

THÈSE

présentée à

L'UNIVERSITÉ DE NANCY

pour obtenir

le titre de Docteur-Ingénieur

par

JACQUES GODEFROY

Pédologue à l'I. F. A. C.

**ÉVOLUTION DE LA MATIÈRE ORGANIQUE DU SOL
SOUS CULTURE DU BANANIER ET DE L'ANANAS.
RELATIONS AVEC LA STRUCTURE ET LA CAPACITÉ
D'ÉCHANGE CATIONIQUE**

Soutenue le

1974 devant la Commission d'Examen

Membres du Jury

MM. Ph. DUCHAUFOUR

Président

F. JACQUIN

G. AUBERT

Y. DOMMERGUES

Examineurs

ERRATA

- Page 31 : 5^e ligne à partir du bas : puis à intervalle croissant
- Page 40 : 2^e ligne à partir du bas : transitoires ou préhuniques
- Page 59 : figure 16 : surnageant d 1,8
- Page 66 : tableau 19 : C et N total p. mille
- Page 130 : dernière ligne : Les observations agronomiques ont été, généralement, limitées
- Page 146 : première ligne du 2^e paragraphe : action protectrice contre le tassement
- Page 148 : huitième ligne : 25 à 30 p. mille de C.

REMARQUE : Les tableaux accompagnant le texte sont numérotés en chiffres arabes ; les tableaux numérotés en chiffres romains sont placés à la fin du mémoire.

SOMMAIRE

	Pages
<u>AVANT-PROPOS</u>	
<u>INTRODUCTION</u>	1
<u>CHAPITRE I</u> : GENERALITES SUR LES CULTURES DU BANANIER ET DE L'ANANAS	3
1. Caractéristiques des résidus de culture	4
1.1. Bananier	4
1.2. Ananas	5
2. Caractéristiques agro-pédologiques de la culture du bananier et de l'ananas	7
2.1. Fertilisation	10
2.2. Irrigation	12
2.3. Température	12
3. Conclusion	14
<u>CHAPITRE II</u> : ETUDE SUR MODELES	17
1. Conditions expérimentales	18
1.1. Incubation in situ	18
1.2. Etude in vitro	29
1.3. Etude en lysimètres	30
1.4. Principes des déterminations analytiques	31
2. Matière organique	34
2.1. Incubation in situ	34
2.2. Etude in vitro	52
2.3. Conclusion	60

3. Azote minéral	63
3.1. Incubation in situ	63
3.2. Etude in vitro	64
3.3. Etude en lysimètres	68
3.4. Discussion des résultats	74
4. Capacité d'échange cationique	78
5. Structure	82
5.1. Incubation in situ	82
5.2. Etude in vitro	88
5.3. Conclusion	96
6. Conclusion des études sur modèles	97
<u>CHAPITRE III</u> : ETUDE DANS LES CONDITIONS NATURELLES	101
1. Conditions de l'étude	101
2. Matière organique	112
3. Azote minéral	126
4. Capacité d'échange cationique	126
5. Structure	130
6. Etude de la productivité	138
7. Discussion et conclusion	143
<u>CONCLUSION GENERALE</u>	147
<u>BIBLIOGRAPHIE</u>	153
<u>TABLEAUX ANNEXES</u>	

AVANT - PROPOS

Avant d'exposer les résultats et les conclusions de mes recherches, il m'est très agréable de remercier toutes les personnes qui par leurs enseignements, leurs conseils ou leur collaboration m'ont facilité l'accomplissement de ce travail.

J'exprime ma profonde gratitude à M. le Professeur DUCHAUFOR qui, malgré ses nombreuses activités, m'a fait l'honneur de présider ce jury.

Ma très grande reconnaissance va également à M. le Professeur AUBERT qui est à la base de ma formation de pédologue. Depuis son enseignement donné à l'ORSTOM, le Professeur AUBERT, m'a toujours suivi avec bienveillance, ses conseils et ses critiques m'ont été particulièrement précieux pour la rédaction de ce mémoire.

J'associe à mes remerciements MM. les Professeurs JACQUIN et DOMMERGUES qui après m'avoir suggéré le plan de ce travail ont suivi, au fur et à mesure, le déroulement de mes recherches, m'ont fait réfléchir sur les questions soulevées et ont critiqué les interprétations. Cette collaboration a été pour moi particulièrement formatrice et enrichissante. Je remercie, également M. le Professeur JACQUIN pour la contribution analytique de son laboratoire de biochimie du C.N.R.S. de VANDOEUVRE, ainsi que ses collaborateurs : Mmes. SCHULLER, WEBER et M. MERLET.

Je prie M. CUILLE, Directeur Général de l'Institut Français de Recherches Fruitières Outre-Mer (IFAC), qui m'a autorisé et encouragé à réaliser cette étude, de recevoir ici l'expression de ma respectueuse reconnaissance.

Je remercie également M. CHARPENTIER, Directeur de l'IFAC en Côte d'Ivoire qui, par sa compréhension amicale, m'a beaucoup facilité les problèmes matériels me permettant de faire ces recherches.

Mes remerciements vont aussi à mes collègues de l'IFAC dont la collaboration m'a été précieuse : M. LOSSOIS Chef du service de biométrie et ses collaboratrices : Mmes. HARDIVILLIER, FINATEU et BARBAZA qui ont réalisé l'interprétation statistique de nombreux résultats ; les Agronomes et les Moniteurs des sections : bananier et ananas qui se sont succédés au cours des 15 dernières années sur les stations IFAC d'Azaguié et d'Anguédedou et ont assuré le contrôle sur le terrain des essais agronomiques, sous la direction de MM. CHAMPION et PY Chefs de service ; mes collègues du laboratoire de physiologie : MM. MARCHAL et MARTIN-PREVEL Chef de service, pour la réalisation des analyses minérales des végétaux.

Je remercie aussi M. BALANDREAU, Chercheur au C.N.R.S de NANCY qui a effectué des mesures de fixation d'azote dans l'un des essais.

J'associe à ce travail le personnel de mon laboratoire de pédologie, pour toutes les analyses qu'il a exécuté avec beaucoup de soins et qui sont à la base de mes résultats et de mes conclusions : Mme. MULLER, MM. AHIBA, AKO et ADIGO.

Mes remerciements vont également, au personnel du secrétariat dont le concours m'a été précieux pour l'illustration et la dactylographie de ce mémoire : Mme. TROCELLIER et M. ETTHIAN.

Enfin, j'assure tous ceux qui m'ont apporté une aide, même des plus modestes, de toute ma gratitude.

Les investigations ayant servi de base à l'exécution de ce travail ont été réalisées en Côte d'Ivoire. Elles s'inscrivent dans le cadre des programmes de recherches établis par la direction scientifique de l'Institut Français de Recherches Fruitières Outre-Mer, en collaboration étroite avec les Ministères de l'Agriculture et de la Recherche Scientifique de Côte d'Ivoire.

INTRODUCTION

Les cultures du bananier et de l'ananas très différentes sur de nombreux points présentent deux caractéristiques communes :

- Dans la quasi totalité des zones de production la culture est faite sur la même sole pendant de très nombreuses années (20 à 30 ans), sans assolement et sans jachère. - Les résidus végétaux que laissent ces cultures sont très élevés en comparaison des autres cultures tropicales.

Malgré les quantités importantes de matière organique que ces cultures apportent au sol et l'application de techniques culturales de plus en plus élaborées (fertilisation, irrigation, lutte contre les parasites etc...), il est fréquent de constater, sur sol ferrallitique issu de défrichement forestier, une baisse de la fertilité, après quelques années de culture. Cette observation faite sur des sols à teneur en matière organique convenable et, dans le cas du bananier, sur des sols améliorés chimiquement, par rapport aux sols forestiers, du fait qu'une fertilisation minérale adéquate est utilisée, nous a conduit à penser que cette baisse de fertilité pouvait être en relation avec une dégradation de la structure.

L'évolution de la structure du sol sous bananeraie et sous culture d'ananas, n'a pas fait l'objet, à notre connaissance, de recherches approfondies dans les divers pays tropicaux producteurs. On connaît seulement, grâce aux travaux réalisés par les chercheurs de l'ORSTOM : DUGAIN (1960) au Cameroun, DABIN et LENEUF (1960) en Côte d'Ivoire, l'importance des caractéristiques physiques du sol et particulièrement de la structure sur la productivité du bananier. Aussi, nous a-t-il semblé intéressant d'entreprendre cette étude, dans le cadre des recherches effectuées par l'Institut Français de Recherches Fruitières Outre-Mer (IFAC). Conjointement, nous avons recherché les possibilités d'amélioration de la structure par des apports d'amendements organiques.

L'étude de l'évolution de la structure nous a conduit à celle de la matière organique (quantitative et qualitative) qui joue un rôle très important dans la formation et la stabilité des agrégats du sol et à l'étude du complexe absorbant du sol qui nous renseigne sur la nature de certains composés de l'humus. Parallèlement nous avons étudié la minéralisation de l'azote des résidus de culture.

La dégradation de la structure sous culture peut être due à des facteurs extérieurs (ex. : travail du sol, irrigation, précipitations) ou à une évolution de la matière organique vers des formes ayant une action

moins favorable sur la structure. Les études au champ, dans les conditions réelles de culture, intègrent tous ces facteurs et c'est là leur principal intérêt ; elles présentent, en revanche, l'inconvénient de ne pas permettre de dissocier l'action de chacun des facteurs ; aussi pour étudier le rôle propre de la matière organique de bananier et d'ananas sur la structure, nous avons été conduits à utiliser des modèles. Comme nous le montrerons dans le premier chapitre, cette technique est également justifiée par le fait que les conditions de culture (sol, température du sol, périodicité des enfouissements des résidus de culture) du bananier et de l'ananas et les techniques culturales (travail du sol, irrigation, fertilisation, etc...) sont différentes. Une comparaison de l'évolution, dans le sol, de la matière végétale de ces deux plantes nécessitait de se placer dans des conditions expérimentales les plus identiques possibles.

CHAPITRE I.

CARACTERISTIQUES DES RESIDUS DE RECOLTE ET
CONDITIONS AGRO-PEDOLOGIQUES DE LA CULTURE
DU BANANIER ET DE L'ANANAS. COMPARAISON
AVEC LA FORET.

1. CARACTERISTIQUES DES RESIDUS DE CULTURE DU BANANIER ET DE L'ANANAS.

1.1. BANANIER

Les résidus de culture 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. La récolte durant 3 à 4 mois, l'apport des résidus s'étale sur la même période. Ceux-ci sont généralement laissés sur le sol ; dans quelques cas, ils sont enfouis par un labour manuel en fin de récolte. A ces apports au moment de la récolte s'ajoutent, en cours de végétation, ceux constitués par les feuilles sénescents qui sont coupées.

La durée d'un cycle (intervalle de temps entre deux récoltes) varie avec de nombreux facteurs dont les principaux sont : l'altitude, l'écologie, la variété, les techniques culturales, l'état sanitaire. En moyenne, dans les conditions de culture des principaux pays producteurs l'ensemble de la masse végétale d'une bananeraie retourne au sol une fois par an. La seule matière végétale exportée est le régime (fruits et rachis).

La replantation des bananeraies représente un cas particulier. La fréquence varie beaucoup suivant les pays ; de plus en plus la replantation périodique, tous les 3 ou 4 ans, tend à se généraliser. Après abattage des bananiers les rhizomes et les rejets sont déterrés, classés par lots homogènes, puis replantés. Les résidus qui restent sur le sol sont du même ordre que dans une bananeraie "établie", mais cet apport est fait en une fois au lieu d'être étalé sur plusieurs mois, et la matière végétale est enfouie par un labour de 20 à 30 cm de profondeur.

Les estimations des quantités de résidus de culture ont surtout porté sur la variété Poyo qui est actuellement la plus cultivée. La masse des résidus varie dans des limites assez grandes suivant les plantations. Deux facteurs ont une action dominante : la densité qui varie de 1800 à 2500 bananiers à l'hectare et la fertilité du sol: naturelle ou acquise. Comme pour toute culture ce sont les plantations à haut rendement qui produisent la plus grande masse végétale. De même que la production de fruits peut varier du simple au triple, celle de résidus frais peut varier de 100 à 300 t/ha. En bonne plantation, on peut retenir comme valeur moyenne 150 à 200 t/ha/an.

La matière végétale du bananier est très aqueuse. Pour l'ensemble du bananier le rapport matière sèche/matière fraîche (MS/MF) varie peu, il est généralement de 7 à 9 p. 100. Les rapports MS/MF des divers organes sont très différents mais les variations sont généralement faibles, pour un organe donné. Les feuilles ont la teneur en eau la plus variable, principalement en fonction de l'âge. Pour des bananiers au stade "récolte" l'ordre de grandeur du rapport MS/MF est le suivant :

Limbe : 20 à 30 %

Pétiole - Nervure : 10 à 12 %

Stipe	: 3 à 5 %
Rhizome	: 6 à 8 %
Racine	: 6 à 8 %

Compte tenu des données précédentes, les résidus de récolte que laisse une bananeraie, peuvent varier de 7 à 25 t/ha/an de M.S. Pour une bonne bananeraie 10 à 15 t/ha/an de résidus constituent un apport moyen. En raison de la grande différence de teneur en eau des organes du bananier, leur proportion en matière fraîche et en matière sèche est très différente (tableau 1).

Tableau 1 : Composition d'un bananier au stade "récolte" (%)

	MF	MS	C	N	C/N
Limbe	7,5	25	40,8	2,38	17
Pétiole					
Nervure	7,5	10	37,1	0,70	53
Stipe	65	45	33,0	0,72	46
Rhizome	15	15	35,1	1,00	35
Racine	5	5	32,9	1,13	30

La composition en carbone et en azote des divers organes n'est pas uniforme : la teneur en azote varie davantage que celle en carbone. Pour un organe donné, C varie peu d'un bananier à l'autre. A l'opposé, les variations de N peuvent être importantes, principalement en fonction de la fertilisation qui est pratiquée. Corrélativement les valeurs des rapports C/N sont assez variables. Pour l'ensemble de la plante le rapport C/N est relativement faible : de l'ordre de 30 ; celui du limbe est plus faible : inférieur à 20 dans tous les échantillons analysés. Le tableau 1 donne à titre d'exemple la composition d'un bananier au stade récolte.

1.2. ANANAS

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 environ tous les 20 à 24 mois. Comme pour le bananier, la durée d'un cycle est fonction de nombreux facteurs. Les résidus de culture sont constitués des feuilles, des tiges, des rhizomes et des racines. La matière végétale exportée est représentée par le fruit et les rejets. La masse de résidus varie énormément, les deux principaux facteurs de variation sont les mêmes que pour le bananier : la densité de plantation (40 à 65.000 plants/ha) et la fertilité du sol.

Ainsi, dans l'essai au champ dont il sera fait état dans ce mémoire, la quantité de résidus frais a varié au cours d'un cycle de 43 à 171 t/ha entre le traitement sans fertilisation et celui avec fertilisation minérale et organique. En plantation industrielle, avec pratique de la fertilisation minérale, les résidus de culture représentent 100 à 120 t/ha par cycle.

La matière végétale d'ananas est beaucoup moins aqueuse que celle du bananier et les variations de teneur en eau des divers organes sont plus faibles. Le rapport matière sèche/matière fraîche pour l'ensemble des résidus est généralement voisin de 20 p. 100, avec des variations de 17 à 25 p. 100. Pour les différents organes les rapports MS/MF d'un plant au moment de l'enfouissement sont de l'ordre de grandeur suivant :

Feuille	15 à 20 %
Tige	30 à 35 %
Rhizome	30 à 35 %
Racine (vieille)	45 à 50 %

Compte tenu des données précédentes les résidus de culture d'une plantation d'ananas sont de l'ordre de 20 à 25 t/ha de M.S. par cycle, soit une moyenne par année de 10 à 15 t/ha.

La composition en azote et en carbone des divers organes n'est pas uniforme. Comme dans le bananier, pour un organe donné, les variations de teneur en carbone sont faibles mais celles de la teneur en azote et du rapport C/N sont importantes. Pour l'ensemble de la plante le rapport C/N est élevé : de l'ordre de 60. Le tableau 2 donne à titre d'exemple la composition d'un plant.

Tableau 2 : Composition d'un plant d'ananas au stade "fruit récolté" (%) (moyenne de 5 plants).

