

Relation entre la stabilité structurale des sols cultivés et les apports organiques en conditions tropicales ; comparaison avec les sols forestiers.

J. GODEFROY et F. JACQUIN*

En avril 1974, J. GODEFROY, soutenait avec succès une thèse pour obtenir le titre de Docteur-Ingénieur, auprès d'un jury de l'Université de Nancy.

L'étude de l'évolution de la matière organique du sol sous cultures du bananier et de l'ananas en fournissait le thème. Cette recherche s'inscrit dans la ligne générale des travaux de J. GODEFROY sur l'étude de l'évolution des sols occupés par les principales cultures fruitières de la zone équatoriale et tropicale humide : le bananier et l'ananas.

En livrant aux lecteurs de «Fruits» une relation des résultats contenus dans sa thèse, complétés par ses toutes dernières acquisitions, J. GODEFROY ne manque pas d'en tirer les conclusions et les enseignements pratiques de la plus haute importance pour tous ceux qui connaissent l'incidence de la dégradation ou au contraire de l'amélioration de la structure des sols sur le rendement des cultures fruitières. On verra dans ses recommandations, apparaître les préoccupations de l'agronome généraliste qu'il n'a cessé d'être en se spécialisant. Il établit un bilan entre les différentes solutions pratiques d'amélioration des sols dans lequel il inclut même les facteurs parasitaires.

Il apporte aussi une preuve supplémentaire de l'efficacité d'une recherche à application immédiate, enrichissant également les connaissances scientifiques en une matière où les connaissances fondamentales demeuraient encore fragmentaires.

Il montre aussi que l'isolement géographique des chercheurs expatriés peut être compensé par des relations de travail suivies avec d'éminents spécialistes auxquels il m'est agréable d'adresser mes plus vifs remerciements pour leurs concours efficaces : au Professeur DUCHAUFOR qui a bien voulu présider le jury de thèse, aux Professeurs JACQUIN et DOMMARGUES qui ont guidé les travaux de J. GODEFROY, et bien sûr au Professeur G. AUBERT qui, pour être cité le dernier, n'en sait pas moins la gratitude que nous lui témoignons pour son immense contribution aux progrès de l'IFAC.

J. CUILLE.

RELATION ENTRE LA STABILITE STRUCTURALE DES SOLS CULTIVES ET LES APPORTS ORGANIQUES EN CONDITIONS TROPICALES ; COMPARAISON AVEC LES SOLS FORESTIERS

J. GODEFROY et F. JACQUIN

Fruits, oct. 1975, vol. 30, n°9, p. 595-612.

RESUME - La mise en culture des sols forestiers entraîne généralement un abaissement de leur teneur en matière organique ; il se manifeste les trois ou quatre premières années, ensuite le bilan humique s'équilibre ; cette variation en m.o. s'accompagne d'une décroissance de la stabilité des agrégats, mais à l'inverse du bilan humique cette dégradation de la structure se poursuit plus longtemps.

Cette étude réalisée à partir de sols situés sous climat tropical (ferrallitiques et hydromorphes minéraux) a confirmé le rôle impor-

tant de la m.o. et particulièrement celui des produits transitoires de l'humification sur la stabilité structurale ; toutefois, compte tenu de la biodégradabilité de ces produits dans les sols situés sous climat tropical, leur action sur l'agrégation est de plus courte durée que dans les sols des régions tempérées.

L'amélioration de la structure par les amendements organiques (fumier ou résidus de culture) est liée davantage à un accroissement de la cohésion (Aga) des agrégats qu'à une diminution de leur mouillabilité (Agb) ; inversement, la dégradation de la structure des sols forestiers après leur mise en culture est due plus à un accroissement de la mouillabilité des agrégats, qu'à une diminution de la cohésion. En comparant les interactions entre teneur et qualité de la matière organique, on met en évidence le rôle essentiel des composés organiques précurseurs de l'humidification ; leur rôle sur la stabilité structurale est lié à leur composition biochimique, mais aussi au rythme des apports.

Enfin la fumure minérale intervient positivement mais indirectement sur les propriétés physiques et le bilan humique des sols cultivés,

* - IFAC, B.P. 1740, ABIDJAN (République de Côte d'Ivoire).

** - Laboratoire matière organique et environnement, INPL - ENSALA, 38 rue Sainte Catherine, 54000 NANCY.

Le bilan humique est la résultante de plusieurs facteurs : les taux d'humification primaire et secondaire qui sont deux facteurs positifs, les minéralisations primaire et secondaire qui sont des facteurs négatifs. Dans les sols tropicaux, les conditions de température et d'humidité sont très favorables aux facteurs négatifs et par conséquent à une biodégradation intense de la M.O. On peut se demander si la matière organique joue un rôle identique sur la structure du sol à celui observé dans les sols de climat tempéré, ou si son action est différente.

La présence, sur les stations IFAC d'Azaguié et d'Angué-dédou (Côte d'Ivoire), d'essais d'amendements organiques en bananeraie et en culture d'ananas nous a permis d'étudier s'il existait des corrélations entre la teneur en M.O. du sol et la stabilité structurale. Parallèlement nous avons suivi, sous culture et sous forêt, l'évolution de la structure et des différentes formes de carbone. Nous avons, particulièrement, porté notre attention sur l'évolution du C facilement biodégradable et des polysaccharides, les travaux de divers chercheurs dont MONNIER (1965) et GUCKERT (1973) ayant montré le rôle important des produits transitoires de l'humification et des polysaccharides sur la structure des sols des régions tempérées.

Afin de donner une portée plus générale aux observations faites sur station expérimentale, nous avons comparé, dans différentes régions de Côte d'Ivoire, l'évolution conjointe du même type de sol sous culture et sous forêt. D'autre part, pour préciser certains mécanismes de l'action de la matière organique sur la formation et la stabilité des agrégats nous avons été amenés à procéder à une expérimentation sur modèles au laboratoire et au champ.

ETUDE AU CHAMP

Conditions expérimentales.

L'essai en bananeraie est réalisé sur la station IFAC d'Azaguié, celui en culture d'ananas sur la station IFAC d'Angué-dédou. Les deux stations, distantes d'une trentaine de kilomètres, sont situées dans le sud de la Côte d'Ivoire. Dans les deux cas la mise en culture a été faite après abattage de la forêt dense humide sempervirente : en 1955 (bananier) et en 1960 (ananas).

• Sols (*)

Le sol de la bananeraie est un sol ferrallitique fortement désaturé, issu de schistes, mais dont les caractéristiques chimiques de l'horizon de surface ont été profondément modifiées au cours des 20 années de culture. En particulier, les apports d'amendements minéraux et organiques ont eu pour effet d'augmenter le degré de saturation en cations du complexe absorbant (V) et corrélativement de diminuer l'acidité (forêt : V = 10 p. cent, pH = 4,0 ; bananeraie : V = 70 p. cent, pH = 5,5). Précisons que morphologiquement, le sol de bananeraie n'est pas différent du sol forestier. La texture de l'horizon 0-25 est sablo-argileuse (1 - figure 2).

Les parcelles expérimentales «ananas» sont également implantées sur un sol ferrallitique fortement désaturé mais

dont la roche mère est constituée de sables argilo-ferrugineux. La texture de l'horizon supérieur est sablo-argileuse ; la fraction limoneuse est plus faible et la fraction sableuse plus élevée que celles du sol de bananeraie : (11-figure 2).

Les prélèvements de terre destinés aux analyses sont effectués en saison sèche (janvier - février) dans l'horizon supérieur (0-25 cm). Il nous a paru indispensable pour suivre l'évolution d'un sol que les prélèvements soient faits chaque année à la même période ; on connaît, en effet, l'importance des facteurs climatiques sur l'évolution de la matière organique et de la structure du sol (HENIN 1939 ; COMBEAU et QUANTIN 1963 ; MONNIER 1965 ; GODEFROY 1969 ; GUCKERT 1973 ; JACQUIN, MERLET 1975 ; TURENNE 1975).

• Climat.

Les climats des stations d'Azaguié (altitude 80 m) et d'Angué-dédou (altitude 10 m), de type tropical humide, sont extrêmement voisins. Ils se caractérisent par l'existence de deux saisons des pluies : la plus intense et la plus longue présente un maximum en juin, la plus courte est centrée sur octobre. Elles sont séparées par la petite «saison sèche» d'août-septembre. La grande saison sèche dure en moyenne de trois à quatre mois, centrée sur janvier et février (figure 1).

La pluviosité moyenne annuelle est un peu plus élevée à Angué-dédou qu'à Azaguié : 2090 et 1740 mm (moyenne de 12 années), cette différence est due à la plus forte intensité de la saison des pluies à Angué-dédou.

La température moyenne est élevée : Azaguié 26,2°C, Angué-dédou 25,5°C et les variations annuelles sont de faible amplitude : 2 à 4°C. Les moyennes mensuelles des températures minimales et maximales varient peu autour de 21 et 31°C.

L'évapotranspiration potentielle est, également, élevée : 80 à 130 mm par mois avec une moyenne annuelle de 1210 mm (Angué-dédou) et 1345 mm (Azaguié). Compte tenu de la répartition des pluies, le drainage annuel est supérieur à la différence : pluie - ETP ; il varie très fortement suivant les années mais est toujours élevé : 500 à plus de 1000 mm.

• Traitements.

Dans l'essai en bananeraie commencé depuis 16 années (1958), on compare quatre traitements qui sont répétés six fois (blocs de Fischer).

1. témoin sans apports organiques autre que les résidus de culture (T)
2. paillis (P)
3. fumier (F)
4. paillis plus fumier (P plus F).

Le paillage est effectué avec des tiges et des feuilles de guatemala grass cultivé à cet effet. Les quantités apportées, initialement, de 50 t/ha ont été augmentées à 80 t/ha à partir de 1967.

Le fumier est fabriqué avec de la litière de bovins composée principalement de guatemala grass ; il est enfoui par un labour manuel superficiel (20 à 30 cm) au croc à quatre dents. Les quantités apportées ont été de 75 t/ha puis de 120 t/ha à partir de 1970.

* - Une description détaillée des caractéristiques des sols est donnée dans la thèse de J. GODEFROY, 1974.

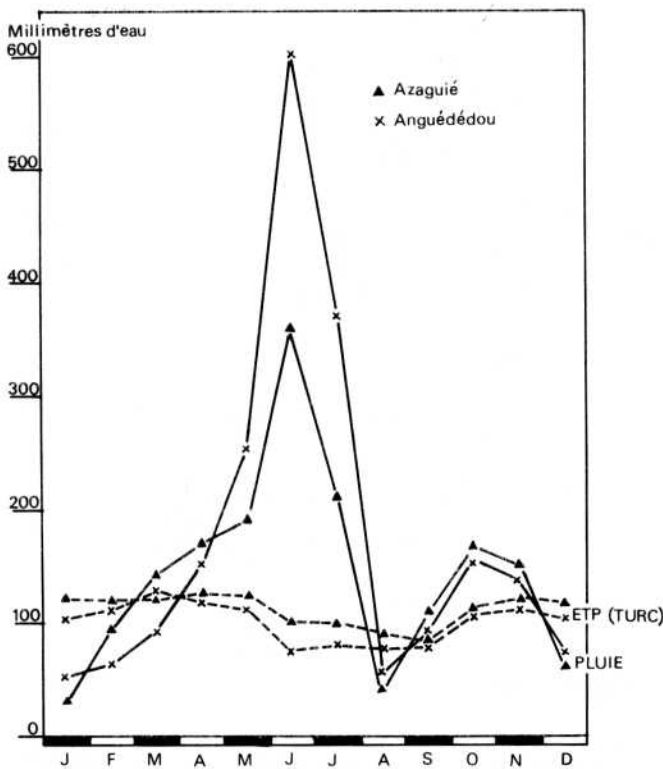
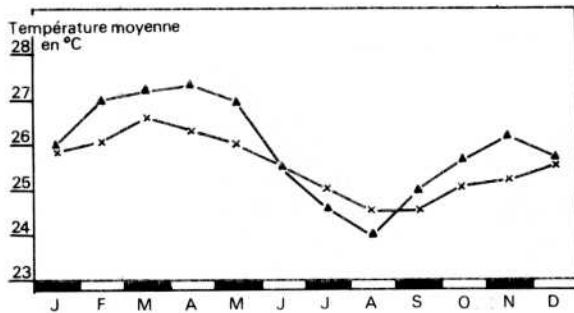


fig. 1 • Données climatiques. Moyennes des dix années.

