont un effet acidifiant qui aboutit à des rendements agricoles voisins de zéro, les teneurs en carbone du sol sont d'environ 0.3 % (comme pour le traitement témoin).

Les apports de fumier dès la dose 5t/ha (ainsi que l'enfouissement des résidus de récolte) maintiennent les rendements à un niveau satisfaisant, les teneurs en carbone sont de 0.4 %. Enfin pour les doses plus fortes de fumier (40 t/ha), les rendements sont beaucoup plus élevés et les teneurs moyennes en carbone d'environ 0,7 %.

Tableau 2: Teneur en carbone en fonction du type de fumure

Traitement	Teneur en carbone (%)
Témoin	0.25
Fumure minérale faible	0.24
+ fumier 5 t/ha	0.35
Fumure minérale forte	0.24
+ fumier 40 t/ha	0.66
Jachère	0.35

2ème exemple : Essai de MERIDJONOU (BENIN)
EGOUMINEDES et OLIVER, 1980

Sur sol ferrallitique ("Terres de Barre"), un essai au champ a eu pour objet l'étude de la réponse du maïs à la fumure azotée avec ou sans fumier (durée = 8 ans).

Les principaux résultats de cet essai sont les suivants (tableau 3 et figure 7 et 8) :

- la productivité est toujours plus élevée dans les traitements avec fumier (le traitement témoin + fumier donne des rendements équivalents aux traitements azote les plus efficaces) ; notons que le traitement à dose azotée la plus forte induit un effet dépressif,
- le stockage du carbone dans les traitements avec fumier est net
- les effets de ce stockage se font remarquer sur les propriétés chimiques du sol :
- . la balance cationique est préservée

FIG. 6 : PRODUCTIVITE VEGETALE ET APPORT DE FUMIER A SARIA.
(D'APRES SEDOGO ET AL., 1983)

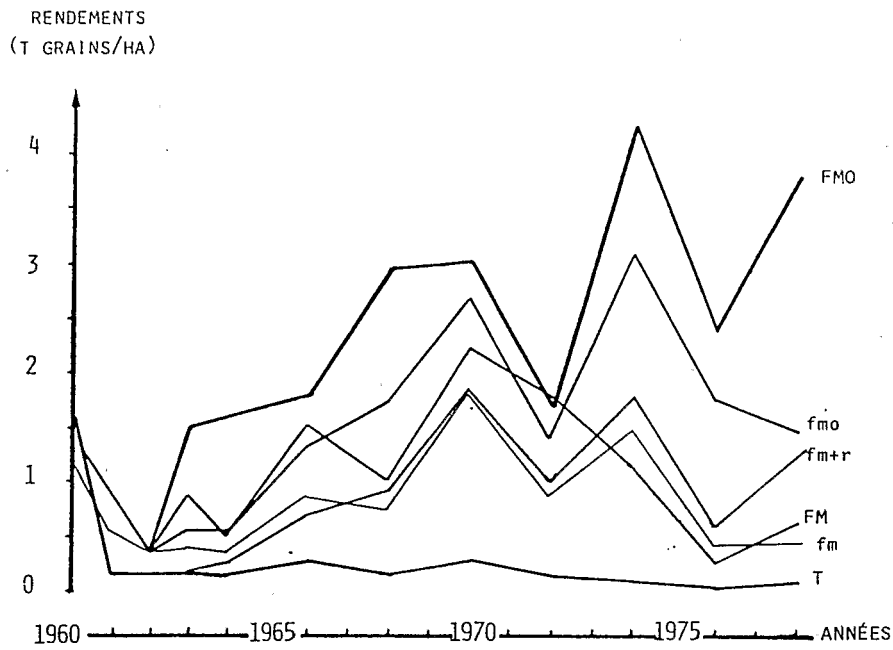
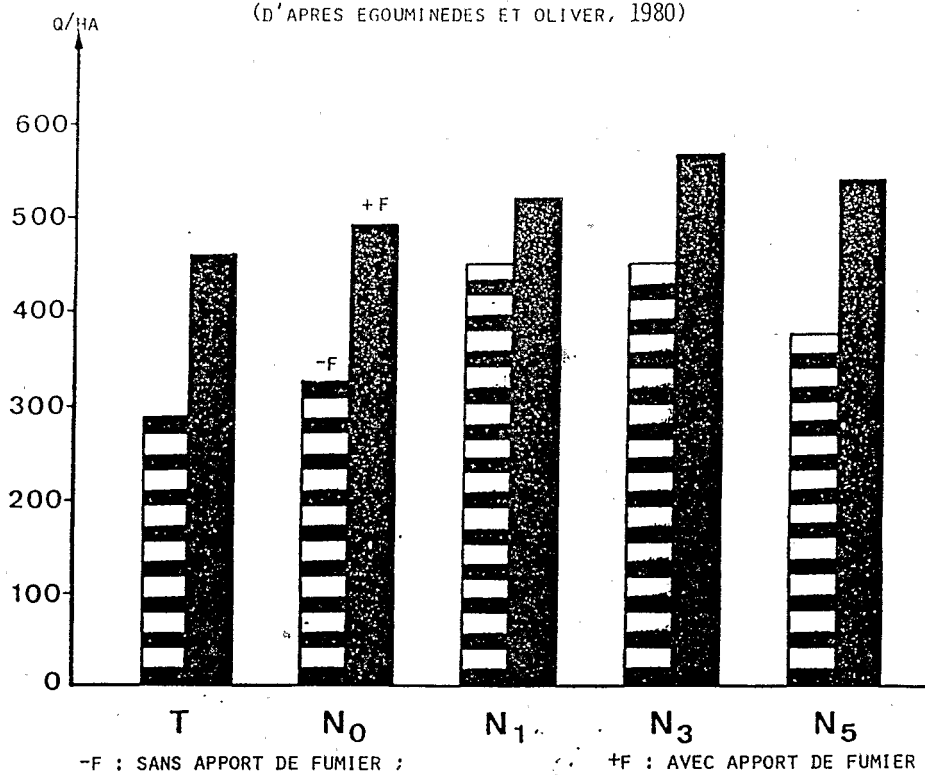


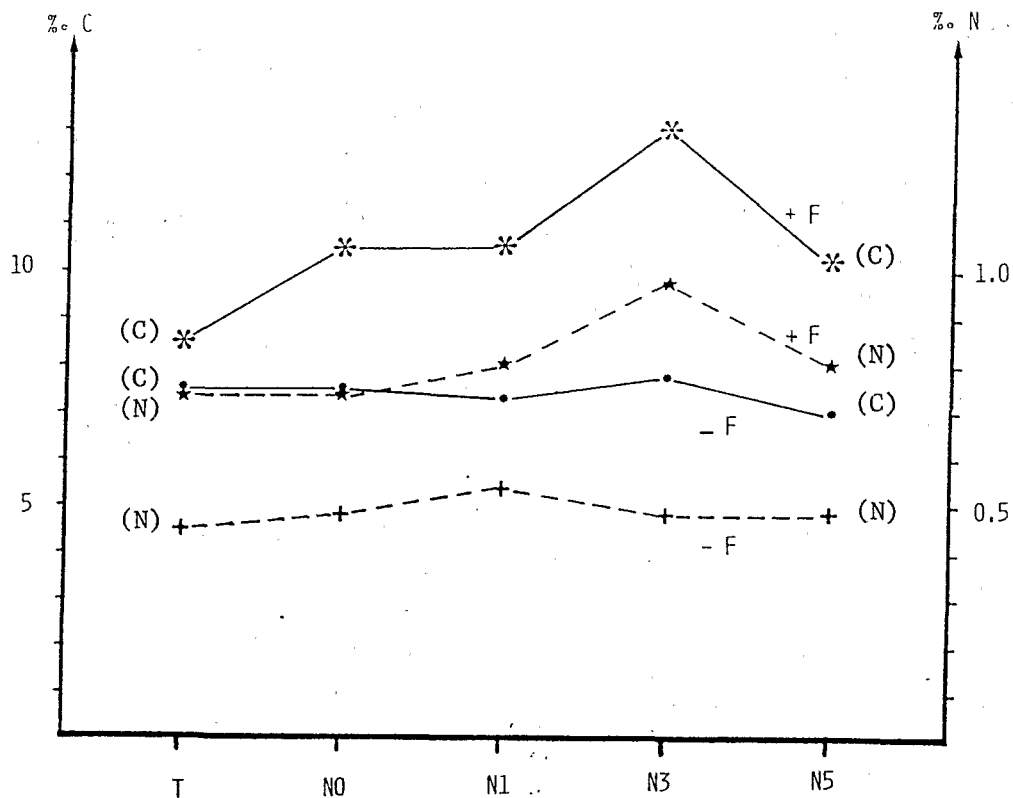
FIG. 7 : EVOLUTION DE LA PRODUCTION (Q/HA MAIS GRAIN) VEGETALE EN FONCTION
DE LA DOSE D'AZOTE ET DE L'APPORT DE FUMIER
(D'APRES EGOUMINEDES ET OLIVER, 1980)



Traitements	pH		C %	N %	Complexe absorbant (me p 100 g)					
	eau	KCl			K	Ca	Mg	Al	base	
sans fumier	témoin	5.02	4.26	0.75	0.46	0.26	1.02	0.50	0.20	1.98
	N0(PK)	5.53	4.32	0.75	0.48	0.10	0.58	0.24	0.27	1.19
	N1(PK)	5.30	4.40	0.74	0.54	0.15	0.71	0.25	0.24	1.35
	N3(PK)	4.87	4.04	0.78	0.48	0.18	0.43	0.11	0.44	1.16
	N5(PK)	4.71	4.06	0.70	0.49	0.08	0.13	0.04	0.60	0.85
avec fumier	Témoin	6.63	5.90	0.85	0.75	0.54	1.74	1.07	0.00	3.35
	N0(PK)	6.47	5.96	1.06	0.75	0.46	1.73	1.32	0.00	3.51
	N1(PK)	6.40	5.66	1.06	0.79	0.45	1.59	1.00	0.00	3.04
	N3(PK)	6.06	5.74	1.30	0.94	0.64	1.81	1.23	0.00	3.68
	N5(PK)	5.87	5.37	1.03	0.80	0.40	1.26	0.74	0.00	2.40

Tableau n° 3 : Effets de l'apport de fumier et de la dose d'azote-engrais sur les propriétés chimiques et le stock organique (d'après EGOUMINEDES et OLIVER, 1980).