	MF	MS	C	N	C/N
Feuille	65	55	43,0	0,79	54
Tige	25	30	39,8	0,72	55
Rhizome	8	10	41,1	0,54	76
Racine	2	5	39,8	0,40	100

En résumé, les résidus de culture du bananier et de l'ananas sont élevés, comparés à ceux des autres cultures tropicales. La quantité de matière végétale produite par ces deux plantes est du même ordre de grandeur : 10 à 15 t/ha/an de M.S, mais la fréquence des apports n'est pas la même : annuelle pour le bananier, tous les 20 à 24 mois pour l'ananas. Il faut mentionner que ces restitutions sont très comparables aux quantités de litière produites annuellement sous forêt équatoriale et tropicale humide.

Les estimations faites par différents chercheurs : JENNY et al (1949) en Colombie, LAUDELOUT et MEYER (1954) au Congo, NYE (1961) au Ghana, BERNHARD (1970) en Côte d'Ivoire sont assez concordantes, elles sont de 9 à 15 t/ha/an de M.S.

La composition en carbone et en azote du bananier est différente de celle de l'ananas. Le bananier est plus riche en azote et plus pauvre en carbone et le rapport C/N est moitié plus faible que celui de l'ananas (tableau 3). L'ananas a une texture beaucoup plus fibreuse, en particulier les feuilles, et il est moins aqueux.

Tableau 3 : Composition d'un bananier et d'un plant d'ananas (%)

	MS/MF	C	N	C/N
Ananas	17-25	41,7	0,72	58
Bananier	7-9	35,7	1,20	30

2. CARACTERISTIQUES AGRO-PEDOLOGIQUES DE LA CULTURE DU BANANIER ET DE L'ANANAS.

Il est difficile de caractériser les sols de bananeraie et ceux cultivés en ananas, tant la diversité est grande. Une illustration de celle-ci est donnée par les tableaux 4 et 5, qui résument les caractéristiques des sols cultivés en bananier et en ananas dans quelques pays producteurs.

On a longtemps considéré que les sols les plus favorables à la culture de l'ananas étaient les sols sableux ce qui explique que les plantations d'ananas soient fréquemment établies sur des sols à texture grossière. Cette condition n'est, en fait, pas indispensable, le plus important est que le sol soit parfaitement drainé et se ressuie très rapidement, conditions que remplissent certains sols à texture fine mais à structure très stable comme les sols bruns eutrophes. Les exigences du bananier sont moins strictes, aussi la culture se rencontre-t-elle sur des sols très divers. Ainsi, en Côte d'Ivoire les bananeraies sont établies sur des sols hydromorphes après drainage, sur des sols ferrallitiques issus de schistes ou de granites, sur des sols limono-argileux d'alluvions fluviales et sur des sols tourbeux.

Les besoins en éléments fertilisants et les exigences hydriques des deux plantes sont très différents. Les techniques culturales, tendant à placer la plante dans des conditions végétatives optimales, ont pour conséquence de modifier les conditions écologiques naturelles et d'accentuer les différences entre les sols de bananeraie et d'ananas. Par ailleurs, le type de couvert végétal que donne chacune de ces deux plantes a une action sur la température du sol. Nous examinerons successivement l'action de ces divers facteurs dans les conditions écologiques de la Côte d'Ivoire.

Tableau 4 : Caractéristiques de quelques sols représentatifs de bananeraies (horizon supérieur).

LOCALISATION	TYPE DE SOL	TEXTURE	C ‰	N ‰	C/N	T mé/100 g	S/T ‰	pH
<u>Côte d'Ivoire</u>								
IFAC Azaguié	Ferrallitique sur schiste	argilo-sablo- limoneuse	12,6	1,1	11,4	7,5	75	5,9
IFAC Azaguié	Hydromorphe	sablo-limoneu- se	13,1	0,9	14,5	5,9	90	6,2
BDMT Niéky	Tourbe fine	da = 0,7	92,6	4,5	20,1	22,0	67	4,9
BDMT Niéky	Tourbe grossière	da = 0,3	298,0	17,5	17,0	85,0	47	4,0
<u>Cameroun</u>								
IFAC Nyombé	Brun eutrophe	argilo-limo- neuse	29,3	2,6	11,3	33,4	64	6,3
<u>Madagascar</u>								
IFAC Ivoloina	Alluvions flu- viales	sablo-limono- argileuse	20,0	1,5	15,0	13,9	43	5,4
<u>Martinique</u>								
Bellevue-François	Alluvions	argile (mont- morillonite)	16,3	1,8	9,1	37,0	56	4,8
Morne Rouge	Cendres et ponces andésitiques	sableuse	28,0	2,8	10,0	13,0	10	4,0
<u>Costa Rica</u>								
Ticaban	Alluvions (vol- caniques)	argilo-limo- no-sableuse	50,0	5,9	8,5	35,6	52	5,2
<u>Equateur</u>								
Quevedo	Tuf volcanique (sol à allophane)	limoneuse	51,0	4,0	12,8	20,0	60	6,2

Tableau 5 : Caractéristiques de quelques sols représentatifs cultivés en ananas (horizon supérieur).

LOCALISATION	TYPE DE SOL	TEXTURE	C ‰	N ‰	C/N	T mé/100g	S/T ‰	pH
<u>Côte d'Ivoire</u>								
IFAC Anguédédou	Ferrallitique sur sable argilo-ferru- gineux	argilo- sableuse	10,1	0,7	14,4	6,5	17	4,1
EFACI Tiassalé	Ferrallitique sur schistes	limono-sablo- argileuse	7,0	0,6	11,7	4,8	60	5,3
BAFECAO Brimbo	Ferrallitique sur granite	argile-limo- neuse	11,8	1,2	9,8	9,4	68	5,5
<u>Cameroun</u>								
IFAC Nyombé	Brun eutrophe	argilo-limo- neuse	42,4	4,4	9,7	34,3	50	6,3
<u>Madagascar</u>	Ferrallitique	argilo- sableuse	42,3	-	-	12,7	1	4,7
<u>Martinique</u>								
Morne Rouge	Cendres et ponces allophaniques	sablo-limono- argileuse	76,0	6,7	11,3	13,8	6	4,8
Lamentin	Alluvions	argile	19,4	2,2	8,8	15,0	38	4,6

2.1. FERTILISATION

Les besoins en calcium des deux plantes sont très différents, ils sont élevés pour le bananier et faibles pour l'ananas. Ainsi, pour un sol de capacité d'échange moyenne : 6 à 8 mé/100 g, la teneur en Ca échangeable ne doit pas être inférieure à 3 mé/100 g pour le bananier. Pour l'ananas on n'obtient pas de réponse à la fertilisation calcique pour une teneur de 1 mé/100 g (GODEFROY et al, 1971). Dans un pays comme la Côte d'Ivoire où les sols sont généralement pauvres en calcium et fortement acides, il est nécessaire, en culture bananière, d'apporter des amendements calciques ou calco-magnésiens. La pratique la plus répandue est l'apport annuel d'une tonne de dolomie ou de chaux magnésienne par hectare. Ces apports ont pour conséquence d'augmenter le degré de saturation en cations du complexe absorbant et corrélativement de diminuer l'acidité.

L'étude comparative des valeurs du pH de 40 plantations d'ananas et de 117 bananeraies ivoiriennes (fig. 1) montre que les sols de bananeraie sont généralement moins acides. Cette différence est une conséquence de la fertilisation, la quasi totalité des sols cultivés, à l'exception de ceux formés sur roche basique (pH supérieur à 7), étant originellement très acides : pH de 3,5 à 4,5.

Les besoins en phosphore sont également plus élevés pour le bananier. Pour cette culture on considère que le niveau critique est de 0,1 p. 1000 de P₂O₅ assimilable. Pour l'ananas sur un sol à teneur de 0,02 p. 1000 on n'a pas obtenu de réponse à la fertilisation phosphatée (GODEFROY et al, 1971). En bananeraie ivoirienne, le phosphore est généralement apporté sous forme de scories de déphosphoration ou de phospal : 0,5 à 1 t/ha/an. La pratique de la fertilisation phosphatée est rare en culture d'ananas.

Pour les deux plantes les besoins en azote, potassium et magnésium sont élevés. Compte tenu de la pauvreté des sols, ces éléments sont fournis aux plantes par des engrais minéraux mais le mode d'apport est très différent pour les deux cultures. En bananeraie les engrais sont épandus sur la surface du sol. En culture d'ananas ils sont, soit placés à l'aisselle des feuilles les plus âgées, soit dissous dans l'eau et pulvérisés sur le feuillage; ces modes d'apport ont pour conséquence qu'une faible partie seulement des engrais "transite" par le sol.

En résumé, étant donné les besoins en éléments nutritifs du bananier et le mode d'apport de la fertilisation, sa culture modifie beaucoup plus les caractéristiques chimiques des sols que celle de l'ananas. Une illustration de cette différence est donnée par la comparaison des sols cultivés avec les mêmes sols de forêt (tableau 6).

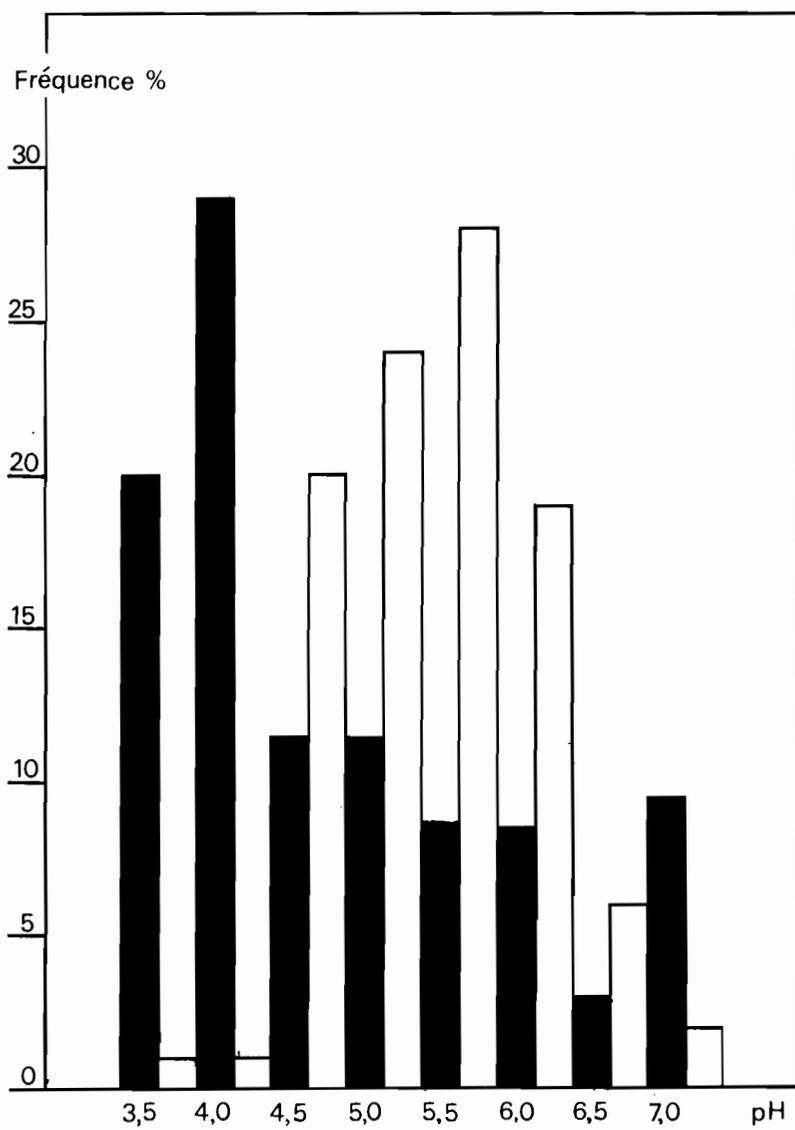


figure 1 • Distribution des fréquences du pH des bananeraies et des plantations d'ananas ivoiriennes.

■ ANANAS

□ BANANERAIE

Tableau 6 : Caractéristiques chimiques des sols cultivés et de forêt.
(horizon 0 à 25 cm).

	Sol ferrallitique sur schistes Azaguié		Sol ferrallitique sur sables argilo-ferrugineux. Anguédedou	
	Forêt	Banane-raie 15 ans	Forêt	Ananas 10 ans
Ca échang. mé/100 g	0,6	4,0	0,2	0,05
Mg " " "	0,1	1,1	0,1	0,03
K " " "	0,03	0,3	0,07	0,05
V %	10	75	4	2
pH	4,5	6,0	4,3	4,1
P ₂ O ₅ assimilable DYER p. 1000	0	0,17	0,02	0,03

2.2. IRRIGATION

Les exigences hydriques du bananier et de l'ananas sont très différentes. Le bananier est une plante dont les besoins en eau sont élevés. Pour végéter dans les conditions optimales, l'humidité du sol doit être comprise entre le pF 2,5 et le pF 3,0 et la quantité journalière d'eau disponible voisine de l'évapotranspiration potentielle. L'ananas, au contraire, est une plante dont les besoins en eau sont relativement faibles et qui est capable de supporter les périodes sèches sans préjudices pour les rendements. En raison de ces exigences, dans les régions à saison sèche supérieure à 2 mois, le bananier est généralement une culture irriguée tandis que l'ananas une culture "sèche". En bananeraie, l'irrigation tend à maintenir l'humidité du sol au-dessus du pF 3 éliminant ainsi les phases de dessèchement. En culture d'ananas, l'humidité du sol est fonction des conditions climatiques. A la pratique de l'irrigation en bananeraie s'ajoute la technique du "paillage" ou "paillis" très répandue dans certains pays. Elle consiste à recouvrir le sol de la bananeraie avec des herbes, des branchages coupés en brousse et en forêt ou avec des plantes herbacées cultivées à cet effet. Cette technique dont l'un des buts est de diminuer les pertes d'eau du sol par évaporation ou ruissellement contribue au même titre que l'irrigation à maintenir dans le sol une humidité élevée (fig. 2).

2.3. TEMPERATURE

La fréquence des replantations du bananier et de l'ananas a une action directe sur la température du sol, celles-ci ayant pour effet de priver momentanément le sol de sa protection végétale et d'ombrage. La plus grande fréquence des replantations en culture d'ananas (20 à 24 mois) qu'en bananeraie (3 ou 4 ans) a pour conséquence une température du sol plus élevée en culture d'ananas, d'autant plus que le développement de la plante

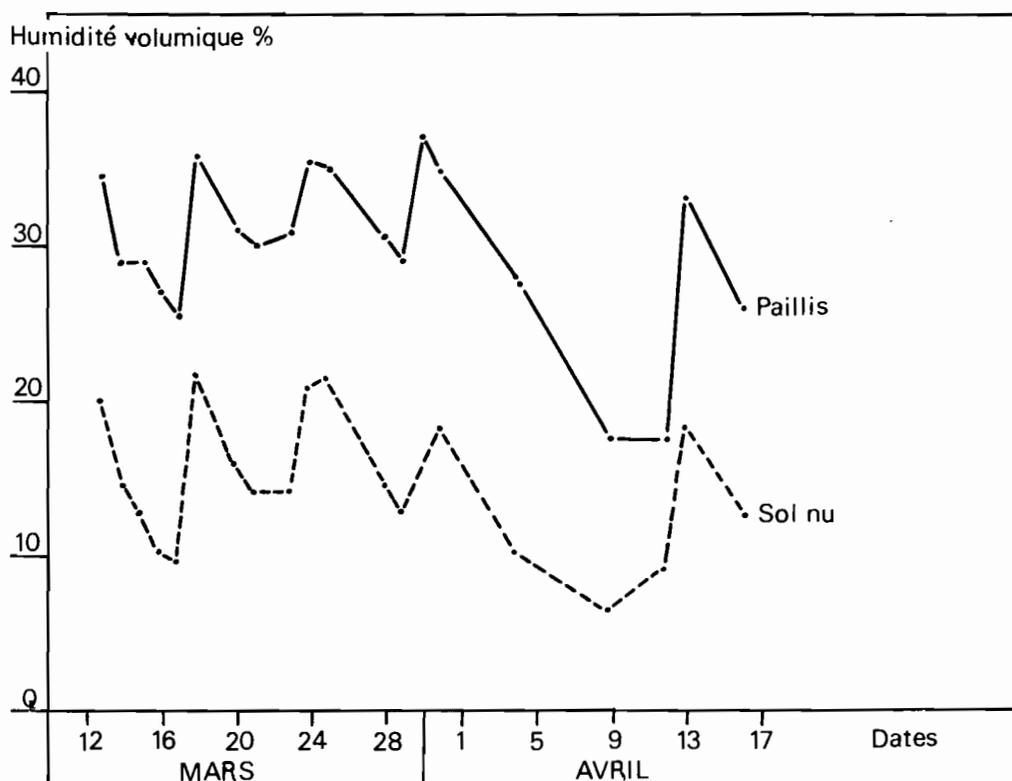


figure 2 • Variation de l'humidité d'un sol de bananeraie avec et sans paillis. Station IFAC, Azaguié, Côte d'Ivoire.