Les amendements organiques sont appliqués à **chaque** replantation soit tous les deux ans et demi ou **trois ans** (6 apports en 16 années). Tous les traitements (y compris le témoin) reçoivent la même fertilisation minérale : N.P.K.Ca. Mg (moyenne annuelle en kg/ha : N = 370, P₂O₅ = 45, K₂O = 620, CaO = 370, MgO = 180). Des études antérieures ont, en effet, montré qu'il n'était pas possible, dans ce sol, d'obtenir une production de régimes remplissant les normes de commercialisation, sans fertilisation minérale.

Dans l'essai en culture d'ananas commencé en 1960 (14 années) on compare également quatre traitements, mais qui sont différents de ceux en culture bananière.

1. témoin : aucune fumure (T)
2. fumure minérale (FM)
3. fumure organique (FO)
4. fumure minérale plus fumure organique (FM plus FO).

La nature de la fumure organique a fortement varié au cours de l'étude. Il s'agit soit de fumier artificiel fait avec des déchets d'ananas et d'herbes provenant du désherbage, soit de compost fabriqué avec les ordures ménagères de la ville d'Abidjan (Humuci), soit de fumier de bovins provenant des parcs de la zone périphérique des abattoirs. Les quantités apportées à chaque replantation, soit tous les 20 ou 24 mois; ont varié en cours d'essai pour des raisons d'approvisionnement, elles se situent entre 30 et 40 t/ha entre 1960 et 1971; la dernière application (1973) a été de 100 t/ha. La fertilisation minérale apporte de l'azote, du potassium et du magnésium (moyenne par cycle de 20 à 24 mois en kg/ha : N = 250, K₂O = 500, MgO = 175).

• Choix des profils pédologiques sous culture et sous forêt

La situation des deux stations expérimentales : en lisière de forêt, permet de comparer l'évolution des sols en culture avec celle des sols forestiers dans des conditions pédoclimatiques identiques. Cette comparaison a été étendue à quatorze plantations situées dans diverses régions de Côte d'Ivoire. Le choix des sites, assez limité compte tenu du fait que les îlots forestiers à proximité des plantations industrielles sont de plus en plus rares, a été fait en fonction des critères suivants :

- a) situation géographique et topographique identique,
- b) même groupe de sol et texture de l'horizon supérieur identique (figure 2),
- c) absence de cultures vivrières dans la forêt depuis au moins 25 années,
- d) plantations de bananes ou d'ananas cultivées pour la production industrielle depuis un minimum de cinq années et, dans la mesure du possible, sol ayant été cultivé avec la même plante depuis la déforestation. Ce dernier n'a pu être respecté dans trois stations en culture d'ananas et dans une station en culture bananière (tableaux 1 et 2).

Afin de pouvoir faire une étude statistique, nous avons prélevé dans chaque station douze échantillons de terre (six forêt et six culture) constitués chacun de neuf prélèvements « ponctuels » ; au total l'étude porte sur 192 échantillons.

• Caractéristiques des résidus de culture.

Pour les deux plantes étudiées les résidus de culture constituent un apport substantiel de matière organique. En bananeraie les résidus sont constitués des stipes et des feuilles coupés au moment de la récolte du régime, des rhizomes et des racines qui se décomposent dans le sol. A ces apports au moment de la récolte du régime s'ajoutent, en cours de végétation, ceux constitués par les feuilles sénescentes qui sont coupées. La récolte durant trois à quatre mois, l'apport des résidus s'étale sur la même période. Dans les conditions pédoclimatiques d'Azaguié, l'intervalle de temps entre deux récoltes étant en moyenne d'un an, l'ensemble de la masse végétale d'une bananeraie retourne au sol une fois par an. Cette masse de résidus frais représente 150 à 200 t/ha soit 10 à 15/ha/an de matière sèche.

Le mode de restitution des résidus de culture d'une plantation d'ananas diffère de celui d'une bananeraie. Leur apport, à l'exception des racines, n'est pas étalé dans le temps. Toute la masse végétale est enfouie en une seule fois, après production d'un fruit et d'un ou plusieurs rejets (cycle), soit tous les 20 à 24 mois. Les résidus de culture

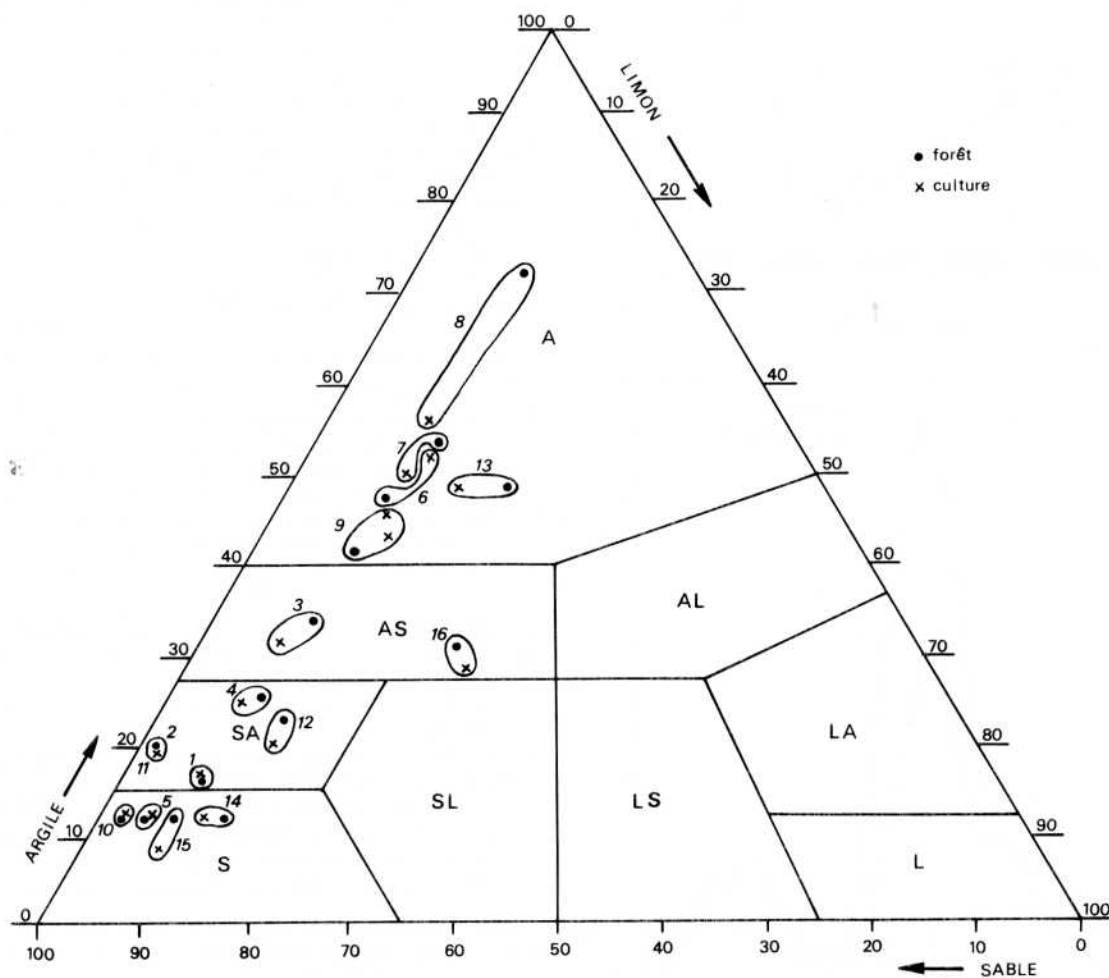


fig. 2 • Caractéristiques texturales des sols des diverses stations.

sont constitués des feuilles, des tiges, des rhizomes et des racines. En bonne plantation les résidus frais sont de 100 à 120 t/ha, soit 20 à 25 t/ha de matière sèche tous les 20 ou 24 mois. Ces quantités de résidus représentent un apport du même ordre de grandeur que pour une bananeraie, mais la fréquence des restitutions est différente.

En résumé, les résidus de culture du bananier et de l'ananas comparés à ceux des autres cultures tropicales non pérennes représentent une masse de matière sèche relativement élevée. Il faut mentionner que, quantitativement, ces restitutions sont similaires aux retombées de matière organique sous forêt équatoriale et tropicale humide qui sont elles-mêmes de l'ordre de 10 à 15 t/ha/an (JENNY et al, 1949 ; LAUDELOUT et MEYER, 1954 ; NYE, 1961 ; BERNHARD, 1970).

● Principe des déterminations analytiques.

- Matière organique.

a) séparation densimétrique.

Cette opération consiste à débarrasser le sol des débris organiques non transformés, n'ayant pas contracté de liai-

sons avec la fraction minérale, d'où le terme de « matière organique libre », par opposition avec la fraction dense ou « liée » représentant la matière organique intimement incorporée au sol minéral (MONNIER et al, 1962).

Le dosage du carbone total, des fractions libres et liées, est effectué par la méthode ANNE.

b) carbone facilement biodégradable.

Nous avons utilisé la méthode macro-respirométrique mise au point par DOMMARGUES (1960). L'échantillon de terre (50 g) est enfermé dans un bocal étanche (1 litre) où le gaz carbonique est absorbé par de l'alcali (soude) puis dosé. On mesure la quantité de gaz carbonique dégagé par la terre mise en incubation à 30°C pendant 7 jours, à une humidité correspondant au pF 2,5. Le coefficient de minéralisation du carbone facilement biodégradable est par définition C du CO₂/C total p. cent.

c) polysaccharides.

