

## Influence de la végétation sur l'humification en sol ferrallitique

Jacques GODEFROY\* et F. JACQUIN\*\*

(\*) IFAC - B.P. 1740 Abidjan (R.C.I.).

(\*\*) Laboratoire de Matière Organique et Environnement -  
I.N.P.L.-E.N.S.A.I.A. Nancy.

### RÉSUMÉ

*Etude comparative de l'évolution de la matière organique dans les sols ferrallitiques, situés sous forêt sempervirente ou sous culture industrielle de bananiers et d'ananas.*

*Les résultats obtenus lors de conditions liées à une agriculture intensive ont montré que le bilan humique pouvait être maintenu en équilibre après une période de décroissance limitée aux trois ou quatre premières années suivant la déforestation.*

*Les conditions écologiques tropicales étant très favorables à la biodégradation, l'un des facteurs limitant la diminution de l'humus correspond à une élévation de la teneur en éléments fins (fraction inférieure à 20 microns). D'autre part, la nature de l'humus, et spécialement diverses formes d'humines, est conditionnée à la fois par les caractéristiques biochimiques des résidus de culture et par les techniques culturales.*

La mise en culture des sols forestiers a pour conséquence un changement du climat entraînant à plus ou moins brève échéance une modification des diverses caractéristiques du sol. Le but de ce travail consiste à étudier l'évolution de la matière organique du sol en milieu tropical sous deux cultures industrielles : bananier et ananas.

La caractéristique commune de ces deux plantes consiste à laisser des résidus en quantité importante : dans le cas du *bananier* les résidus sont constitués

### ABSTRACT

*A comparative study of the development of organic matter in ferallitic soils, under evergreen forest, and under plantation (banana and pineapple as cash crops).*

*General results from this experiment show that, under intensive agriculture, the humus balance in the soil may be maintained for three or four years after deforestation, but that the necessary equilibrium maintained by the humus in the soil does tend to tail off during or after this period.*

*Tropical forest conditions intensely favour the breaking down of organic matter. One of the factors which contain possible reduction in the humus content is the large proportion of fine mineral elements in the soil (less than 20  $\mu$ ). In addition the type of humus, above all uncertain humus associations, is conditioned by the biochemical features of crop residue and by the agricultural methods used.*

des stipes et des feuilles coupés à la récolte du régime, des rhizomes et des racines qui se décomposent dans le sol ; pour une bonne plantation, la masse de résidus frais varie entre 150 à 200 t/ha/an, soit 10 à 15 t/ha/an de matière sèche. Les résidus de culture d'ananas sont composés des tiges, des feuilles (parties aériennes), des rhizomes et des racines (parties souterraines) ; pour une plantation industrielle correctement fertilisée, les résidus frais représentent un apport de 100 à 120 t/ha, soit 20 à 25 t/ha de matière

sèche tous les vingt à vingt quatre mois. Ces quantités de résidus représentent un apport du même ordre de grandeur que pour une bananeraie, mais la fréquence des restitutions est différente.

Dans une première partie, on comparera l'évolution quantitative et qualitative de la matière organique des sols cultivés et celle présente dans les sols forestiers de Côte d'Ivoire. Dans une deuxième partie, on précisera à partir d'expériences sur modèles, la dynamique de l'humification des résidus de culture et on tentera d'établir un bilan.

## 1. ÉVOLUTION DE LA MATIÈRE ORGANIQUE DANS LES CONDITIONS NATURELLES

### 1.1. Le milieu

Sous la forêt naturelle climacique, on peut considérer que la matière organique a atteint un équilibre

« stable » et que l'état actuel des sols forestiers représente celui de la matière organique au défrichage de la forêt. Pour juger de l'évolution de l'humus des sols cultivés, nous avons donc recherché le maximum de sites où existaient en juxtaposition la forêt et des plantations industrielles de création ancienne.

Le choix des stations est assez limité, compte tenu du fait que les îlots forestiers à proximité des plantations industrielles sont de plus en plus rares ; d'autre part, la culture bananière s'est déplacée au cours de la dernière décennie vers l'utilisation des sols hydromorphes. Nous avons pu trouver 10 sites : 4 pour le bananier et 6 pour l'ananas, situés sur des sols ferrallitiques formés sur diverses roches mères. Les caractéristiques pédo-climatiques des stations observées et le nombre d'années de culture depuis la déforestation sont indiqués dans le tableau I.

Afin de faire une étude statistique, nous avons prélevé sur chaque station, 12 échantillons de terre

TABLEAU 1  
Caractéristiques pédo-climatiques des stations observées

Localisation	Pluviosité annuelle (mm)	Site	Sol	Culture
1. Azaguié Station IFAC	1 700	Milieu de pente (pente moyenne)	Ferrallitique fortement désaturé issu de schistes, sablo-argileux	Bananiers 20 années
2. Anguédédou Station IFAC	2 000	Plateau	Ferrallitique fortement désaturé issu de sables argilo-ferrugineux, sablo-argileux	Ananas 6 années puis bananiers 8 années
3. Ayamé Plantation MALAN	2 000	Bas de pente (pente moyenne)	Ferrallitique moyennement désaturé issu de schistes, argilo-sableux	Bananiers 10 années
4. Aboisso Plant. DOMINIQUE	2 000	Bas de pente (pente moyenne)	Ferrallitique fortement désaturé issu de granites, sablo-argileux	Bananiers 5 années minimum
5. Ono Plantation SALCI	2 000	Plateau	Ferrallitique fortement désaturé issu de sables argilo-ferrugineux, sableux	Ananas plus de 10 années
6. Anguédédou Station IFAC	2 000	Plateau	Ferrallitique fortement désaturé issu de sables argilo-ferrugineux, sablo-argileux	Ananas 15 années
7. Brimbo Plantation SAFCO	1 400	Haut de pente	Ferrallitique faiblement désaturé issu de roches basiques, sablo-argileux, très graveleux	Bananiers plus de 10 années puis ananas 5 années
8. Brimbo Plantation SAFCO	1 400	Milieu de pente (pente faible)	Ferrallitique faiblement désaturé issu de roches basiques, argileux	Idem. 7
9. Hérébankono Plantation SODEFEL	1 400	Plateau	Ferrallitique faiblement désaturé issu de granites, sableux	Ananas 8 à 10 années
10. Hérébankono Plantation SODEFEL	1 400	Milieu de pente (pente faible)	Ferrallitique faiblement désaturé issu de granites, sableux	Ananas 6 années

(6 sous forêt et 6 sous cultures) constitués chacun de 9 prélèvements « ponctuels ».

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 du type tropical humide caractérisé par : une saison sèche peu marquée n'excédant pas quatre mois déficitaires en eau, une forte pluviosité annuelle, supérieure à 1 300 mm, une température moyenne annuelle élevée : 26 à 28 °C, et des températures moyennes maximales et minimales voisines de 31 °C et 26 °C dans les sites retenus.

Il est intéressant de mentionner que la production annuelle de litière (feuilles, fleurs, fruits et bois) sous forêt sempervirente de Côte d'Ivoire est de 7 à 13 t/ha (Bernhard, 1970) c'est-à-dire du même ordre de grandeur que les résidus de culture des deux plantes étudiées.

## 1.2. Etude quantitative

Une caractéristique des sols forestiers étudiés concerne l'étendue des variations des teneurs en matière organique de l'horizon de surface (0-25 cm) à l'intérieur d'une même classe de sol : en effet, les valeurs extrêmes en carbone oscillent entre : 9,3 à 42,4 pour mille. Lors d'une étude de la matière organique des sols forestiers de Côte d'Ivoire, de Boissezon (1970) observe des variations de la même importance. Dans les dix sols forestiers, nous avons pu relier les teneurs en matière organique à celles en argile et en limons fins : les coefficients de corrélation « r » sont respectivement de 0,92\*\* pour argile, de 0,70\* pour le limon et de 0,92\*\* pour argile + limon. L'équation de régression multiple est :

$$C \text{ ‰} = 4,54 + 0,18 A \% + 0,41 L \% \text{ avec } r = 0,94^{**}$$

Compte tenu de la relation entre la composition granulométrique et la teneur en matière organique, il nous a paru indispensable pour comparer les sols forestiers et les sols en culture de nous assurer que les textures étaient voisines : cette condition est remplie dans les dix stations choisies.

Sous bananeraie, la teneur moyenne en matière organique du sol est de 14 p. cent plus faible que sous forêt, toutefois les écarts ne sont significatifs à la probabilité 0,05 que dans une seule station (fig. 1).

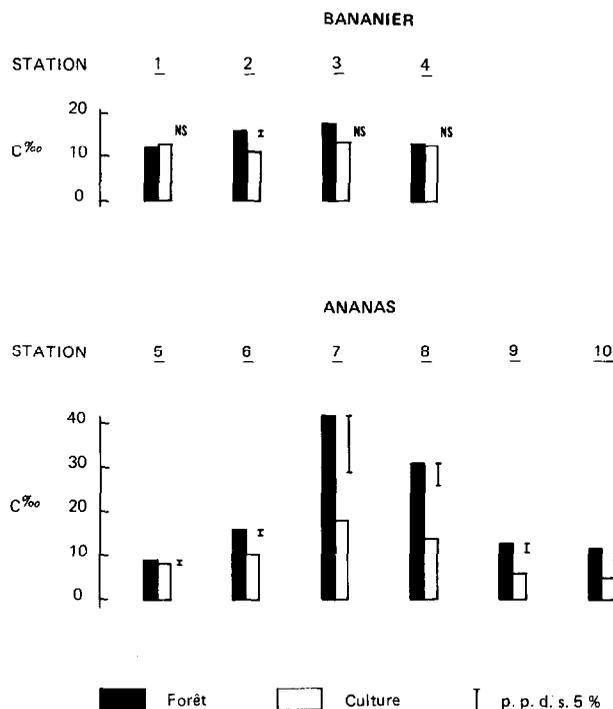


FIG. 1. — Comparaison des teneurs en M.O. sous forêt et sous culture. Horizon 0-25 cm.

Sous culture d'ananas, on observe un très net abaissement de la teneur en matière organique dans toutes les stations : 20 à 60 p. cent ; dans quatre stations sur dix, la diminution est égale ou supérieure à 50 p. cent.

Trois causes majeures peuvent être invoquées pour expliquer l'appauvrissement en matière organique des sols cultivés malgré des restitutions de résidus végétaux du même ordre de grandeur que sous forêt.

1. L'accroissement de la température du sol sous culture entraîne une biodégradation plus rapide de la matière organique (fig. 2). Les écarts de température entre les sols forestiers et les sols cultivés sont particulièrement importants aux périodes d'enfouissement des résidus de culture et des replantations, lorsqu'il n'existe plus de couverture végétale ; à ces périodes, on peut observer par journée très ensoleillée des écarts de 10 à 12 °C.