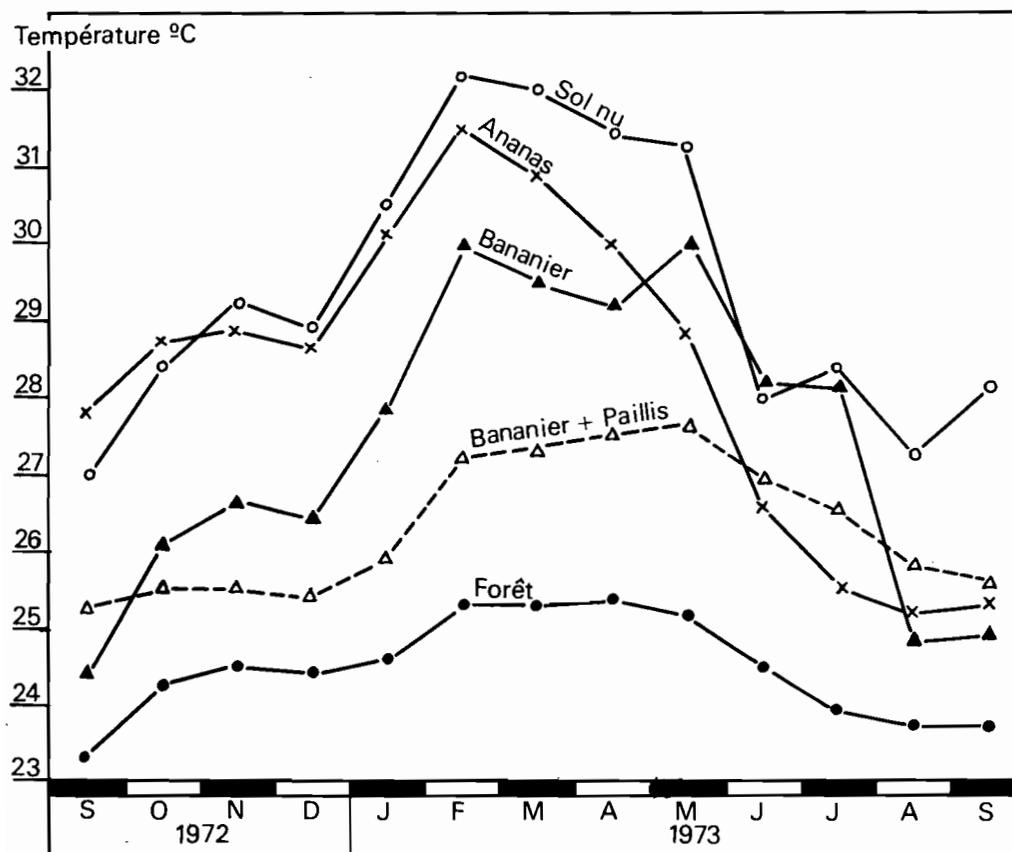


figure 3 • Température moyenne du sol à 10 cm de profondeur en fonction du couvert végétal. Sol jaune ferrallitique. Station IFAC, Azaguié.

est moins rapide. En bananeraie le sol est couvert 3 à 4 mois après la plantation et seulement après 5 à 6 mois pour l'ananas. Les courbes représentées sur la figure 3 illustrent bien ces différences.

Dans les ananas plantés le 25/08/72 la température du sol, pendant les 5 premiers mois qui suivent la plantation, est voisine de celle du sol non cultivé maintenu parfaitement désherbé (sol nu). A partir du sixième mois la végétation commence à ombrager le sol et la température est inférieure de 1,5 à 2,5 degrés à celle du sol nu.

En septembre 1972 les bananiers sont adultes et ombragent entièrement le sol. La température moyenne est inférieure de 2 à 3 degrés à celle du sol nu. Dans la première quinzaine du mois de mai 1973 la bananeraie est détruite, puis replantée. En juin et juillet la température est voisine de celle du sol nu, l'effet de l'ombrage n'apparaît qu'à partir du troisième mois.

Le paillis abaisse la température du sol, son action est d'autant plus importante que le rayonnement solaire est élevé. Les écarts maximaux observés pour la journée la plus chaude de l'année (26/02/73) sont de 5,9°C sous bananeraie et de 10,4°C entre sol nu et sol paillé sans végétation. Par temps couvert l'effet du paillis est faible, on peut même observer des températures moyennes plus élevées que sous bananeraie non paillée. Ainsi au mois de septembre 1972 la température moyenne est plus élevée de 0,8°C sous-paillis. Pour ce mois où on a enregistré la température minimale de l'air la plus faible (21,2°C), les températures maximales du sol sont identiques sous bananeraie paillée et non paillée, mais les températures minimales sont plus élevées sous paillis de 1,6°C.

La température sous forêt est très fortement abaissée par rapport au sol nu ou cultivé et les amplitudes des variations quotidiennes et saisonnières sont réduites ; les écarts maximaux entre le sol sous forêt et le sol nu sont enregistrés les mois de plus forte insolation : - 6 à - 7°C sur la température moyenne mensuelle. Pour la période étudiée (13 mois), la moyenne des écarts est la suivante : bananeraie avec paillis : + 1,8°C, bananeraie non paillée : + 2,9°C, ananas : + 3,8°C, sol nu : + 4,9°C.

3. CONCLUSION

Etant donné la diversité des facteurs de variations entre la culture du bananier et de l'ananas, il nous a paru indispensable d'homogénéiser et de simplifier nos études, afin d'étudier deux facteurs : l'évolution de la matière organique du bananier et de l'ananas et en corrélation celle de la structure du sol. Cette nécessité nous a conduit à utiliser des modèles qui permettent : 1er. L'expérimentation sur un sol très homogène, choisi de façon à mettre le mieux en évidence possible l'action des deux matières végétales sur les facteurs étudiés. 2è. La comparaison de matières végétales aussi homogènes que possible : a) homogénéisation du C/N de la matière végétale de bananier et d'ananas, n'entraînant pas celle de la composition biochimique, ni celle de la répartition de certains composés dans la structure des tissus végétaux, b) homogénéisation de la dimension des résidus

végétaux. 3^e. La connaissance de la composition et de la quantité exacte de matière végétale incorporée au sol et l'enfouissement dans des conditions parfaitement définies et homogènes. 4^e. L'évolution des deux matières végétales dans les mêmes conditions de température et d'humidité du sol et dans un sol initialement de même composition chimique et de même pH.

CHAPITRE II.

ETUDE SUR MODELES DE L'EVOLUTION DE LA MATIERE ORGANIQUE, DE L'AZOTE MINERAL, DE LA CAPACITE D'ECHANGE CATIONIQUE ET DE LA STRUCTURE D'UN SOL FERRALLITIQUE ENRICHI AVEC DE LA MATIERE VEGETALE DE BANANIER ET D'ANANAS.

Dans les traitements "bananier" et "ananas" les capacités d'échange tendent à être plus élevées lorsque l'on apporte des engrais minéraux, que sans fertilisation ; les variations du traitement "témoin" sont très faibles et non significatives.

4.2. RELATION ENTRE LA CAPACITE D'ECHANGE ET LA TENEUR EN MATIERE ORGANIQUE.

La comparaison des courbes d'évolution de la capacité d'échange et de la teneur en matière organique montre qu'il y a une relation étroite entre ces deux caractéristiques (figure 25). Cette relation est confirmée par les valeurs très élevées des coefficients de corrélation, significatifs à un seuil de probabilité inférieur à 0,01 ($0,85 \leq r \leq 0,98$) (tableau XVIII).

Il y a, toutefois, lieu de noter une différence importante entre les deux matières végétales. Alors que l'ananas produit plus de matière organique résiduelle de toutes les formes étudiées (libre, liée, acides humiques, acides fulviques, humine), la matière végétale de bananier a une action supérieure du point de vue de la capacité d'échange cationique.

Une estimation, des valeurs de T des deux types de matière organique produite, est donnée par les valeurs des coefficients de l'équation de régression linéaire simple. La valeur moyenne est de 425 mé/100 g C pour le bananier et de 200 mé/100 g C pour l'ananas, soit moitié plus faible. La capacité d'échange de la matière organique liée à la fraction minérale du sol est un peu plus élevée, que celle de la matière organique totale : bananier 480 mé/100 g C lié, ananas 290 mé/100 g C lié.

Les capacités d'échange plus élevées, dans les traitements "F₁" que dans "F₀", sont en relation avec les augmentations quantitatives de C.

Dans les sols ferrallitiques forestiers de Côte d'Ivoire, la valeur moyenne de la matière organique, pour les horizons A₁ des sols sous forêt dense humide sempervirente s'établit aux alentours de 190 à 250 mé/100 g C (de BOISSEZON, 1970).

4.3. DISCUSSION ET CONCLUSION

Malgré les très nombreux travaux consacrés aux causes de la capacité d'échange de la matière organique, nos connaissances dans ce domaine sont encore limitées. D'une étude bibliographique très complète RUELLAN (1967) tire les conclusions suivantes.

La capacité d'échange de la matière organique est due :

1er. Aux groupes carboxyles liés à différents composés, qui peuvent se dissocier et libérer des ions H⁺ à des pH inférieurs à 6, la valeur du pH de dissociation dépendant du composé auquel appartiennent ces groupes (pH 4,6 pour les acides humiques).

2è. Aux hydroxyles liés, également, à différents composés de la matière organique et qui peuvent se dissocier à des pH supérieurs à 6 et de plus en plus

1. CONDITIONS EXPERIMENTALES

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 (4 p. 100) et à suivre l'évolution de diverses caractéristiques du sol après des temps variables d'incubation. Dans l'étude in situ, le mélange : terre - matière végétale est mis dans des sacs de nylon, et enfouis dans des fosses placées dans les conditions climatiques naturelles. Les études in vitro sont réalisées dans des conditions de température et d'humidité déterminées et constantes.

1.1. INCUBATION IN SITU

1.1.1. Sol

De manière à éliminer au maximum les facteurs de variation autre que ceux faisant l'objet de cette étude, le sol a été choisi en fonction des critères suivants : 1er. Avoir un faible taux d'agrégats permettant une mise en évidence de l'amélioration de la stabilité structurale, après addition de la matière organique. 2è. Avoir une faible teneur en matière organique limitant l'interférence de la matière organique préexistante avec celle introduite et permettant d'expliquer au maximum l'influence des composés organiques incorporés. 3è. Ne pas avoir été cultivé en bananier ou en ananas de façon que la matière organique préexistante ne provienne pas d'une des deux plantes comparées et qu'il n'y ait pas de micro-organismes sélectifs.

Le sol choisi est l'horizon 30 - 60 cm d'un sol ferrallitique fortement désaturé, remanié, hydromorphe, issu de schistes, faciès jaune. La végétation est la forêt dense humide sempervirente. La texture argilo-sablo-limoneuse est à dominance de sables grossiers (SG/SF = 1,6). En relation avec la faible teneur en cations échangeables ($S = 0,5$ mé/100 g) et la forte désaturation du complexe absorbant ($V = 11$ p. 100), le pH est très fortement acide (4,5).

Le profil (photo 1) situé dans la forêt d'Azaguié en bordure de la station IFAC est le suivant :

Surface : Litière de feuilles et de brindilles de 0,5 à 1 cm d'épaisseur.

0 à 15 cm : Humide, brun jaunâtre (10 YR 5/4), matière organique non directement décelable, sans éléments grossiers, argilo-sableux, structure polyédrique moyenne et fine faiblement développée, cohérent, peu poreux, friable, peu dur, peu collant. Feutrage de racines de 0 à 5 - 7 cm, densité élevée de 5 à 15 cm. Présence de vers de terre et très nombreux turricules. Limite de l'horizon graduelle.

15 à 60 cm : Très humide, jaune brunâtre (10 YR 6/6), non organique, quelques cailloux de quartz de 5 cm de \varnothing en moyenne, argilo-sablo-limoneux, structure continue à débit polyédrique grossier, cohérent, poreux, friable, assez dur, légèrement collant. Densité moyenne de racines. Limite de l'horizon graduelle.

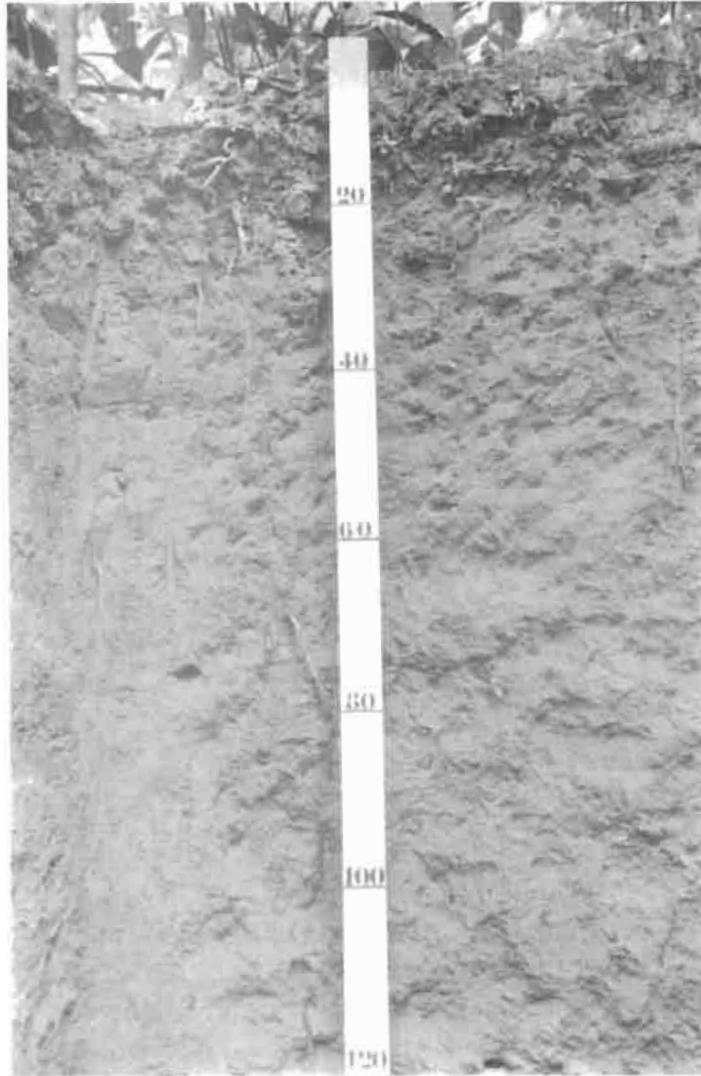


Photo 1. Profil de sol sous forêt d'Azaguié.