FIG. 8 : EFFET DES APPORTS DE FUMIER ET DE LA DOSE D'AZOTE APPORTÉE SUR LE CARBONE ET L'AZOTE DU SOL (D'APRES EGOUMINEDES ET OLIVER, 1980).



- . la CEC est nettement améliorée surtout sans apport d'engrais azotés,
- . le pH du sol est maintenu à un niveau où n'apparaît pas d'aluminium échangeable (la baisse de la valeur du pH semble dûe aux apports azotés) alors que, sans fumier, le risque de toxicité aluminique apparaît dès la dose N3.

- Paille et compost

1er exemple : Fertilisation minérale urée-compost d'un sol sableux (ferrugineux tropical) au SENEGAL. (FELLER et al. 1981).

. Essai au champ

Pour ces sols sableux, pauvres en matière organique, de la zone sahélienne, une fertilisation organo-minérale (urée + 10 tMS/ha/an de compost de paille de mil) a permis de doubler le stock organique en 4 ans. Les rendements sont meilleurs ainsi que la qualité nutritionnelle des récoltes (GANRY et al. 1974).

. Essai en pot

Grâce au type d'expérimentation utilisé (figure 9), il a été possible de montrer les effets de diverses fertilisations minérales et/ou organiques décrites dans le tableau 4 sur les rendements en mil. Ce dispositif permet également, de suivre (sans perte par lessivage) le devenir de l'azote engrais (cf chapitre III).

Les résultats de cet essai (tableau 4) sont explicites quant aux divers effets des apports organiques (paille, compost) ou chimiques (urée) :

- aucun effet avec les traitements urée seule, paille seule,
- faible effet avec le traitement urée + paille
- rendement multiplié par trois avec apport de compost
- rendement multiplié par six grâce à l'apport urée + compost.

Les résultats concernant le taux de carbone résiduel à la fin de l'essai montrent que l'apport de compost permet le meilleur stockage de matière organique.

2ème exemple : Apport de compost sur des sols argileux (sols ferrallitiques et vertisols) en Martinique et Guadeloupe (Action CORDET 1981).

Dans ce cas, l'apport d'une bagasse compostée (20 tMS/ha) n'a aucun effet significatif sur le stock organique (figure 10) ni sur les rendements.

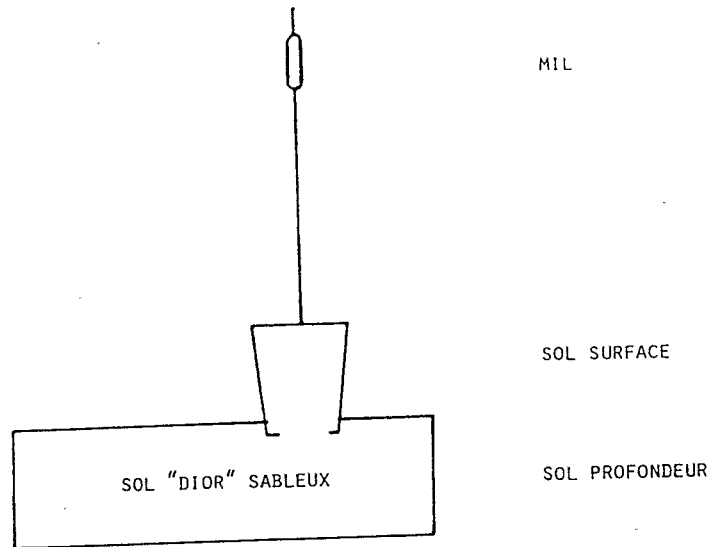


FIG. 9 : SCHEMA DU DISPOSITIF EXPERIMENTAL DES ESSAIS EN POT SUR SOL SABLEUX. (SENEGAL).

		T	T-U	P	P-U	CP	CP-U
Partie aérienne	Poids (g)	96	81	92	115	340	698
	N exporté (g)	2,2	2,8	2,2	3,7	2,4	9,6
Sol surface	% C	79,2	86,0	91,7	90,7	86,1	103,8
	% N	89,1	110,4	97,3	108,6	92,5	106,5

T : témoin, P : paille, CP : compost, U : urée.

Tableau n° 4 : Productivité végétale et bilan C et N du sol après culture

b) Les restitutions rhizosphériques (endogènes)

Nous citerons ici deux exemples de situations étudiés en Martinique (qui seront repris de manière plus détaillée dans le chapitre III).

1er exemple : Cultures de canne à sucre - le cas des "sols remodelés" en Martinique.

Le "remodelage" de terres agricoles en Martinique, opération de génie rural pratiquée depuis 1970, consiste en un nivellement des collines pour faciliter la mécanisation des cultures (canne à sucre essentiellement). Du fait de ces travaux, l'horizon A est décapé et la culture se fait sur les horizons B ou C. Ainsi ces situations représentent-elles un modèle en vraie grandeur pour étudier les étapes initiales de la constitution des stocks organiques et ses effets sur les propriétés des sols (CHEVIGNARD, 1985). La culture de canne restitue au sol essentiellement des produits d'origine racinaire. Les parties aériennes étant, dans le cas présent, soit exportées, soit brûlées.

Après 10 ans de culture, seulement 30 % du stock initial a été reconstitué (figure 11) et il faudra entre 30 et 60 ans (CHEVIGNARD, 1985) pour reconstituer 50 %.

Les rendements en canne à sucre sont généralement inférieurs de moitié dans les situations de "remodelage".

2ème exemple : Prairie artificielle à Digitaria decumbens et cultures maraîchères sur vertisol, Martinique.

Deux parcelles ayant eu le même passé cultural (rotations canne à sucre - cultures à cycle court - jachère) sont cultivées depuis cinq ans, l'une en cultures maraîchères (M) et l'autre en prairie fertilisée et irriguée à Digitaria decumbens (P) (NJOH-ELONG, 1984).

L'effet de la prairie (forte densité racinaire, forte production à cause de la fauche régulière) est remarquable sur le stock organique, puisque celui-ci a doublé (fig. 11) en cinq ans alors que les cultures maraîchères ont induit une diminution du taux de matière organique (tableau 5).

L'effet le plus remarquable de cette différenciation des stocks se fait sur les propriétés physiques (Is, tableau 5).

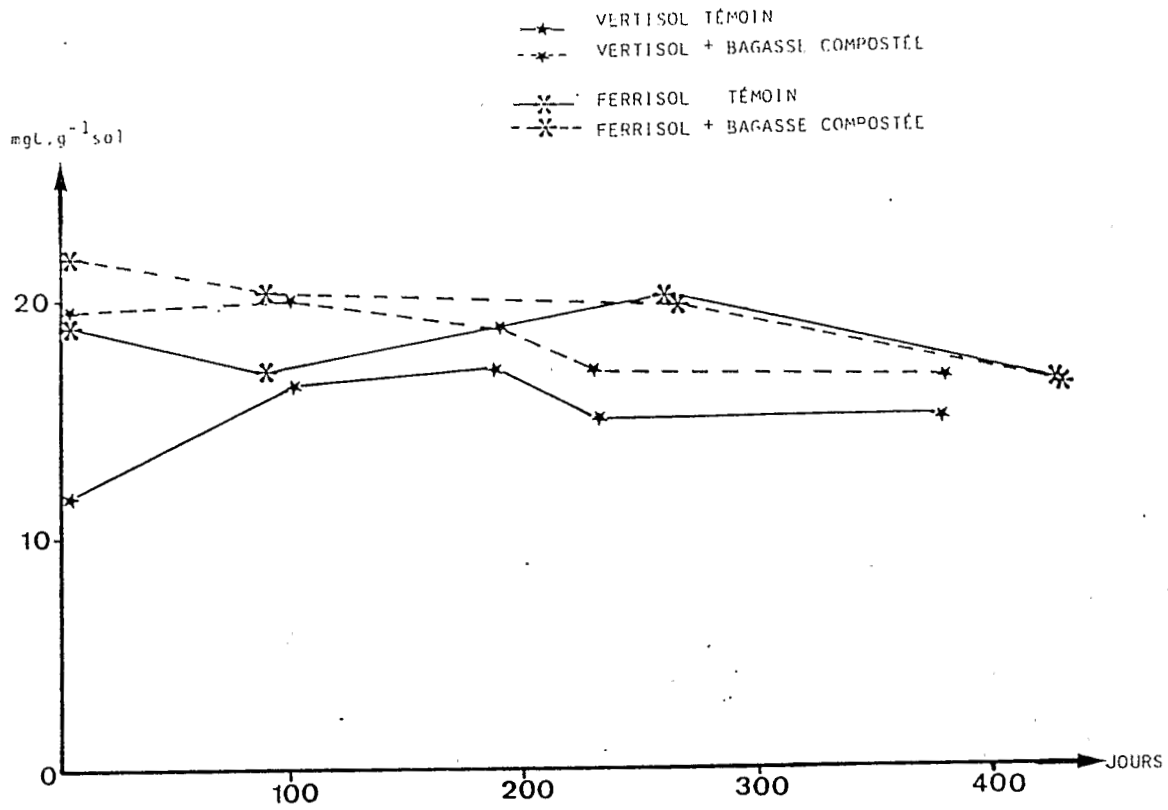
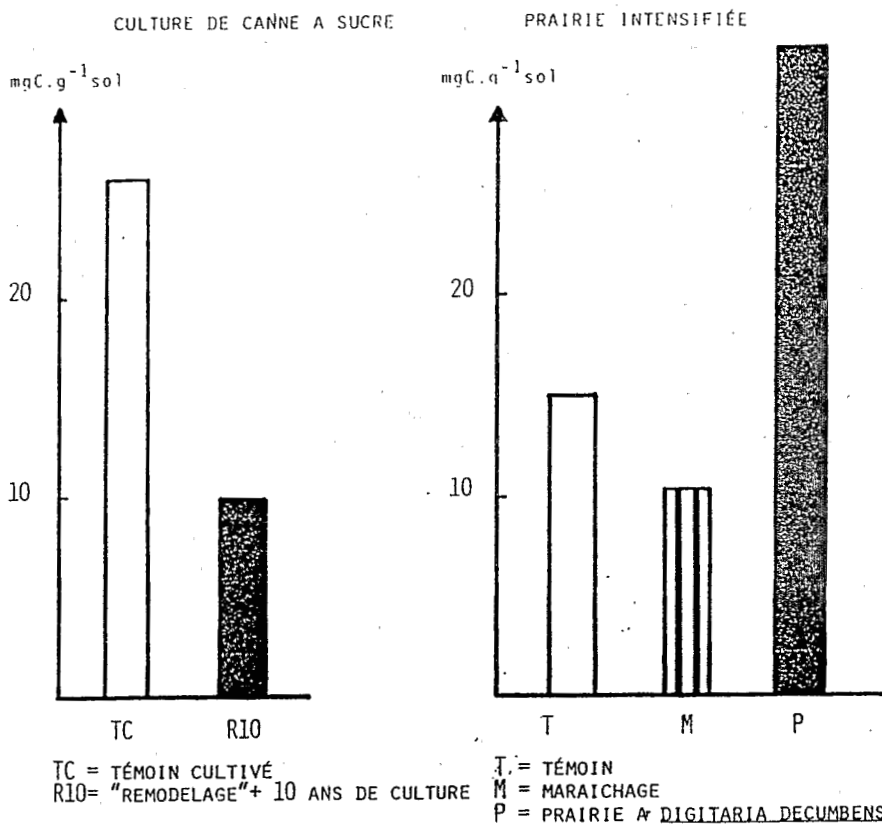


FIG. 10 : EFFETS D'UN APPORT DE BAGASSE COMPOSTÉE SUR LE STOCK D'UN FERRISOL ET D'UN VERTISOL (MARTINIQUE).