2. Sous forêt, l'apport « continu » de litière permet une synthèse « permanente » d'humus. Dans les sols cultivés, la restitution des résidus est « discontinue » : étalée sur trois à quatre mois par an en bananeraie, apport en une seule fois tous les vingt à vingt quatre mois en culture d'ananas.

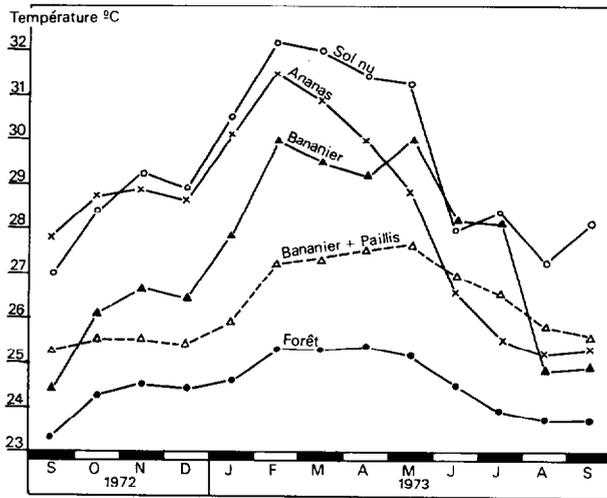


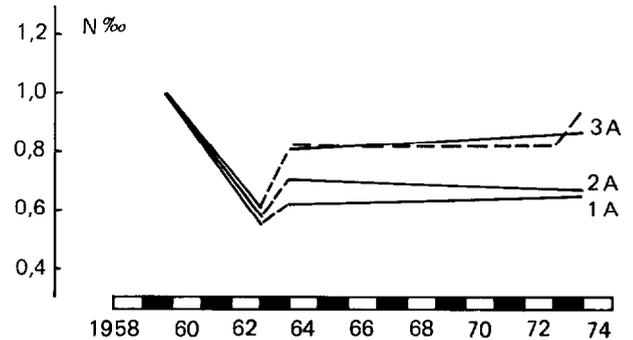
FIG. 2. — Température moyenne du sol à 10 cm de profondeur en fonction du couvert végétal. Sol jaune ferrallitique. Station IFAC, Azaguié.

3. Interaction de certaines techniques culturales qui accroissent la minéralisation, telles que : irrigation, labour, fertilisation azotée.

L'étude des variations annuelles de la teneur en matière organique réalisée sur 24 et 36 parcelles expérimentales des stations IFAC d'Azaguié et d'Anguédédou (Sud de la Côte d'Ivoire) pendant quatorze (ananas) et seize années (bananier), permet de préciser la dynamique de son évolution et les relations entre le niveau humique du sol et la fertilisation.

Les observations sous culture d'ananas commencées en 1959 au défrichage de la forêt, montrent que la teneur en matière organique diminue très rapidement les trois premières années après la déforestation, que le sol soit fertilisé ou non. Il s'établit ensuite un « équilibre » dont le niveau semble fonction du degré de fertilisation (Cf droites de régression — fig. 3\*). On remarque que la fertilisation minérale a une action positive sur le bilan humique (+ 11 p. cent) ; 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

\* La méthode de dosage du carbone ayant changé en cours d'étude on a représenté l'évolution de l'azote organique, qui est identique à celle de C : coef. de corrélation :  $C \times N$  compris entre 0,87\*\* et 0,98\*\*.



	1959 pente	1963 r	1964 pente	1974 r
1 A	-0,16	-0,95*	0,002	0,27 NS
2 A	-0,13	-0,94*	-0,004	-0,35 NS
3 A	-0,13	-0,97*	0,004	0,33 NS

FIG. 3. — Evolution de la teneur en N total en fonction du temps sous culture d'ananas. Horizon 0-25 cm. Auguédédou

1 A : aucune fertilisation

2 A : F. minérale

3 A : F. minérale + fumier

F. minérale : N, K, Mg - fumier = 400 t/ha en 7 épandages.

dans les parcelles fertilisées et seulement de 10 t/ha dans le témoin. La fumure organique seule augmente également la production de résidus, mais plus faiblement : 15 t/ha.

La légère augmentation de la teneur en N total (non significative) entre 1964 et 1974 (pente de la droite de régression = + 0,004) dans les parcelles : « fumure minérale + fumier » (3A) est due à une augmentation des apports de fumier qui ont été doublés en 1973. La courbe d'évolution est, en réalité, représentée par un « niveau stable » de 1964 à 1973 et un accroissement de la teneur de 1973 à 1974 (droites en pointillés).

Dans la bananeraie, l'évolution est différente dans les trois parcelles en raison des modifications des protocoles expérimentaux en cours d'étude (fig. 4). Dans les parcelles : « fumure minérale + paillis » (2B) dans lesquelles la fertilisation n'a pas varié de 1958 à 1974, le taux moyen de matière organique est pratiquement constant (coefficient de corrélation  $N \times \text{Année}$  non significatif). Dans les parcelles « fumure minérale » (1B), l'évolution comporte trois phases :

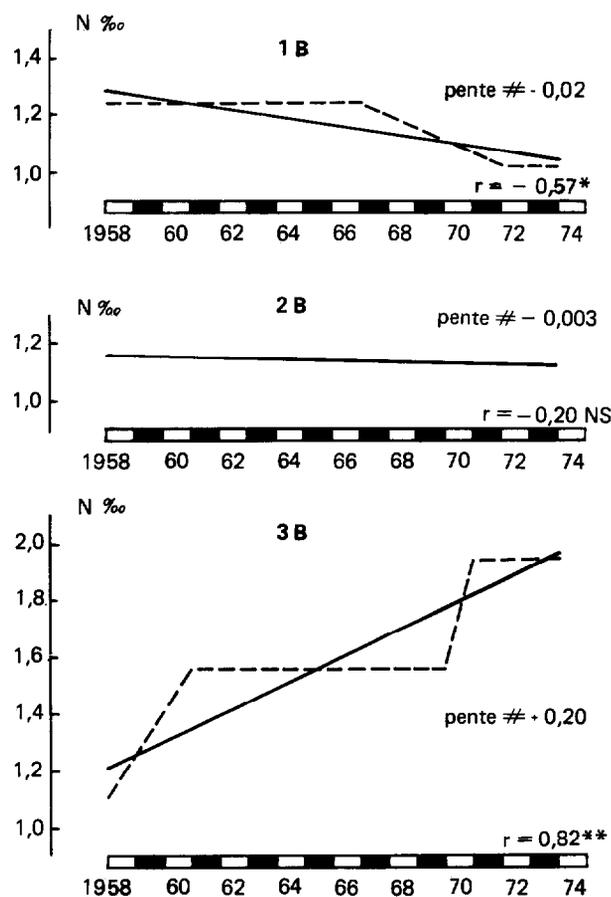


FIG. 4. — Evolution de la teneur en N total en fonction du temps sous bananeraie. Horizon 0-25 cm, Azaguié  
 1 B : F. minérale — 2 B : F. minérale + paillis  
 3 B : F. minérale + paillis + fumier.

— 1958 à 1967 : phase d'équilibre (apport de paillis),

— 1967 à 1972 : phase décroissante (suppression du paillis à partir de 1967),

— 1972 à 1974 : nouvelle phase d'équilibre.

L'évolution des parcelles « f. minérale + paillis + fumier » (3B) comporte quatre phases :

— 1958 à 1961 : phase d'accroissement (début des apports de fumier : 75 t/ha en 1958).

— 1961 à 1970 : phase d'équilibre (apports de fumier : 75 t/ha en 1961 - 1965 - 1967).

— 1970 à 1971 : phase d'accroissement (apport de fumier : 120 t/ha en 1970).

— 1971 à 1974 : nouvelle phase d'équilibre (apports de fumier 120 t/ha en 1972).

Les traitements comparés dans cet essai ne permettent pas de mettre en évidence le rôle de la fertilisation minérale sur le bilan humique, toutes les parcelles recevant la même fumure minérale. 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 fertilisation azotée réalisé à Azaguié, les quantités de résidus ont été respectivement de 6 t/ha ( $N_0$ ) et de 13 t/ha ( $N_1$ ) par cycle.

### 1.3. Etude qualitative

L'évolution qualitative de la matière organique est appréciée par l'étude des diverses fractions de la matière organique totale et par celle de certains rapports caractéristiques. Les méthodes analytiques et les enseignements qu'elles fournissent ont été exposés par divers auteurs (Dommergues 1960 et 1968 ; Duchaufour et Jacquin 1966 ; Plevin *et al* 1967 ; Jacquin *et al* 1970). Nous nous limiterons à en souligner les principes et les aspects essentiels.

La première caractéristique est le rapport C total/N total qui nous renseigne sur l'activité biologique « globale » de l'humus (Duchaufour, 1960). La connaissance de ce rapport est d'un intérêt certain, mais elle est très insuffisante pour une étude approfondie de la matière organique.

La seconde caractéristique est la teneur en carbone facilement biodégradable. Cette fraction de la matière organique est déterminée par la mesure, *in vitro*, du  $CO_2$  produit dans des conditions standard (Dommergues, 1960). Elle est, essentiellement, le reflet de la richesse du sol en substrats carbonés facilement biodégradables, donc de la potentialité de l'activité microbienne du sol. Afin de comparer des sols à teneur en matière organique différente, il est préférable d'exprimer cette caractéristique sous forme de rapport ou coefficient de minéralisation du carbone facilement biodégradable : C du  $CO_2$ /C total.

La matière organique est ensuite fractionnée en fonction de sa densité (M.O. libre et M.O. liée) et de sa solubilité dans divers réactifs alcalins. Les différentes fractions extractibles constituent conventionnellement les acides humiques ( $AH_1$  —  $AH_2$  —  $AH_3$ , qui précipitent en milieu acide) et les acides fulviques ( $AF_1$  —  $AF_2$  —  $AF_3$  solubles en milieu acide). La fraction non extractible, désignée sous le nom d'humine, englobe, en réalité, des composés organiques de nature très diverse (Duchaufour, 1970 ; Perraud, Nguyen Kha, Jacquin, 1971 ; Duchaufour et Jacquin, 1975).