La méthode d'extraction est celle décrite par GUCKERT (1973). Après extraction des sucres hydrosolubles (eau à 80°C pendant 24 h), les polysaccharides sont extraits par

TABLEAU 1 - Caractéristiques pédoclimatiques des stations observées : bananier

Localisation	Pluviosité annuelle (mm)	Site	Sol	Culture
1. Azaguié IFAC	1.700	milieu de pente (pente moyenne)	ferrallitique, fortement désaturé issu de schistes, sablo-argileux.	bananier 20 années
2. Anguédédou IFAC	2.000	plateau	ferrallitique fortement désaturé issu de sables argilo-ferrugineux, sablo-argileux.	ananas 6 années, puis bananier 8 années
3. Ayamé Plantation Malan	2.000	bas de pente (pente moyenne)	ferrallitique moyennement désaturé issu de schistes, argilo-sableux.	bananier 10 années
4. Aboisso Plantation Dominique	2.000	bas de pente (pente moyenne)	ferrallitique fortement désaturé issu de granites, sablo-argileux.	bananier 5 années minimum
5. Abié Plantation C.B.M.	1.700	bas-fond	hydromorphe minéral, tacheté à partir de 30 cm de profondeur, sableux.	bananier plus de 10 années
6. Akressi Plantation Grégoire	2.000	bas-fond	hydromorphe minéral, tacheté dès la surface, argileux.	bananier 5 années
7. Dibi Plantation Manoin	2.000	bas-fond	hydromorphe minéral, tacheté dès la surface, argileux.	bananier plus de 10 années
8. Aboisso Plantation SPE	2.000	terrasse alluviale de la BIA	hydromorphe minéral, tacheté dès la surface, argileux.	bananier 10 années
9. Adiasso Plantation S.C.B.	1.400	terrasse alluviale du COMOÉ	hydromorphe minéral à hydromorphie de profondeur, argileux.	bananier 1,5 et 10 années

TABLEAU 2 - Caractéristiques pédoclimatiques des stations observées : ananas

Localisation	Pluviosité annuelle (mm)	Site	Sol	Culture
10. Ono Plantation SALCI	2.000	plateau	ferrallitique fortement désaturé issu de sables argilo-ferrugineux, sableux.	ananas plus de 10 années
11. Anguédédou IFAC	2.000	plateau	ferrallitique fortement désaturé issu de sables argilo-ferrugineux, sablo-argileux.	ananas 15 années
12. Brimbo Plantation SAFCO	1.400	haut de pente (pente forte)	ferrallitique faiblement désaturé issu de roches basiques, sablo-argileux, très graveleux.	bananier plus de 10 années puis ananas 5 années
13. Brimbo Plantation SAFCO	1.400	milieu de pente (pente faible)	ferrallitique faiblement désaturé issu de roches basiques, argileux.	idem 12
14. Hérébankono Plantation SODEFEL	1.400	plateau	ferrallitique faiblement désaturé issu de granites, sableux.	ananas 8 à 10 années
15. Hérébankono Plantation SODEFEL	1.400	milieu de pente	ferrallitique faiblement désaturé issu de granites, sableux.	ananas 6 années
16. Brimbo Plantation SAFCO	1.400	plaine alluviale du BANDAMA	hydromorphe minéral, à hydromorphie de profondeur, argilo-sableux.	bananier plus de 10 années, puis ananas 4 années

hydrolyse avec l'acide sulfurique 3 N à 80°C pendant 24 h. Après neutralisation de l'hydrolysat par la soude 3 N, les sucres sont dosés par la méthode de NELSON (1944).

- Structure.

La stabilité structurale est déterminée suivant la méthode HENIN et al (1958). Nous ne reproduisons pas le mode opératoire décrit par HENIN et ses collaborateurs, ni la théorie de la stabilité structurale énoncée par ces auteurs ; nous nous limiterons à résumer la signification des différents tests.

Une première série de tests consiste à définir la proportion d'agrégats stables à l'eau, d'échantillons humectés par des liquides organiques dans le but d'apporter des nuances à l'action directe de l'eau sur la terre sèche.

Le premier test (échantillon prétraité à l'alcool éthylique) permet d'apprécier la **cohésion**.

Le deuxième test (échantillon prétraité au benzène) fait ressortir le rôle des matières organiques sur la stabilité de la structure en accentuant les effets de la **non mouillabilité**.

Le troisième test, qui est le même que les deux précédents mais sur la terre qui n'a subi aucun prétraitement, souligne l'action du phénomène d'éclatement, en comparaison avec les prétraitements à l'alcool et au benzène.

Ainsi, nous disposons d'une série de tests qui permettent d'accentuer le comportement spécifique de la terre. Dans la suite du texte, nous emploierons comme symboles pour désigner les agrégats obtenus :

Aga pour l'alcool
Age pour l'air
Agb pour le benzène

Nous désignerons par agrégats «vrais» la différence : agrégats moins sables grossiers (Sg : Ø 0,2 à 2,0 mm). Tous les résultats (tableaux et figures) que nous présentons dans cet article sont exprimés en taux d'agrégats vrais.

Pour nuancer les résultats, distinguer les assemblages de taille inférieure à 0,2 mm, on a choisi de déterminer l'ensemble des particules inférieures à 20 microns (A + L) dans le traitement où le taux d'agrégats est le plus faible (benzène).

Afin de combiner dans une même formule ces différents tests les auteurs ont proposé un indice dit **indice d'instabilité** qui est par définition :

$$I_s = \frac{\text{particules inférieures à 20 microns (\% maximum)}}{\text{Aga + Age + Agb (\%)} - 0,9 \text{ Sg (\%)}}$$

L'indice I_s exprime l'instabilité c'est-à-dire qu'il est d'autant plus élevé que la structure est moins stable. En revanche, une augmentation des taux d'agrégats traduit un accroissement de la stabilité de la structure.

A cette première série de tests on adjoint une épreuve complémentaire qui est une mesure de vitesse de filtration de l'eau sur une colonne de terre. Ce test s'exprime sous forme d'indice dit de perméabilité : **K cm/heure**.

Résultats et discussions.

● Action des apports organiques sur le bilan humique.

L'apport de fumure organique accroît la teneur en matière organique du sol et celle en polysaccharides mais il ne modifie pas la valeur du rapport C polysaccharides/C total (tableaux 3 et 4). Le fumier est plus enrichissant que le paillis mais il faut noter que les quantités apportées, exprimées en matière sèche, sont de 75 p. cent supérieures dans les traitements «fumier». Il y a une interaction positive très nette de l'action du paillis et du fumier apportés ensemble : l'effet «paillis + fumier» est supérieur à la somme de l'effet «paillis» plus effet «fumier». Ainsi, pour les cinq dernières années l'augmentation en carbone du sol due à l'interaction des deux amendements organiques est en moyenne de 30 p. cent. Cette action du paillis sur le ralentissement de la biodégradation du fumier peut être attribuée à un léger abaissement de la température du sol (figure 3). Il est donc préférable de faire des apports de fumier moins importants avec du paillis que des apports élevés sans paillis.

● Action des apports minéraux sur le bilan humique.

Sous culture d'ananas, la fertilisation minérale (N - K - Mg) a une action positive sur le bilan humique (tableau 4) ; cette action est en relation avec l'accroissement de la production de résidus de culture, celle-ci est en effet de l'ordre de 25 t/ha par cycle dans les parcelles fertilisées et seulement de 10 t/ha dans le témoin.

L'essai en bananeraie ne permet pas de mettre en évidence le rôle de la fertilisation minérale sur le bilan de la matière organique, toutes les parcelles étant fertilisées. Nous savons seulement que, d'une façon générale, la production de résidus croît avec le niveau de fertilité du sol. Ainsi, dans un essai de fumure azotée réalisé à Azaguié, les quantités de résidus ont été respectivement de 6 t/ha (N₀) et 13 t/ha(N₁) par cycle.

Il faut, également, souligner le rôle positif des amendements sur le bilan humique et sur la stabilité de la M.O. (GUCKERT 1973, GODEFROY, 1974).

● Relations entre la structure et la teneur en M.O.

En liaison avec les augmentations de la teneur en M.O. du sol, la fertilisation minérale ou organique accroît la stabilité structurale du sol : augmentation des taux d'agrégats stables à l'eau, et diminution de l'indice d'instabilité (tableaux 5 et 6). Comme nous l'avons observé pour la matière organique, il y a une interaction positive sur la stabilité structurale du paillis et du fumier apportés ensemble.

L'étude des corrélations, entre la teneur en carbone total et les différents tests d'estimation de la structure (Aga, Age, Agb, A + L maxi., I_s), confirme le rôle de la matière organique sur la structure du sol. Les coefficients de corrélation «r» sont toujours élevés, généralement supérieurs au seuil de probabilité P = 0,01 (tableau 7). Pour l'indice de perméabilité il n'y a de corrélations étroites que dans le cas du sol de bananeraie ; dans le sol en culture d'ananas à texture plus sableuse les corrélations sont beaucoup plus lâches ou même inexistantes.

Pour une même teneur en matière organique, la structure est plus stable quand l'humus a pour origine des apports de

TABLEAU 3 - Matière organique dans les divers traitements de la bananeraie et sous forêt (moyennes des cinq dernières années 1970 à 1974).

	Forêt	bananeraie				p.p.d.s. 5 p. cent
		témoin	paillis	fumier	paillis + fumier	
C total p. mille	12,1	12,6	14,2	17,0	22,4	2,7
N total p. mille	0,96	1,03	1,11	1,36	1,86	0,19
C/N	12,6	12,3	12,5	11,6	12,1	0,5
mg de polysaccharides p. cent g de terre	229	203	220	253	311	45
C poly./C total p. cent	7,8	6,4	6,3	6,1	5,7	0,8

TABLEAU 4 - Matière organique dans les divers traitements de l'essai «ananas» et sous forêt (moyennes des cinq dernières années 1970 à 1974).

	Forêt	ananas				p.p.d.s. 5 p. cent
		témoin	fumure minérale	fumure organique	fumure minérale + fumure organ.	
C total p. mille	15,7	9,3	10,3	11,1	11,7	0,9
N total p. mille	1,04	0,62	0,68	0,78	0,85	0,06
C/N	15,1	15,0	15,2	14,3	13,8	0,4
mg de polysaccharides p. cent g de terre	207	129	143	131	152	11
C poly./C total p. cent	5,2	5,5	5,6	4,9	5,4	NS

TABLEAU 5 - Caractéristiques structurales dans les divers traitements de la bananeraie et sous forêt (moyennes des cinq dernières années : 1970 à 1974)

	Forêt	bananeraie				p.p.d.s. 5 p. cent
		témoin	paillis	fumier	paillis + fumier	
Indice d'instabilité : I ₅	1,10 (100)*	2,37 (216)	2,42 (220)	1,52 (138)	0,95 (86)	0,20 (18)
Agrégats «vrais» alcool p. cent	12,5 (100)	9,9 (79)	11,6 (93)	13,2 (106)	18,6 (150)	1,9 (15)
Agrégats «vrais» benzène p. cent	5,4 (100)	1,6 (30)	2,1 (39)	3,3 (61)	6,2 (115)	1,1 (21)
Indice de perméabilité K cm/h	1,9 (100)	0,8 (42)	0,8 (42)	1,2 (63)	1,7 (90)	0,2 (11)

* entre parenthèses : valeurs indiciaires.

TABLEAU 6 - Caractéristiques structurales dans les divers traitements de l'essai «ananas» et sous forêt. (moyennes des cinq dernières années : 1970 à 1974).