FIG. 11 : RESTITUTIONS ENDOGENES ET STOCK ORGANIQUE.



Traitement	t année	Horizon	C %	N %	C/N	I _s
Fin de culture de canne à sucre	t ₀	0-10	15,3	1,43	10,7	1,8
		20-30	10,5	1,19	9,1	2,2
M	t ₅	0-10	12,1	1,41	8,6	0,9
		10-20	12,6	1,42	8,9	1,2
P	t ₅	0-10	33,4	3,08	10,8	0,2
		10-20	28,9	2,62	11,0	0,3

I_s = indice d'instabilité structurale déterminé selon HENIN

nd = non déterminé

Tableau n° 5 : Teneurs en C et N et valeurs de I_s pour les horizons de surface d'un vertisol en prairie (P) ou maraîchage (M.)

En conclusion, cet ensemble de résultats illustre bien, pour un sol donné, l'effet du type de système de culture sur les variations de niveau du stock organique et des propriétés pédologiques qui y sont liées.

Quels compartiments organiques sont concernés par ces variations ? Avant de répondre à cette question, il est nécessaire de s'interroger sur les méthodes actuelles de caractérisation de matière organique du sol et juger de leur application aux sols cultivés.

II - METHODES DE CARACTERISATION DE LA MATIERE ORGANIQUE DU SOL. L'INTERET DE FRACTIONNEMENTS GRANULOMETRIQUES.

Dans le cadre de l'étude de la matière organique dans les agro-systèmes, il apparaît nécessaire de caractériser les compartiments organiques du sol. Ces compartiments organiques ou encore formes de la matière organique existant dans le sol (résidus végétaux, azote facilement minéralisable, complexes organo-métalliques ou organo-argilliques, ...) ont une définition naturelle exprimée par :

- 1) leur origine qui peut être végétale, faunique, microbienne ou chimique,
- 2) leur état - mort ou vivant, frais ou transformé, "libre" ou "lié", figuré (visible à l'oeil ou au microscope) ou amorphe
- 3) le type d'évolution dans le temps (turn-over à vitesse variable-biostabilité)

Le bref développement qui suit sur les diverses méthodes de caractérisation de la matière organique a essentiellement pour but de montrer à la fois l'évolution des méthodes et la tendance actuelle dans le monde de la Science du Sol d'assimiler compartiments organiques (tels qu'ils sont définis plus hauts) et fractions organiques issues d'une méthodologie.

1. Fractionnements chimiques

Ce sont des méthodes d'extractions acido-alcalines directes. Elles sont globales, c'est-à-dire que le sol est traité dans son ensemble, résidus végétaux compris.

Les méthodes sont nombreuses, elles varient selon la nature de l'extractant, la séquence d'extraction, le pH d'extraction. Elles visent à caractériser le "compartiment organique humifié" du sol. Les fractions obtenues, en particulier les acides fulviques et humiques, ont un âge apparent de l'ordre du siècle ou du millénaire. Ces fractions sont essentiellement définies par leur comportement face aux solvants et souvent fort hétérogènes (humine).

Ces méthodes le plus souvent appliquées aux études pédogénétiques apparaissent relativement plus adaptées aux recherches sur les agrosystèmes puisque :

- a) les fractions humiques et fulviques, d'âge apparemment élevé, interviennent probablement peu dans les variations saisonnières ou annuelles du stock organique des sols cultivés,
- b) l'hétérogénéité de la fraction "humine" constituée de matières organiques d'origines et de natures différentes (végétale ou microbienne-humifiée ou non) est un facteur limitant aux interprétations à ses variations dans les agrosystèmes.

2. Utilisation de la densimétrie

L'introduction du fractionnement basé sur la densité des particules apparaît, sur le plan théorique, comme un net progrès. En effet, cette méthode permet de séparer des matières organiques "libres" dont la structure est figurée et l'origine souvent connue (parois végétales) de la matière organique "liée" du sol (complexe organo-minéral). On définit ainsi deux fractions organiques qui ont des biostabilités différentes :

- faible pour les matières organiques "libres"
- généralement plus forte pour la matière organique "liée"

La définition de ces fractions tend à s'approcher de la définition des compartiments organiques naturels.

Les limites de ces méthodes sont essentiellement d'ordre pratique :

- utilisation de solvants organiques (bromoforme - alcool à $d = 1,8$) ou minéraux (acide phosphorique à $d = 1,1$) qui ont des effets contaminants ou altérants.
- sous-estimation des fractions "libres" ($d = 1,1$)

Après cette approche densimétrique du fractionnement de la matière organique du sol, l'évolution méthodologique en France (équipes de Nancy, Besançon) et à l'étranger (Canada, Australie) s'est appuyée sur les caractéristiques physiques (taille, poids) de la matière organique du sol. Ainsi se sont développées des méthodes de fractionnements granulométriques ou granulodensimétriques ne faisant intervenir que l'eau comme solvant dans les premières étapes de la séparation.

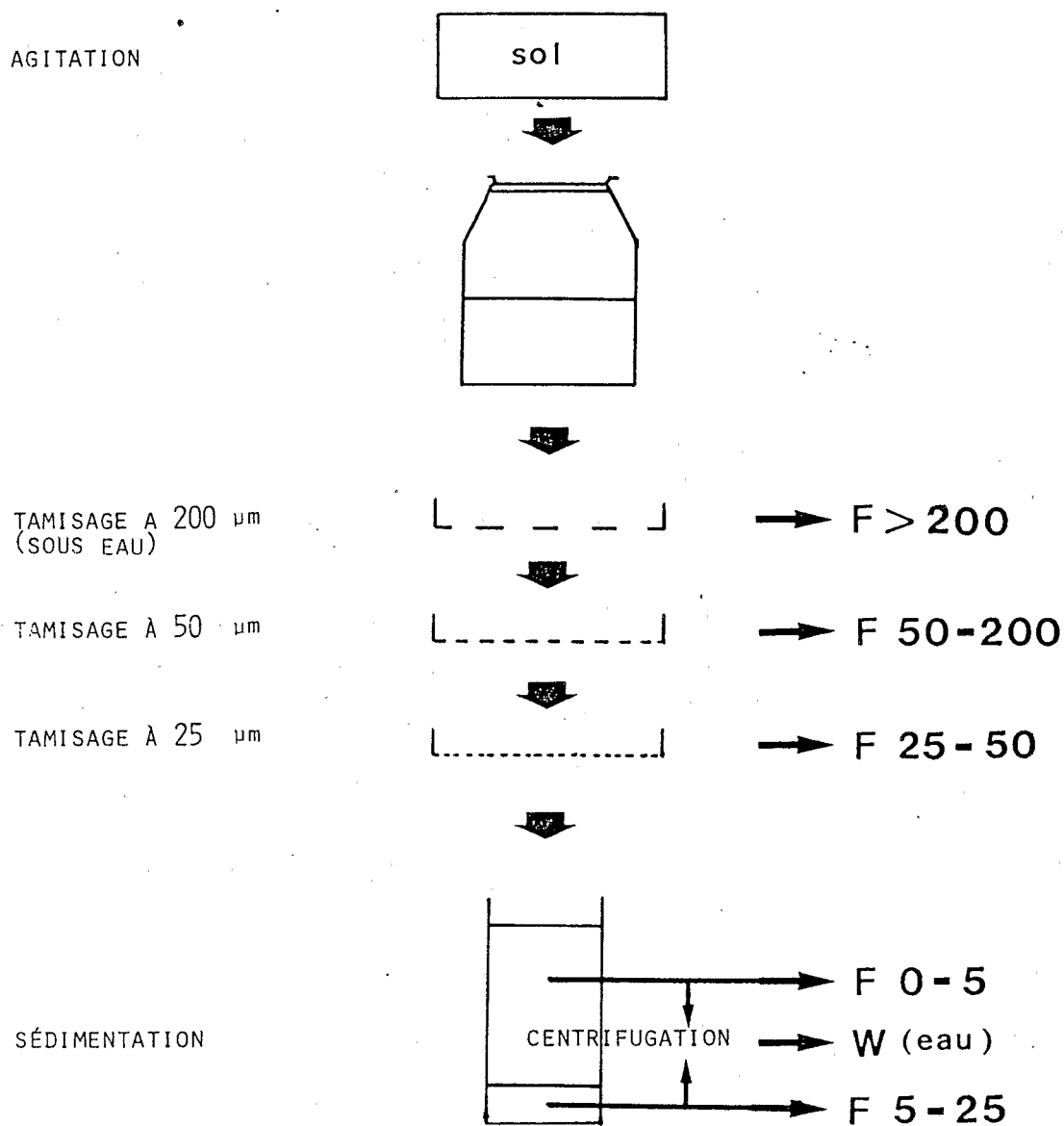
3. Fractionnements granulométriques de la matière organique du sol

Le but de ces méthodes est de séparer le mieux possible les résidus figurés (végétaux, fauniques et microbiens) du complexe organo-minéral (qui contient de la matière organique amorphe). Une autre formulation du but à atteindre serait la suivante : individualiser les divers constituants élémentaires de la matière organique du sol. La démarche induite est très proche de celle utilisée lors de la détermination de la granulométrie minérale d'un sol par analyse mécanique. Il faut donc, pour ce faire, atteindre le niveau maximum de dispersion de l'échantillon de sol analysé. Cette dispersion est obtenue par agitation dans l'eau avec billes de verre et utilisation, si besoin, d'un traitement ultrasonique doux. L'utilisation de solvants alcalins dans des conditions modérées de pH (ex. = NaOH à pH 10) permet également d'obtenir une forte dispersion sans pour autant que les débris végétaux aient été notablement transformés - très peu de produits organiques d'origine végétale sont extraits avec cette méthode (RAFDISON, 1982 ; ALBRECHT, 1984, BARRIUSO et al. 1985). L'échantillon ainsi dispersé est ensuite tamisé sous eau à 2000, 200, 50, 25 μm puis fractionné par sédimentation à 5 et 2 μm (enfin par ultracentrifugation à 0,2 μm , dans certains cas) (figure n° 12).