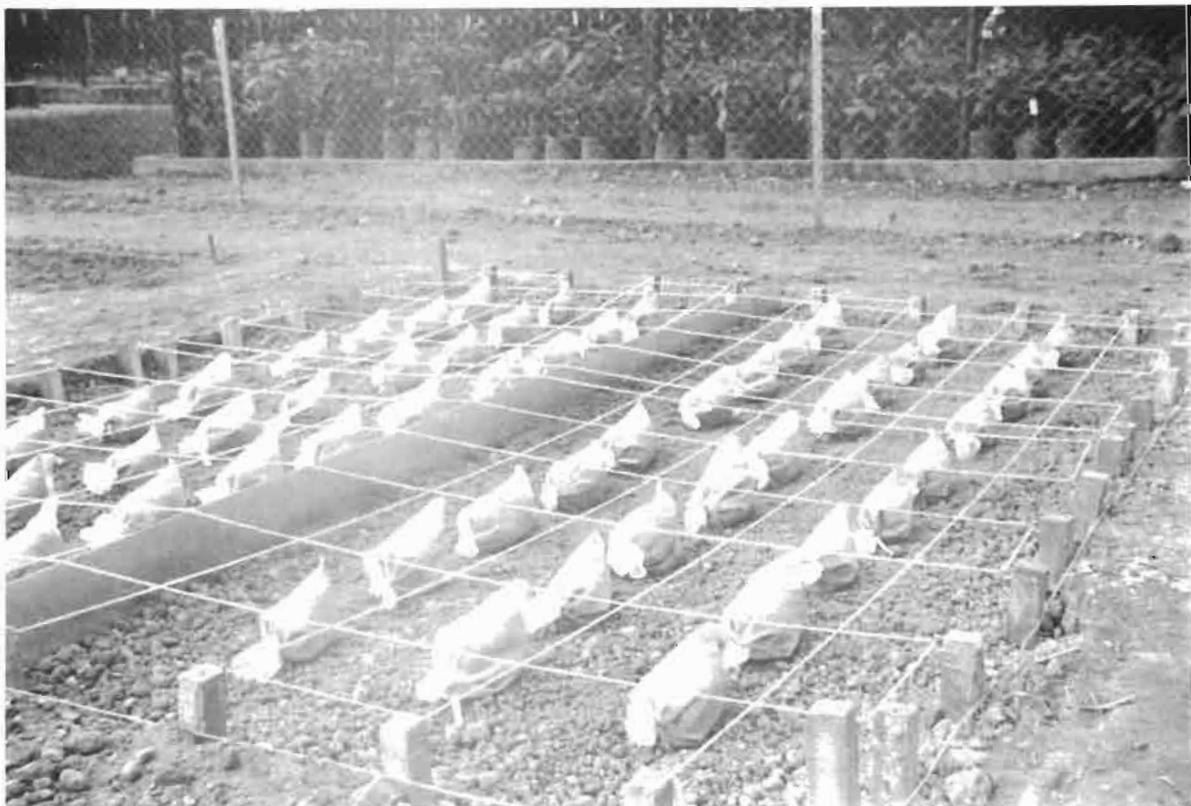


Photo 2. Incubation in situ. Vue du dispositif d'une répétition avant l'enfouissement des sacs.

60 à 100 cm : Très humide, jaune brunâtre (10 YR 6/8), taches rouilles nombreuses en traînées verticales à limites nettes, contrastées, non organique, argileux, peu graveleux, quelques cailloux de quartz de taille variable (\emptyset 5 à 10-12 cm), à 1 m de profondeur un bloc de schiste ferruginisé très altéré. Structure continue à débit polyédrique grossier, cohérent, poreux, peu friable, assez dur, collant. Densité faible de racines.

Les caractéristiques physiques et chimiques sont données dans le tableau 7.

1.1.2. Climat

Les caractéristiques du climat de la station IFAC d'Azaguié, où est réalisée cette étude, seront présentées avec les essais au champ (chapitre III). Nous nous limiterons, dans ce paragraphe, à l'étude de la température et de l'humidité du sol dans nos conditions expérimentales pendant les 3 années étudiées.

Les températures maximales et minimales quotidiennes sont mesurées dans le sol d'une fosse à 10 cm de profondeur. L'examen du tableau I et de la figure 4 montre que les moyennes mensuelles des maximums et des minimums varient peu autour de 31°C et 26°C. Les maximums et les minimums absolus observés au cours des 3 années sont de 38°C et 22°C. La température moyenne annuelle varie très peu : 28,2 à 28,4°C

L'humidité du sol dans les sacs est mesurée chaque semaine. A cet effet 12 sacs de 1 kg de terre ont été placés dans la sixième fosse. Chaque semaine, on extrait 3 sacs que l'on pèse puis réenfouit immédiatement. Des mesures préalables ont montré que l'humidité du sol à l'intérieur et à l'extérieur des sacs est peu différente en période peu pluvieuse. En revanche, en saison des pluies le ressuyage de la terre dans les sacs est plus lent que dans la terre de la fosse et des différences de 5 p. 100 d'humidité pondérale sont fréquentes. En fait, nous nous sommes rendus compte, en cours d'expérimentation que l'humidité du sol était variable suivant les traitements et que les humidités, telles que nous les avons mesurées, n'étaient représentatives que des traitements "témoin". Ces différences sont en relation avec les modifications des caractéristiques hydriques dans les divers traitements, en liaison avec les variations de teneur en matière organique. Dans les traitements "témoin" l'humidité du sol varie entre le point de flétrissement (pF 4,2 = 9 p. 100) et la capacité au champ (pF 2,5 = 20 p. 100) pendant les périodes sèches ou moyennement pluvieuses et entre 20 et 30 p. 100 durant les mois très pluvieux (figure 4).

1.1.3. Matériel végétal

Les rapports C/N de la matière végétale de l'ensemble d'un bananier (feuilles, stipes, rhizome, racines) et d'un plant d'ananas (feuilles, tige, rhizome, racines) étant très différents : de l'ordre de 30 pour le bananier et de 60 pour l'ananas, il a été jugé préférable de comparer des matières végétales de même C/N. On a choisi un C/N intermédiaire égal à 45. Cette

Tableau 7 : Caractéristiques du sol des modèles (terre fine, horizon 30 - 60 cm).

Granulométrie des constituants minéraux	Argile granulométrique	18,9 %
	Limon fin	10,5 %
	Limon grossier	13,3 %
	Sable fin	21,0 %
	Sable grossier	33,9 %
Matière organique	Carbone total	3,5 ‰
	Carbone de la M.O. lié	3,0 ‰
	Carbone de la M.O. libre	0,5 ‰
	Azote total	0,31 ‰
	Azote de la M.O. lié	0,30 ‰
	Azote de la M.O. libre	0,01 ‰
	C/N total	11
	C/N lié	10
Complexe absorbant	Ca échangeable	0,24 mé/100g
	Mg échangeable	0,06 mé/100g
	K échangeable	0,12 mé/100g
	Capacité d'échange	3,7
	Coefficient de saturation	11 %
	pH	4,5
	P ₂ O ₅ assimilable (DYER)	0
Stabilité structurale	Agrégats vrais stables à l'eau après prétraitement	
	(Alcool)	4,5 %
	(Benzène)	0,2 %
Rétention de l'eau	Humidité pondérale à pF 2,5	20 %
	à pF 4,2	9 %

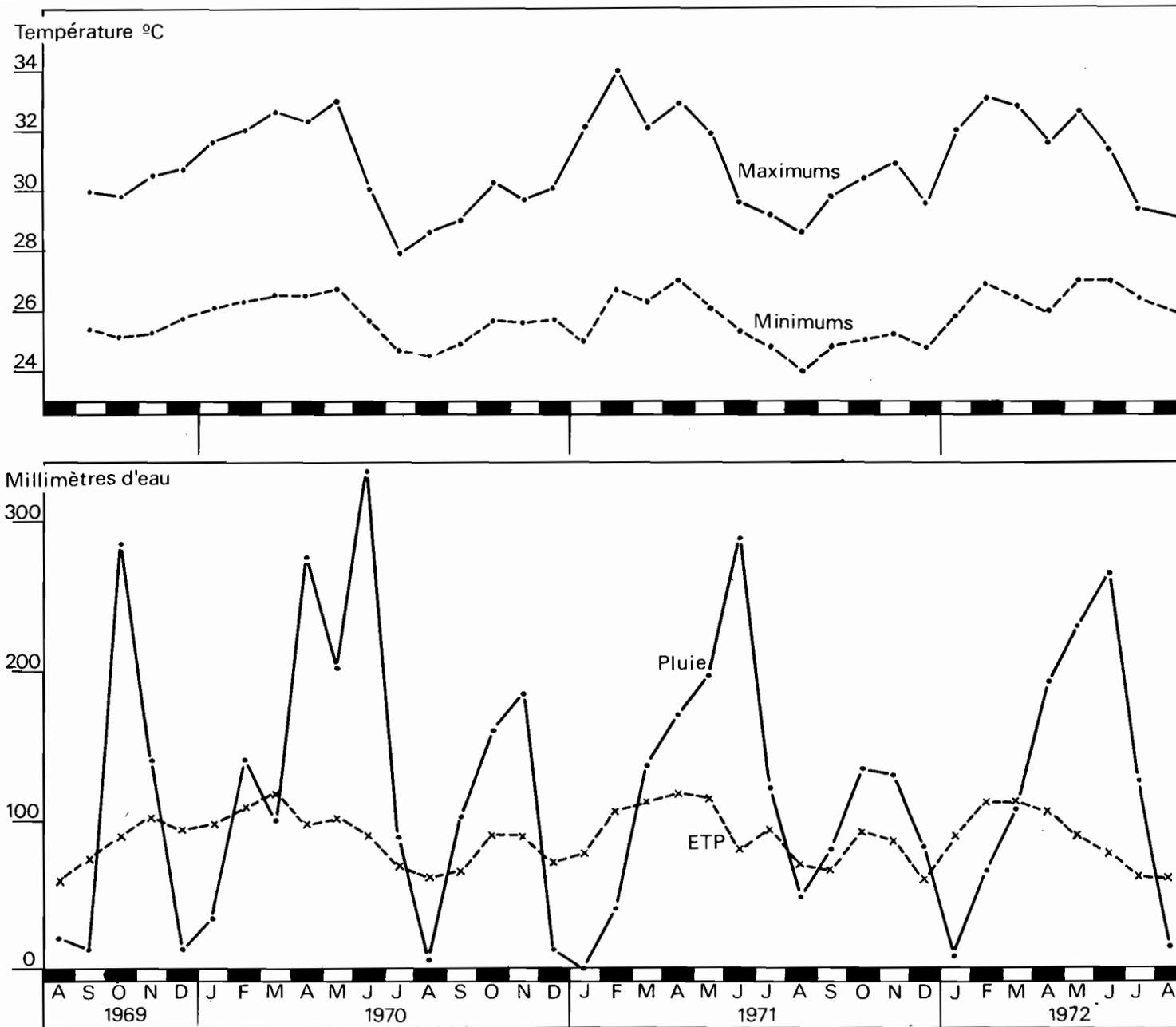


figure 4 • Données climatiques : pluies, évapotranspiration, température du sol à 10 cm de profondeur. Incubation in situ. Azagüé.

homogénéisation du C/N n'entraîne pas celle de la composition biochimique ni celle de la répartition de certains composés dans la structure des tissus végétaux.

Pour le bananier, la matière végétale est obtenue en mélangeant du stipe à C/N de l'ordre de 45 à 55 avec du limbe à C/N faible : 15 à 20. Ces deux organes représentent dans un bananier respectivement 45 et 25 p. 100 de la matière végétale sèche. Pour l'ananas, l'obtention d'une matière végétale à C/N de 45 posait un problème puisque tous les organes de la plante ont un C/N supérieur à 45. On a utilisé l'artéfact suivant : dans la feuille ananas, la teneur en carbone est pratiquement constante sur toute la longueur, tandis que celle en azote varie : elle augmente de la partie basale vers la partie apicale. En coupant les feuilles en deux : partie basale : moitié inférieure et partie apicale : moitié supérieure, on obtient deux lots : l'un de C/N inférieur à 45 et l'autre supérieur. Le mélange en proportion adéquate permet d'obtenir une matière végétale à C/N de 45. Dans un plant d'ananas, les feuilles représentent de l'ordre de 50 p. 100 de la matière végétale sèche.

La composition de la matière végétale de bananier et d'ananas est donnée dans le tableau 8. La composition minérale diffère principalement par les teneurs en potassium, calcium, fer et manganèse qui sont plus élevées dans la matière végétale de bananier. Les teneurs en azote et en carbone sont un peu plus élevées dans le mélange ananas (16 à 19 p. 100). La composition biochimique de la matière végétale d'ananas et de bananier diffère essentiellement dans les groupes I et II. Les substances du groupe I (substances hydrosolubles à 100°C) sont en quantité plus élevée dans les feuilles d'ananas, en particulier la teneur en sucre. Les substances du groupe II (substances solubles à la soude à 1 p. 100 à 100°C) sont en quantité supérieure dans le bananier. Les substances des groupes III (lignine) et IV (cellulose) sont voisines dans les deux matières végétales. La teneur en lignine est faible : 3 à 8 p. 100 et celle en cellulose moyenne : 23 à 29 p. 100. Du point de vue de la texture la matière végétale d'ananas est beaucoup plus fibreuse que celle de bananier.

1.1.4. Enfouissement

La matière végétale fraîche est mélangée à 1 kg de terre dans la proportion de 4 p. 100 de M.S., après avoir été découpée en petits cubes de 6 mm. Le mélange est mis dans des sacs de nylon à mailles de 0,8 mm et enfouis dans des fosses entre 5 et 15 cm de profondeur. La dimension des sacs est de 15 x 24 cm pour les témoins et de 18 x 27 cm pour les traitements "bananier" et "ananas". Les sacs sont étiquetés avec des plaquettes en aluminium imprimées à la pince DYMO.

Les fosses de 2,60 sur 3,30 mètres sont creusées à 0,50 m de profondeur. Le fond de la fosse est rempli avec 0,10 m de graviers et les 0,40 m restant avec la même terre de forêt que celle mise dans les sacs. Dans la fosse les sacs sont distants de 0,30 m dans les deux sens. De petits poteaux en ciment placés tous les 0,30 m sur le pourtour de la fosse permettent, en tendant des ficelles, de quadriller le terrain et de repérer la position des sacs (figures 5 et 6 et photo 2). Cinq fosses sont utilisées pour les 5 répétitions de l'essai, la sixième est utilisée pour les études annexes :

Tableau 8 : Composition de la matière végétale
a) Matière minérale et carbone total

1. Incubation in situ

Année	Plante	p. 100 de M.S.							p.p.m. de M.S.			
		C	N	C/N	P	K	Ca	Mg	Mn	Fe	Cu	Zn
1969	Ananas (55 % apical, 45 % basal)	44,8	1,00	45	0,13	1,65	0,15	0,18	66	292	7	
	Bananier (97 % stipe, 3 % limbe)	38,4	0,85	45	0,22	6,13	0,92	0,22	72	244	7	
1970	Ananas (36 % apical, 64 % basal)	43,8	0,97	45	0,16	1,63	0,33	0,23	97			
	Bananier (96 % stipe, 4 % limbe)	37,0	0,82	45	0,08	6,95	1,06	0,12	206			
1971	Ananas (47 % apical, 12 % basal)	45,4	1,01	45	0,10	2,30	0,19	0,03	28	168	18	128
	Bananier (88 % stipe, 12 % limbe)	32,9	0,87	45	0,08	5,81	0,96	0,07	237	47	7	86

2. Etude in vitro

	Ananas (35 % apical, 65 % basal)	45,5	1,02	45	0,08	1,42	0,21	0,16	106	189	5	
	Bananier (99 % stipe, 1 % limbe)	38,6	0,86	45	0,11	6,02	0,82	0,18	352	247	8	

b) Matière organique

Groupes	p. 100 de M.S.				C p. 100 de M.S. *				N p. 100 de M.S.			
	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV
Feuilles ananas apicales	48,9	23,7	3,6	23,8	20,1 (45,1)	12,1 (27,2)	2,4 (5,5)	10,0 (22,2)	0,85 (67,5)	0,40 (31,7)	0,004 (0,3)	0,012 (1,0)
Feuilles ananas basales	42,7	24,1	4,2	29,0	17,4 (39,7)	12,4 (28,3)	1,3 (3,0)	12,7 (29,0)	0,52 (64,2)	0,28 (34,6)	0	0,007 (0,9)
Stipe bananier	27,0	41,1	2,6	29,3	6,8 (18,2)	17,2 (45,8)	1,5 (3,9)	12,0 (32,0)	0,36 (49,3)	0,37 (50,7)	0	0,008 (1,1)
Limbe bananier	23,4	45,3	8,0	23,3	8,1 (18,0)	22,7 (50,6)	4,2 (9,3)	9,9 (22,1)	0,34 (13,9)	2,06 (84,4)	0,016 (0,7)	0,026 (1,1)