	Forêt	ananas				p.p.d.s. 5 p. cent
		témoin	fumure minérale	fumure organique	fumure min. + fumure or.	
Indice d'instabilité : I ₅	0,56 (100)*	1,29 (230)	1,18 (211)	1,12 (200)	0,98 (175)	0,10 (18)
Agrégats «vrais» alcool p. cent	18,0 (100)	13,4 (74)	12,7 (71)	14,9 (83)	14,7 (82)	0,7 (4)
Agrégats «vrais» benzène p. cent	5,7 (100)	1,2 (21)	1,6 (28)	1,5 (26)	2,0 (35)	0,4 (6)
Indice de perméabilité : K cm/h	11,4 (100)	3,1 (27)	4,0 (35)	2,2 (19)	4,2 (37)	2,8 (25)

* entre parenthèses : valeurs indiciaires

TABLEAU 7 - Valeur des coefficients de corrélation «r» entre la teneur du sol en carbone total et les divers tests de stabilité de la structure *.

	bananeraie					ananas				
	1970	1971	1972	1973	1974	1970	1971	1972	1973	1974
agrégats «vrais» alcool	0,92	0,91	0,89	0,94	0,92	0,59	0,60	0,28	0,46	0,81
agrégats «vrais» eau	0,95	0,94	0,88	0,94	0,97	0,58	0,54	0,54	0,57	0,81
agrégats «vrais» benzène	0,94	0,94	0,82	0,93	0,97	0,37	0,78	0,59	0,72	0,84
A+L maximum	-0,55	-0,73	-0,72	-0,76	-0,68	-0,61	-0,50	-0,27	-0,56	-0,66
Indice d'instabilité : I ₅	-0,83	-0,80	-0,89	-0,86	-0,84	-0,80	-0,85	0,52	-0,71	-0,82
Indice de percolation : K cm/h	0,69	0,92	0,82	0,91	0,87	0,47	0,12	0,32	0,39	0,02

* signification : ananas : P = 0,05 pour r = 0,40 ; P = 0,01 pour r = 0,51
bananier : P = 0,05 pour r = 0,47 ; P = 0,01 pour r = 0,59

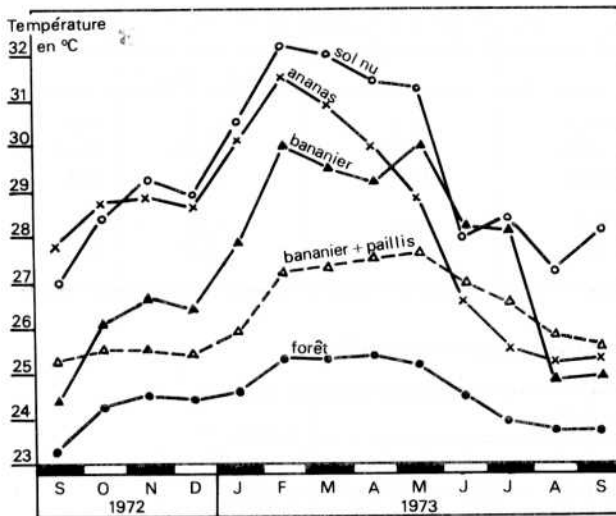


fig. 3 • Température moyenne du sol à 10 cm de profondeur en fonction du couvert végétal. Sol jaune ferrallitique. Station IFAC, Azaguié.

fumier et de résidus de culture que s'il provient uniquement des restitutions par la plante. Cette différence qualitative suggère que la matière organique produite à partir du fumier, n'a pas les mêmes caractéristiques biochimiques ni les mêmes actions que celle provenant de l'humification des résidus de récolte. L'action du paillis n'apparaît pas différente de celle de la matière végétale de bananier.

L'intensité des liaisons, entre les caractéristiques structurales et la matière organique liée à la fraction minérale

(C lié), est du même ordre qu'avec la matière organique totale (tableau 8). Le fait que la teneur en carbone lié, pour une station déterminée, soit sensiblement proportionnelle à la teneur en carbone total (76 à 80 p. cent à Azaguié, 80 à 85 p. cent à Anguédedou), explique les faibles différences entre les valeurs de «r» et ne permet pas d'explicitier le rôle spécifique de la fraction liée sur la structure.

L'étude, année par année, met bien en évidence le rôle favorable de la matière organique sur la stabilité structurale. L'étude dans le temps montre, toutefois, que l'évolution à long terme de la structure et de la matière organique est différente. Alors que les niveaux en carbone et en azote organique varient peu, pour un même traitement, au cours des années, la stabilité structurale diminue (GODEFROY, 1974). L'examen des droites de régression de l'évolution de la structure et de la matière organique du sol en fonction du temps, dans les traitements correspondant aux conditions réelles de culture industrielle traduit bien une évolution différente (figures 4 et 5). Une interprétation de cette divergence peut être la suivante : a) la matière organique évolue au cours des années de culture vers des formes de plus en plus stables, donc plus condensées, tandis que la production de substances transitoires de l'humification diminue ; rappelons que ces dernières ont un rôle essentiel sur l'édification des agrégats, b) les conditions de milieu créées par la culture ont un effet défavorable sur la structure : action dégradante des pluies ou de l'irrigation, tassement du sol dû aux nombreux passages de la main-d'oeuvre ou des engins nécessités par les travaux culturaux.

Il semble, toutefois, que dans des conditions culturales données, la dégradation de la structure ne dépasse pas un certain seuil ; dans les sols d'Azaguié et d'Anguédedou les taux d'agrégats «vrais» benzène paraissent se stabiliser à une valeur voisine de 2 p. cent. Ce seuil est atteint après 7 et 14 années de culture d'ananas et de bananiers.

TABLEAU 8 - Comparaison des coefficients de corrélation «r» entre l'indice d'instabilité I₅ et les teneurs en carbone total ou lié.

	bananeraie			ananas		
	1969	1970	1971	1969	1970	1971
C total	-0,74	-0,83	-0,80	-0,42	-0,80	-0,85
C lié	-0,73	-0,77	-0,80	-0,44	-0,80	-0,85

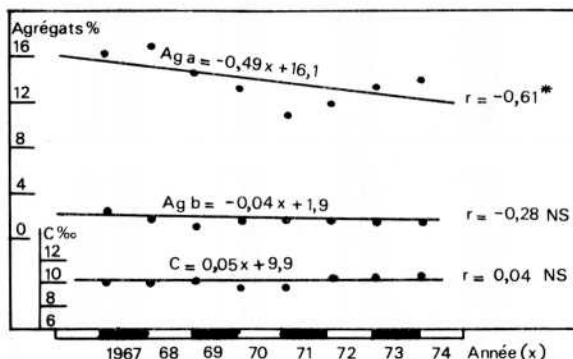


Figure 4. Évolution de la matière organique et de la structure du sol sous culture d'ananas : traitement avec fertilisation minérale seule.

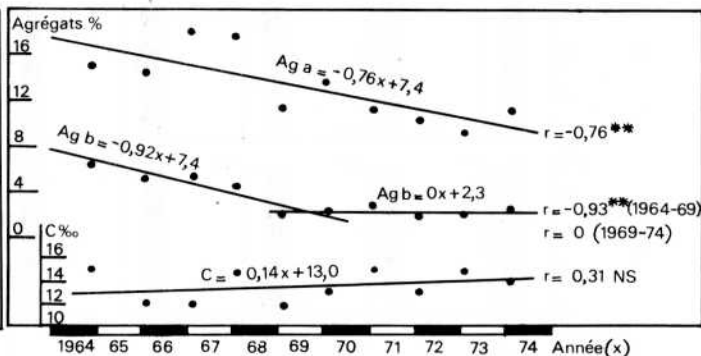


Figure 5. Évolution de la matière organique et de la structure du sol sous bananeraie : traitement «paillis plus fertilisation minérale».

COMPARAISON ENTRE SOLS FORESTIERS ET CULTIVÉS

Les bananeraies de Côte d'Ivoire sont établies principalement sur deux classes de sols : les sols ferrallitiques et les sols hydromorphes. Les plantations d'ananas se rencontrent sur les mêmes sols mais le plus fréquemment sur les sols ferrallitiques. Notre étude comparative des sols cultivés et forestiers porte sur ces deux classes (tableaux 1 et 2). Notons que dans les sols cultivés l'hydromorphie est fortement réduite grâce au drainage réalisé à la mise en valeur.

Dans toutes les stations observées la formation forestière est représentée par la forêt dense humide sempervirente qui se caractérise par un peuplement fermé, pluristrate, constitué d'une strate supérieure de grandes essences. La persistance du feuillage est un caractère important pour le cycle de la matière organique et la constance du microclimat intérieur. La forêt sempervirente est liée à un climat de type tropical humide dont les caractéristiques ont été exposées précédemment.

Matière organique.

a) aspect quantitatif.

Une caractéristique des sols forestiers étudiés concerne l'étendue des variations des teneurs en matière organique de l'horizon de surface, même à l'intérieur d'une même classe de sol (valeurs extrêmes en C : 9,3 à 49,5 p. mille). Lors d'une étude sur la matière organique des sols forestiers de Côte d'Ivoire, de BOISSEZON (1970) observe des variations de la même importance. Dans les dix sols ferrallitiques sous forêt, nous avons pu relier les teneurs en M.O. à celles en argile (A) et en limon fin (L) : les coefficients de corrélation «r» sont respectivement de 0,92** pour l'argile, de 0,70 * pour le limon et de 0,92 ** pour A + L. Par contre, dans les sols hydromorphes, nous n'avons pu mettre en évidence de corrélations compte tenu de la grande variabilité du degré d'hydromorphie des divers profils.

La teneur en matière organique est en moyenne plus faible de 14 p. cent sous bananeraie que sous forêt, toutefois les écarts ne sont significatifs à la probabilité 0,05 que

dans trois stations sur neuf (figure 6) ; l'étude statistique effectuée avec les neuf couples permet néanmoins de conclure à un appauvrissement significatif des sols en culture bananière. La station «9» sur laquelle nous pouvons comparer trois sites : forêt, culture d'un an et demi, culture de dix ans, est particulièrement intéressante à considérer. Elle montre que dans le cas où il y a diminution de la teneur en matière organique, celle-ci est très rapide les premières années qui suivent la déforestation puis faible : baisse de 25 p. cent en dix huit mois et de 38 p. cent en dix ans. Cette observation confirme nos études antérieures qui ont montré que l'appauvrissement du sol en matière organique, consécutif à la destruction de la forêt, était rapide les premières années et qu'ensuite un équilibre s'établissait (GODEFROY, 1974). Sous culture d'ananas on observe un très net abaissement de la teneur en M.O. du sol dans toutes les stations, 20 à 60 p. cent (figure 7).

b) aspect qualitatif.

Afin d'apprécier l'évolution qualitative de la matière organique dans les sols en culture nous avons étudié trois caractéristiques : a) le rapport C total/N qui nous renseigne sur l'activité biologique «globale» de l'humus (DUCHAUFOR, 1960), b) le coefficient de minéralisation du carbone facilement biodégradable qui est essentiellement le reflet de la richesse du sol en substances carbonées facilement biodégradables donc de la potentialité de l'activité microbienne du sol (DOMMERGUES, 1968), c) le rapport C polysaccharides/C total ; nous référant aux travaux de GUCKERT déjà cités, on peut penser, a priori, que la structure sera d'autant plus stable que l'humus sera riche en polysaccharides.

Dans la majorité des cas observés les rapports C/N sont voisins de 10 à 12. Contrairement à ce que l'on pourrait croire les rapports sont faibles dans les sols hydromorphes même dans ceux où le degré d'hydromorphie est intense.

Paradoxalement ce sont dans les deux stations situées sur les sols ferrallitiques à texture la plus sableuse que les rapports C/N sont les plus élevés : 15. La distribution des valeurs C/N ne permet pas de conclure à une différence entre les sols forestiers et les sols cultivés (figures 6 et 7).