Dans la majorité des cas observés, les *rappports C/N* sont voisins de 10 à 12. La distribution des valeurs ne permet pas de conclure à une différence entre les sols forestiers et les sols cultivés (fig. 5). En revanche, les

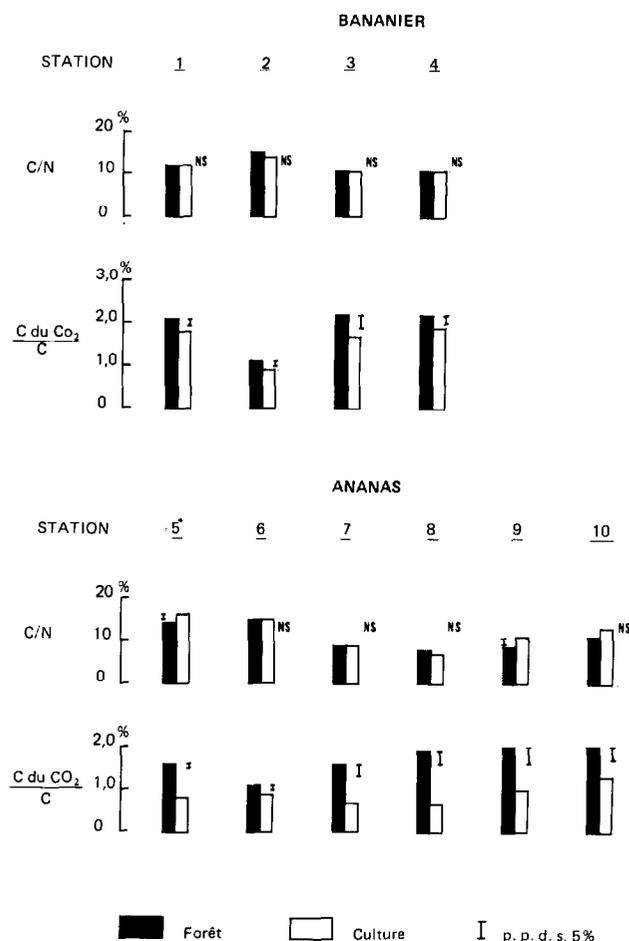


FIG. 5. — Caractéristiques de la M.O. sous forêt et sous culture. Horizon 0-25 cm.

*coefficients de minéralisation du carbone facilement biodégradable* sont toujours plus élevés dans les sols sous forêt (fig. 5). Le fait que les sols cultivés et forestiers aient une matière organique de même composition (C/N identique) mais une biodégradabilité différente traduit une différence de structure biochimique de celle-ci. L'étude des *composés humiques* a été limitée à deux stations (fig. 6 et tabl. 2).

Le taux d'extraction (somme des AF + AH par rapport à C total) diminue dans le sol en culture bananière, par rapport au sol forestier. Inversement,

la teneur en humine et le rapport C humine/C total augmentent sous bananeraie par rapport à la forêt. Les rapports des acides fulviques/acides humiques sont plus faibles dans le sol en culture ; ceux-ci sont de l'ordre de 1 sous forêt et de 0,5 sous bananeraie. Cette diminution du rapport AF/AH traduit une polymérisation plus élevée de la fraction extractible. En résumé, on peut conclure que l'humification de la matière organique est supérieure sous bananeraie que sous forêt et que les composés humiques formés sont plus polymérisés. Ces différences peuvent être attribuées à l'action du calcium dont la teneur est beaucoup plus élevée sous bananeraie : 4 contre 0,6 mé de Ca échangeable pour 100 g de sol.

Sous culture d'ananas, les taux d'extraction sont du même ordre de grandeur que sous forêt, mais la teneur en humine et le rapport C humine/C total sont plus faibles. Les rapports AF/AH diminuent sous culture d'ananas, mais moins que sous bananeraie (forêt = 0,68, ananas = 0,56 dans les deux traitements) ; cette diminution traduit une polymérisation plus élevée de la fraction extractible.

L'étude des acides humiques par électrophorèse montre que les AH du sol de forêt et du sol de bananeraie : parcelle « f. minérale + paillis » diffèrent peu. En revanche, la parcelle qui reçoit du fumier a plus d'acides humiques mobiles (AH bruns) et moins d'immobiles. Sous culture d'ananas, la teneur en acides humiques est du même ordre de grandeur dans le sol forestier et le sol cultivé fertilisé avec du fumier, elle est plus faible lorsque la fertilisation est seulement minérale. Le fumier enrichit donc le sol en acides humiques mobiles.

## 2. ÉTUDES SUR MODÈLES DE LA DYNAMIQUE DE L'HUMIFICATION

Afin de préciser les processus de l'humification, nous avons été amenés à procéder à des études sur modèles, au laboratoire et au champ. Cette technique permet d'expérimenter dans des conditions parfaitement définies et identiques pour le bananier et l'ananas.

### 2.1. Conditions expérimentales

#### 2.1.1. INCUBATIONS IN SITU ET IN VITRO

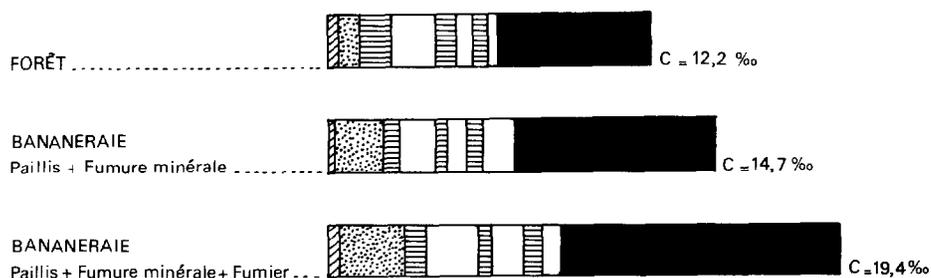
##### a) Principe de la méthode

Il consiste à enrichir un échantillon de terre avec une quantité donnée de matière végétale de bananier

TABLEAU 2  
Valeurs de quelques rapports caractéristiques des composés humiques

Stations .....	Azaguié			Anguédédou		
Végétation .....	Forêt	Bananier		Forêt	Ananas	
Traitements		16 années de culture			10 années de culture	
		f. minérale + paillis	f. minérale + paillis + fumier		f. minérale	f. minérale + fumier
AF/AH .....	0,96	0,47	0,51	0,68	0,56	0,56
Taux d'extraction % .....	43,4	34,0	30,4	49,3	51,4	45,2
C humine/C total .....	0,47	0,52	0,55	0,41	0,28	0,32

SOL FERRALLITIQUE AZAGUIÉ



SOL FERRALLITIQUE ANGUÉDÉDOU

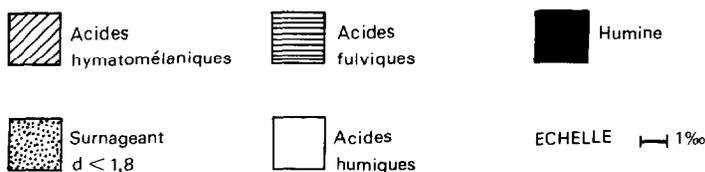
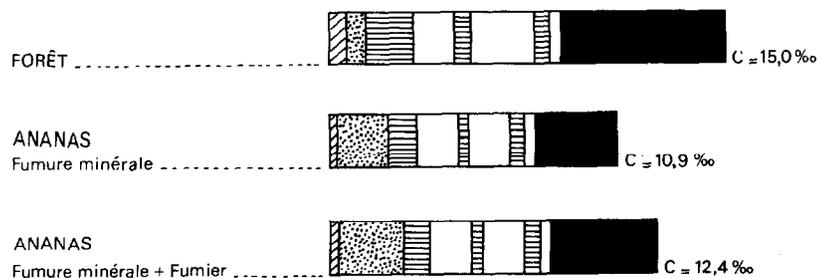


FIG. 6. — Répartition du carbone après fractionnement physique et chimique. Etude en champ.

ou d'ananas et à suivre l'évolution quantitative et qualitative de la matière organique dans le temps.

#### b) Milieu

Le sol (ferrallitique fortement désaturé, de texture argilo-sablo-limoneuse) est choisi pour sa faible teneur en matière organique de façon à éliminer, au maximum, les facteurs de variations autres que ceux faisant l'objet de cette étude (tabl. 3).

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 (fig. 7). Dans les études *in vitro*, l'humidité du sol est maintenue à une valeur correspondant à pF 2,5. Dans les incubations *in situ*, l'humidité est fonction du climat ; elle varie entre le point de flétrissement (pF 4,2 = 9 p. cent) et la capacité au champ (pF 2,5 = 20

TABLEAU 3  
Caractéristiques du sol des modèles  
(terre fine, horizon 30-60 cm d'un sol forestier)

Granulométrie des constituants minéraux					Matière organique			
A %	Lf %	Lg %	Sf %	Sg %	C total ‰	C lié ‰	C libre ‰	C/N total
19	11	13	21	34	3,5	3,0	0,5	11

p. cent) pendant les périodes sèches ou moyennement pluvieuses, et entre 20 et 30 p. cent durant les mois très pluvieux (fig. 7).

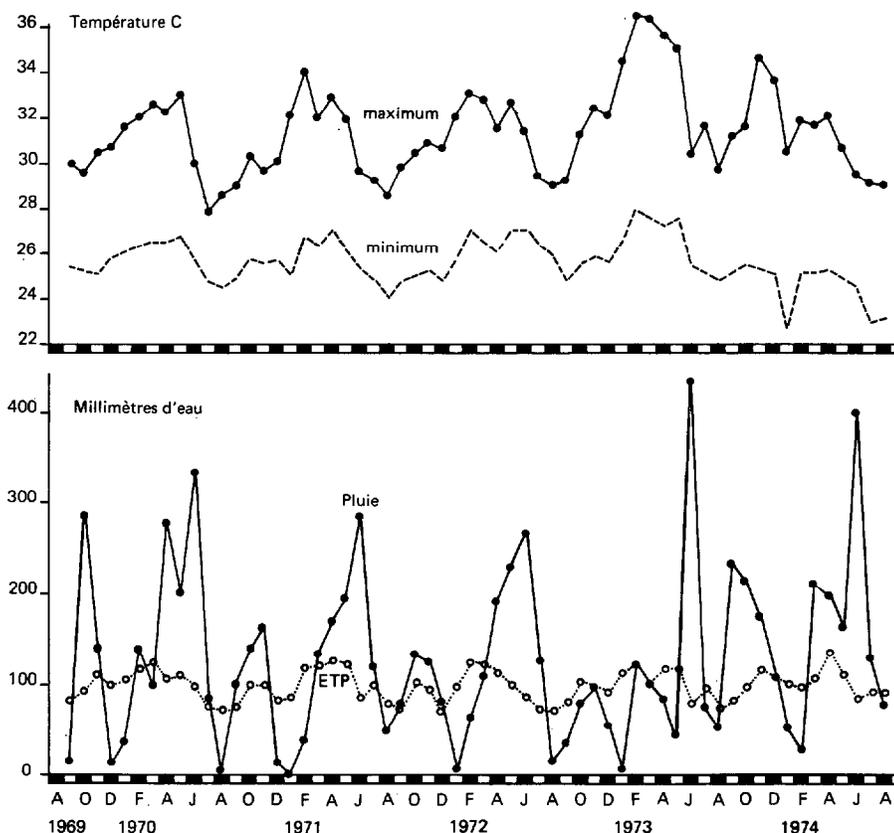


FIG. 7. — Données climatiques : pluies, évapotranspiration, température du sol à 10 cm de profondeur. Incubation *in situ* Azaguié.

c) Dispositif des incubations

La photo 1 montre le dispositif expérimental des incubations in situ (I). La matière végétale fraîche, divisée de façon homogène (carrés ou cubes de 6 mm) est mélangée avec 1 kg de terre, puis mise dans des sacs de nylon aéré qui sont enterrés entre 5 et 15 cm de profondeur.