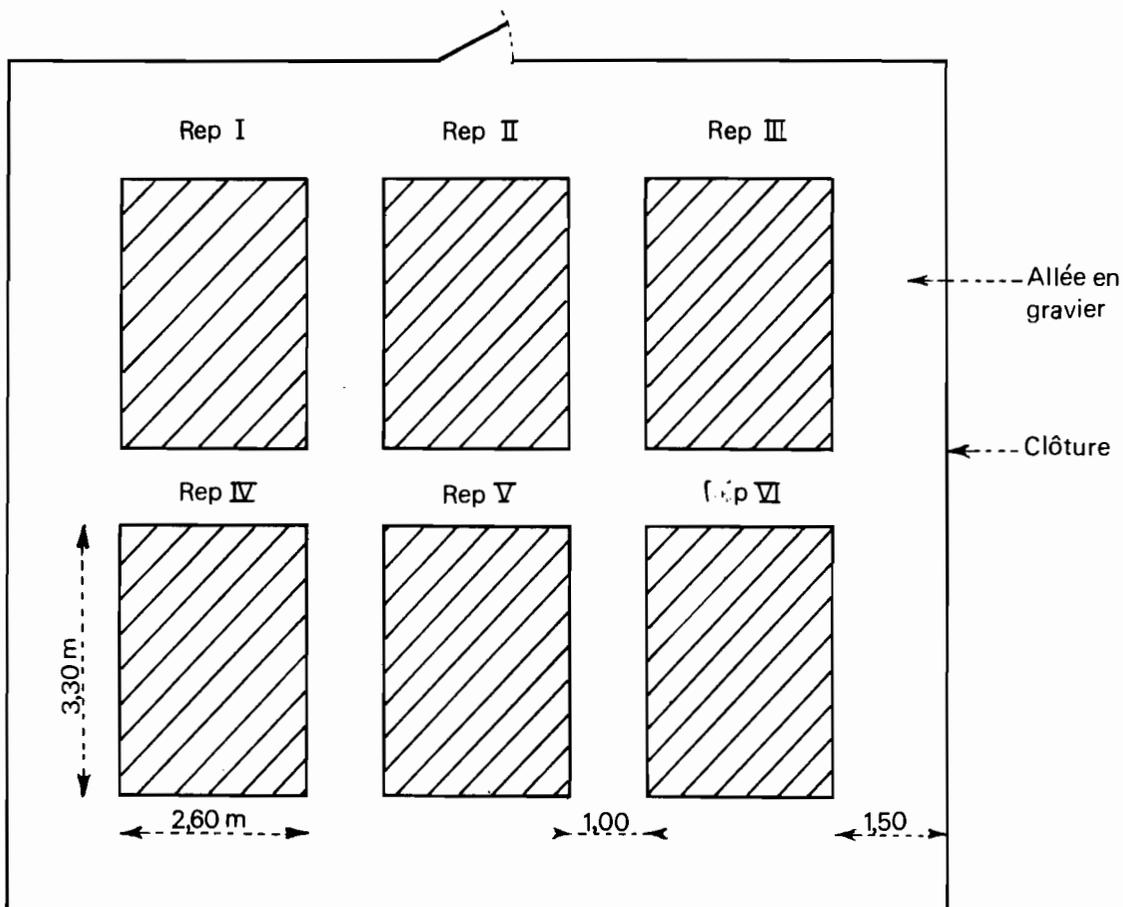
* Entre parenthèse pourcentage de C ou N par rapport à C et N total

c) Composition en sucres des substances hydrosolubles (groupe I)

	Sucres réducteurs		Sucres non réducteurs	
	% de MS	% de C	% de MS	% de C
Feuilles ananas apicales	12,8	5,1	3,4	1,4
Feuilles ananas basales	12,7	5,1	7,9	3,2
Stipe bananier	0,4	0,2	0,4	0,2
Limbe bananier	0,5	0,2	0,1	0,04

- Groupe I : Composés solubles à l'eau à 100°C (amidon, sucres, tannins, gommés, sels solubles etc...)
- Groupe II : Composés solubles à la soude à 1 p. 100 à 100°C (pectines, graisses, cires, résines, hémicellulose, etc...)
- Groupe III : Lignine et autres composés solubles à la soude à 4 p. 100 à une température supérieure à 130°C (séparation par chloruration suivie d'un lavage au sulfite de sodium à 2 p. 100).
- Groupe IV : Cellulose.

SCHÉMA DU DISPOSITIF D'ENSEMBLE SUR LE TERRAIN



VUE EN COUPE D'UNE FOSSE

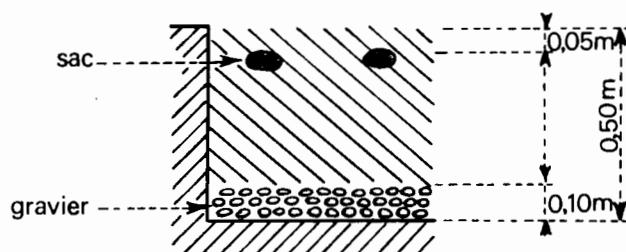


figure 5 • Incubation in situ .

SCHÉMA DU DISPOSITIF D'UNE RÉPÉTITION

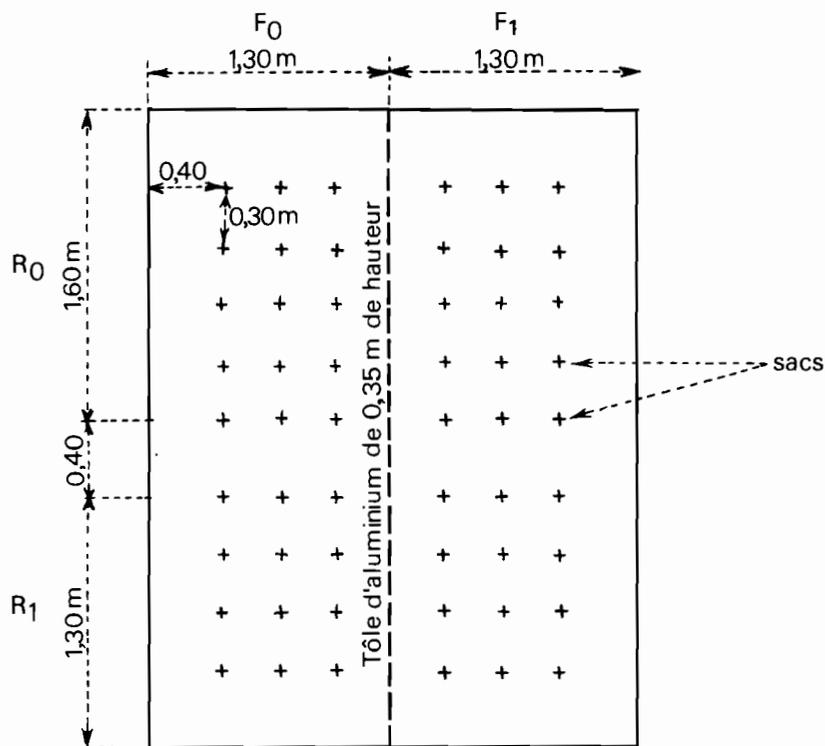


figure 6 a • Incubation in situ.

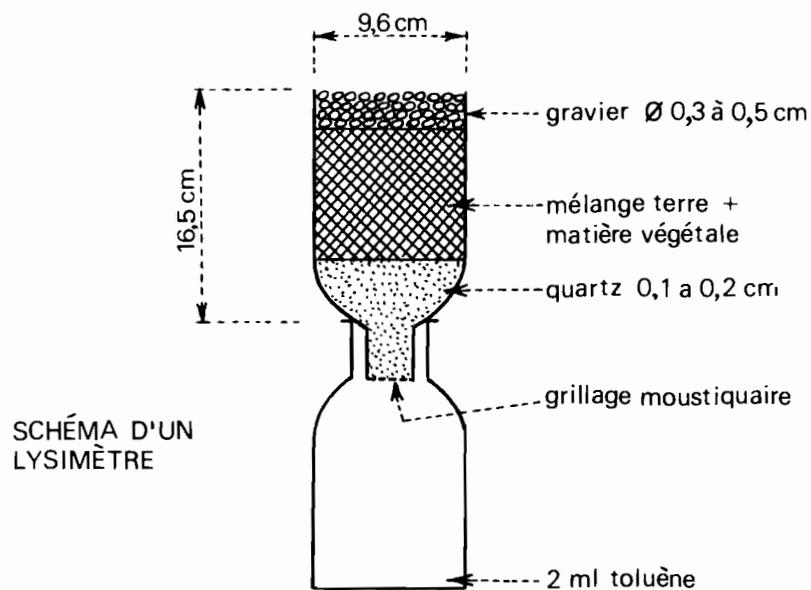


SCHÉMA D'UN
LYSIMÈTRE

figure 6 b • Etude en lysimètre.

(humidité, température, lysimètres). Le sol des fosses et des allées est maintenu parfaitement propre par un sarclage hebdomadaire. A cette fréquence il y a très peu de mauvaises herbes d'un sarclage à l'autre. Aux périodes de fortes pluies, l'érosion à la surface des fosses est assez intense. En plaçant à 0,20 m au-dessus du sol un cadre sur lequel est fixé du grillage moustiquaire on annule pratiquement les effets de l'érosion. Le grillage réduit l'énergie cinétique des gouttes de pluie et leur diamètre, mais la quantité d'eau qui arrive au sol n'est pas modifiée. Ces cadres sont placés au-dessus des fosses pendant les mois fortement pluvieux.

1.1.5. Traitements et dispositif expérimental

L'étude comporte trois facteurs de variation.

a) Facteur A

- a) Témoin (T) : sol non enrichi
- b) Ananas (A) : sol + ananas (4 p. 100)
- c) Bananier (B) : sol + bananier (4 p. 100)

b) Facteur B

- a) Réincorporation annuelle (R_1) de matière végétale (4 p. 100)
- b) Non réincorporation annuelle (R_0)

Le sol du traitement témoin " R_1 " subit les mêmes manipulations que celui des traitements "bananier" et "ananas" : extraction annuelle des sacs au moment de la réincorporation de matière végétale, émiettage de la terre puis réenfouissement des sacs. Cette manipulation correspond donc à une aération du sol.

c) Facteur C

- a) Fumure minérale (F_1)
- b) Sans fumure minérale (F_0)

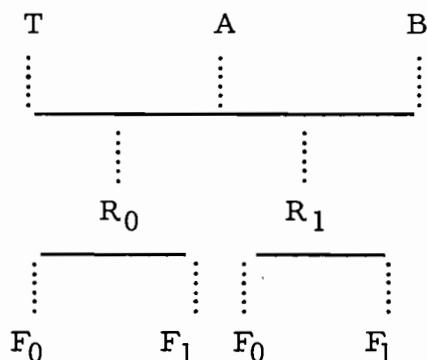
La fumure minérale exprimée en kg/ha/an est de :

N	= 300 kg	(670 kg d'urée)
K ₂ O	= 450 kg	(750 kg de KCl)
P ₂ O ₅	= 180 kg	(1000 kg de scories de déphosphoration)
CaO	= 300 kg	(1000 kg de dolomie.
MgO	= 200 kg	(

L'azote et le potassium sont apportés en pulvérisation sur la surface du sol, la dolomie et les scories sont épandues en poudre et enfouies superficiellement. Les épandages sont effectués en deux fois : à la fin de la grande saison des pluies (août) et à la fin de la petite saison des pluies (fin novembre, début décembre).

Les parcelles " F_0 " et " F_1 " sont séparées par une tôle d'aluminium de 0,35 m de hauteur enterrée sur 0,30 m.

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



Le dispositif expérimental comporte 5 blocs, chaque bloc est divisé en 4 parties : R₀ F₀, R₀ F₁, R₁ F₀, R₁ F₁ (figure 6a). L'emplacement des sacs est déterminé par tirage au sort.

L'étude, prévue pour une durée de 5 années, a été commencée en 1969. Chaque année (août) on extrait un certain nombre de sacs pour effectuer les différentes analyses de sol. Compte tenu des différents facteurs de variation et des répétitions, le nombre de sacs enfouis au début de l'étude est 270.

1.2. ETUDE IN VITRO

1.2.1. Sol et matière végétale

Le sol, la matière végétale et les proportions du mélange sont les mêmes que dans l'étude in situ mais la matière végétale est séchée à 60°C et broyée dans un broyeur à marteau muni d'un tamis de 1 mm.

1.2.2. Incubations

On constitue 4 lots destinés aux différentes déterminations.

- 1er lot : 200 g terre + 8 g M.V mis dans des bocaux de 1 l. entrouverts, destiné aux analyses de structure et des différents composés carbonés et azotés.
- 2è lot : 50 g terre + 2 g M.V mis dans des bocaux de 1 l. à fermeture hermétique, destiné aux mesures du dégagement de CO₂.
- 3è lot : 50 g terre + 2 g M.V mis dans des erlenmeyers de 250 ml recouverts de polyéthylène perforé, destiné aux dosages de N-NH₄ et N-NO₃.
- 4è lot : 50 g terre + 2 g M.V mis dans des bocaux de 1 l. à fermeture hermétique et dans lesquels on a placé un bécher contenant de l'acide sulfurique, destiné au dosage des pertes d'ammoniaque par volatilisation.

Chaque lot comprenant, en outre, des témoins (sol non enrichi) est humecté avec précaution de façon à amener l'humidité à pF 2,5. Les différents lots sont mis à incuber dans une armoire calorifugée placée à la température ambiante. La température mesurée par un thermomètre enre-

gisteur, varie très peu autour de 27°C (moyenne des maximums 27,8°C, moyenne des minimums 26,3°C maximum absolu : 30°C, minimum absolu : 24°C). L'air de l'armoire est saturé d'humidité, en plaçant des cristallisoirs contenant une solution de sulfate de potasse à 15 p. 100. Les humidités sont réajustées chaque semaine par pesée. Les pertes d'eau sont extrêmement faibles : 0 à 1 p. 100 maximum.

Après des temps croissants, des échantillons sont retirés du dispositif d'incubation, afin d'être soumis aux différents tests et analyses.

1.2.3. Traitements

On compare trois traitements qui sont répétés cinq fois.

- témoin (T) : sol non enrichi
- ananas (A) : sol + ananas (4 p. 100)
- bananier (B) : sol + bananier (4 p. 100)

1.3. ETUDE EN LYSIMETRES

Une étude en lysimètres a été entreprise afin de préciser sous quelle forme se faisaient les pertes d'azote par lixiviation.

1.3.1. Matériel

Les lysimètres sont constitués par des flacons de verre de 1 litre (\varnothing 9,6 cm, hauteur 16,5 cm) servant au conditionnement de certains produits chimiques et dont le fond a été découpé. Après remplissage de terre (0,5 kg) et de matière végétale, ils sont placés renversés sur des flacons en plastique de 1 litre dans lesquels on recueille les eaux de drainage (fig. 6b). Les deux flacons sont enfoncés dans le sol de la sixième fosse, de façon que celui contenant la terre dépasse de 2 cm. Un cylindre en plastique empêche les éboulements de terre, lorsque l'on retire le lysimètre pour faire le prélèvement des eaux. Le mélange : terre-matière végétale a la même composition que celui des sacs ; la matière végétale est celle qui a servi aux réenrichissements en 1971.

1.3.2. Traitements

Les traitements sont les mêmes que dans l'étude en sacs, soit 3 traitements principaux : témoin (T), ananas (A), bananier (B) et 2 sous-traitements "avec" (F_1) et "sans" fumure minérale (F_0). La fertilisation est appliquée aux mêmes doses/ha et aux mêmes dates. Il n'y a qu'une seule incorporation de matière végétale (R_0). Chaque traitement est répété 3 fois ce qui donne un nombre total de $3 \times 2 \times 3 = 18$ lysimètres. Trois lysimètres ne contenant que du sable et du gravier sont destinés à recueillir l'eau de pluie. Après chaque prélèvement d'eau on met dans les flacons de récupération 2 ml de toluène. Dans les eaux recueillies on dose une fois par mois l'azote ammoniacal, l'azote nitrique et l'azote total.

1.4. PRINCIPES DES DETERMINATIONS ANALYTIQUES

1.4.1. Extraction et fractionnement de la matière organique

Nous avons utilisé la méthode mise au point par DUCHAUFOR et JACQUIN (1966) consistant en une séparation densimétrique, suivie de trois extractions aux réactifs alcalins.

a) Séparation densimétrique

Cette opération consiste à débarrasser le sol des débris organiques non transformés, n'ayant pas contracté de liaisons 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). Cette séparation densimétrique se fait en mélangeant la terre à un liquide de densité 1,8 (alcool-bromoforme) et en décantant par centrifugation. La fraction des acides humiques solubles dans le mélange alcool-bromoforme constitue les acides humatomélaniques, qui sont des composés peu polymérisés.

b) Extraction aux réactifs alcalins

La fraction dense de la séparation densimétrique est soumise à trois extractions alcalines successives : deux au pyrophosphate de sodium (pH 7 et pH 10) et une troisième extraction à la soude N/10 à pH 12. Sur ces extraits, les acides humiques et fulviques sont séparés par précipitation des acides humiques en milieu acide. Le carbone est dosé sur les acides humiques et fulviques, ainsi que sur le culot des trois extractions qui constitue l'humine.