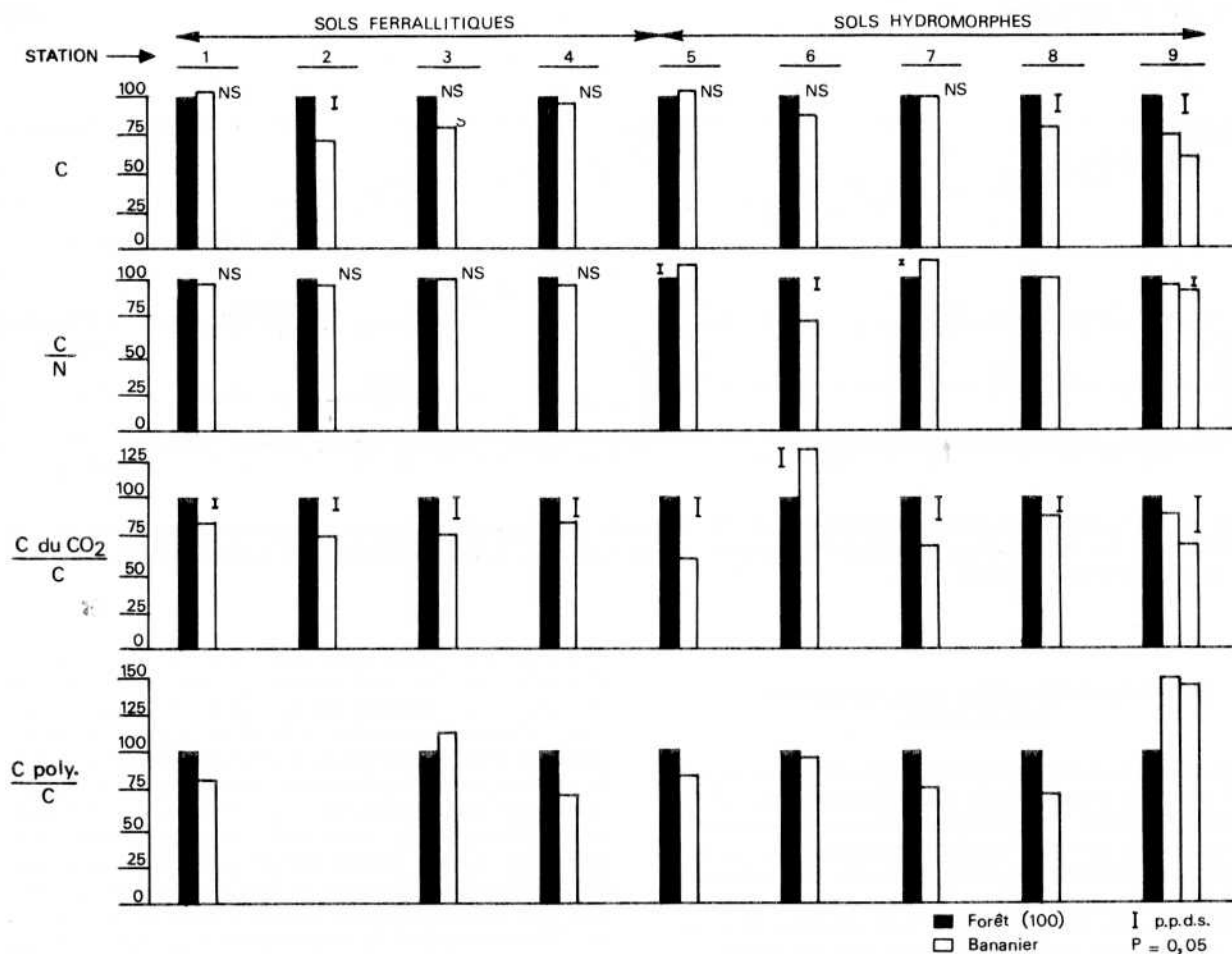


Figure 6. Caractéristiques de la matière organique du sol sous forêt et sous bananeraie. Résultats exprimés en valeur indiciaire.

En revanche, le coefficient de minéralisation du carbone facilement biodégradable est dans la quasi-totalité des cas supérieur dans les sols forestiers : les différences sont particulièrement élevées dans les sols en culture d'ananas. L'unique exception est celle de la station «6» qui correspond à un sol forestier inondé en permanence. Le fait que les sols cultivés et forestiers aient une M.O. de même composition (C/N identique) mais une biodégradabilité différente, traduit une **différence de structure biochimique**.

La proportion de polysaccharides dans l'humus des sols forestiers est légèrement plus élevée que dans celui des sols cultivés mais il s'agit plus d'une tendance que d'une caractéristique permanente. Les différences entre les valeurs moyennes des rapports C poly./C total : 5,0 (forêt) et 4,5 (banancier) d'une part, 4,1 (forêt) et 3,6 (ananas) d'autre part ne sont pas significatives.

Structure.

A l'exception de la station «6», la structure est toujours plus stable sous forêt que sous culture ; il est intéressant de remarquer que cette station est également celle où le coefficient de minéralisation du carbone facilement biodégradable est plus élevé dans le sol en culture (figures 8 et 9). On

notera, également, (station «9») que le taux d'agrégats «benzène» est plus faible après dix années de culture qu'après un défrichage récent (un an et demi). La dégradation de la stabilité structurale s'accompagne, dans la majorité des cas, d'une réduction de la perméabilité du sol (indice K).

La détérioration de la structure sous culture est le plus souvent en relation avec une baisse de la matière organique celle-ci n'est toutefois pas l'unique cause. La comparaison des sols forestiers et des sols en culture montre que pour des teneurs en M.O. égales, la structure est beaucoup plus stable sous forêt. Ainsi, dans la bananeraie d'Azaguié (20 années de culture) pour compenser la baisse de stabilité de la structure, il faut élever la teneur en carbone du sol de 1,3 à 2 fois par rapport à celle du sol sous forêt (GODEFROY, 1974). Cette «efficacité» supérieure de l'humus forestier vis-à-vis de la structure traduit une organisation moléculaire différente de celui des sols cultivés. L'analyse des fractions humifiées : acides humiques, acides fulviques et humine n'ayant pas mis en évidence de différences fondamentales entre l'humus des sols cultivés et celui des sols forestiers (GODEFROY, 1974), ces résultats confirment que les **composés facilement biodégradables ont un rôle majeur sur**

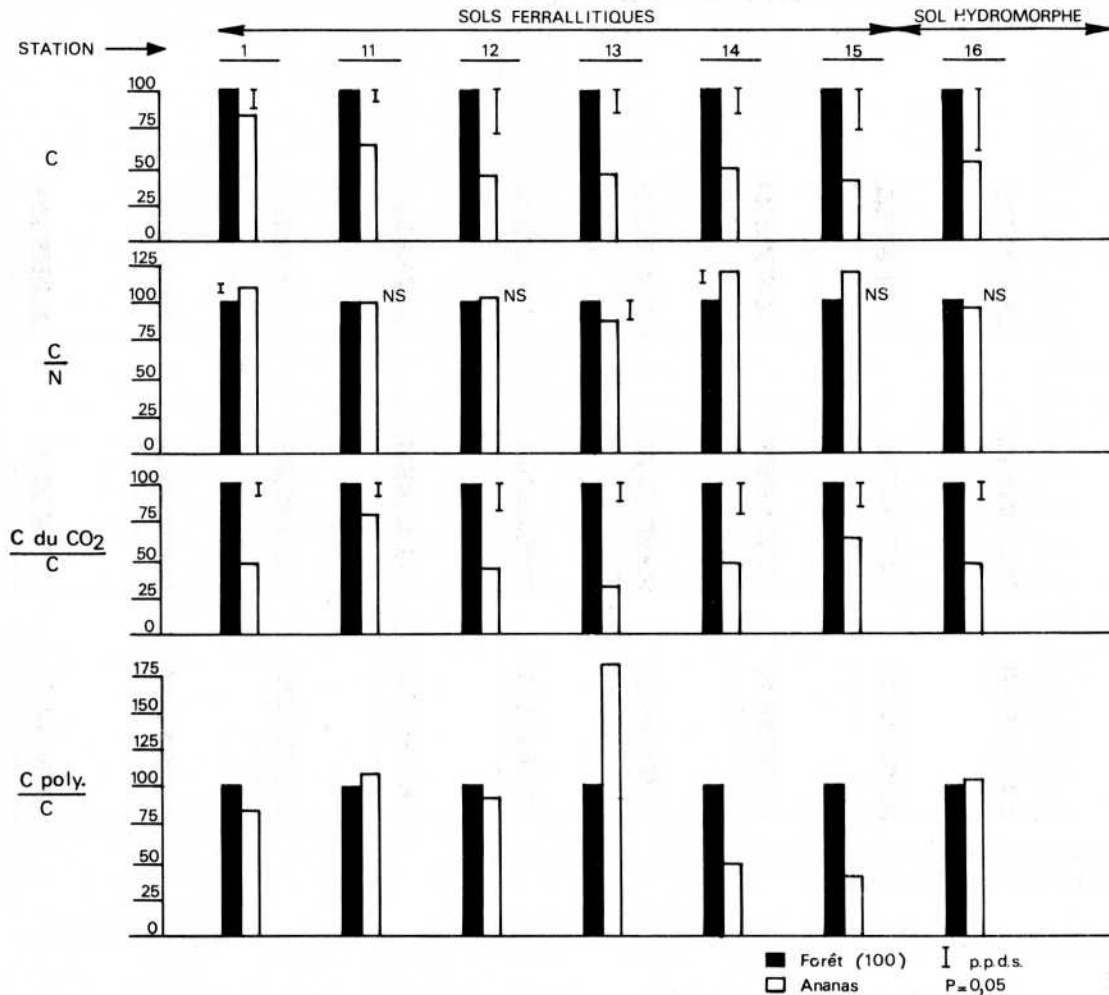


Figure 7. Caractéristiques de la matière organique du sol sous forêt et sous culture d'ananas. Résultats exprimés en valeur indiciaire.

la stabilité des agrégats. Les études sur modèles, que nous abordons dans la troisième partie de cet article, conduisent à la même conclusion qui rejoint celle de divers chercheurs ayant expérimenté sur les sols de climat tempéré (MONNIER, 1965 ; MEREDITH, 1965 ; GUCKERT, 1970) ou sur les sols tropicaux (COMBEAU et QUANTIN, 1964). La plus grande richesse des sols forestiers en substances facilement biodégradables peut s'expliquer par le rythme « continu » des restitutions de matière organique fraîche et par sa biodégradation plus lente que dans les sols cultivés.

Sous forêt sempervirente l'apport de litière provenant de la chute des feuilles, des fruits et des bois est continu avec toutefois des variations saisonnières : maximum d'octobre à mai, minimum de juin à septembre pour la Basse Côte d'Ivoire (BERNHARD, 1970). Ce mode de restitution des résidus végétaux favorise une biodégradation assez régulière et la production permanente de substances transitoires de l'humification dont l'importance sur la stabilité a été soulignée. Cette « régularité » de la biodégradation est, de plus, favorisée par des amplitudes de température : journalières et annuelles faibles.

Dans les sols cultivés, l'apport de résidus de culture, quantitativement du même ordre de grandeur que les litières forestières, est au contraire discontinu et massif. Comme nous l'avons exposé dans la première partie, la totalité des résidus de culture d'ananas, à l'exception des racines, est incorporée au sol tous les vingt et vingt quatre mois. Pour le bananier, l'apport des résidus est étalé sur une période de quatre mois par an. Dans ces conditions la biodégradation est très irrégulière. A des périodes de très forte activité microbiologique et de biodégradation intense succèdent des périodes d'activité réduite. Corrélativement, la production de substances transitoires est irrégulière : élevée dans les mois qui suivent un apport de matière végétale, puis de plus en plus faible.