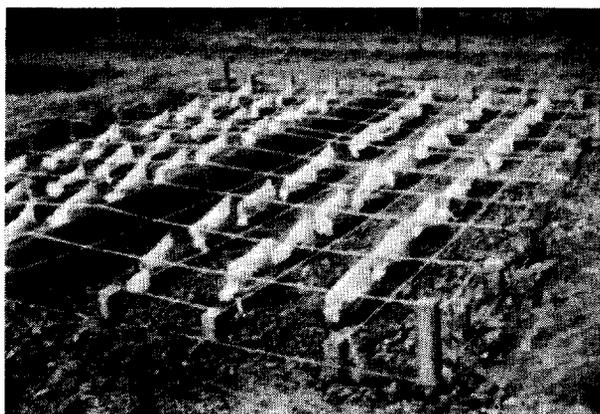


PHOTO 1.

Les incubations in vitro sont faites dans des boîtes de un litre avec 200 g de terre ; la matière végétale est séchée et finement broyée (1 mm).

d) Matière végétale

Les rapports C/N des résidus de culture de bananier et d'ananas étant différents : de l'ordre de 30 à 40 pour le bananier, et de 50 à 60 pour l'ananas, nous avons jugé préférable de comparer des matières végétales de même C/N ; nous avons choisi ce rapport égal à 45. Pour le bananier, la matière végétale est constituée d'un mélange de stipe (C/N élevé) et de limbe (C/N faible), pour l'ananas elle est composée de feuilles : parties basales (C/N élevé) et apicales (C/N faible). La composition des mélanges « ananas » et « bananier » diffère essentiellement dans les groupes I et II (tabl. 4). Les substances du groupe I (substances hydrosolubles à 100 °C) sont en quantités plus élevées dans l'ananas et celles du groupe II (substances solubles à la soude à 1 p. cent à 100 °C) sont plus faibles. Les teneurs en lignine (III) et cellulose (IV) sont du même ordre de grandeur dans les deux plantes qui se caractérisent par des teneurs faibles en lignine.

(1) Une description détaillée est donnée dans la thèse de J. Godefroy, Nancy, 1974.

TABEAU 4

Composition biochimique du bananier et de l'ananas

Groupe	P. cent de M.S.				C p. cent de M.S.*			
	I	II	III	IV	I	II	III	IV
Ananas								
Feuille	42	27	5	26	15,2 (36)	13,6 (32)	2,4 (6)	11,0 (26)
Bananier								
Limbe	25	46	6	23	8,3 (18)	24,4 (53)	3,5 (8)	10,1 (22)
Stipe	30	46	2	22	5,3 (15)	20,2 (57)	1,3 (4)	8,7 (25)

\* Entre parenthèses, pourcentage de C par rapport à C total.

e) Traitements

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

Facteur A

- a) témoin (T) : sol non enrichi ;
- b) ananas (A) : sol + ananas (4 % M.S.) ;
- c) bananier (B) : sol + bananier (4 % M.S.) ;

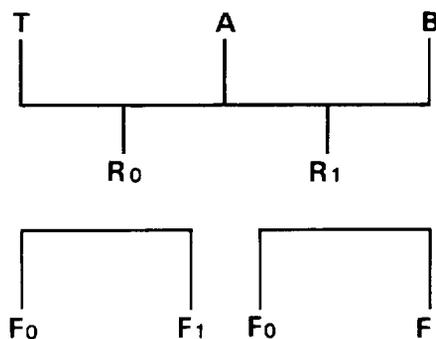
Facteur B

- a) réincorporation annuelle (R<sub>1</sub>) de matière végétale (4 %) ;
- b) non réincorporation annuelle (R<sub>0</sub>).

Facteur C

- a) fertilisation minérale : N-P-K-Ca-Mg (F<sub>1</sub>) ;
- b) sans fertilisation (F<sub>0</sub>).

En résumé, les traitements peuvent être schématisés de la façon suivante :



Chaque année, à la même date, on déterre un certain nombre de sacs des cinq fosses dont chacune constitue une répétition. Compte tenu des différents facteurs de variations et des répétitions, l'étude porte sur 270 échantillons.

Dans les incubations *in vitro*, les traitements comparés sont les mêmes (T-A-B) avec seulement un enrichissement unique ( $R_0$ ) et pas de fertilisation minérale ( $F_0$ ).

#### f) Expression des résultats

La matière végétale d'ananas étant un peu plus riche en matière organique (+ 16 à 19 p. cent) que celle de bananier, il est préférable pour comparer ces deux plantes, d'exprimer les résultats sous forme de rapports. Nous avons choisi comme critère le *taux de carbone total résiduel* défini comme suit :

$$C R_t = \frac{C_t - C_0}{C \text{ apporté par M.V.}} \times 100$$

Dans cette formule,  $C_t$  est la teneur en carbone total du sol au temps « t », et  $C_0$  la teneur initiale en carbone du sol. Le numérateur représente donc l'augmentation du taux de carbone entre les instants zéro et t.

On définit de façon similaire les taux de carbone libre et lié résiduels en remplaçant dans la formule ci-dessus  $C_t$  par la teneur en carbone libre ou lié au temps « t » et  $C_0$  par la teneur initiale du sol en carbone libre ou lié.

Les résultats des témoins permettent de vérifier la stabilité de la teneur initiale en matière organique du sol et celle des fractions libres et liées, en présence comme en absence de fumure minérale. Nous avons admis que cette stabilité n'était pas modifiée par un apport de matière végétale.

#### 2.1.2. ETUDES EN LYSIMÈTRES

Une étude en lysimètres a été faite afin d'évaluer les pertes en composés carbonés hydrosolubles.

##### a) Dispositif expérimental

Les lysimètres sont constitués de flacons de verre de un litre dont le fond a été coupé (fig. 8). Le sol (0,4 kg) et la matière végétale (4 %) sont les mêmes que ceux mis dans les sacs. La terre est humidifiée à la capacité au champ et maintenue à cette humidité pendant la durée de l'expérience. On fait percoler une fois par

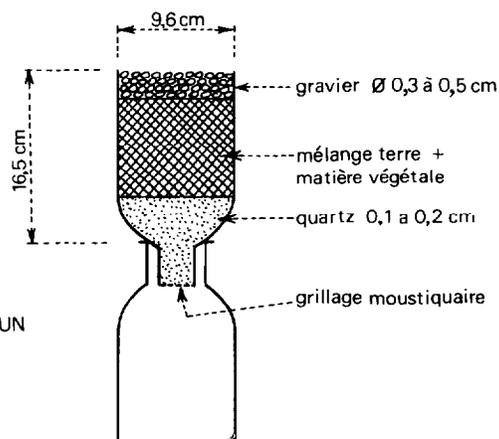


SCHÉMA D'UN  
LYSIMÈTRE

FIG. 8. — Etude en lysimètre.

mois 400 ml d'eau de pluie (55 mm) par fraction de 100 ml par jour. Le percolat est ensuite évaporé à 55 °C et le carbone dosé par la méthode Anne.

##### b) Traitements

L'étude comporte deux facteurs de variations. *Facteur A* : identique aux incubations *in situ* (T-A-B) *Facteur B* :

- a) fertilisation azotée :  $SO_4(NH_4)_2$  ; apports calculés pour amener le C/N de la matière végétale à 10 ( $N_1$ ) ;
- b) sans fertilisation azotée ( $N_0$ ).

## 2.2. Résultats et discussion

### 2.2.1. DYNAMIQUE DE LA BIODEGRADATION DES RÉSIDUS DE CULTURE

#### a) Incubation *in vitro*

Dans une première expérience, *in vitro*, nous avons étudié l'évolution des matières végétales de bananier et d'ananas (4 %), après des durées d'incubation de 10, 20, 30, 60 et 120 jours. Dans une deuxième expérience, réalisée dans les mêmes conditions, nous avons suivi sur des périodes de 24 heures, pendant 260 jours, l'évolution du carbone par mesure du  $CO_2$  dégagé.

La vitesse de transformation de la matière végétale : biodégradation ( $CO_2$ ) et liaison avec la fraction minérale du sol (C lié), est très rapide, puisqu'au dixième jour d'incubation, les taux de carbone libre

résiduel sont de 27 % (ananas) et 28 % (bananier), soit un taux de transformation de plus de 70 % ; elle se ralentit ensuite (fig. 9).

L'évolution du C libre est très comparable pour les deux plantes, seule l'intensité des phénomènes est différente. Après 120 jours d'incubation le taux de C libre résiduel est plus élevé pour l'ananas : 13 % contre 6 % pour le bananier.

Les mesures quotidiennes de CO<sub>2</sub> dégagé montrent que la minéralisation débute dès le premier jour et que les maximums d'intensité respiratoire s'observent 48 heures après le début de l'incubation. Au dixième jour 30 % (bananier) et 40 % (ananas) sont déjà minéralisés (tabl. 5). Après un mois la moitié des substrats ont disparu et après 120 jours 66 % (ananas) et 74 % (bananier).

TABLEAU 5

Taux de carbone total résiduel p. cent. Incubation in vitro

Jours	10	20	30	60	120
Ananas ..	60	53	48	40	34
Bananier..	70	57	48	36	26

Compte tenu des conditions expérimentales, on peut affirmer que la matière organique perdue l'est en totalité, sous forme gazeuse (CO<sub>2</sub>), après biodégradation par les micro-organismes du sol.

Les teneurs en carbone lié sont maximales au dixième jour d'incubation ; elles diminuent ensuite (fig. 9). La matière végétale se transforme donc très rapidement dans les dix premiers jours d'incubation, pour donner des substances qui se lient à la fraction minérale du sol. Celles-ci ne sont pas biochimiquement stables, car une partie se minéralise entre le dixième et le cent vingtième jour : bananier 35 %, ananas 17 %.