Le dosage du carbone total et des fractions libres et liées réalisé au laboratoire de l'IFAC d'Azaguié (Côte d'Ivoire) est effectué par la méthode ANNE. Le dosage du carbone dans les acides humiques, fulviques, et dans l'humine réalisé au laboratoire du C.N.R.S. de NANCY est effectué au carmograph. La comparaison des résultats des deux méthodes, sur les différentes fractions de sol très variés (PERRAUD, 1971) montre que les résultats obtenus par la méthode ANNE sont inférieurs mais la différence est faible : moins de 6 p. 100.

Le dosage de l'azote total, des fractions libres et liées est effectué par la méthode KJEDAHN.

1.4.2. Minéralisation du carbone

Nous avons utilisé la méthode macro-respirométrique en aération discontinue mise au point par DOMMARGUES (1960). L'échantillon de sol (50 g) est enfermé dans une enceinte étanche (1 l.) où le gaz carbonique est absorbé par de l'alcali (soude) puis dosé. L'enceinte est ouverte périodiquement : tous les jours au début, puis à intervalle décroissant au fur et à mesure de la diminution de la consommation d'oxygène, pour renouveler complètement l'atmosphère et éviter que la pression partielle d'O₂ ne tombe pas au-dessous de 75 p. 100 de sa valeur dans l'air car la respiration risque d'être ralentie par la déficience en O₂ (LONGMUIR, 1954 cité par DOMMARGUES 1960).

La même méthode est utilisée pour l'évaluation de la teneur du sol en carbone facilement biodégradable. 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.

1.4.3. 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 hydrolyse avec l'acide sulfurique 3 N à 80°C pendant 24 h. Après neutralisation de l'hydrolysate par la soude 3 N, les sucres sont dosés par la méthode de NELSON (1944) qui utilise un réactif à base de molybdate d'ammonium et d'arséniate de sodium pour développer une coloration bleue proportionnelle à la quantité de sucre.

1.4.4. Azote minéral

L'azote minéral est extrait par agitation de 50 g de sol dans 200 ml de chlorure de potassium N. Après filtration sans entraîner la terre, on fait une deuxième agitation de 15 minutes avec 100 ml de la solution d'extraction.

L'azote ammoniacal est dosé par distillation alcaline en présence de magnésie sur 200 ml d'extrait. L'azote nitrique est dosé sur le même aliquote après réduction des nitrates par l'alliage de DEWARDA. L'ammoniaque recueillie dans une solution d'acide borique est titrée avec de l'acide sulfurique N/50 en présence d'indicateur TASHIRO.

L'azote minéral dans les eaux (lysimètres) est dosé par la même méthode sur une prise de 100 ml.

1.4.5. Azote total dans les eaux

On ajoute dans les 100 ml d'eau à analyser : 1 p. 100 d'acide sulfophénique 12 heures environ avant de commencer la minéralisation, afin de condenser les dérivés volatils. La minéralisation de l'azote organique est conduite suivant la méthode KJEDAHL mais en remplaçant le catalyseur au sélénium par du DEWARDA.

1.4.6. Capacité d'échange des cations

Le sol est saturé par une solution de chlorure de calcium. Après lavage à l'alcool du chlorure, le calcium est déplacé par une solution de nitrate de potassium, puis dosé par complexométrie.

1.4.7. Stabilité de la structure

La stabilité de la structure est déterminée suivant la méthode HENIN et al (1958). Nous ne reproduirons 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 dans l'eau, d'échantillons humectés ou non 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, qui permet d'apprécier la cohésion, est basé sur le fait expérimental que l'on diminue ou supprime le processus d'éclatement des agrégats, en mouillant de la terre avec l'alcool éthylique ou des liquides ayant des propriétés voisines. Leur action directe sur la terre est insuffisante pour provoquer une destruction des particules mais en imbibant la terre ils chassent l'air. Quand l'échantillon est ensuite plongé dans l'eau, l'alcool qui est miscible à ce liquide se trouve remplacé par lui sans qu'il y ait éclatement.

Le deuxième test fait ressortir le rôle des matières organiques sur la stabilité de la structure en accentuant les effets de la non mouillabilité. Dans ce cas, la terre est encore imbibée au préalable par un liquide organique mais non miscible à l'eau et non fixé par la matière minérale (benzène par exemple). Si après avoir ainsi traité une terre ne renfermant pas de matière organique on la plonge dans l'eau, les particules primitives se disloquent intensément. En revanche, si la terre renferme des matières organiques, celles-ci fixent le liquide utilisé et s'entourent d'un film qui les protège du contact de l'eau, les soustrayant ainsi à l'action de ce liquide.

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

Dans ces trois tests la terre après avoir subi ou non un prétraitement est agitée dans l'eau, puis tamisée sous l'eau sur un tamis de 0,2 mm. On détermine la quantité d'agrégats non détruits par les différents traitements qui sont réalisés dans des conditions standard très strictes.

Ainsi, nous disposons d'une série de tests qui permettent d'accroître 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 : \varnothing 0,2 à 2,0 mm).

Pour nuancer les résultats, distinguer les assemblages de tailles inférieures à 0,2 mm des particules dispersées, il faut opérer d'autres fractionnements sur les particules passées au travers du tamis de 0,2 mm. Etant donné leur taille, il faut faire appel à une méthode de sédimentation. On a choisi de déterminer uniquement l'ensemble des particules inférieures à 20 microns. On retient des trois mesures celle qui donne le résultat le plus élevé ; c'est généralement celle du traitement 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 :

$$I_s = \frac{\text{éléments inférieurs à 20 microns (\% maximum)}}{\frac{\text{Aga} + \text{Age} + \text{Agb} (\%)}{3} - 0,9 \text{ Sg} (\%)}$$

L'indice I_s exprime l'instabilité, il varie en raison inverse de la stabilité de la structure.

Les différents tests sont faits sur la terre séchée à l'air, un mois minimum après le prélèvement des échantillons de sol. On sait en effet (MONNIER et KONAN 1968) que le mode et la durée du séchage ont une influence sur les résultats des tests de stabilité. Au-delà d'un mois les variations de stabilité sont faibles.

2. ETUDE DE LA MATIERE ORGANIQUE

2.1. INCUBATION IN SITU

Dans cette étude où les quantités de matière végétale de bananier et d'ananas incorporées au sol sont identiques (4 p. 100), les apports correspondants de carbone et d'azote sont voisins bien qu'un peu supérieurs pour l'ananas (tableau 9). Ces faibles différences permettent une comparaison valable de l'évolution des deux substrats.

Tableau 9 : Carbone et azote (g) apportés par la matière végétale dans 1 kg de terre.

	1969		1970		1971	
	C	N	C	N	C	N
Ananas (par année)	17,9	0,40	17,5	0,39	18,2	0,41
Ananas (cumulé)			35,4	0,79	53,6	1,20
Bananier (par année)	15,4	0,34	14,8	0,33	15,7	0,35
Bananier (cumulé)			30,2	0,67	45,9	1,02

2.1.1. Matière organique totale

Les résultats de l'évolution de la matière organique totale, au cours des 3 années étudiées, sont présentés dans le tableau II et graphiquement sur la figure 7.

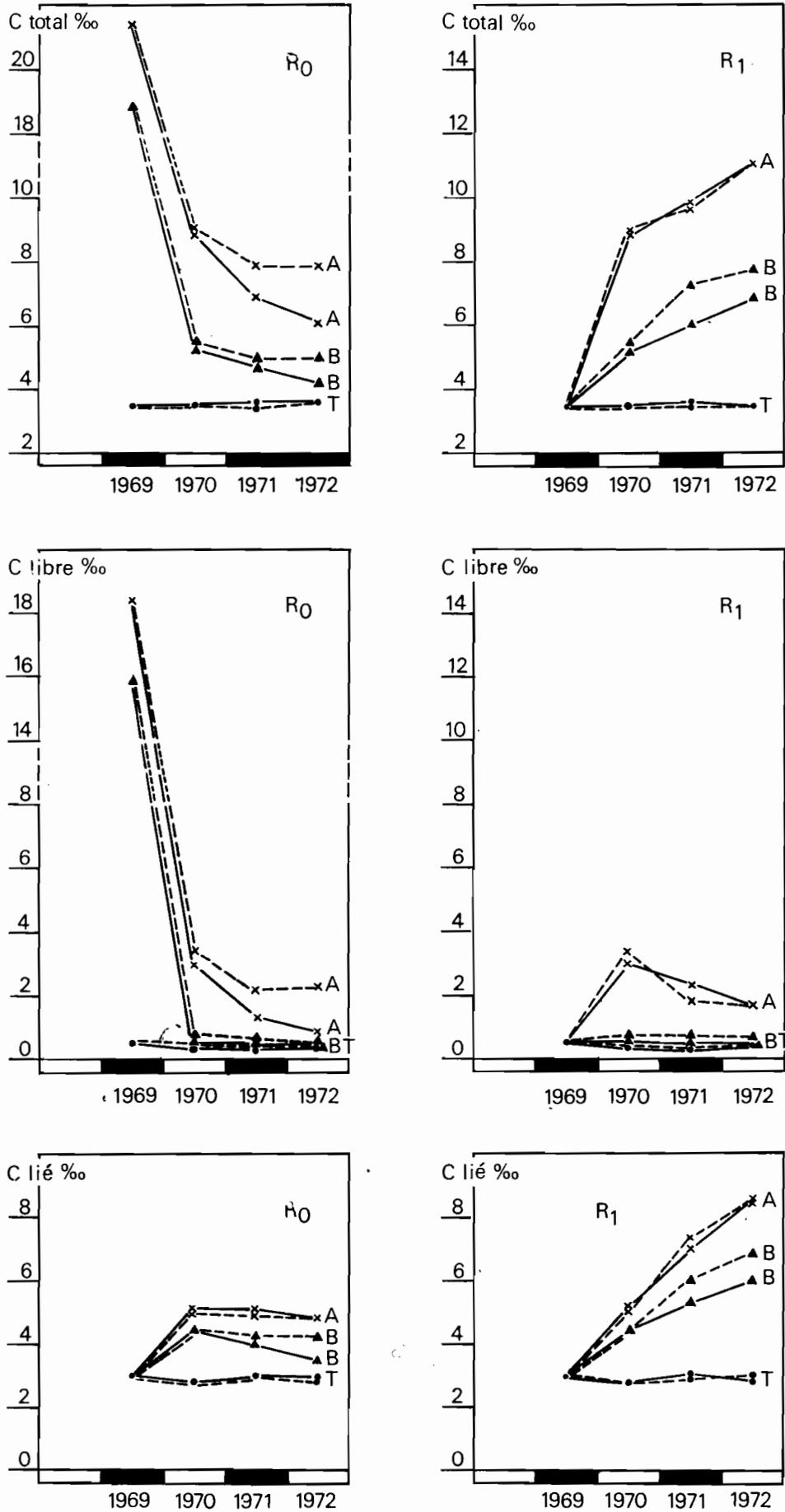


figure 7 • Evolution des teneurs en carbone. Les teneurs en 1969 sont celles après incorporation de matière végétale pour R₀ et avant incorporation pour R₁. Incubation in situ.

— F₀ - - - - F₁ • f = témoin x A = Ananas ▲ B = Bananier

Dans le cas d'un apport unique de matière végétale (R_0), la diminution des teneurs en carbone et en azote très rapide la première année, se ralentit au cours de la deuxième et la troisième année. Dans le cas d'apports annuels (R_1), l'évolution du carbone diffère sensiblement de celle de l'azote. Pour le carbone l'accroissement de la teneur très forte, après le premier enrichissement, surtout dans le traitement ananas, diminue dans les apports suivants. Pour l'azote l'infléchissement des courbes d'évolution est beaucoup moins marqué et ne se manifeste qu'à partir de la troisième année.

L'enrichissement du sol, en carbone et en azote, est supérieur pour l'ananas que pour le bananier, et avec fertilisation minérale que sans fertilisation, à l'exception du traitement AR_1F_1 qui est identique au traitement AR_1F_0 . L'expression des résultats sous forme de rapport, en fonction des quantités de carbone ou d'azote apporté, permet une meilleure comparaison entre les traitements. Nous avons choisi comme critère le taux de carbone total (ou d'azote) résiduel défini comme suit :

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

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 en réalité l'augmentation du carbone total du mélange entre l'instant zéro et l'instant t.

On définit de façon similaire les taux de carbone (ou d'azote) 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 et avec et sans aération. Nous avons admis que cette stabilité n'était pas modifiée par un apport de matière végétale. Ceci nous a permis de considérer, dans les calculs, les caractéristiques initiales de la matière organique comme des constantes. Ainsi, lorsque la matière organique totale, libre et liée des mélanges varie au cours du temps, nous avons imputé ces variations à la seule évolution du carbone ou de l'azote apporté sous forme de résidus végétaux.

L'étude du tableau 10 montre que :

- Les taux de carbone et d'azote résiduels sont plus faibles pour le bananier que pour l'ananas.
- Pour le bananier, les taux de carbone résiduel sont du même ordre de grandeur que le sol soit réenrichi (R_1) ou non (R_0).
- Pour l'ananas, les taux sont voisins en absence de fumure minérale (F_0)

Tableau 10 : Taux de carbone et d'azote résiduels p. 100 dans les échantillons enrichis avec 4 p. 100 de matière végétale en 1969 (R₀), et en 1969 - 1970 et 1971 (R₁). Incubation in situ.

Année		C total				N total			
		F ₀		F ₁		F ₀		F ₁	
		Ana.	Ban.	Ana.	Ban.	Ana.	Ban.	Ana.	Ban.
1970	R ₀	30	12	30	13	55	38	65	59
1971	R ₀	19	7	25	10	50	32	50	35
	R ₁	18	9	18	13	52	43	52	55
1972	R ₀	15	5	25	11	43	21	50	41
	R ₁	14	7	14	9	49	36	45	44
		C libre				N libre			
1970	R ₀	14	0,6	16	1,8	16	4	16	10
1971	R ₀	5	0	8	0,3	7	3	11	9
	R ₁	5	0,3	4	1	8	1	7	3
1972	R ₀	2	0	10	0,2	3	0,6	12	5
	R ₁	2	0	2	0,7	5	0,7	4	3
		C lié				N lié			
1970	R ₀	12	9	11	10	38	35	35	44
1971	R ₀	12	6	10	8	38	26	35	29
	R ₁	11	8	12	10	43	37	44	46
1972	R ₀	10	3	10	8	38	21	30	35
	R ₁	10	7	10	8	40	34	38	41

mais lorsqu'on apporte une fumure minérale (F₁) les taux sont plus faibles dans le cas de réenrichissement annuel. Il convient toutefois de remarquer que la comparaison des taux résiduels, entre les traitements "R₀" et "R₁", est assez délicate car les durées d'évolution de la matière végétale ne sont pas les mêmes.

- Les taux d'azote résiduel sont plus élevés que les taux de carbone : de l'ordre de deux à trois fois plus pour l'ananas et de trois à quatre fois plus pour le bananier.

- Les taux de carbone résiduel sont plus élevés lorsqu'on apporte une fumure minérale. Toutefois, cette action de la fertilisation n'apparaît pas dans le traitement "ananas" dans le cas d'enrichissement annuel (R₁).

- Les taux d'azote résiduel sont plus élevés dans "F₁" que dans "F₀" dans le traitement "bananier", mais non dans le traitement "ananas". Une interprétation de ce résultat sera donnée lors de l'étude de la minéralisation de l'azote.

2.1.2. Matière organique libre, liée et acides humatomélaniques

Comme nous l'avons précédemment indiqué (cf. chapitre II - paragraphe 1.4.1.), les matières organiques sont séparées en deux fractions : une fraction légère ou libre de densité inférieure à 1,8 et une fraction lourde liée à la matière minérale, de densité supérieure à 1,8. Ces deux groupes de matières organiques se distinguent par deux caractéristiques essentielles :

- Tandis que le rapport C/N de la fraction libre est variable, tout en étant supérieur à 15 et atteignant fréquemment 20 ou des valeurs supérieures, celui de la fraction liée est beaucoup plus constant, se situant aux environs de 9 à 11.