On obtient ainsi les fractions organiques suivantes (associées aux fractions minérales correspondantes) :

- fraction supérieure à 2000 μm : résidus végétaux très grossiers + graviers
- fraction 200-2000 μm : débris végétaux grossiers + sables grossiers
- fraction 50-200 μm : débris végétaux fins + sables fins
- fraction 25-50 μm : débris végétaux très fins, charbons + limons grossiers
- fraction 5-25 μm : mélange de débris végétaux très fins et microbiens et de produits limono-humiques + limons fins.
- fractions < 5 μm : mélange de débris microbiens, de fraction argilo-humique (complexe organo-minéral) et de composés microbiens
- fraction hydrosoluble (W)

Il est possible désormais (ANDERSON et PAUL, 1984) d'établir des relations entre la granulométrie des matières organiques et leurs origines-état-biostabilité comme le montre le tableau n°6.



* 50G SOL, 300 ML EAU, 2 HEURES 50 $\text{t} \cdot \text{mn}^{-1}$ PUIS ULTRASONS 80 w, 26 KHZ, 10 mn.

FIG. 12 : SCHÉMA DU FRACTIONNEMENT GRANULOMÉTRIQUE DE LA MATIÈRE ORGANIQUE DE SOL.

<u>Référence au compartiment</u>	<u>Taille (µm)</u>	<u>"age"</u>	<u>C/N</u>
	2000	0 à 30	40
Débris végétaux	200	-----	à
	50	----- ?	13
-----	20	800 ^(*)	-----
Débris microbiens			17 à 13
--- et/ou ----	5	-----	-----
Complexe organo-minéral	2	965 ^(*) ----- 1265 ^(*)	10 à
-----	0,2	-----	
Métabolites microbiens ou matériaux cytoplasmiques	0	170 ^(*) -----	6 -----
		AF pyro = 1140 ^(*) AF pyro = 1415 ^(*)	

(*) d'après ANDERSON and PAUL (1984)

Tableau n° 6 : Caractéristiques des fractions granulométriques (horizons Ap, C/N = 10, âge apparent (*) = 795 ans)

Ces recherches sont à leur phase initiale et, en particulier pour les fractions organiques inférieures à 50 μm , l'identification de produits n'est pas définitive. Toutefois, il nous est permis d'affecter les fractions organiques obtenues à deux compartiments organiques du sol :

- le compartiment "végétal" représenté par les fractions grossières supérieures à 50 μm (ou à 25 μm),
- le compartiment "organo-minéral et microbien" représenté par les fractions inférieures à 25 μm ou à 5 μm .

Notons également que cette méthode de fractionnement permet d'individualiser un compartiment hydrosoluble (organique ou minéral).

Nous avons rappelé dans le chapitre premier les divers types de restitutions organiques. On remarquera que le compartiment végétal défini plus haut et ses fractions organiques associées ont toutes les caractéristiques des restitutions organiques exogènes et endogènes pro-parte (débris racinaires). Les produits racinaires non figurés pourront, quant à eux, se retrouver soit dans le compartiment organo-minéral soit dans le compartiment soluble.

Enfin la méthode, incluant une extraction à l'eau, peut être adaptée aussi à des études des fractions minérales solubles (cas de N-minéral).

Ainsi ces méthodes de fractionnement granulométrique de la matière organique nous apparaissent mieux adaptées aux problèmes posés dans les agrosystèmes (en particulier lors des études des restitutions organiques sur les propriétés des sols) que les méthodes décrites précédemment.

Ce sera le propos du troisième chapitre qui illustrera l'intérêt de ces méthodes quant à la compréhension de l'évolution de certaines propriétés pédologiques à la suite de variations importantes du stock organique.

III - QUELQUES APPLICATIONS DE LA METHODE GRANULOMETRIQUE DANS L'ETUDE DE LA MATIERE ORGANIQUE DANS LES AGROSYSTEMES TROPICAUX.

- nous étudierons tout d'abord les fractions organiques concernées par les variations de stock organique à la suite de divers types de restitutions,
- puis, à l'aide des mêmes exemples, nous tenterons d'établir les relations entre ces fractions et certaines propriétés du sol.

1. Effets des restitutions organiques sur la nature du stock organique du sol.

Nous reprendrons ici deux exemples cités plus haut :

- apport de compost sur sol sableux (ferrugineux tropical) au Sénégal (FELLER et al. 1981)

- effets d'une prairie artificielle à Digitaria decumbens sur vertisol en Martinique (NJOH-ELLONG 1984, ALBRECHT et al. 1986).

Aux échantillons de ces deux situations est appliquée la méthode de fractionnement granulométrique de la matière organique. Dans le premier cas, nous comparerons les résultats de fractionnement granulométrique à ceux du fractionnement humique.

a) Apport de compost sur sol sableux

Avant enfouissement le compost de paille de mil se caractérise de la façon suivante :

- 90 % du carbone se trouve dans les résidus végétaux de tailles supérieures à 2000 μm et 10 % dans les résidus végétaux de tailles comprises entre 200 et 2000 μm .
- 94 % du carbone du compost est constitué d'"humine" (résidu après extraction du H_3PO_4 2M et $\text{Na}_2\text{P}_4\text{O}_7$ 0.14) et 6 % se trouve sous forme de produits extractibles.
- le fractionnement humique (tableau 7 et figure 13) concernant les deux situations (S = sans compost et A = avec compost) nous donne les résultats suivants :
 - . toutes les fractions (humine, acides fulviques, acides humiques) ont subi des augmentations mais à des degrés divers,
 - . la fraction humine (65 % des augmentations) est un compartiment fort hétérogène car constituée de matières organiques de natures variées: résidus végétaux ou microbiens, (humine héritée), composés humiques liés à la matière minérale (humine séquestrée), composés humiques non-extractibles (humine évoluée) (PERRAUD et al. 1971).

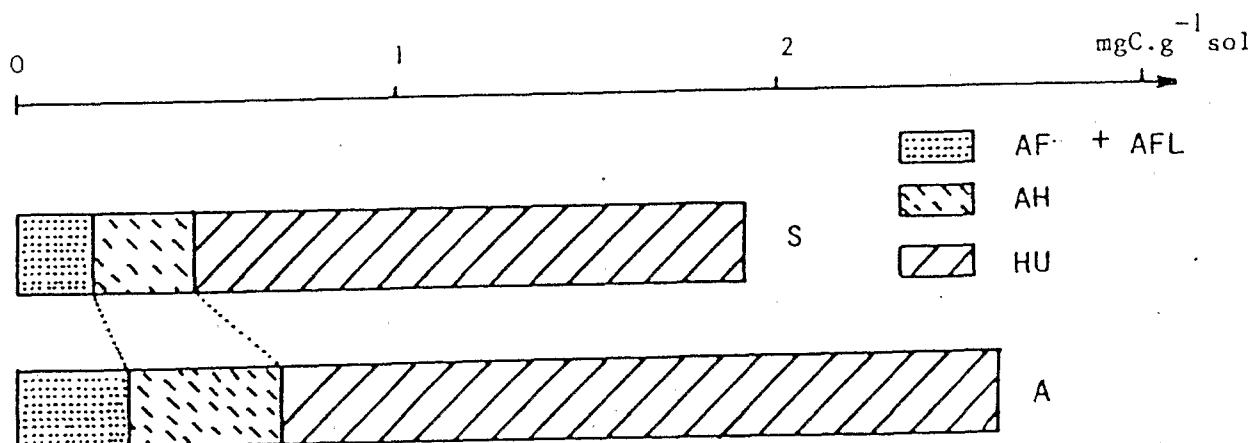
Dans ces conditions, il apparaît difficile de définir de manière précise l'origine de l'augmentation de l'humine donc d'une large partie du stock organique. Correspond-elle à une néogenèse de produits humiques ou bien provient-elle simplement de débris végétaux non encore totalement décomposés ? Cette question est importante car, comme nous l'avons vu précédemment le temps moyen de résidence dans le sol de ces deux séries de produits organiques est fort différent (le siècle ou le millénaire dans le premier cas, l'année ou la décennie pour le second). Et le type de réponse apportée est fondamental dans le cadre d'une politique de gestion du stock organique.

Par fractionnement granulométrique de la matière organique du sol (figure 14) on constate que les différences observées entre A et S concernant essentiellement les fractions végétales supérieures à 50 μm et pratiquement pas le complexe organo-minéral.

Ainsi, ce type de fractionnement paraît nettement plus explicatif que le fractionnement humique.

Figure 13 - Fractionnement humique de la matière organique d'un sol ferrugineux tropical sableux.

S : sans compost ; A : avec compost.



Fraction humique	Echantillon							
	Compost		Sol					
			S (*)		A (*)		différence A-S	
	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)
AFL	2,9	1,1	0,068	3,5	0,079	3,0	0,011	1,6
AF	4,3	1,6	0,113	5,9	0,164	6,2	0,051	7,2
AH	7,8	3,0	0,250	13,0	0,433	16,4	0,183	25,9
MHT	12,1	4,6	0,363	18,8	0,597	22,6	0,234	33,1
HU	247	94,3	1,499	77,7	1,960	74,3	0,461	65,3
TOTAL	262	100,0	1,93	100,0	2,64	100,0	0,706	100,0

(*) S : sans compost, A : avec compost, AFL : acides fulviques libres (extraction acide phosphorique 2M), AF, AH, MHT et HU : acides fulviques, humiques, matières humiques totales et humine (extraction pyrophosphate Na 0,1 M).

Tableau n° 7 : Fractionnement humique, en mgC.g⁻¹ échantillon (1) ou en pourcentages de la somme des fractions.(2).