#### b) Incubation in situ

Les incubations in situ, réalisées sur une période de cinq années confirment les résultats obtenus in vitro. La biodégradation de la matière végétale est extrêmement rapide la première année, elle se ralentit ensuite (fig. 10).

Dans le cas de l'enrichissement unique, l'allure des courbes d'évolution est la même pour les deux plantes, mais les taux résiduels sont plus élevés pour l'ananas. Cinq années après l'enfouissement, les taux de matière organique résiduelle sont très faibles : ananas = 10 %, bananier = 2 %.

Afin de préciser la rapidité de la décomposition de la matière végétale, des sacs ont été déterrés à : 1, 2, 4, 6, 8 et 12 mois. La disparition des résidus est très rapide ; après deux mois 80 % (ananas) et 86 % (bananier) ont été minéralisés ou transformés. Après une année, la matière organique libre résiduelle est de 0,6 % pour le bananier et de 14 % pour l'ananas.

La matière organique liée résiduelle est plus élevée pour l'ananas et la stabilité de cette fraction est plus grande que celle du bananier ; entre 1970 et 1974, le carbone lié a diminué de 21 % (ananas) et 34 % (bananier). Pour les deux substrats les taux résiduels sont faibles : 2 % (bananier) et 7 % (ananas) après cinq années d'évolution.

Ces divers résultats montrent que la biodégradation de la matière végétale de bananier et d'ananas est rapide et intense, donc que *le coefficient d'humification est faible* ; les résidus de culture de ces deux plantes se comportent comme un engrais vert.

Dans une étude parallèle, nous avons comparé l'évolution de fumier de bovins bien fait (C/N = 16). Le fumier qui a déjà subi une biodégradation primaire, et qui est donc plus humifié que les résidus de culture, laisse beaucoup plus de matière organique résiduelle que les deux plantes mentionnées ; sa minéralisation est néanmoins rapide dans les conditions de climat tropical (tabl. 6).

TABLEAU 6

Taux de carbone total résiduel\* (p. cent). Incubation in situ

Durée d'incubation	Ananas	Bananier	Fumier
1 année .....	30	12	58
2 années .....	19	07	32

\* Enrichissement 4 p. cent de M.S.

Dans le cas d'un enrichissement annuel de matière organique fraîche, les courbes d'évolution de la teneur en carbone total sont un peu différentes pour les deux plantes. Pour l'ananas, l'équilibre est atteint à la troisième année, pour le bananier il ne l'est pas à la cinquième année (fig. 11). Les courbes d'évolution du C lié sont de type exponentiel (pour l'ananas les différences de teneurs entre 1973 et 1974 ne sont pas significatives).

Une fertilisation minérale complète (N-P-K-Ca-Mg) tend à accroître la teneur du sol en humus rési-

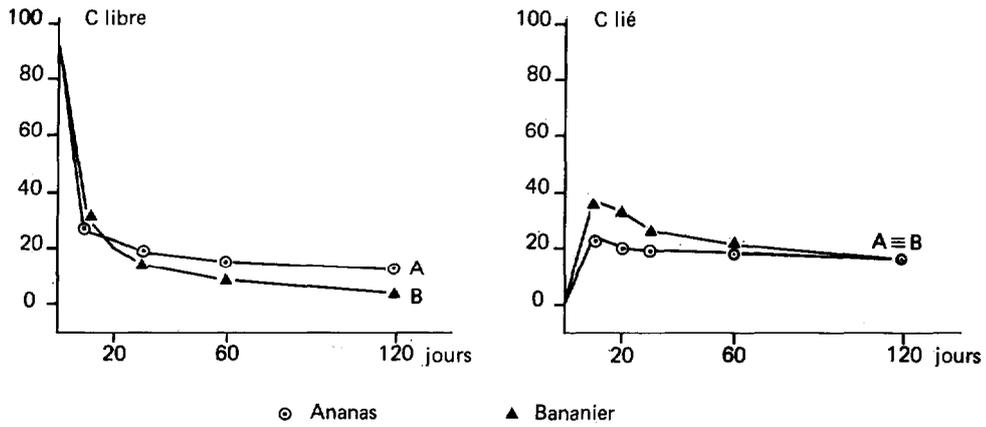


FIG. 9. — Evolution des taux de carbone résiduel. Incubation *in vitro*.

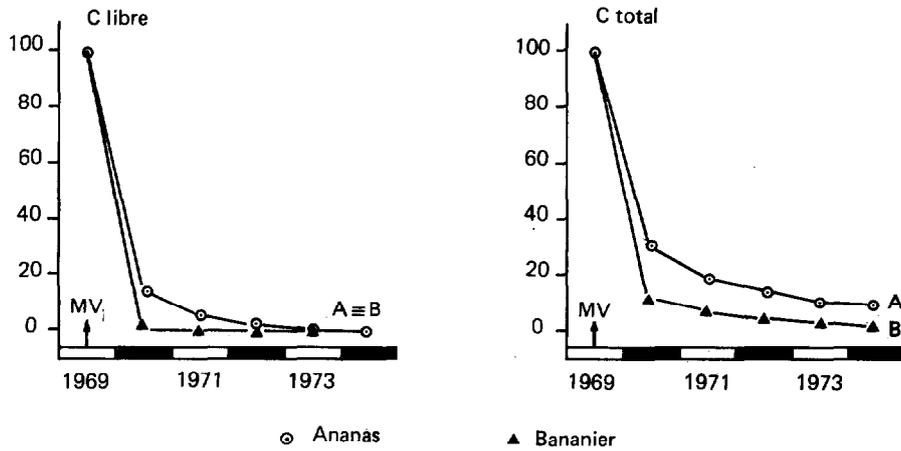


FIG. 10. — Evolution des taux de carbone résiduel dans les traitement «  $R_0F_0$  ». Incubation *in situ*.

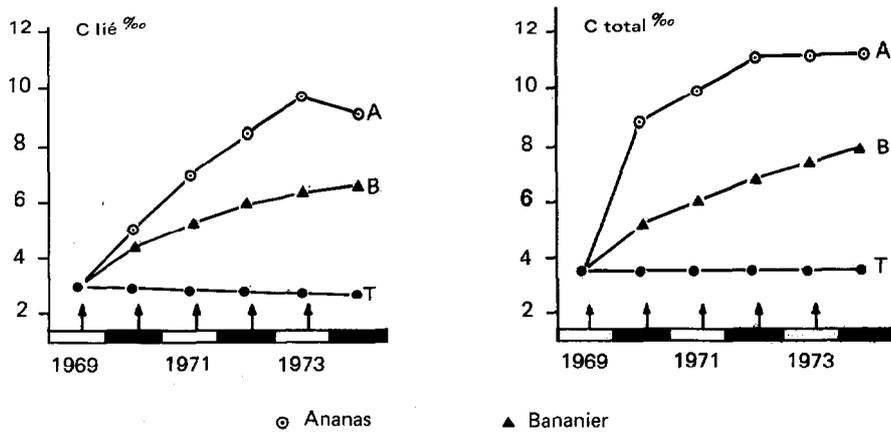


FIG. 11. — Evolution du carbone dans les traitements «  $R_1F_0$  ». Incubation *in situ*. Les flèches indiquent la date des apports de matière végétale.

duel, cette tendance est plus nette pour le bananier que pour l'ananas (tabl. 7).

TABLEAU 7

Teneurs indiciaires en M.O. totale après 5 années (1974).  
Incubation *in situ*

Traitements	Témoin	Ananas		Bananier		p.p.d.s. 5 %
		F <sub>0</sub>	F <sub>1</sub>	F <sub>0</sub>	F <sub>1</sub>	
R <sub>0</sub> .....	100	143	140	104	115	10
R <sub>1</sub> .....	100	311	322	225	248	21

Afin de préciser l'action de chaque engrais, nous avons étudié, *in vitro*, sur une période de 90 jours,

la biodégradation de la matière végétale de bananier et d'ananas (4 %) dans un sol enrichi avec 2 ‰ : d'urée, de chlorure de potassium, de dolomie ou de scories de déphosphoration (tabl. 8).

L'urée a une action très nette sur la vitesse de minéralisation. Par rapport au témoin, les teneurs en matière organique totale sont plus faibles de 10 à 15 % et celles de la fraction libre de 25 à 50 %. En revanche, l'urée n'a pas d'effet significatif sur la teneur résiduelle en matière organique liée.

La dolomie et les scories de déphosphoration augmentent les teneurs résiduelles en matière organique liée. Leur action est beaucoup plus nette pour le bananier (+ 19 et 23 %) que pour l'ananas (+ 2 et + 9 %) ; elle est vraisemblablement due au calcium apporté par ces deux composés qui contiennent res-

TABLEAU 8

Teneurs indiciaires en matière organique après 90 jours d'incubation. Etude *in vitro*

	Témoin sans engrais	Urée	Chlorure de potassium	Dolomie	Scories Thomas	p.p.d.s. 5 %
<i>Ananas</i>						
C total .....	100	87**	94**	106**	101	4
C libre .....	100	76**	103	101	84*	11
C lié .....	100	92	91	102	109	12
<i>Bananier</i>						
C total .....	100	90**	97	110**	110**	6
C libre .....	100	50**	95	90	108	27
C lié .....	100	104	103	123**	119*	15

Degré de signification par rapport au témoin: \* P = 0,05  
\*\* P = 0,01

pectivement 30 et 50 % de CaO. Le rôle de cet élément sur l'humification et la stabilisation de la matière organique a été montré par différents auteurs et confirmé récemment par Guckert (1973).

Le chlorure de potassium n'a pas d'action nette. Avec l'ananas, il diminue les teneurs en matière organique totale et liée ; avec le bananier, il n'y a pas de différences significatives par rapport au témoin.

### 2.2.2. IMPORTANCE DE LA LIXIVIATION DES COMPOSÉS HYDROSOLUBLES

Les résultats exposés au paragraphe précédent montrent les faibles rendements de la transformation des résidus de culture en humus résiduel. Afin de préciser la part des pertes dues à la minéralisation

sous forme de gaz carbonique et celles dues à la lixiviation, nous avons mesuré en lysimètres les quantités de composés carbonés hydrosolubles.

Les pertes de matière organique sous forme d'hydrosolubles sont très faibles comparativement à celles résultant de la minéralisation. Après six mois et un drainage de 330 mm, les taux de C hydrosolubles sont inférieurs à 3 % (fig. 12).