- La seconde propriété concerne l'évolution de ces substances. A l'exception de certains débris très ligneux, les matières organiques libres évoluent rapidement vers des formes liées ou se minéralisent sous l'influence des micro-organismes lorsque les conditions prévalant dans le sol (température, aération, humidité, pH etc...) sont normales. Au contraire, la plus grande part des matières liées n'évolue que lentement.

Les résultats sont présentés sur la figure 7 et les tableaux III à V.

Les courbes de variations des teneurs en carbone ou en azote libre sont tout à fait classiques et comparables à celles du carbone ou de l'azote total : diminution très rapide la première année, puis diminution faible les années suivantes. Afin de préciser la rapidité de décomposition de la matière végétale incorporée, des sacs ont été enfouis à cet effet, et extraits à 1, 2, 4, 6, 8, 10 et 12 mois. Les courbes de la figure 8 qui représentent la variation de la teneur en résidus végétaux, montrent que la disparition est très rapide au cours des deux premiers mois : 80 p. 100 (ananas) et 86 p. 100 (bananier) de la matière végétale incorporée. Au-delà de deux mois, la décroissance est plus rapide pour le bananier que pour l'ananas. Après 12 mois, les débris végétaux résiduels ne sont que : 2 p. 100 pour le bananier contre 11 p. 100 pour l'ananas.

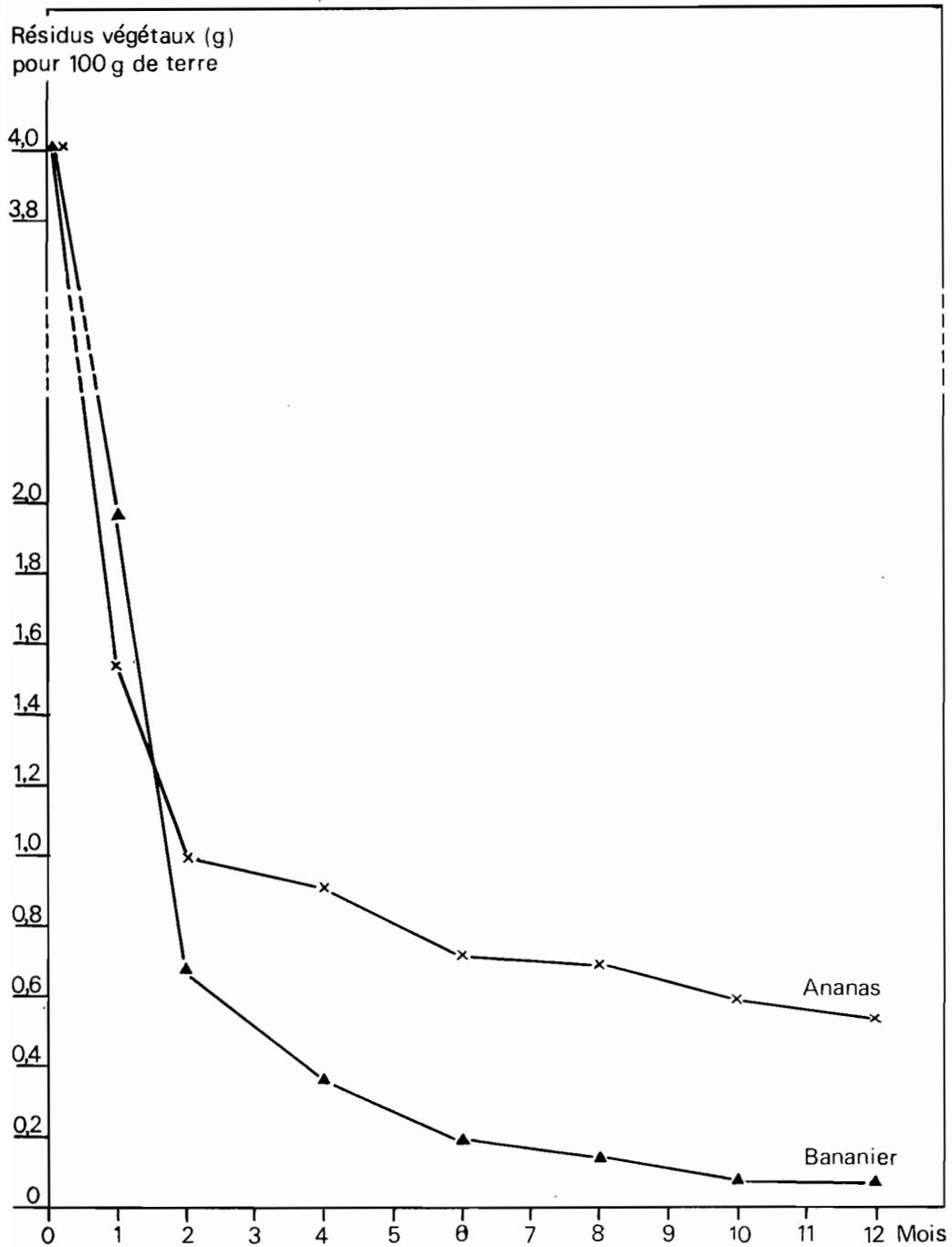


figure 8 • Evolution de la teneur en résidus végétaux supérieurs à 0,8 mm en fonction du temps dans un sol enrichi avec 4 p.cent de matière végétale de bananier ou d'ananas (cubes de 6 mm). Incubation in situ.

La proportion de matière organique libre par rapport à la matière organique totale est deux à quatre fois plus élevée pour l'ananas que pour le bananier. De même, les taux de carbone ou d'azote libre résiduel sont plus élevés pour l'ananas (tableau 10). Pour le bananier, les taux de carbone libre résiduel sont nuls à partir de 1971, que le sol ait été réenrichi ou non en matière végétale et qu'il ait reçu ou non une fumure minérale. La totalité de la matière végétale apportée est donc minéralisée ou transformée. Le comportement de l'ananas est différent suivant que l'on apporte ou non une fertilisation minérale. En absence de fertilisation (F_0), la réincorporation annuelle de matière végétale (R_1) ne modifie pas la teneur de la fraction libre par rapport à l'incorporation unique (R_0). En présence de fumure minérale (F_1), la fraction libre est plus importante dans les R_0 que dans les R_1 . Ainsi, en 1972, la fraction libre est de 7.116 mg pour 100 g de terre dans R_0 contre 5.864 mg dans R_1 . Ces résultats suggèrent que l'incorporation au sol de matière végétale fraîche, produit une activation des micro-organismes qui se traduit par une biodégradation de la fraction libre préexistante. Cette activation est favorisée par la fertilisation.

L'ananas produit une matière organique libre à C/N plus élevé que le bananier, les différences sont plus grandes en présence de fertilisation minérale (F_1), qu'en absence (F_0) (tableau 11). Les rapports sont plus élevés dans R_0 que dans R_1 , ils sont voisins dans F_0 et F_1 pour l'ananas mais plus faibles dans F_1 pour le bananier.

Tableau 11 : Valeurs des rapports C/N des fractions libres et liées.
Incubation in situ.

Année		C/N LIBRE						C/N LIE					
		F_0			F_1			F_0			F_1		
		T	A	B	T	A	B	T	A	B	T	A	B
1970	R_0	43	48	33	34	46	20	10,4	11,5	10,8	9,3	11,5	10,0
1971	R_0	46	36	31	42	37	24	10,9	11,5	10,3	10,5	11,1	10,6
	R_1	49	30	25	38	26	18	10,9	10,9	9,5	11,0	11,3	9,9
1972	R_0	61	38	42	30	40	20	10,5	10,8	9,6	10,2	11,7	10,1
	R_1	61	23	26	30	28	17	10,0	10,9	9,1	11,0	11,3	9,3

L'incorporation de matière végétale augmente les teneurs en matière organique liée par rapport au témoin. Dans le cas d'enrichissement unique (R_0), les teneurs sont maximales en 1970. Au cours des deux années suivantes, la diminution de cette fraction est plus élevée pour le bananier que pour l'ananas : bananier : 20 p. 100 (F_0) et 7 p. 100 (F_1), ananas : 6 p. 100 (F_0) et 2 p. 100 (F_1). Cette diminution correspond à la biodégradation de substances peu stables (substances transitoires ou péhumiques d'après MONNIER et GUCKERT). Pour les deux substrats, la diminution est plus faible lorsqu'on

apporte une fertilisation minérale. Dans le cas d'enrichissement annuel (R_1), la matière organique liée augmente dans les traitements "ananas" et "bananier", l'augmentation est sensiblement proportionnelle aux apports sauf pour le traitement "bananier" sans fumure minérale pour lequel on observe un infléchissement de la courbe d'évolution à partir de la deuxième année.

Les taux de carbone et d'azote liés résiduels (tableau 10) sont plus faibles pour le bananier que pour l'ananas. Les taux de carbone sont généralement assez voisins dans les traitements " R_0 " et " R_1 ". En revanche, les taux d'azote sont plus élevés dans le cas d'enrichissement annuel. Cette différence doit s'interpréter, compte tenu de la différence de la durée d'évolution.

Les valeurs des rapports C/N de la matière organique liée varient peu entre les années et entre les traitements " F_0 " et " F_1 ". Dans le traitement "bananier", le C/N tend à être plus faible dans R_1 que dans R_0 . Cette tendance ne s'observe pas dans le traitement "ananas". Le bananier produit une matière organique liée à C/N légèrement plus faible que l'ananas (ananas : 10,8 à 11,7, bananier : 9,1 à 10,8).

Les acides hymatomélaniques sont à des teneurs faibles : de l'ordre de 0,5 à 0,7 p. 1000 pour l'ananas et de 0,3 à 0,5 p. 1000 pour le bananier. Leur proportion, par rapport au carbone total, est voisine pour le bananier et pour l'ananas : 6 à 9 p. 100.

2.1.3. Composés humiques

Avant d'aborder l'étude des résultats analytiques des fractionnements des composés humiques, il nous paraît nécessaire de rappeler brièvement l'état actuel de nos connaissances concernant la structure des matières humiques. Deux publications DUCHAUFOR (1970) et BORGER (1972) font une mise au point concernant les progrès récents des recherches sur la constitution de l'humus. Ces auteurs soulignent le caractère conventionnel du fractionnement des composés humiques en acides fulviques, acides humiques et humine, qui s'il est un procédé commode pour la pratique courante des laboratoires, ne correspond pas, en fait, à des coupures strictes entre composés humiques de propriétés nettement définies. Si on a longtemps considéré les humines, les acides humiques et les acides fulviques comme des composés distincts, on admet aujourd'hui qu'il existe une relation entre eux.

DUCHAUFOR montre qu'il est nécessaire de diviser les composés humiques en deux grands groupes, fondamentalement différents :

1er/ Les composés humiques jeunes, encore faiblement polymérisés comprenant la presque totalité des acides fulviques, une partie des acides humiques et de l'humine.

2è/ Les composés humiques stables à grosse molécule, constitués d'acides humiques gris et de l'humine très évoluée, liés de façon intime aux argiles par l'intermédiaire des cations polyvalents.

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

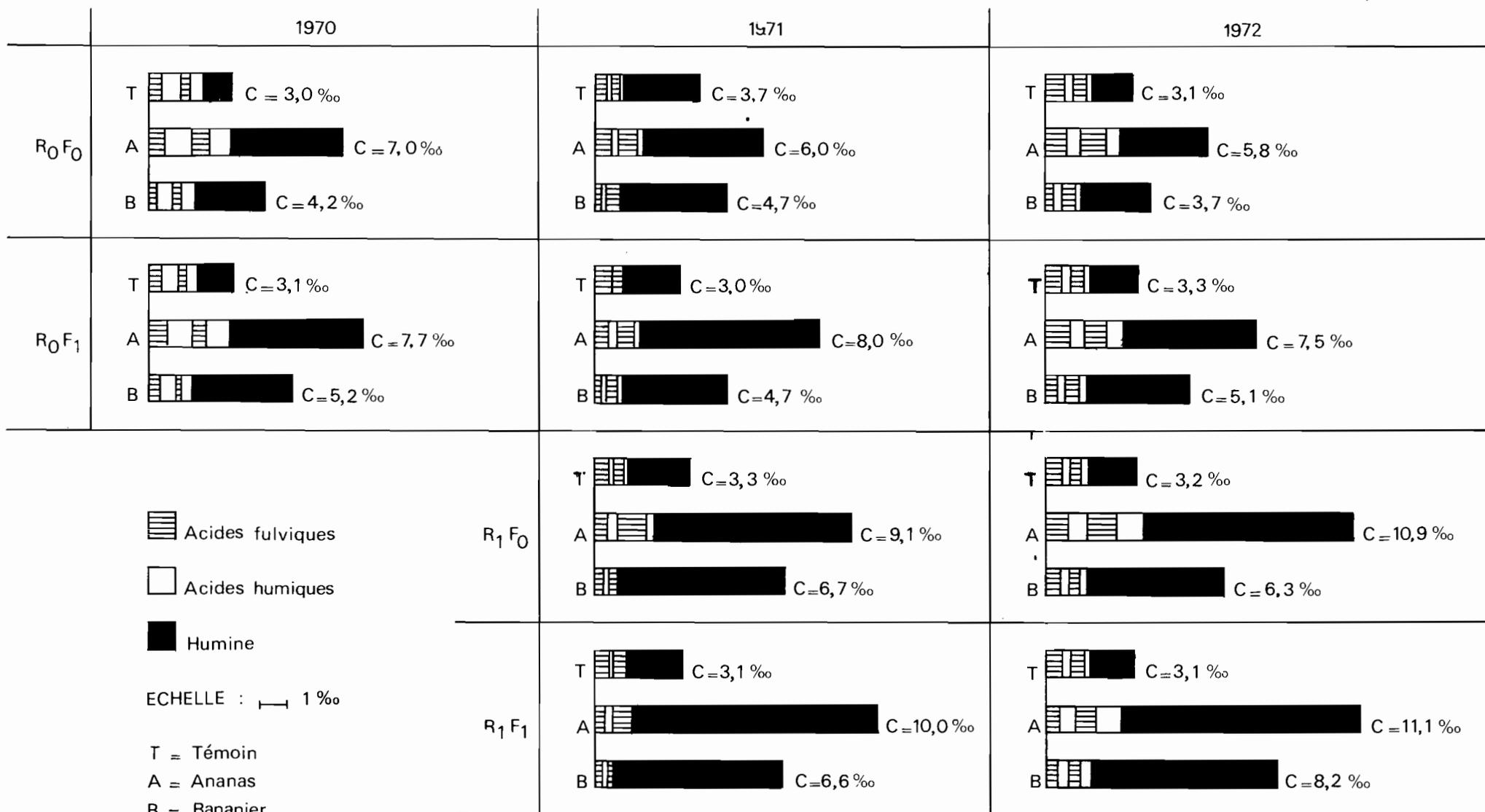


figure 9 • Répartition du carbone après fractionnement chimique. Incubation in situ.

a) 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. Toutefois, les taux d'extraction (C des composés extractibles / C total) diminuent par rapport au témoin dans les échantillons enrichis ; ils sont plus faibles pour le bananier que pour l'ananas.

- Les teneurs de la fraction non extractible aux réactifs alcalins (humine) augmentent dans les traitements "ananas" et "bananier". Par rapport au "témoin", les teneurs sont deux à trois fois supérieures dans les traitements "R₀" et trois à cinq fois supérieures dans les traitements "R₁". 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 (F₀), que dans ceux avec fumure minérale (F₁). Ce rapport augmente, par rapport au témoin, dans les échantillons enrichis.

C'est principalement sous forme de composés non extractibles, que se transforme la matière organique résiduelle provenant des apports végétaux (figure 10). Pour l'ananas, l'accroissement de la teneur en humine représente 65 à 90 p. 100 de l'augmentation du C total et les composés extractibles seulement 10 à 35 p. 100. 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. Compte tenu de la diminution des acides fulviques, l'humine représente, dans certains cas, plus de 100 p. 100 de l'accroissement en C total par rapport au témoin.

Les rapports AF/AH sont 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.

b) Action de la fumure minérale

La fumure minérale n'a pas d'action nette sur la teneur en composés extractibles, en revanche elle diminue les taux d'extraction des échantillons enrichis.

- Les teneurs en humine et les rapports C humine/C total augmentent dans "F₁" par rapport à "F₀". Cette action de la fertilisation ne s'observe pas dans les témoins.