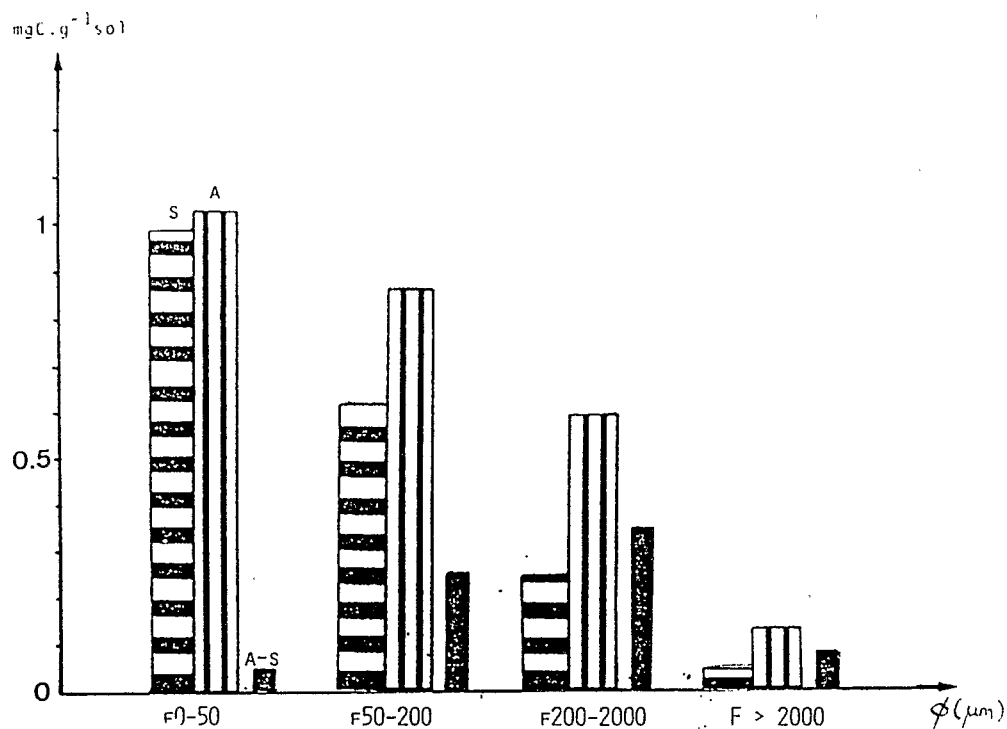


FIG. 14 : FRACTIONNEMENT GRANULOMÉTRIQUE DE LA MATIÈRE ORGANIQUE D'UN SOL SABLÉUX - (SÉNÉGAL)

S = SANS COMPOST, A = AVEC COMPOST.

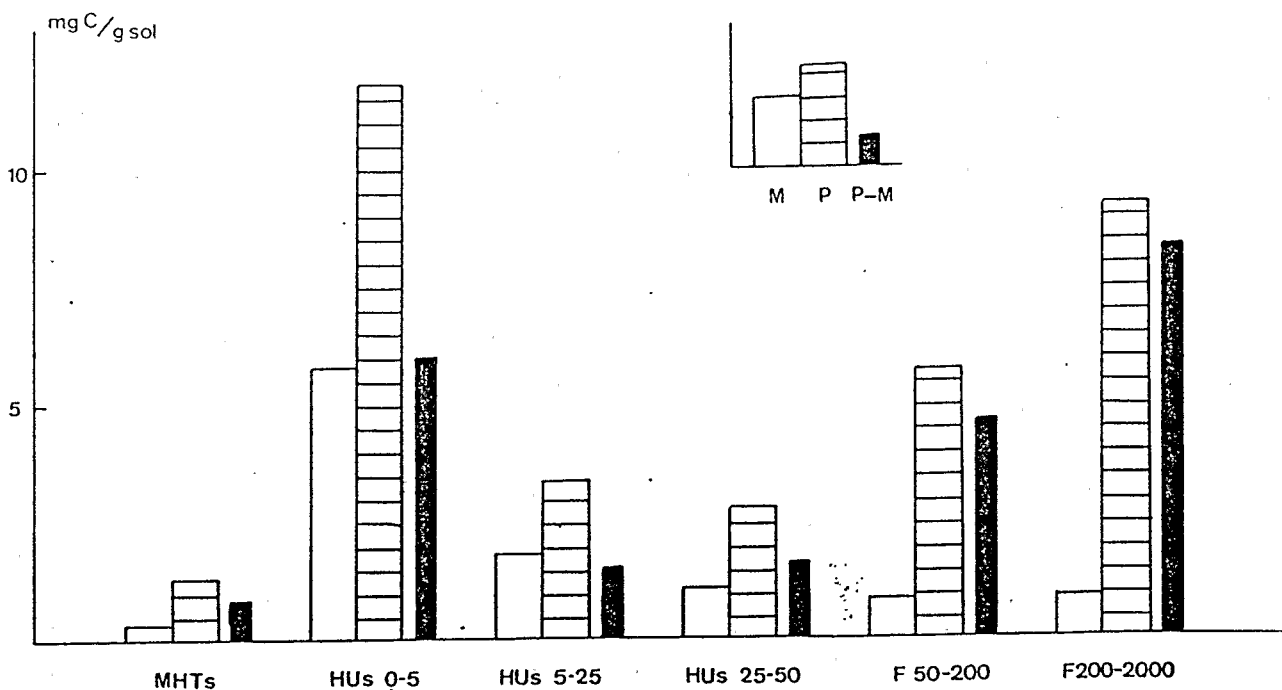


FIG. 15 : FRACTIONNEMENT GRANULOMÉTRIQUE DE LA MATIÈRE ORGANIQUE DU SOL DES SITUATIONS MARAICHAGE (M) ET PRAIRIE (P), VERTISOL (MARTINIQUE).

- b) Augmentation par une prairie à Digitaria decumbens du stock organique de vertisols cultivés en Martinique :

Les accumulations absolues (figure 15) de carbone affectent dans ce cas à la fois des fractions grossières végétales ($f > 50 \mu\text{m}$) et le complexe organo-minéral (dont le stock est multiplié par deux). En valeur relative, les augmentations les plus spectaculaires concernent les fractions grossières dont les teneurs sont cinq fois plus élevées sous prairie que sous culture.

On observe donc dans cet exemple que les restitutions racinaires dans ce sol argileux induit un stockage de matière organique dans les deux compartiments suivants :

- le compartiment organique figuré ($f > 25 \mu\text{m}$) dont l'accumulation est attribuée à de forts apports de débris racinaires ($C/N > 13$).
- le compartiment organo-minéral ($f 0.5 \mu\text{m}$) où des produits d'origine végétale et microbienne $-C/N = 8.5-$ (exsudats racinaires, contenus cellulaires et produits de la décomposition de la matière organique) sont probablement responsables de l'accumulation de matière organique.

2. Devenir de l'azote-engrais dans un sol sableux (ferrugineux tropical)

La méthode de fractionnement granulométrique associée à l'utilisation de méthode de marquage isotopique (^{15}N) a permis de suivre le devenir de l'azote-engrais dans le sol et la plante ainsi que l'effet de deux types de restitutions paille et compost sur les bilans azote dans le système sol-plante.

Les résultats exprimés ci-dessous correspondent à l'essai en pot cité en I.2.x.

- a) Effets de la paille et du compost sur la répartition de l'azote-urée dans le système sol-plante.

On observe, par rapport aux témoins sans amendement organique (tableau 8) :

- un effet très favorable de l'enfouissement de compost, surtout en présence d'azote :
 - . productivité végétale accrue
 - . meilleure nutrition azotée
 - . bonne utilisation de ^{15}N -urée (56 %)
 - . faibles pertes par dénitrification ou volatilisation (20 %)
- de faibles différences avec l'enfouissement de paille :
 - . productivité faible
 - . faible exportation d'azote
 - . taux de ^{15}N -urée de 23 %
 - . pertes en ^{15}N -urée élevées (50 %)

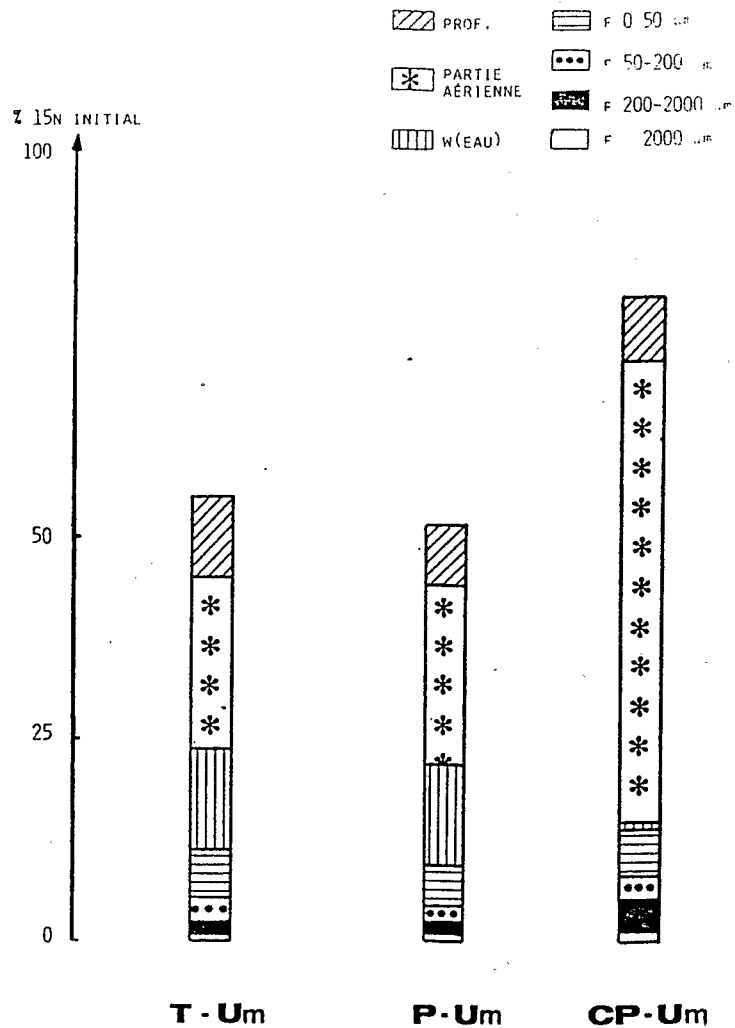
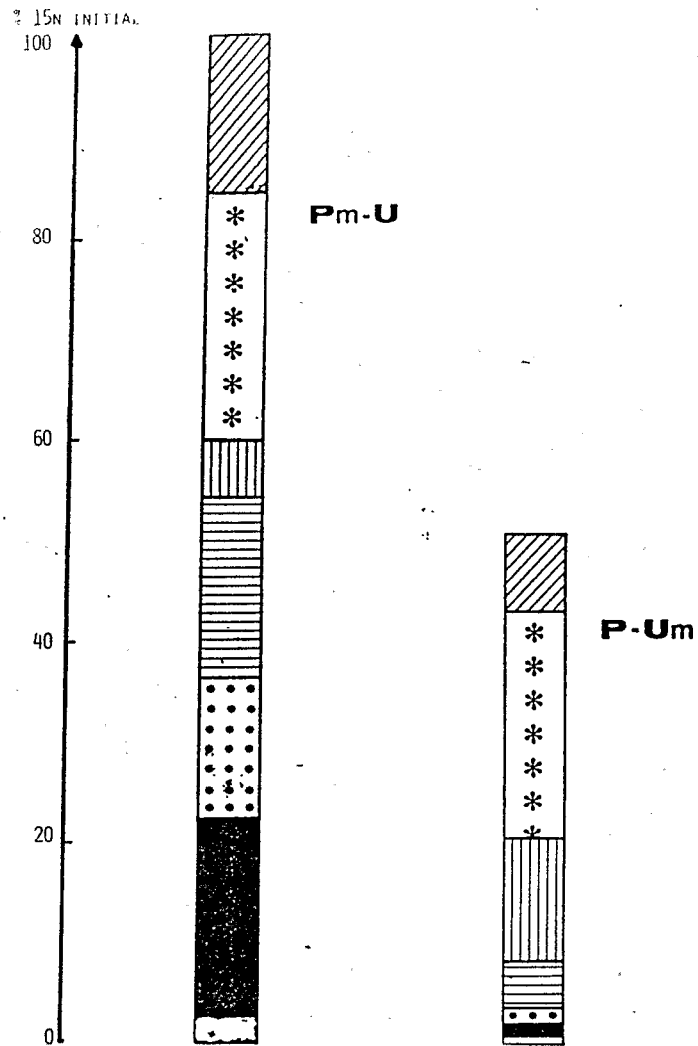