Il est intéressant de mentionner que ces conclusions corroborent les observations faites par Roose et Perraud (1972). Sous forêt sempervirente d'Azaguié, ces auteurs estiment, en effet, que l'entraînement de carbone par les eaux de ruissellement, de drainage oblique et vertical, s'élève annuellement à une quantité voisine de 100 kg/ha, soit 3 % des apports par la litière. Ces résultats confirment donc

l'importance des pertes de matière organique par minéralisation totale, dans les sols ferrallitiques.

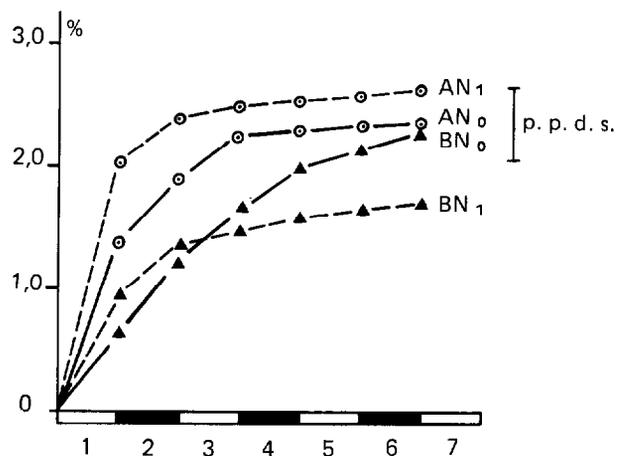


FIG. 12. — Taux cumulés de carbone hydrosoluble. Incubation *in vitro*.

### 2.2.3. EVOLUTION DES COMPOSÉS HUMIQUES

#### a) Incubation *in vitro*

Après 120 jours d'incubation, les teneurs en composés organiques extractibles et non extractibles aux réactifs alcalins sont identiques pour les deux plan-

tes, mais la composition de la fraction extractible est différente. L'ananas produit plus d'acides fulviques et moins d'acides humiques que le bananier, d'où un rapport AF/AH plus élevé (1,38 contre 0,77), traduisant un degré de polymérisation du carbone extractible plus faible.

L'apport de matière végétale enrichit le sol en composés carbonés extractibles et non extractibles, mais davantage en ces derniers. Les accroissements de la teneur en carbone total se répartissent en effet de la façon suivante :

	C libre	AF + AH	Humine
Ananas	32 %	14 %	53 %
Bananier	5 %	18 %	76 %

#### b) Incubation *in situ*

Les résultats sont présentés dans le tableau 9 et sur la figure 13 ; ils portent sur trois années.

#### 1) Comparaison des traitements principaux : témoin, ananas, bananier

— L'apport de matière végétale d'ananas augmente les teneurs en composés extractibles aux réactifs alcalins (acides humiques et fulviques) mais non celui de bananier.

— Les teneurs de la fraction non extractible aux réactifs alcalins (humine) augmentent dans les traitements « ananas » et « bananier ».

TABLEAU 9

Valeurs de quelques rapports caractéristiques des composés humiques. Incubation *in situ*

		Taux d'extraction %			AF/AH			$\frac{C \text{ Humine}}{C \text{ Total}}$		
		T	A	B	T	A	B	T	A	B
$R_0F_0$	1970	65,3	41,9	40,2	0,7	0,6	0,6	0,34	0,58	0,59
	1971	27,0	28,3	19,2	2,7	3,0	3,7	0,73	0,72	0,81
	1972	54,8	46,6	35,1	2,4	1,7	1,6	0,45	0,52	0,65
$R_0F_1$	1970	60,0	38,3	30,4	0,7	0,6	0,7	0,40	0,61	0,69
	1971	33,3	20,0	21,3	—	2,1	1,9	0,67	0,80	0,79
	1972	48,5	37,3	29,4	2,2	1,5	1,5	0,51	0,63	0,70
$R_1F_0$	1970	65,3	41,9	40,2	0,7	0,6	0,6	0,34	0,58	0,59
	1971	33,3	22,0	13,4	4,0	2,1	2,1	0,67	0,78	0,84
	1972	50,0	32,1	23,8	1,7	1,1	1,5	0,50	0,68	0,76
$R_1F_1$	1970	60,0	38,3	30,4	0,7	0,6	0,7	0,40	0,61	0,69
	1971	35,5	16,0	9,1	—	1,7	0,9	0,64	0,86	0,90
	1972	51,6	24,3	19,5	2,2	0,8	1,0	0,48	0,76	0,80

S O L F E R R A L L I T I Q U E

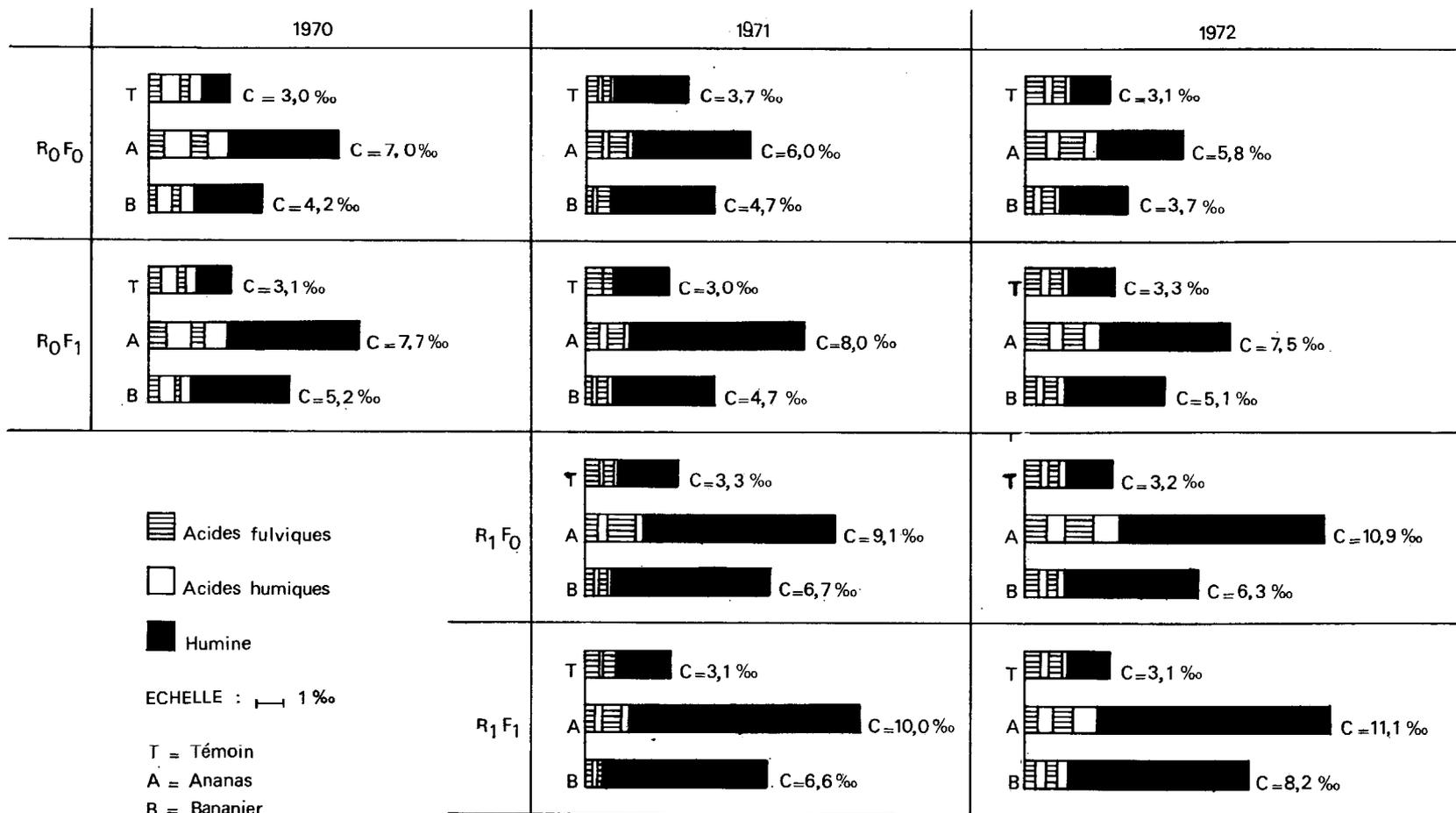


FIG. 13. — Répartition du carbone après fractionnement chimique. Incubation *in situ*.

Par rapport au « témoin », les teneurs sont deux à trois fois supérieures dans les traitements «  $R_0$  » et trois à cinq fois supérieures dans les traitements «  $R_1$  ». Malgré des teneurs en humine plus élevées dans les traitements « ananas » que dans les traitements « bananier », les rapports C humine/C total tendent à être plus élevés pour le bananier. Cette tendance est beaucoup plus nette dans les traitements sans fumure minérale ( $F_0$ ) que dans ceux avec fumure ( $F_1$ ). Ce rapport augmente par rapport au témoin dans les échantillons enrichis.

C'est donc principalement sous forme de composés non extractibles que se transforme la matière organique résiduelle provenant des apports végétaux (fig. 14). Pour l'ananas, l'accroissement de la teneur en humine représente 65 à 90 % de l'augmentation du C total et les composés extractibles seulement 10 à 35 %. Pour le bananier, la totalité de l'enrichissement en C total est sous forme d'humine ; les acides fulviques sont toujours un peu plus faibles que dans le sol témoin, les acides humiques sont à une teneur voisine.

— Les rapports AF/AH tendent à être plus élevés dans les traitements « témoin » que dans les traitements « ananas » et « bananier ». Pour ces derniers il n'est pas possible de conclure à une différence entre les deux.

### 2) Action de la fumure minérale

La fumure minérale n'a pas d'action nette sur la teneur en composés extractibles.

— Les teneurs en humine et les rapports C humine/C total augmentent dans «  $F_1$  » par rapport à «  $F_0$  ». Cette action de la fertilisation ne s'observe pas dans les témoins.

— La fumure minérale diminue les valeurs des rapports AF/AH dans les échantillons enrichis.

*En résumé*, la fumure minérale a une action nette sur l'humification de la matière végétale incorporée. Cette action est dans le sens de la *production de composés organiques plus stables et plus polymérisés*, ce qui a pour conséquence une teneur en matière organique résiduelle totale un peu plus élevée qu'en absence de fumure. Comme nous l'avons montré précédemment, l'effet positif de la fumure minérale sur le rendement de la transformation des résidus végétaux en humine est dû aux engrais qui apportent du calcium (dolomie et scories Thomas).

### 3) Action des enrichissements annuels

La comparaison de  $R_0$  et  $R_1$  est assez délicate du

fait que l'on compare des durées différentes d'évolution de la matière organique.