Les températures plus élevées dans les sols en culture que sous forêt (moyenne annuelle : plus 3 à 5°C), la fertilisation azotée, les labours et l'irrigation dans le cas du bananier, agissent dans le même sens et sont autant de facteurs favorisant une évolution rapide de la M.O. fraîche dont le stade final est un humus relativement stable, à action plus faible sur la structure que les produits intermédiaires mais

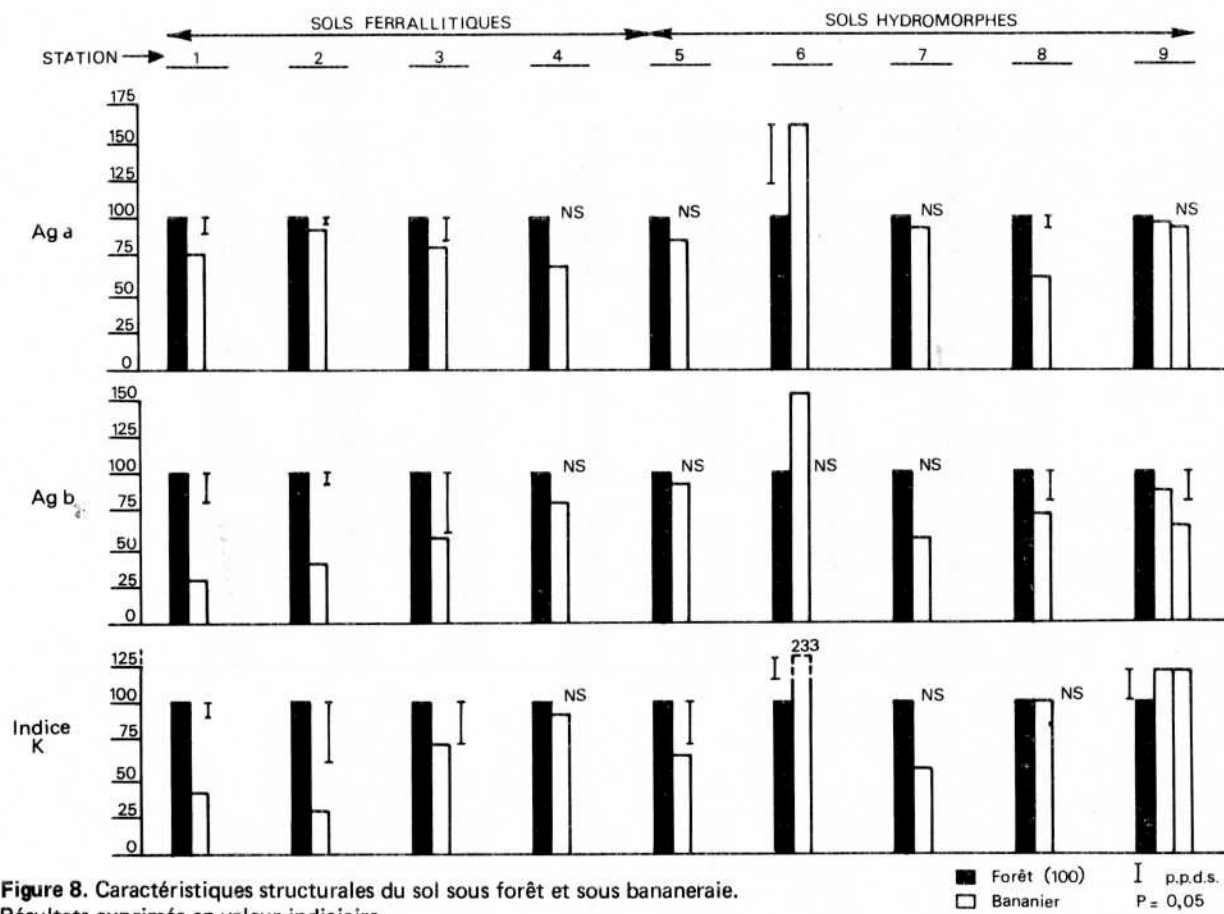


Figure 8. Caractéristiques structurales du sol sous forêt et sous bananeraie. Résultats exprimés en valeur indiciaire.

■ Forêt (100) I p.p.d.s.
□ Bananier P = 0,05

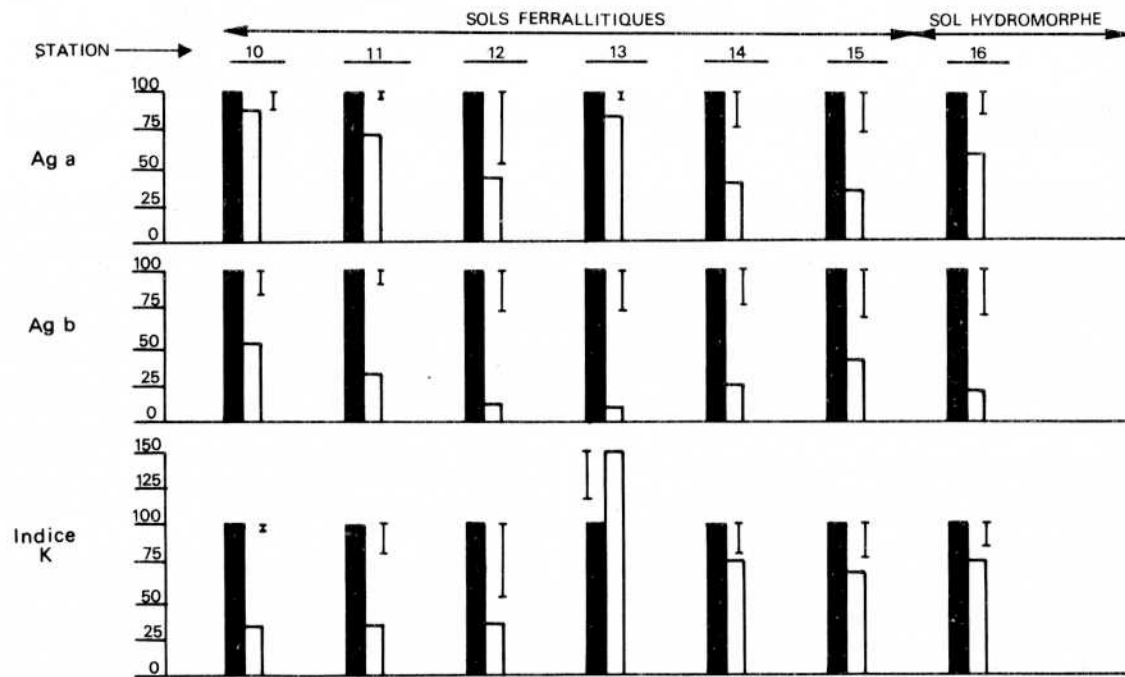


Figure 9. Caractéristiques structurales du sol sous forêt et sous culture d'ananas. Résultats exprimés en valeur indiciaire.

■ Forêt (100) I p.p.d.s.
□ Ananas P = 0,05

fugaces de la biodégradation. A de courtes périodes favorables à l'agrégation, succèdent des périodes de faible stabilité. L'effet positif sur la structure des enfouissements est d'autant plus limité qu'à ce moment le sol n'est protégé par aucune végétation, donc très vulnérable aux effets dégradants des pluies, généralement de forte intensité en climat tropical.

Dans tous les cas, la baisse, en valeur relative, des taux d'agrégats stables dans les sols en culture, par rapport à la forêt, est plus élevée pour les agrégats « benzène » que pour les agrégats « alcool » : moyennes - 23 p. cent et - 12 p. cent pour le bananier, - 80 p. cent et - 35 p. cent pour l'ananas. On peut déduire de cette observation que la décroissance de la stabilité du sol sous culture est liée davantage à une augmentation de la mouillabilité des agrégats qu'à une diminution de leur cohésion. Nous référant aux travaux de MONNIER (1965), l'interprétation que l'on peut donner est que l'accroissement de la mouillabilité des sols cultivés correspondrait à un appauvrissement de l'humus en composés ayant des propriétés hydrophobes tels que divers acides gras. Les substances organiques hydrophiles, telles que les polyacrylates et les carboxyméthylcelluloses qui ont une action sur la cohésion diminueraient, mais dans une proportion plus faible. Ces substances à longues molécules ont une action floculante sur l'argile parce qu'elles sont capables d'agréger un ensemble de micelles; cette propriété est liée à la présence de fonctions carboxyliques.

ÉTUDES SUR MODÈLES

Conditions expérimentales.

Les études sur modèles sont réalisées *in situ* et *in vitro*. Le principe de la méthode est le même dans les deux cas; il consiste à enrichir un échantillon de terre avec une quantité donnée de matière végétale de bananier ou d'ananas et à suivre l'évolution des caractéristiques structurales et organiques du sol dans le temps.

Le sol: ferrallitique fortement désaturé, de texture argilo-sablo-limoneuse est choisi pour sa faible teneur en M.O. et pour son faible taux d'agrégation, de manière à éliminer au maximum les facteurs de variations autres que ceux faisant l'objet de cette étude (tableau 9).

Les incubations *in situ* et *in vitro* sont faites à la température ambiante du sud de la Côte d'Ivoire soit à une température moyenne de 26°C.

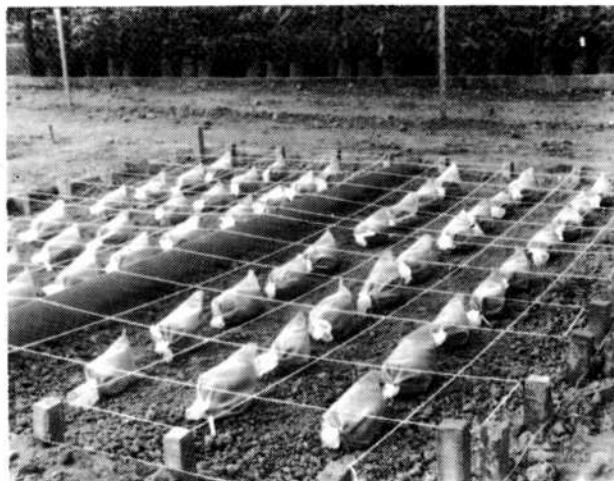


Photo 1. Étude sur modèles. Vue du dispositif d'une répétition avant l'enfouissement des sacs.

La photo 1 montre le dispositif expérimental des incubations *in situ* qui a été décrit en détail par ailleurs (GODE-FROY, 1974). La matière végétale fraîche, divisée de façon homogène (carrés ou cubes de 6 mm) est mélangée avec 1 kg de terre, mise dans des sacs de nylon aéré et enterrés entre 5 et 15 cm de profondeur.

Afin d'annuler les phénomènes d'érosion sans modifier la quantité d'eau qui arrive au sol, aux périodes très pluvieuses, on place à 0,20 cm du sol un cadre sur lequel est fixé du grillage moustiquaire. Les effets défavorables sur la structure, dus à l'énergie cinétique des gouttes de pluie sont, en outre, éliminés grâce à la protection de la couche de terre, du grillage et de la toile de nylon. Il est ainsi possible de mettre en évidence le rôle de la matière organique sur le développement de la structure en éliminant le principal facteur extérieur de dégradation.

Chaque année à la même date on déterre un certain nombre de sacs des cinq fosses dont chacune constitue une répétition.

L'étude qui a duré cinq années comporte deux facteurs de variations.

● facteur A.

- a) témoin (T) : sol non enrichi
- b) ananas (A) : sol plus ananas (4 p. cent M.S.),
- c) bananier (B) : sol plus bananier (4 p. cent M.S.).