FIG. 16 : RÉPARTITION DE ¹⁵N-URÉE DANS LE SYSTÈME SOL-PLANTE APRÈS CULTURE
EFFETS DU TYPE DES RESTITUTIONS

FIG. 17 : RÉPARTITION DE ¹⁵N-URÉE DANS LE SYSTÈME SOL-PLANTE
SELON LA NATURE DE L'APPORT
AZOTE-FACILE (¹⁵N) VS AZOTE-DUR (¹⁴N)



Après fractionnement granulométrique du sol, il est possible de faire le bilan de la répartition de l'azote dans le système sol-plante (figure 16).

- dans la fraction hydrosoluble : 13 % de 15N-urée est retrouvé pour les traitements témoin et paille, seulement 1.4 % pour le traitement compost ; cette fraction représente des pertes potentielles puisqu'elle est facilement lessivable dès les premières fortes pluies. Ainsi même en présence d'urée et de matières organiques disponibles (traitement paille) 15N-urée n'est pas organisée dans les fractions fines du sol ce qui suppose une activité microbienne limitée.
- dans les fractions supérieures à 50 μm , le stockage de l'azote est deux fois plus important dans le traitement compost que dans les traitements paille et témoin et correspond à une organisation par voie racinaire. Les variations de ces fractions seront donc dépendantes de la productivité végétale.
- Dans les fractions inférieures à 50 μm , la quantité de 15N stockée est à peu près identique pour tous les traitements et donc indépendante de la productivité végétale.

Il ressort de ces observations que le stockage d'azote-engrais dans ces sols sableux sera fortement dépendant de la productivité végétale et que l'on peut distinguer dans le sol deux compartiments au fonctionnement totalement différent par rapport au cycle de N-urée, l'un dépendant (résidus végétaux de tailles supérieures à 50 μm), l'autre indépendant de la productivité végétale (0-50 μm).

b) Répartition de l'azote dans le sol selon la nature de l'apport : azote-paille (15N) ou azote-urée (15N).

Les deux traitements donnent des résultats très proches en ce qui concerne la productivité végétale (voir chap. I, 101 g pour le traitement Paille marquée + Urée et 131 g pour le traitement Paille + Urée marquée).

Le bilan de l'azote dans le système sol-plante nous donne les résultats suivants (figure 17) :

- les pertes par dénitrification et volatilisation sont nulles pour le traitement paille marquée et élevées (50 %) pour l'autre traitement,
- après fractionnement du sol, les répartitions de 15N-urée entre les deux traitements sont nettement différentes. (Rappelons ici que la paille est apportée sous forme de débris végétaux de taille supérieure à 2 mm). On trouve respectivement pour les traitements paille marquée et urée marquée 36.2 et 3.5 % de 15N initial dans les fractions de taille supérieure à 50 μm , 17.8 et 4.4. % dans la fraction de taille inférieure à 50 μm et 5.8 et 12.5 % dans la fraction hydrosoluble.

Il est donc intéressant de noter, dans ce cas, que l'azote est stocké dans les fractions 50-200 μm et 200-2000 μm (on remarque la disparition quasi-totale dans la fraction supérieure à 2 mm - taille des débris végétaux apportés).

		Traitement		
		T x Um	P x Um	CP x Um
Parties aériennes	Poids (g)	81	131	698
	% NT	6,0	7,7	18,5
	% ¹⁵ Ni	21,7	22,5	55,7
Sol surface	% NT	18,6	16,7	15,5
	% ¹⁵ Ni	23,2	20,2	15,0
Sol profondeur	% NT	65,1	62,1	58,7
	% ¹⁵ Ni	10,5	7,8	8,1
Total	% NT	89,7	86,5	92,7
	% ¹⁵ Ni	55,4	50,5	78,7
Pertes	% NT	10,3	13,5	7,3
	% ¹⁵ Ni	44,6	49,5	21,2

NT = N total initial système = N-sol (surface + profondeur) + N-apporté
(urée, paille ou compost)

¹⁵Ni = ¹⁵N-urée initial apporté

Tableau n° 8 : Répartition de l'azote dans le système sol-plante.
Résultats exprimés en % de la quantité totale initiale
de l'élément dans le système.

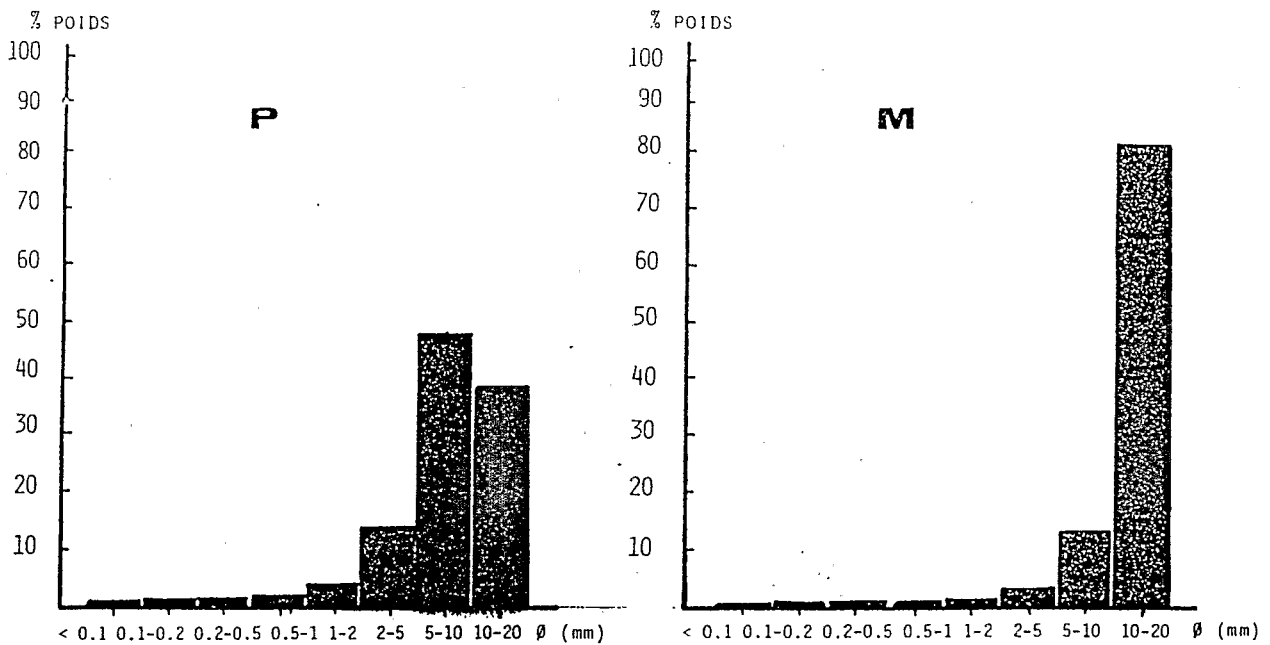


FIG. 19 : FRACTIONNEMENT GRANULOMÉTRIQUE À SEC DES AGRÉGATS (VERTISOL).

Ainsi, en première approximation et grâce aux méthodes utilisées, est-il possible de considérer que les principaux compartiments de stockage à court terme de l'azote (et du carbone, voir chap. III.1) sont les fractions organiques grossières de taille supérieure à 50 μm dans ce type de sol sableux.

3. Amélioration du stock organique et évolution des propriétés physiques d'un vertisol.

Aux paragraphes I.2.b et III.1.a, nous avons vu que l'installation d'une prairie sur vertisol induisait une augmentation du stock organique (compartiment végétal et compartiment organo-minéral) et une nette amélioration de la structure (Is). Quels rôles jouent ces fractions organiques dans l'amélioration des propriétés physiques de ce vertisol ?

Nous avons tenté de répondre à cette question à l'aide de divers tests physiques en soumettant les unités structurales naturelles (décimétriques) du sol à des énergies de rupture croissantes.

Nous rapportons ici les premiers résultats de cette étude poursuivie actuellement à partir de répétitions sur les mêmes parcelles.

a) Test de macro-agrégation

Une alternance humectation-dessiccation sans contraintes de bordures permet de résoudre l'échantillon naturel en agrégats de tailles centimétriques. Un échantillon de sol (300 g) non remanié est humecté "per ascensum" à saturation. Gonflement puis retrait conduisent à une division des agrégats. Le sol est ensuite séché à l'étuve (60°C) pendant deux heures puis à l'air (2 à 3 jours). Une granulométrie à sec des agrégats est menée par tamisages entre 0,1 et 20 mm (taille maximum).