L'incorporation annuelle de matière végétale entraîne une augmentation de l'humine et des rapports C humine/C total, une diminution des taux d'extraction et des rapports AF/AH, c'est-à-dire la formation de composés stables et plus polymérisés.

### 4) Evolution dans le temps

Dans les traitements «  $R_0$  », l'évolution de la fraction extractible entre 1970 et 1972 est dans le sens d'une augmentation des acides fulviques et d'une diminution des acides humiques, donc d'une augmentation des rapports AF/AH. Les valeurs de ces rapports, de 0,6 à 0,7 en 1970, s'élèvent à 1,5 - 1,7 en 1972 dans les traitements « ananas » et « bananier », et à 2,2 - 2,4 dans les traitements « témoin ». Ces valeurs élevées des rapports AF/AH sont caractéristiques des sols ferrallitiques. L'augmentation de ces rapports entre 1970 et 1972 traduit une évolution normale de la matière organique fraîche dans les sols ferrallitiques. Dans les traitements «  $R_1$  », l'évolution générale est dans le même sens, mais la réincorporation annuelle de matière végétale limite la diminution des acides humiques principalement dans le traitement « ananas ».

— Les taux d'extraction sont du même ordre de grandeur en 1970 et 1972 dans les traitements «  $AR_0$  » et «  $BR_0$  », tandis qu'ils diminuent dans les traitements «  $AR_1$  », «  $BR_1$  » et dans les témoins.

— L'évolution de la fraction non extractible diffère suivant les traitements. Dans les traitements « témoin », la teneur en humine croît en moyenne de 36 % de 1970 à 1972. Dans les échantillons enrichis une fois ( $R_0$ ), les teneurs sont peu différentes en 1970 et 1972 à l'exception du traitement «  $AR_0F_0$  » pour lequel on observe une diminution de 24 %. Dans les traitements «  $R_1$  », la fraction non extractible augmente de 80 à 90 %.

— Les rapports C humine/C total varient peu de 1970 à 1972 dans les traitements «  $AR_0$  » et «  $BR_0$  ». Dans les traitements « témoin », et dans les échantillons enrichis annuellement en matière végétale ( $R_1$ ), la proportion d'humine par rapport au C total augmente légèrement de 1970 à 1972.

En 1971, dans tous les traitements, les teneurs en composés extractibles et les taux d'extraction sont minima ; inversement les teneurs en humine et les valeurs des rapports C humine/C total sont maxima. Ces variations de la composition de l'humus semblent être un phénomène « saisonnier » en relation avec

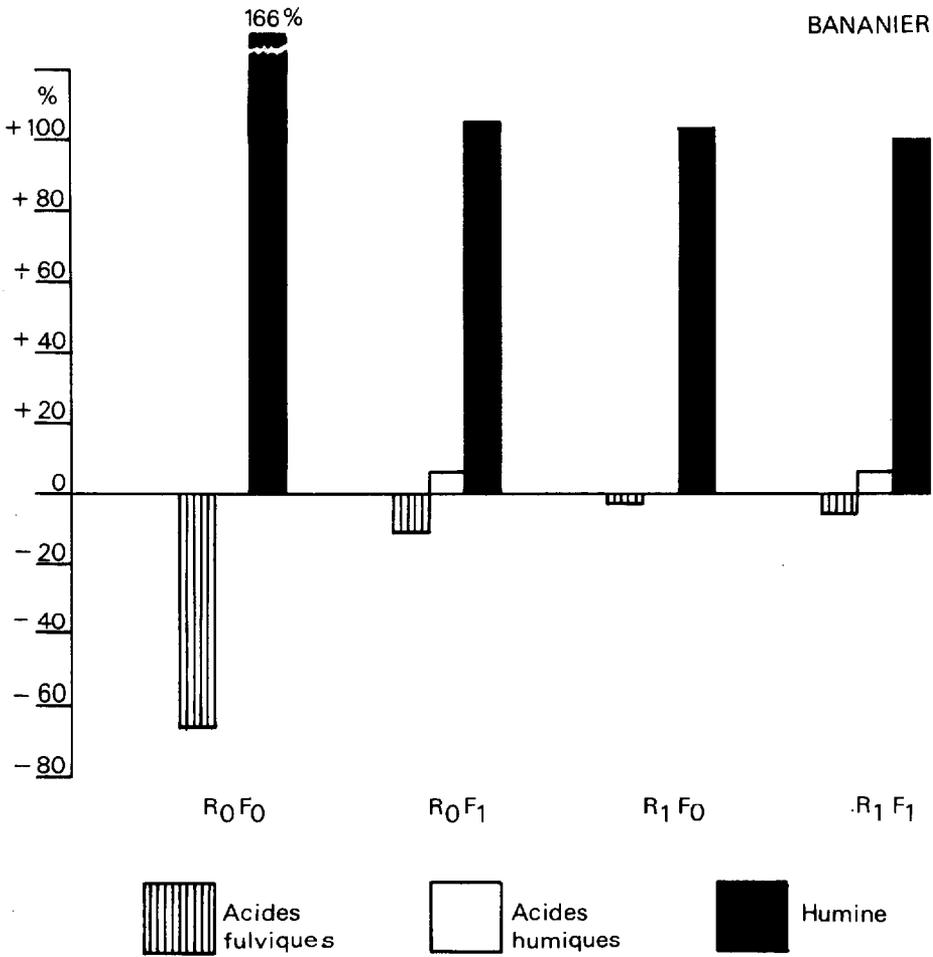
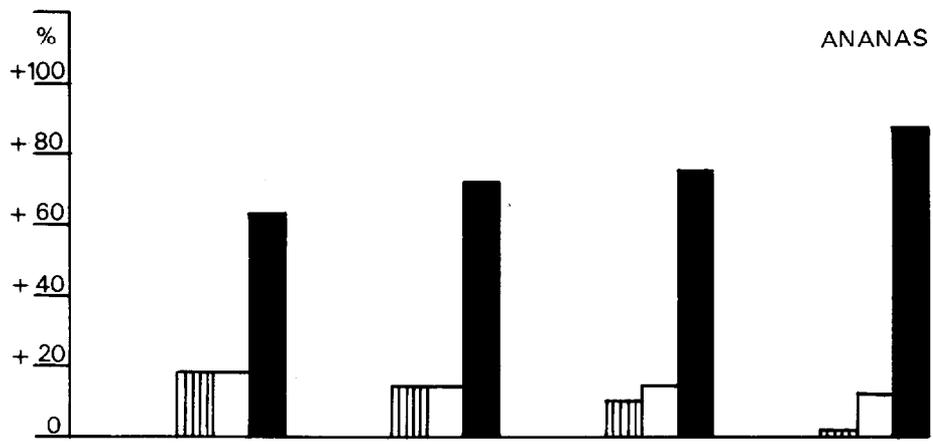


FIG. 14. — Répartition (en %) de l'augmentation en C total, par rapport au témoin. Incubation *in situ*, 1972.

l'intensité de la saison sèche en 1971. Les expériences de Nguyen Kha, Vedy et Duchaufour (1969), Turenne (1975), ont, en effet, montré l'importance considérable des contrastes saisonniers dans l'évolution de l'humus. Lorsque le climat comporte des phases de sécheresse accentuée (type tropical ou continental), l'humification augmente d'intensité et elle aboutit à des formes plus polymérisées et plus stables. Ces fluctuations montrent que l'évolution des composés humiques est réversible : de 1970 à 1971, on observe une transformation d'une partie des composés extractibles et inversement de 1971 à 1972.

### CONCLUSION GÉNÉRALE

L'étude, sur le plan fondamental, de la matière organique dans les sols ferrallitiques a déjà fait l'objet de nombreux travaux de la part des pédologues de l'ORSTOM : Thomann, 1964 ; Combeau et Quantin, 1964 ; Bachelier, 1968 ; Turenne, 1970 ; Boissezon, 1970 et 1973 ; Perraud, 1971 ; Dabin, 1971 ; Bernhard, 1972 ; Roose et Perraud, 1972 ; Sieffermann, 1974 ; Turenne (1975).

Nos recherches, plus spécialisées, ont pour but de préciser certains aspects de l'évolution quantitative et qualitative de la matière organique dans les sols ferrallitiques, sous cultures continues de bananiers et d'ananas.

Pour réaliser cette étude, nous avons utilisé trois techniques d'investigation complémentaires :

a) expérimentation sur modèles *in vitro*, de courte durée (moins d'une année) ;

b) expérimentation sur modèles *in situ*, de durée moyenne (5 années) ;

c) comparaison des résultats sur modèles avec l'observation de l'évolution de la M.O. dans les conditions de plein champ, après un minimum de 5 années de culture.

\*  
\* \*

Les études sur modèles montrent que la cinétique de la biodégradation des résidus de culture est très rapide au cours de la première année, particulièrement pendant les deux premiers mois ; on observe ensuite un ralentissement qui s'accroît jusqu'à l'obtention d'un « équilibre » atteint vers la quatrième année. Il faut mentionner que des apports répétés annuellement retardent l'établissement d'un équilibre, notamment dans le cas du bananier ; d'autre part, ces

apports ne permettent pas de dépasser une teneur en carbone limite qui, dans nos conditions expérimentales, serait de l'ordre de 11 ‰.

La minéralisation de la matière végétale de bananier est plus élevée que celle d'ananas, et par conséquent le coefficient d'humification des résidus de culture d'ananas, bien que faible, reste supérieur ; dans les deux cas, après quatre années d'évolution, l'apport de matière organique résiduelle ne dépasse pas 10 % des quantités de substrats incorporés. Les conditions pédoclimatiques très favorables à la biodégradation et la faible teneur en lignine des organes du bananier et de l'ananas expliquent le faible rendement de la transformation de la matière organique fraîche en humus.

Il faut, également, noter des différences qualitatives liées à la nature biochimique des substrats. La fraction de matière organique libre est plus élevée pour l'ananas et la fraction liée est plus stable, ce qui semble démontrer une humification plus lente mais plus durable. Par contre, dans le cas du bananier, si la proportion de composés extractibles est plus faible, le rapport C humine/C total tend à être plus élevé, ce qui laisse supposer la formation précoce d'humine séquestrée (Perraud *et al*, 1971). Précisons que pour les deux substrats, une fraction importante de la matière organique résiduelle : 65 à 100 % est constituée d'humine.

La fertilisation minérale (N. P. K. Ca. Mg), indépendamment de son action sur l'accroissement des rendements, donc sur la quantité de résidus, interfère sur l'humification en augmentant la teneur en M.O. résiduelle et essentiellement celle de la fraction humine. Cette action est due aux engrais qui apportent des ions  $Ca^{++}$  ; en revanche, une fertilisation azotée trop importante active la biodégradation et diminue la teneur en matière organique résiduelle.