TABLEAU 9 - Caractéristiques du sol des modèles
(terre fine, horizon 30-60 cm d'un sol forestier)

Granulométrie des constituants minéraux					matière organique				structure	
A %	Lf %	Lg %	Sf %	Sg %	C total %	C lié %	C libre %	C/N total	Agv vrais %	Agb vrais %
19	11	13	21	34	3,5	3,0	0,5	11	4,5	0,2

- facteur B

a) réincorporation annuelle (R_1) de matière végétale (4 p. cent)

b) non réincorporation annuelle (R_0)

Dans les incubations *in vitro*, les traitements comparés sont les mêmes avec seulement un enrichissement unique (R_0) ; la matière végétale est séchée et finement broyée (1 mm).

Résultats et discussion.

- Incubations *in situ*.

La mise en parallèle des courbes d'évolution de la matière

organique et de la structure met en évidence une relation entre l'enrichissement du sol en humus et les taux d'agrégats stables à l'eau après prétraitement à l'alcool et au benzène (figure 10). Dans le cas d'un apport unique de 4 p. cent de matière végétale de bananier ou d'ananas on observe, un an après l'enrichissement du sol une amélioration de la structure puis une décroissance de la stabilité en liaison avec celle de la teneur en M.O. du sol. Dans le cas d'apports annuels de matière végétale (4 p. cent) les taux d'agrégation augmentent en même temps que la teneur en humus. Les valeurs élevées des coefficients de corrélation confirment la relation très étroite entre structure et M.O. (tableau 10). Les coefficients « r » sont du même ordre de grandeur avec C

TABLEAU 10 - Valeur des coefficients de corrélation « r » entre les teneurs en carbone total et les taux d'agrégats *. Incubation *in situ*.

	ananas			bananeraie		
	1971	1972	1973	1971	1972	1973
Aga	0,89	0,97	0,97	0,65	0,68	0,95
Agb	0,64	0,98	0,82	0,87	0,91	0,56

* Signification : P = 0,05 pour r = 0,51 P = 0,01 pour r = 0,64

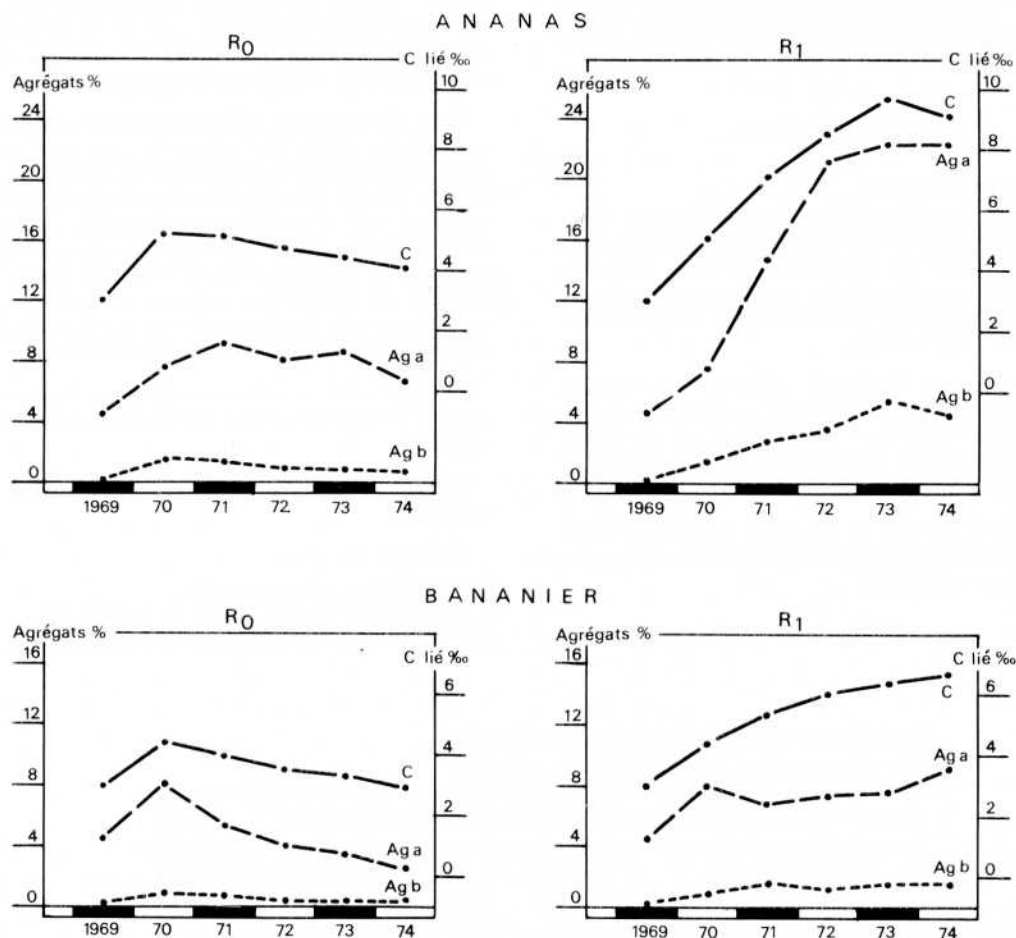


Figure 10. Évolution de la matière organique et de la structure. Incubation *in situ*.

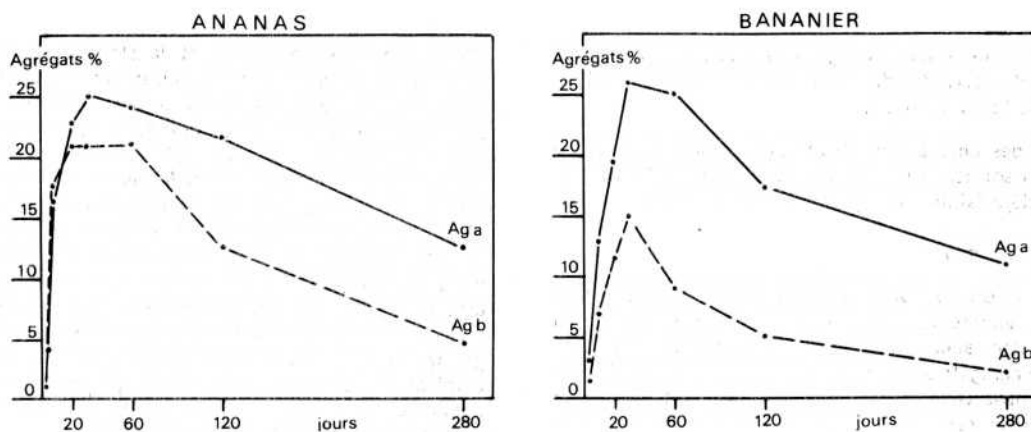


Figure 11. Évolution de la structure. Incubation *in vitro*.

total et avec C lié ; ceci tient au fait que la proportion de M.O. liée (humifiée) par rapport à la M.O. totale varie peu. On observe, également, une relation entre l'évolution de la structure et la teneur en polysaccharides, mais la corrélation extrêmement étroite, entre la teneur en matière organique totale et celle en polysaccharides, ($r = 0,93$ et $0,94$ significatif à $P < 0,01$) ne permet pas de dissocier leur action de celle des autres composés organiques.

Il est important de noter que l'amélioration de la structure due à l'incorporation au sol des résidus de culture du bananier et de l'ananas porte beaucoup plus sur les Ag a que sur les Ag b, c'est-à-dire sur l'accroissement de la cohésion que sur la diminution de la mouillabilité. Cette observation rejoint celle que nous avons faite dans les études en plein champ, à savoir que la dégradation de la structure des sols forestiers après leur mise en culture était plus importante

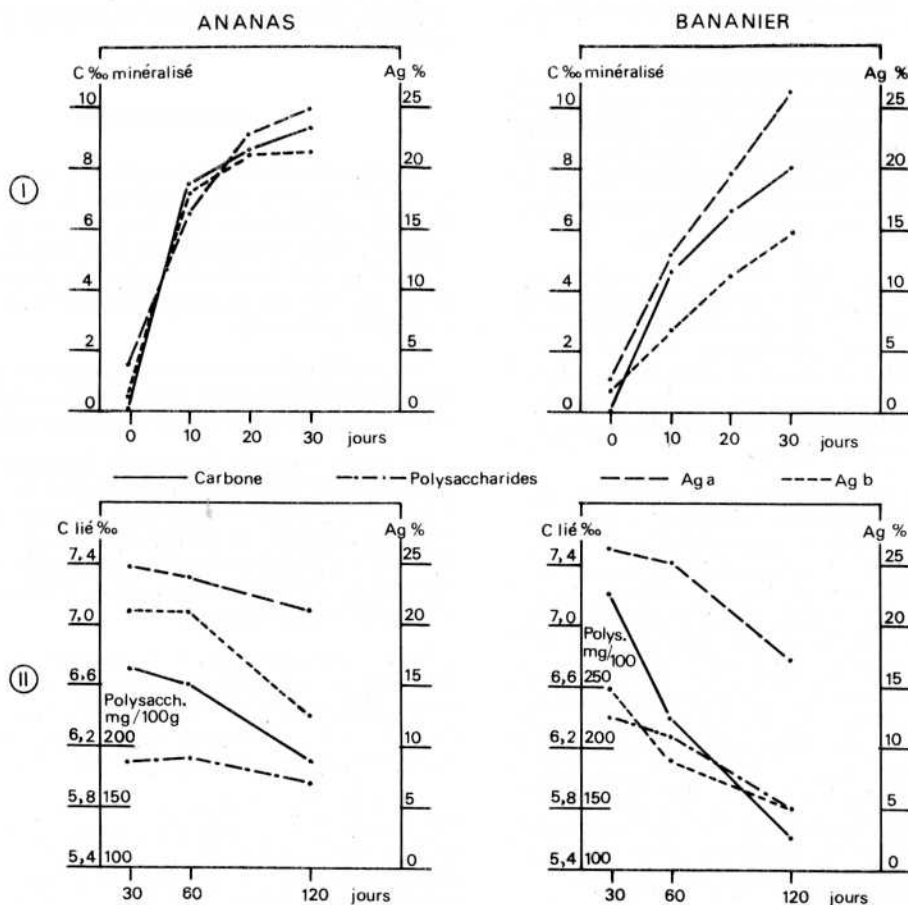


Figure 12. Évolution comparée des taux d'agrégats avec : I - la quantité de C minéralisé cumulée ; II - la teneur en polysaccharides de la fraction liée et C lié. Incubation *in vitro*.

pour les Agb que pour les Aga. Les incubations *in vitro* réalisées sur des périodes de l'ordre de la décade permettent de préciser cette observation.

Au cours des cinq années étudiées la teneur en matière organique du sol «témoin» n'a pas varié mais la stabilité de la structure déjà faible à l'origine a encore diminué.

● Incubations *in vitro*.

L'incorporation au sol de matière végétale de bananier et d'ananas augmente très fortement la stabilité de la structure, cette augmentation est très rapide, les taux maximaux d'agrégats sont atteints au trentième jour d'incubation. On observe ensuite une décroissance à partir du deuxième mois ; celle-ci est plus rapide pour Agb que pour Aga (figure 11).

Ces types de courbes assez classiques peuvent être rapprochés de ceux obtenus par divers chercheurs (MONNIER, 1965 ; MEREDITH 1965, GUCKERT 1970, GRAFFIN 1971, qui ont étudié l'action sur la structure de différents substrats organiques (glucose, pailles ou farines de matières végétales diverses).