Pour des échantillons riches en racines, les ruptures vont se faire préférentiellement au niveau de celles-ci. Ce test devrait donc permettre d'appréhender l'effet des racines les plus grossières sur la taille des agrégats structuraux.

On constate une répartition en agrégats totalement différente selon les traitements (fig. 19). Les teneurs élevées en racines sous prairies conduisent pour le traitement P à un maximum d'agrégats de taille 5-10 mm alors qu'en absence de racines (traitement M) la quasi-totalité des agrégats ont des tailles 10-20 mm.

Les agrégats 5-20 mm sont ensuite soumis à un test de perméabilité en colonne en régime saturé permanent. La figure 20 met en évidence que les agrégats du traitement P malgré l'élimination d'une partie des racines grossières (*), ont conservé leur stabilité. Ce ne sont donc pas seulement les racines grossières qui sont responsables des différences de répartition et de stabilité des agrégats naturels dans ces deux situations.

(*) élimination de 1,6 mgC.g^{-1} sol sous forme de racines de tailles supérieures à 200 μm ce qui correspond à 32 % de la fraction F 200-2000.

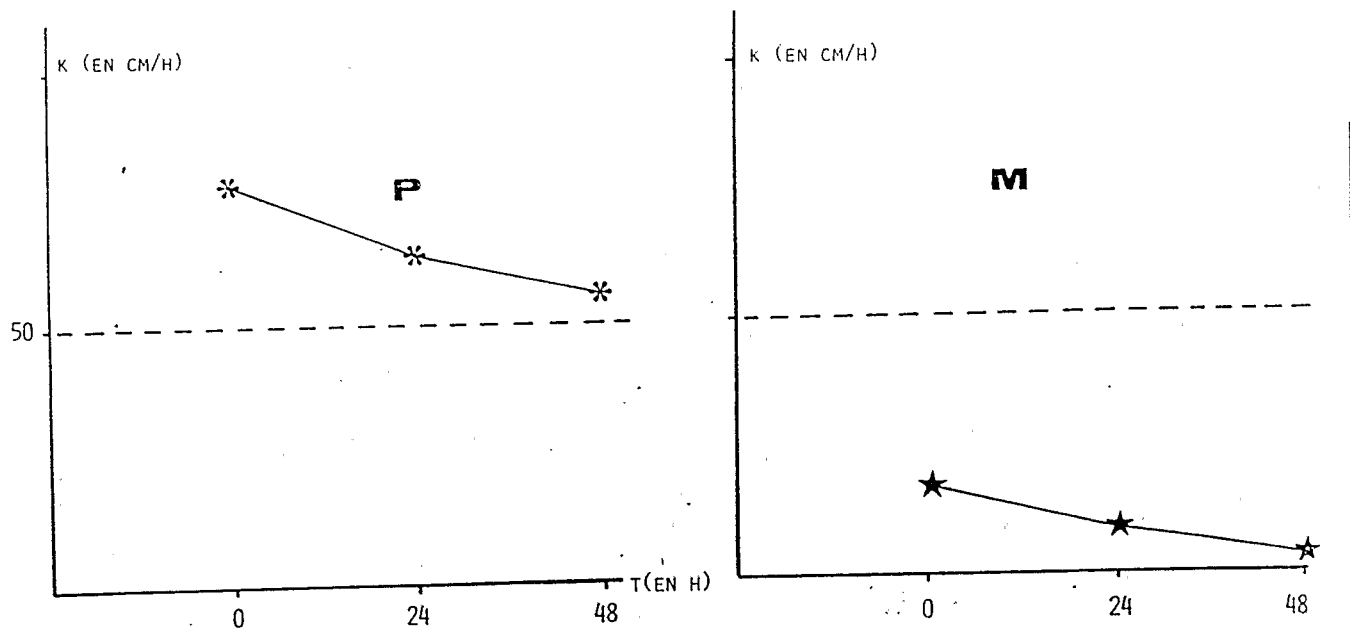


FIG. 20 : EVOLUTION DANS LE TEMPS DE LA PERMEABILITE SUR AGRÉGATS 5-20 MM DES SITUATIONS PRAIRIE (P) ET MARAICHAGE (M). SUR VERTISOL (MARTINIQUE).

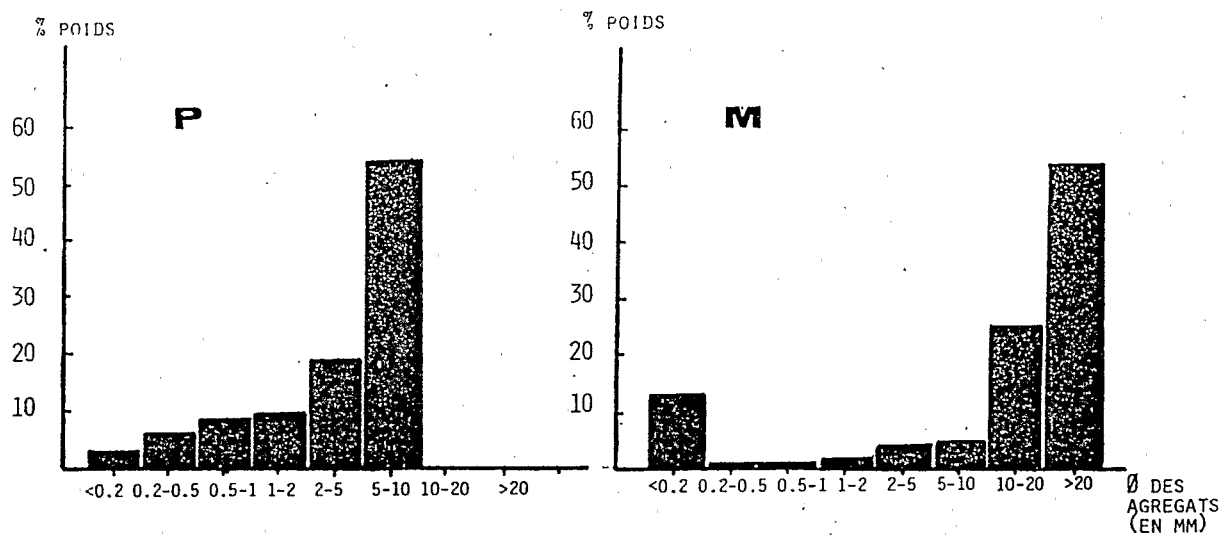


FIG. 21 : FRACTIONNEMENT GRANULOMETRIQUE A SEC DES AGRÉGATS APRES MESURE DE LA PERMEABILITE DES AGRÉGATS 5-20 MM.

Un fractionnement à sec des agrégats après perméabilité sur échantillon remanié (figure 21) conforte cette hypothèse puisque pour le traitement P, on n'observe qu'une simple division des agrégats 5-20 mm alors que, pour le traitement M, il y a, d'une part, formation de grosses mottes de taille supérieure à 20 mm (prise en masse du matériau) et, d'autre part, production importante de matériaux fins (de taille inférieure à 200 μm) qui pourraient être responsables de la colmatation des pores (perméabilité quasi-nulle après 48 heures d'expérimentation).

b) Test de micro-agrégation

Après le traitement humectation-dessiccation, environ 35 g de sol sec sont mis en contact 6 h avec 300 ml d'eau puis agités (50 t/mn) pendant des temps variables : 0 retournement, 30 retournements, 30 mn, 1 h, 2 h, 6 h, 12 h, 15 h. Le fractionnement granulométrique des micro-agrégats est ensuite effectué par tamisages sous eau à 2000, 200, 50 et 25 μm puis par sédimentation à 5 μm . Les résultats sont présentés sur la figure 5. Pour chaque classe granulométrique la présence d'"agrégats vrais", est contrôlée par comparaison avec les résultats de l'analyse mécanique (après destruction de la matière organique).

On constate qu'après 2 h d'agitation les agrégats supérieurs à 2000 μm ont tous été détruits aussi bien pour P que pour M. Par contre, les deux traitements ont un comportement différent vis à vis des micro-agrégats de tailles comprises entre 5 et 2000 μm : ils sont tous détruits en 2 heures pour le traitement M (la granulométrie des agrégats est la même que celle obtenue par analyse mécanique) alors qu'une fraction importante reste stable pour le traitement P. Cette fraction peut être estimée à chaque instant par les différences des courbes P et M de la fraction 0-5 μm : 20 % d'agrégats stables 5-200 μm après 2 h d'agitation, 12 % après 6 h et encore 5 % après 15 h.