Enfin, nous avons contrôlé que les pertes de matière organique par lixiviation sous forme de composés hydrosolubles sont très faibles : inférieures à 3 % ; le faible rendement de la transformation des résidus de culture en humus est donc essentiellement dû à la minéralisation.

\*  
\* \*

Nos observations faites dans des plantations industrielles intensives, montrent qu'après déforestation, il se produit fréquemment un abaissement de la teneur en humus du sol, généralement plus prononcé sous culture d'ananas que sous bananeraie. A cette phase qui est, relativement, de courte durée (3 à 4 années), succède une phase « d'équilibre » dont le

niveau est en relation avec de nombreux facteurs, parmi lesquels nous pouvons citer : le climat, les propriétés physico-chimiques du sol, la nature des résidus de culture, les techniques culturales. *Notons le rôle prépondérant des fractions minérales fines, favorisant la stabilité des composés humifiés*, bien qu'il s'agisse essentiellement de Kaolinite. En effet, dans les sols forestiers la teneur en C passe de 9 à 42 ‰ lorsque la fraction inférieure à 2 microns varie de 11 à 48 %.

Nous constatons donc que la dynamique de l'évolution de la matière organique dans les sols cultivés tropicaux est comparable à celle des sols des régions tempérées (Muller, 1966 ; Morel, 1968) ; les différences sont surtout d'ordre cinétique.

La complémentarité entre fertilisation minérale et fertilité organique résultant de l'accroissement des résidus de culture permet de maintenir un bilan humique « équilibré », malgré des conditions écologiques très favorables à la biodégradation. Rappelons qu'en culture intensive, les deux plantes mentionnées laissent des résidus de culture importants, du même ordre de grandeur que les quantités de litière produites sous forêt tropicale humide sempervirente (10 à 15 t/ha/an de M.S.). Ces restitutions élevées compensent, en partie au moins, le faible taux d'humification des résidus de culture de bananier et d'ananas. Temporairement, le niveau d'équilibre humique peut augmenter ou diminuer, si des modifications interviennent dans les techniques culturales.

Du point de vue qualitatif, l'étude comparative des composés humiques (AF, AH, humine) des sols en culture et des sols forestiers, montre le rôle des apports de calcium sur la composition de l'humus des sols de bananeraie ; on observe, en effet, un accroissement de l'humification, qu'il s'agisse d'humine d'insolubilisation ou d'humine résiduelle (Duchaufour, Jacquin, 1975). D'autre part, si on compare la fraction de matière organique facilement biodégradable, celle-ci est beaucoup plus élevée dans les sols sous forêt ; cette différence traduit une évolution plus régulière et moins rapide de la matière organique des sols forestiers, en relation avec le rythme des restitutions « permanentes » de matière organique fraîche et avec la température du sol qui est moins élevée que sous culture.

\* \*

Il nous faut relier les observations faites dans les plantations aux études sur modèles et expliquer pourquoi les teneurs en matière organique des sols cultivés en ananas ne sont pas supérieures à celles des sols de bananeraie, bien que le taux de transformation en humus des résidus de culture d'ananas soit supérieur. Dans les conditions de plein champ, de nombreux facteurs interfèrent sur la biodégradation des résidus végétaux ; en bananeraie, le mode de restitution des résidus de culture, plus progressif qu'en plantation d'ananas, et les replantations moins fréquentes, maintiennent un couvert végétal quasi permanent, donc une température moyenne du sol plus faible ; ces conditions sont favorables à une biodégradation plus régulière et moins rapide de la matière organique.

D'autre part, compte tenu des exigences en calcium du bananier, et de la pauvreté des sols en cet élément, une fertilisation calcique est nécessaire pour cette culture ; ces apports d'ions  $Ca^{+}$  favorisent l'humification.

En revanche, la pratique de l'irrigation en bananeraie, maintient le sol à une humidité voisine de la capacité au champ, favorisant la biodégradation de la matière organique fraîche et diminuant l'humification. En culture d'ananas non irriguée, les contrastes saisonniers sont plus marqués ; les phases de dessèchement et d'humification du sol se succèdent en fonction des saisons. Comme l'ont montré les travaux de Nguyen Kha et Vedy (1969) ces alternances sont favorables à l'humification et à la formation de composés plus polymérisés et plus stables.

Si cette étude apporte des résultats non négligeables sur le bilan humique, de nombreux points relatifs à la dynamique de l'humification restent à préciser tels : le temps de renouvellement, l'effet d'activation, la composition de l'humine, la lixiviation des fractions hydrosolubles, etc. ; ces recherches n'ont pu être abordées avec les moyens dont nous disposons, car il est indispensable pour expliciter et quantifier les mécanismes de l'humification d'expérimenter avec des éléments marqués au  $^{14}C$ .

Manuscrit reçu au S.C.D. de l'ORSTOM le 29 octobre 1975.

## BIBLIOGRAPHIE

- AUBERT (G.), SEGALIN (P.), 1966. — Projet de classification des sols ferrallitiques. *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.*, vol. IV, 4 : 97-112.
- BACHELIER (G.), 1968. — Contribution à l'étude de la minéralisation du carbone des sols. *Mémoires ORSTOM*, 30, Paris, 142 p.
- BERNHARD (F.), 1970. — Etude de la litière et de sa contribution au cycle des éléments minéraux en forêt ombrophile de Côte d'Ivoire. *Oecol. Plant.*, V : 247-266.
- BERNHARD (F.), REVERSAT (F.), 1972. — Décomposition de la litière de feuilles en forêt ombrophile de Basse Côte d'Ivoire. *Oecol. Plant.*, 73 : 279-300.
- BOISSEZON (P. de), 1970. — Etude du complexe absorbant des sols ferrallitiques forestiers de Côte d'Ivoire. *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.*, vol. VIII, 4 : 391-418.
- BOISSEZON (P. de), 1973. — Les sols ferrallitiques, t. 4. La matière organique, ORSTOM, *Init. et Doc. Tech.*, n° 21 : 7-66.
- COMBEAU (A.), QUANTIN (P.), 1964. — Observations sur les relations entre stabilité structurale et matière organique dans les sols d'Afrique Centrale. *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.*, vol. II, 1 - 3-9.
- DABIN (B.), 1971. — Etude d'une méthode d'extraction des matières humiques du sol. *Sciences du Sol*, 1 : 47-63.
- DOMMARGUES (Y.), 1960. — Précision des techniques d'analyse et d'échantillonnage en biologie des sols. *Ann. Agron.* II, 4 : 469-479.
- DOMMARGUES (Y.), 1968. — Dégagement tellurique de CO<sub>2</sub>. Mesure et signification. Rapport général. *Ann. Inst. Pasteur (Paris)*, 115, 4 : 627-656.
- DUCHAUFOR (Ph.), 1960. — Précis de pédologie. Masson et Cie, éditeurs, 438 p.
- DUCHAUFOR (Ph.), JACQUIN (F.), 1966. — Nouvelles recherches sur l'extraction et le fractionnement des composés humiques. *Bull. ENSAN*, VIII (1) : 3-25.
- DUCHAUFOR (Ph.), 1970. — Humification et écologie. *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.*, vol. VIII, 4 : 379-390.
- DUCHAUFOR (Ph.), JACQUIN (F.), 1975. — Comparaison des processus d'humification dans les principaux types d'humus forestiers. *Science du Sol*, n° 1 : 29-36.
- GODEFROY (J.), 1974. — Evolution de la matière organique du sol sous culture du bananier et de l'ananas. Relation avec la structure et la capacité d'échange cationique. *Thèse*, Nancy, 166 p.
- GUCKERT (A.), 1973. — Contribution à l'étude des polysaccharides dans les sols et de leur rôle dans les mécanismes d'agrégation. *Thèse*, Nancy, 124 p.
- JACQUIN (F.) *et al.*, 1970. — Contribution à l'étude des processus d'extraction et de caractérisation des composés humiques. *Bull. AFES*, 4 : 27-38.
- MOREL (R.), 1968. — Evolution de l'azote et du carbone organique du sol au cours d'une expérience de longue durée. *Ann. Agron.* 19, 2 : 153-174.
- MULLER (J.), 1966. — Observations sur les effets à long terme des fumures organiques et minérales sous climat méditerranéen II. Action sur le bilan de l'azote total du sol. *Ann. Agron.* 7, 1 : 21-36.
- NGUYEN KHA, VEDY (J.C.), DUCHAUFOR (Ph.), 1969. — Etude expérimentale de l'évolution saisonnière des composés humiques en climat tempéré. *Pédologie*, XIX, 1 : 5-22.
- NGUYEN KHA, DUCHAUFOR (Ph.), 1969. — Etude comparative de l'évolution de la matière organique du sol en conditions tempérées et tropicales. *Pédologie*, XIX, 1 : 49-64.
- PERRAUD (A.), NGUYEN KHA, JACQUIN (F.), 1971. — Essai de caractérisation des formes de l'humine dans plusieurs types de sol. *C.R. Acad. Sci. D*, 272, 12 : 1594-1597.
- PERRAUD (A.), 1971. — La matière organique des sols forestiers de la Côte d'Ivoire. *Thèse*, Nancy, 87 p.
- PLEVEN (J.), SCHMELZ (H.), RIGHI (D.), 1967. — La méthode d'extraction et de fractionnement des composés humiques de P. Duchaufour et J. Jacquin. *Bull. AFES*, 6 : 15-26.
- ROOSE (E.J.), PERRAUD (A.), 1972. — Contribution à l'étude de la pédogenèse actuelle en région tropicale. Nature des composés humiques des eaux de ruissellement et de drainage et essais d'évaluation des migrations des matières organiques sous végétation naturelle. Projet de communication au Congrès de la science du sol de Moscou, 1973, Doc. ORSTOM.
- SIEFFERMANN (G.), LOBO (P.F.S.), FLEXOR (J.M.). — Essai de détermination du temps de résidence des fractions humiques de deux sols ferrallitiques par l'utilisation du radiocarbone naturel et thermonucléaire.
- THOMANN (C.), 1964. — Les différentes fractions humiques de quelques sols tropicaux de l'Ouest Africain. *Cah. ORSTOM sér. Pédol.* II, 3 : 43-72.
- TURENNE (J.F.), 1970. — Influence de la saison des pluies sur la dynamique des acides humiques dans les profils ferrallitiques et podzoliques sous savane en Guyane française. *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.* vol. VIII, 4 : 419-449.
- TURENNE (J.F.), 1975. — Modes d'humification et différenciation podzolique dans deux toposéquences guyanaises. *Thèse*, Nancy.