Dans le traitement «témoin» Aga diminue régulièrement au cours de l'incubation de 4,5 p. cent à 1 p. cent ; Agb est inférieur à 0,5 p. cent pendant toute la durée de l'incubation.

L'étude faite au paragraphe précédent nous a montré que l'évolution de la structure comportait deux phases distinctes : une phase d'augmentation de la stabilité des agrégats et une phase de diminution. On a de fortes raisons de penser, à la suite des travaux de différents chercheurs, qu'aux deux phases d'évolution de la structure correspondent deux types d'action de la matière organique.

Les graphiques de la figure 12 (I) qui mettent en parallèle les variations des taux d'agrégats et la quantité de carbone minéralisé entre 0 et 30 jours, montrent nettement une relation entre les deux phénomènes à savoir que la phase agrégative est liée à la vitesse de minéralisation de la matière végétale incorporée, critère qui caractérise l'activité respiratoire des micro-organismes. Cette relation est particulièrement nette dans le cas de l'ananas.

En région tropicale la température du sol étant constamment élevée (moyenne journalière supérieure à 25°C), la phase de biodégradation intense est de courte durée : 80 à 90 p. cent de la matière organique fraîche enfouie est minéralisée ou humifiée au cours des deux premiers mois. D'après MONNIER, dans la phase active d'agrégation qui suit l'incorporation au sol d'un substrat organique à décomposition rapide, les corps microbiens eux-mêmes seraient responsables de la stabilisation. L'action des champignons serait particulièrement importante, elle est très intense mais de courte durée. Les produits «transitoires» de l'humification ou substances «préhumiques» interviendraient ensuite, leur activité spécifique restant très élevée. Pour GUCKERT, la phase agrégative est provoquée par l'activité des micro-organismes conduisant à la formation d'une «humine microbienne» riche en polysaccharides de néoformation.

Notons que dans nos conditions expérimentales (sol : ferrallitique, substrat : bananier et ananas) nous n'observons pas, au cours de la phase agrégative, de relations entre la

teneur en polysaccharides et la stabilité structurale. Les incubations n'ayant pas été faites avec des substrats marqués au ¹⁴C nous ne pouvons pas prouver l'origine des polysaccharides dont les teneurs sont maximales au dixième jour d'incubation : ananas : 200 mg/100 g de sol, bananier : 270 mg/100 g de sol. Nous avons, toutefois, de fortes raisons de penser que les polysaccharides présents sont «hérités» de la matière végétale et non d'origine microbienne. Ces résultats ne sont donc pas en contradiction avec ceux de GUCKERT ; cet auteur a montré que ce sont essentiellement les polysaccharides issus d'une synthèse microbienne qui jouent un rôle dans les phénomènes d'agrégation et non les polysaccharides hérités. Sous climat tropical, le turn-over très rapide de la microflore peut expliquer que nous n'ayons pu mettre en évidence la présence de polysaccharides de synthèse.

Si maintenant, on considère la phase de diminution de la stabilité structurale, on note un parallélisme entre les variations des taux d'agrégats et celles des teneurs en matière organique et en polysaccharides de la fraction dense : la dégradation de la structure est en relation avec celle du carbone et des polysaccharides (figure 12 - II). Comme pour les incubations *in situ*, la liaison étroite entre la teneur en matière organique totale et celle en polysaccharides ($r = 0,99^{**}$) ne permet pas de différencier l'action, sur la structure, des polysaccharides de celle des autres composés organiques.

CONCLUSIONS

Ces diverses études confirment que la matière organique a une action aussi importante sur la stabilité structurale dans les sols tropicaux que dans les sols situés sous climat tempéré. Elles corroborent le rôle essentiel des produits transitoires de l'humification dans les phénomènes d'agrégation et celui des composés humifiés dans le maintien de la stabilité structurale.

Ces investigations mettent en évidence des différences entre les évolutions de la M.O. et de la stabilité structurale dans les sols tropicaux et dans les sols des pays tempérés.

En région tropicale humide, les conditions pédoclimatiques, humidité et température en particulier, sont favorables à une minéralisation extrêmement rapide de la matière organique fraîche, de même qu'au turn-over microbien ; dans ces conditions écologiques les produits transitoires de l'humification manifestent une action très fugace car ils sont très rapidement biodégradés.

Sous climat tempéré, la biodégradation de la matière organique est plus lente, les composés transitoires ont une action plus durable car ils possèdent une certaine stabilité dans le temps, et peuvent évoluer vers l'humification en donnant des acides humiques plus condensés.

Une seconde différence réside dans la faible action antimouillante de la matière organique humifiée présente dans les sols tropicaux, comparativement à celle des sols des régions tempérées. Sur modèles, nous avons démontré que l'amélioration à moyen terme (de l'ordre de l'année) de la structure par les résidus de culture portait principalement sur une augmentation de la cohésion (Aga) et très faiblement sur la diminution de la mouillabilité des agrégats

(Agb). Il semblerait donc que, dans les sols tropicaux, les constituants de l'humus ayant une action majeure sur la structure soient principalement des composés hydrophiles, provoquant un accroissement de la cohésion. Les augmentations minimales du taux d'agrégats (Agb), peuvent s'expliquer par «l'absence» de polysaccharides de synthèse microbienne.

La mise en culture d'un sol forestier se traduit, généralement, par un abaissement de la teneur en matière organique et par une dégradation de la structure. Cette diminution de la matière organique est rapide les deux premières années, puis un nouvel équilibre s'établit vers la troisième ou quatrième année. En revanche, la dégradation de la structure se poursuit au cours des années de culture jusqu'à un stade de détérioration avancé, malgré la présence d'une matière organique «stabilisée».

Néanmoins les évolutions de la matière organique dans les sols forestiers et dans les sols cultivés ne sont pas fondamentalement différentes, mais il s'agit essentiellement de cinétiques plus ou moins rapides et cela en liaison avec le cycle des apports de matière fraîche et avec la température du sol.

Sous forêts : les retombées de matière organique fraîche sont permanentes :

- la biodégradation est régulière et plus lente que dans les sols cultivés en raison d'une température moyenne du sol plus faible
- la stabilité structurale est maintenue en raison d'une production continue de substances transitoires de l'humification, substances qui ont une action majeure sur la structure,
- le couvert végétal et la litière protègent le sol de l'action dégradante des pluies.

Sous cultures : les restitutions de matière organique fraîche sont discontinues : étalées sur trois à quatre mois par an en bananeraie, et massifs tous les vingt à vingt quatre mois en culture d'ananas.

- la biodégradation présente des cycles d'activité irréguliers mais intenses en raison à la fois d'une température plus élevée que sous forêt et des interactions de certaines techniques culturales accroissant la minéralisation (irrigations, labours, fertilisation azotée).
- la stabilité structurale est maximale après apports de résidus de culture, lors de la biodégradation primaire, elle est faible ensuite, vraisemblablement en fonction d'une minéralisation rapide des polysaccharides microbiens.
- la période la plus favorable à la formation des agrégats coïncide avec celle où le sol est moins protégé par la végétation, de ce fait les risques de dégradation de la structure par les pluies sont plus élevés.

De ces résultats concernant l'évolution de la matière organique corrélativement à la stabilité structurale, plusieurs applications agronomiques peuvent apparaître comme logiques :

a) la technique du brûlage des résidus, pratiquée en Côte d'Ivoire, dans les plantations d'ananas de type «familial», est évidemment à déconseiller puisqu'elle entraîne une perte de matière organique (produits transitoires et humifiés). Il s'agit, en fait, d'un problème d'organisation des petits

producteurs car l'enfouissement des résidus d'ananas nécessite des moyens mécaniques importants (tracteur, rotobroyeur, charrue), donc des investissements élevés, incompatibles avec la dimension des plantations. Il faut mentionner que, pour des raisons de prix de revient, le brûlage tend à se substituer à l'enfouissement des résidus dans les principaux pays producteurs d'ananas (îles Hawaï, Brésil, Afrique du sud et Australie). Il nous semblerait que cette méthode ne présenterait une économie qu'à courte échéance, au détriment du maintien de la potentialité future des sols.

b) les apports de fumier ont un effet bénéfique sur le bilan humique et sur la structure du sol. Toutefois leur influence sur la productivité, comparativement à la fertilisation minérale, n'ayant pas été clairement démontrée, cette technique est peu répandue dans les pays producteurs de bananes et d'ananas, à l'exception des îles Canaries ; dans ce pays de nombreux agriculteurs apportent 40 à 100 t/ha/an de fumier dans leurs bananeraies. Il est possible que l'augmentation des prix des matières premières se poursuivant, la fertilisation organique devienne compétitive avec la fertilisation minérale. Dans cette éventualité, il y aurait intérêt à fractionner les apports de fumier de façon à «régulariser» la biodégradation et la libération des produits transitoires de l'humification. En effet, la technique utilisée dans notre protocole sur bananeraie consistant à apporter des quantités élevées de fumier à chaque replantation ne semble pas la meilleure, car on apporte la totalité de cet amendement au moment où la biodégradation et la production de produits transitoires sont déjà les plus intenses du fait des restitutions de résidus. Nos résultats ont montré que l'effet positif des amendements organiques (pailles ou fumier) est limité à la production de la première récolte, donc éphémère. En revanche, l'apport de pailles à la plantation se justifie, car il exerce une action protectrice du sol au moment où les risques de dégradation de la structure par les pluies sont les plus élevés. D'autre part aux périodes de replantation on observe les écarts maxima de température entre sol paillé et sol nu (de l'ordre de 10°C) ; de ce fait le paillis permet une minéralisation moins rapide des résidus de culture. Cette technique qui devrait être renouvelée annuellement permet, en outre, une efficacité maximale des apports de fumier.

c) il serait, également, souhaitable d'effectuer les replantations immédiatement après l'enfouissement des résidus de culture, ceci pour que les jeunes plants profitent au maximum des effets favorables, sur la structure, correspondant à la phase de biodégradation primaire des résidus où les taux d'agrégats sont maxima. Cette technique permettrait de diminuer la période où le sol se trouve sans protection végétale et de réduire l'intervalle entre deux récoltes, donc d'augmenter la productivité. L'enfouissement des résidus entraînant momentanément, une immobilisation importante d'azote minéral, il est alors nécessaire de contrôler la nutrition azotée de la plante et de commencer précocement les épandages d'engrais azotés. Nous devons cependant signaler, que le taux d'infestation du sol en nématodes est d'autant plus élevé que l'on replante plus rapidement ; aussi dans les sols très infestés il est préférable de perdre, en partie, les effets bénéfiques de l'enfouissement des résidus au profit de l'assainissement et d'attendre un minimum de six semaines pour replanter.

d) enfin les épandages d'engrais azotés sur bananiers ne doivent pas être excessifs car l'azote active la biodégradation des résidus (GODEFROY, 1974). Pour l'ananas les engrais étant placés à l'aisselle des feuilles les plus âgées (sulfate d'ammonium), ou dissous dans l'eau (urée) et pulvérisés

sur le feuillage, l'interaction sur la minéralisation des résidus n'est pas à craindre. Précisons que la fertilisation azotée accroît fortement la production de résidus de culture et que la résultante de son action est positive sur le bilan humique des sols cultivés.



QUALITE
RENDEMENT
PROFIT

**engrais
potassiques**



RENSEIGNEMENTS - DOCUMENTATION
SOCIÉTÉ COMMERCIALE DES POTASSES ET DE L'AZOTE

62-68, rue Jeanne d'Arc - PARIS 13^e - Tél. : 584.12.80
Télex : P.E.M.C. 20 491 F

372 R