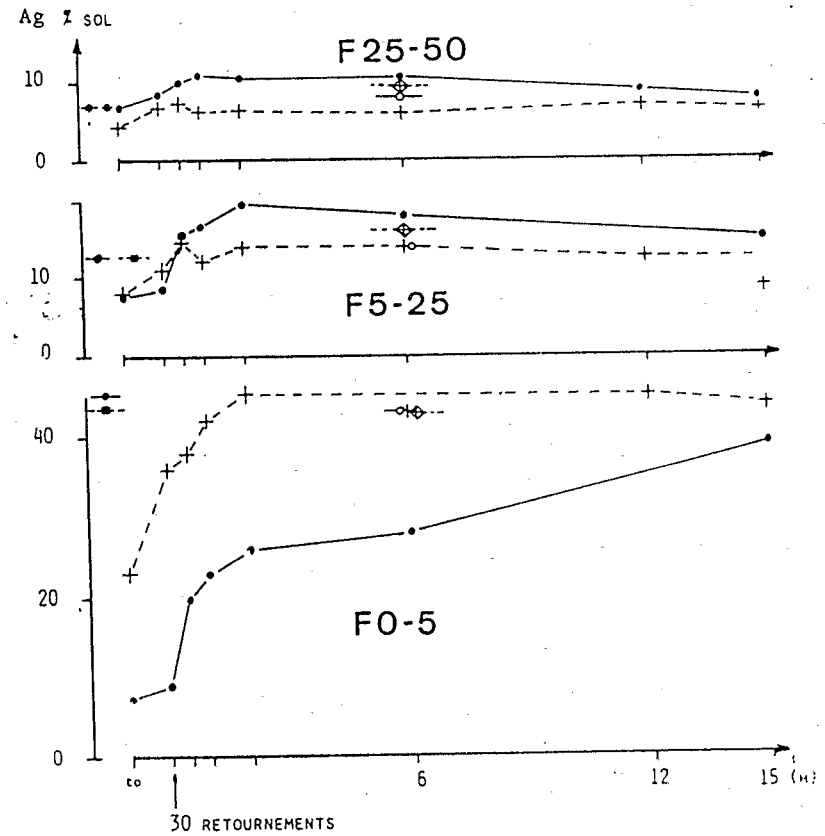
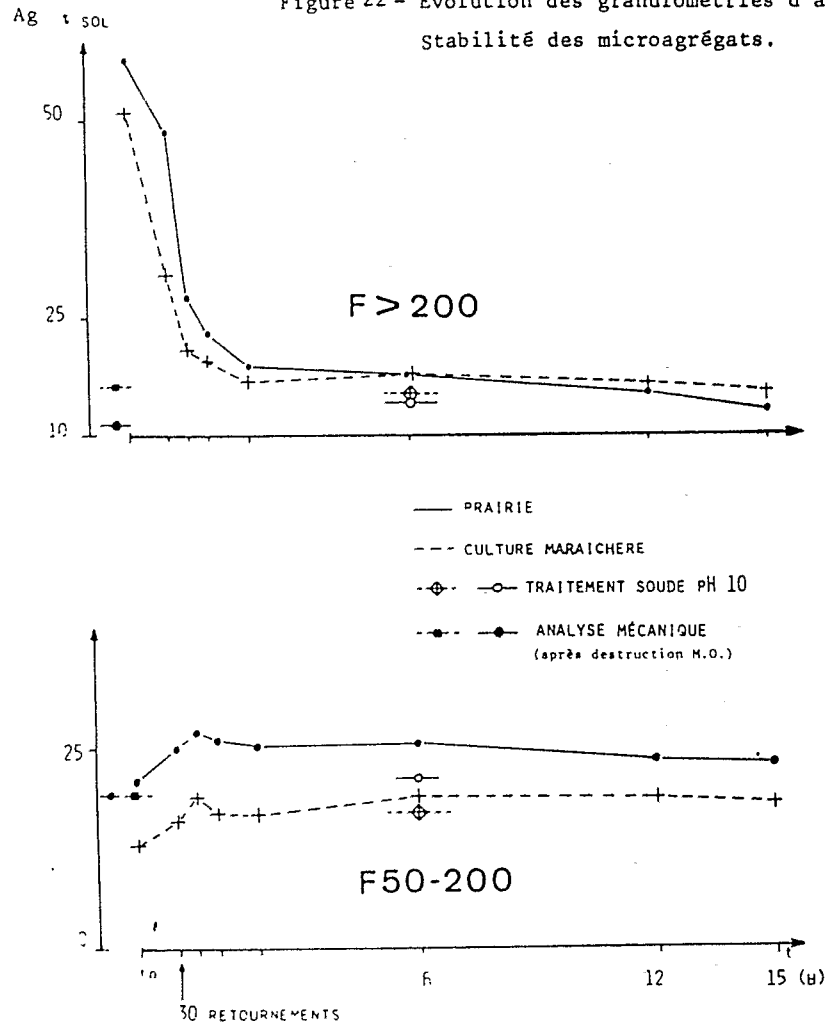
Ainsi, l'augmentation du stock organique sous prairie s'accompagne d'une transformation aussi bien des macro- que des micro-structures. Si la forte densité racinaire sous prairie permet d'expliquer la diminution de taille des agrégats structuraux c'est essentiellement l'augmentation de la matière organique dans les fractions organo-minérales (0-50 μm) qui conduit à des micro-agrégats très stables (*).

Ces résultats sont en accord avec ceux de STENGEL et al. (1984) (cité par MONNIER, 1984) qui montrent que l'augmentation du taux des agrégats stables au benzène (méthode HENIN) est fortement corrélée à l'augmentation des teneurs en carbone lié (MONNIER et al., 1962) du sol.

Des essais sont en cours dans notre laboratoire pour rechercher si une fraction humique particulière est impliquée dans cette amélioration de la microstructure mais aucun résultat définitif ne peut être encore présenté. Signalons toutefois que la soude, utilisée à faible concentration à pH 10 et qui est considérée dans ces conditions comme extractant des formes humiques les moins liées à la matrice minérale (RAFIDISON, 1982) pourrait être un réactif spécifique de la rupture des liaisons interparticulaires dans les micro-agrégats puisque les micro-agrégats 5-200 μm de l'échantillon P disparaissent après ce traitement. (fig. 22)

(*) La pérennité de cet effet sera testée au champ, ces prochaines années, par mise en culture maraîchère de la prairie.

Figure 22 - Evolution des granulométries d'agrégats d'un vertisol en fonction du temps d'agitation.
Stabilité des microagrégats.



CONCLUSION

En milieu intertropical, la matière organique du sol est un élément important de la fertilité du sol.

Les systèmes de cultures à faibles restitutions organiques induisent une diminution du stock organique du sol et une baisse de la productivité végétale. Dans ces systèmes, nombreux en milieu tropical, des apports de matière organique deviennent nécessaires.

Une méthode de caractérisation de la matière organique - le fractionnement granulométrique - permet d'appréhender des compartiments organiques ayant probablement des rôles spécifiques dans les processus pédologiques qui ont trait à la fertilité générale du sol. Notons que la méthode en question est simple, fiable et peu onéreuse. Elle peut s'appliquer aussi bien dans une approche globale de situations agro-pédologiques que dans des études très fines de processus.

C'est, donc, en développant des travaux scientifiques de ce type dans les agrosystèmes tropicaux qu'il nous sera permis :

- d'établir un inventaire exhaustif des effets des systèmes de cultures sur les propriétés des sols, la relation avec la matière organique,
- d'affiner les études sur les processus pédologiques liés au système sol-plante,
- de proposer, à moyen terme, des politiques de gestion de la matière organique dans les agrosystèmes tropicaux.

BIBLIOGRAPHIE

REFERENCES DU TEXTE

- Action Cordet - 1981 - Recyclage de la matière organique dans les sols. Rapport final de Convention. Ronéo ORSTOM Martinique, 27 p. + annexes.
- ALBRECHT (A.) - 1984 - Rôle des Enchytraecidae dans l'agrégation et l'humification d'humus de type moder de l'Est de la France. Th. 3e Cycle - Univ. de Nancy I., 99 p.
- ALBRECHT (A.), BROSSARD (M.), FELLER (C.) - 1986 - Etude de la matière organique. 2 - Augmentation par une prairie à Digitaria decumbens du stock organique de vertisols cultivés en Martinique, Comm. présentée au XIIIe Congrès International AISS, Hambourg, 1986, 2 p.
- ANDERSON (D.W.) and PAUL (E.A.) - 1984 - Organo-mineral complexes and their study by radiocarbon dating. Soil Sci. Am. J., 48, 298-301.
- BARRIUSO (E.), PORTAL (J.M.), FAIVRE (P.), ANDREUX (F.) - 1984 - Pédologie 34 (3), 257-274.
- BOISSEZON (P. de) - 1970 - Etude de complexe absorbant des sols ferrallitiques forestiers de Côte d'Ivoire. Cah. ORSTOM, sér. Pédol. 8 (4), 391-418.
- CERRI (C.C.), FELLER (C.), CHAUVEL (A.) - 1985 - Evolução das principais propriedades de um latossolo vermelho escuro cultivado por 12 e 50 anos com cana-de-açúcar (à paraître).
- CHEVIGNARD (T.) - 1985 - Etude de la formation actuelle d'horizons humifères en milieu tropical. Cas des sols de culture "remodelés" de la Martinique. Thèse Doctorat 3e cycle. Université Nancy I, 83 p.
- EGOUMINEDES (C.), OLIVER (R.) - 1980 - Effet de l'azote et du fumier sur "Terres de Barre" (Sud Bénin). 1° - Aspects "Evolution du complexe absorbant en conditions de culture intensive du maïs". Rapp. mult. IRAT Montpellier, 4 p. + annexes.
- FELLER (C.), GANRY (F.) et CHEVAL (M.) - 1981 - Décomposition et humification des résidus végétaux dans un agrosystème tropical. 1 - Influence d'une fertilisation azotée et d'un amendement organique (compost) sur la répartition du carbone et de l'azote dans différents compartiments d'un sol sableux. L'Agron. Trop., 36, 9-17.
- GANRY (F.), BIDEAU (J.) et NICOLI (J.) - 1974 - Action de la fertilisation azotée et de l'amendement organique sur le rendement et la valeur nutritionnelle d'un Mil. Souma III. L'Agron. Trop., 29, 1006-1015.
- HENIN (S.) - 1976 - Cours de physique du sol. Vol. 1. Initiations - Documentations techniques n° 28, ORSTOM Paris - EDITEST. Bruxelles, 159 p.
- MONNIER (G.) - 1984 - Recherches sur la stabilité structurale. Exemples d'applications In : Livre Jubilaire du Cinquantenaire AFES 1984, 293-297.

- MONNIER (G.), TURC (L.), JEANSON (C.) - 1972 - Une méthode de fractionnement densimétrique par centrifugation des matières organiques du sol. Ann. Agron., 13, 55-63.
- NJOH-ELONG (D.) - 1984 - Etude des pâturages artificiels de la Martinique Stage D.E.S.S., Univ. Val-de-Marne, Rapp. mult. ORSTOM Martinique, 46 p. + annexes.
- PERRAUD (A.), NGUYEN (K.H.A.), JACQUIN (F.) - 1971 - Essai de caractérisation des formes de l'humine dans plusieurs types de sols. C.R. Acad. Sci., Paris, sér. D 272, 1594-1596.
- RAFIDISON (Z.) - 1972 - Rôle de la faune dans l'humification : transformation de feuilles de hêtre par un ver anécique (*Nicodrillus velox*). Thèse Doct. Spec. Univ. Nancy I, 104 p.
- SEDOGO (M.P.) - 1983 - Activités de recherches sur l'azote. Synthèse des principaux résultats obtenus à SARIA. Doc. ronéo. IVRAZ, BURKINA FASO, 18 p.
- SIBAND (P.) - 1974 - Evolution des caractères et de la fertilité d'un sol rouge de Casamance. L'Agron. Trop., 29 (12), 1228-1248.
- STENGEL (P.), DOUGLAS (J.T.) GUERIF (J.), GOSS (M.), MONNIER (G.), CANNEL (R.Q.) - 1984 - Methods of study and factors influencing the variation of some properties of soils in relation to their suitability for direct drilling. Soil and Tillage Research. (Sous presse).