- La fumure minérale diminue les valeurs des rapports AF/AH des 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 plus élevée qu'en absence de fumure minérale.

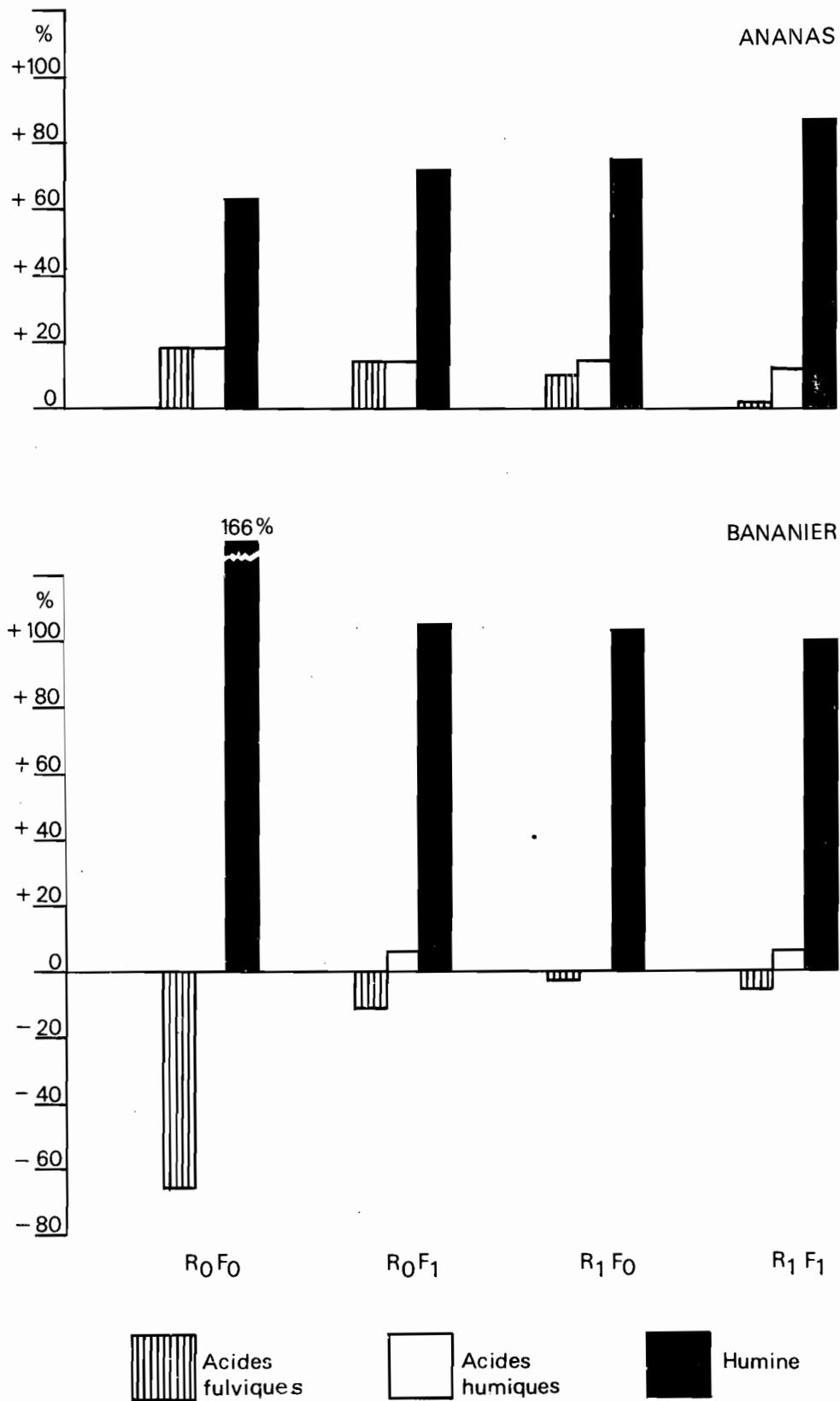


figure 10 • Répartition (p.cent) de l'augmentation en C total, par rapport au témoin. Incubation in situ, 1972.

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 p. 100) dans un sol enrichi avec 2 p. 1000 : d'urée, de chlorure de potassium, de dolomie ou de scories de déphosphoration (tableau 13).

Tableau 13 : Action des engrais sur la biodégradation de la matière végétale de bananier et d'ananas dans un sol de forêt après 90 jours d'incubation à 27°C. (Résultats en valeur indiciaire par rapport au témoin). Etude *in vitro*.

1) ANANAS

	Témoin sans engrais	Urée	Chlorure de potassium	Dolomie	Scories Thomas	p.p.d.s. 5 %
C total	100	87 ⁺⁺	94 ⁺⁺	106 ⁺⁺	101	4
C libre	100	76 ⁺⁺	103	101	84 ⁺	11
C lié	100	92	91	102	109	12

2) BANANIER

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.

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 p. 100 et celles de la fraction libre de 25 à 50 p. 100. 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 (+ 23 et + 19 p. 100) que pour l'ananas (+ 2 et + 9 p. 100) ; elle est vraisemblablement due au calcium apporté par ces deux composés qui contiennent respectivement 30 et 50 p. 100 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.

c) Action des réenrichissements

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.

La réincorporation 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.

d) Evolution dans le temps

L'évolution de la fraction extractible de 1970 à 1972 dans les traitements " R_0 " 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 de 1970 à 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 AH, 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 ", " TR_0 " et " TR_1 ". En 1971 on observe dans tous les traitements, une forte diminution de la fraction extractible qui semble être un phénomène "saisonnier".

- L'évolution de la fraction non extractible diffère sensiblement suivant les traitements. Dans les traitements "témoin", la teneur en humine augmente de 35 p. 100 (F_0) et 37 p. 100 (F_1) de 1970 à 1972. Dans les traitements "ananas", on observe une diminution de 24 p. 100 dans R_0F_0 , tandis que la teneur reste constante dans R_0F_1 et qu'elle s'élève de 80 p. 100 dans R_1F_0 et R_1F_1 . Dans le traitement "bananier", les teneurs sont peu différentes dans R_0F_0 et R_0F_1 , elles augmentent de 90 et 80 p. 100 dans R_1F_0 et R_1F_1 . Dans tous les traitements, les teneurs en humine sont maximales en 1971. Ces valeurs élevées peuvent s'expliquer par la saison sèche particulièrement marquée en 1971, comme le montre la hauteur des précipitations qui sont nettement déficitaires, compte tenu de l'évapotranspiration potentielle qui est de 120 à 130 mm par mois.

	<u>Décembre</u>	<u>Janvier</u>	<u>Février</u>	<u>Total</u>
1969-1970	14 m/m	34 m/m	142 m/m	190 m/m
1970-1971	13 m/m	0	40 m/m	53 m/m
1971-1972	83 m/m	8 m/m	66 m/m	157 m/m

Les expériences de NGUYEN KHA et VEDY (1969) 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. Aux maximums, en 1971, de la fraction non extractible, correspondent des minimums de la fraction extractible et particulièrement des acides humiques. Ces variations montrent que l'évolution des composés humiques est réversible. De 1970 à 1971 on observe une transformation d'une partie des composés extractibles, en composés non extractibles et, inversement de 1971 à 1972 (tableau 14).

Tableau 14 : Pourcentage d'augmentation (+) ou de diminution (-) des fractions extractibles et non extractibles.

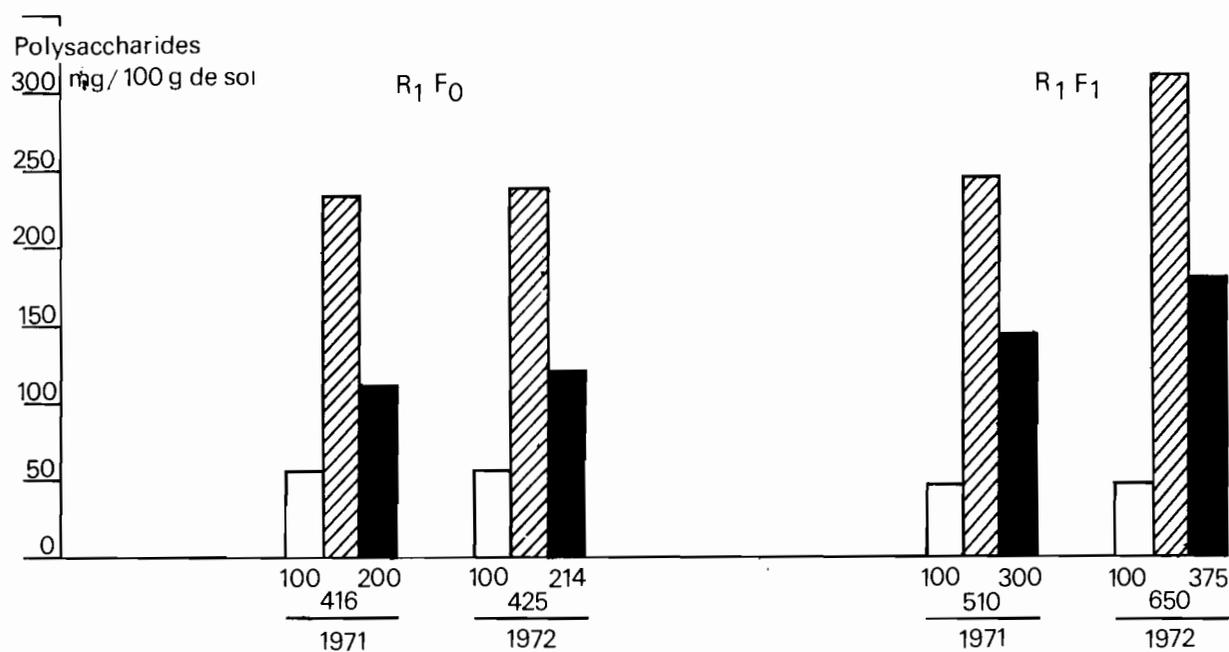
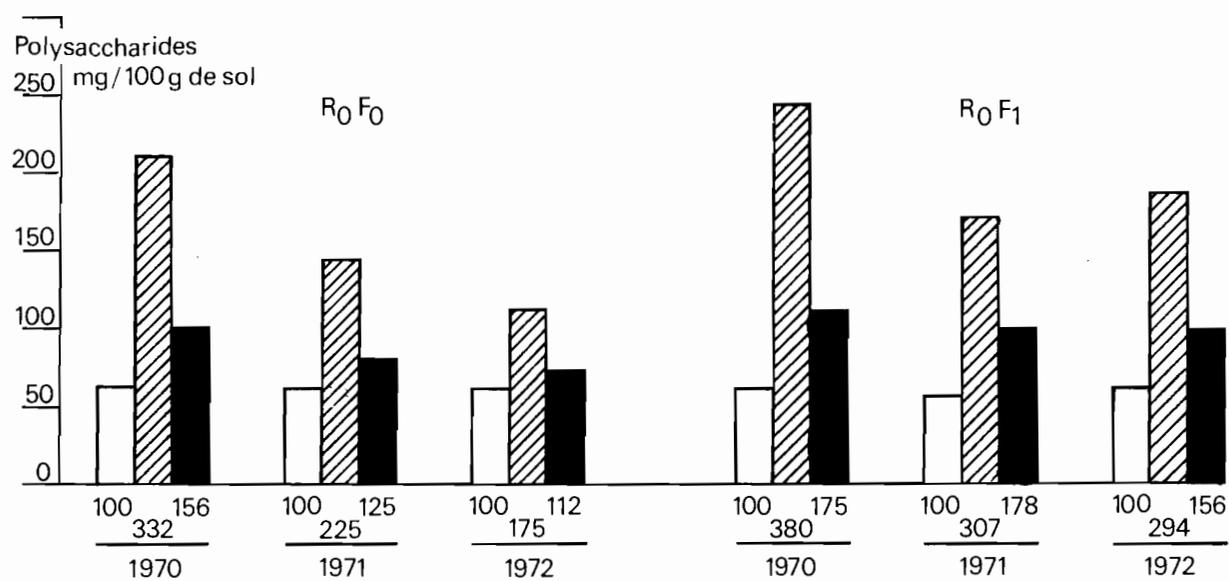
		En 1971 par rapport à 1970		En 1972 par rapport à 1971	
		Fraction extracti- ble	Fraction non extractible	Fraction extracti- ble	Fraction non extractible
$R_0 F_0$	Témoin	- 49	+ 93	+ 70	- 30
	Ananas	- 42	+ 5	+ 58	- 28
	Bananier	- 47	+ 52	+ 44	- 37
$R_0 F_1$	Témoin	- 46	+ 61	+ 60	- 15
	Ananas	- 45	+ 35	+ 75	- 26
	Bananier	- 37	+ 2	+ 50	- 3

- Les rapports C humine/C total varient peu de 1970 à 1972 dans les traitements "AR₀" et "BR₀". Comme pour la teneur en humine, les valeurs sont maximales en 1971. Dans les traitements "témoin" et dans les échantillons enrichis annuellement en matière végétale (R₁), la proportion d'humine par rapport au C total augmente légèrement de 1970 à 1972.

2.2.4. Polysaccharides

L'apport de matière végétale de bananier et d'ananas accroît la teneur du sol en polysaccharides. L'ananas enrichit près de deux fois plus que le bananier (figure 11) et la proportion de polysaccharides par rapport au carbone total est un peu plus élevée ananas : 8 à 11 p. 100, bananier : 7 à 9 p. 100, témoin : 5 à 7 p. 100.

Les polysaccharides diminuent de 1970 à 1972 dans les traitements "R₀" et augmentent dans les traitements "R₁"; l'accroissement est plus important la première année que les suivantes.



□ Témoign ▨ Ananas ■ Bananier

figure 11 • Evolution des teneurs en polysaccharides totaux. Incubation in situ.

La fertilisation minérale augmente la teneur en polysaccharides des échantillons enrichis mais non des témoins.

Ces divers résultats sont tout à fait comparables à ceux de la matière organique totale. Le parallélisme des courbes d'évolution et les valeurs élevées des coefficients de corrélation entre les polysaccharides et le C total confirment la relation très étroite entre ces deux caractéristiques (figure 12). Pour le bananier, qui donne très peu de matière organique libre, les valeurs des coefficients de corrélation sont identiques avec C total et C lié : $r = 0,94$ et $0,93$. Pour l'ananas dont la fraction libre est importante, la corrélation : polysaccharide/C total est plus étroite que polysaccharide/C lié : $r = 0,93$ et $0,75$.

2.2.5. Carbone facilement biodégradable

Le carbone facilement biodégradable est mesuré, in vitro, par la quantité de gaz carbonique produit en 7 jours par un échantillon de terre mis en incubation à 30°C , à une humidité correspondant au pF 2,5. Les résultats sont exprimés en C ou CO_2 dégagé par rapport à un poids de terre ou de carbone. Cette deuxième forme d'expression ou coefficient de minéralisation du carbone : $\text{C du CO}_2 / \text{C total p. 100}$ permet une comparaison plus facile des sols ayant des teneurs différentes en carbone (DOMMERGUES, 1960).

Ce coefficient de minéralisation est essentiellement le reflet de la richesse du sol, en substrats carbonés facilement biodégradables et de l'intensité de l'intervention sur l'activité microbienne, des facteurs de l'environnement édaphique autres que les facteurs humidité, température et aération.

Ce test a été appliqué aux échantillons après incubation in situ.

Les teneurs en carbone facilement biodégradable et les coefficients de minéralisation sont supérieurs dans les échantillons enrichis en matière végétale à ceux des échantillons témoins. Dans les traitements "ananas", plus riches en matière organique que les traitements "bananier", la quantité de carbone minéralisé est plus élevée. En revanche, les coefficients de minéralisation tendent à être plus élevés dans les traitements "bananier" ; les différences ne sont toutefois significatives à la probabilité 5 p. 100 que pour le traitement " R_0F_0 " (figure 13 et tableau IX).

L'action de la fumure minérale est très irrégulière suivant les traitements, et la dispersion des résultats entre les répétitions est plus élevée qu'en absence de fumure minérale (coefficients de variation 1,5 à 2 fois plus élevés). Les effets les plus nets s'observent dans le traitement "témoin" : la fertilisation tend à augmenter la quantité de carbone minéralisé et le coefficient de minéralisation. La même tendance s'observe dans le traitement "ananas", mais seulement dans le cas d'enrichissement unique en matière végétale. Pour le bananier, les différences entre " F_0 " et " F_1 " sont faibles et non significatives.

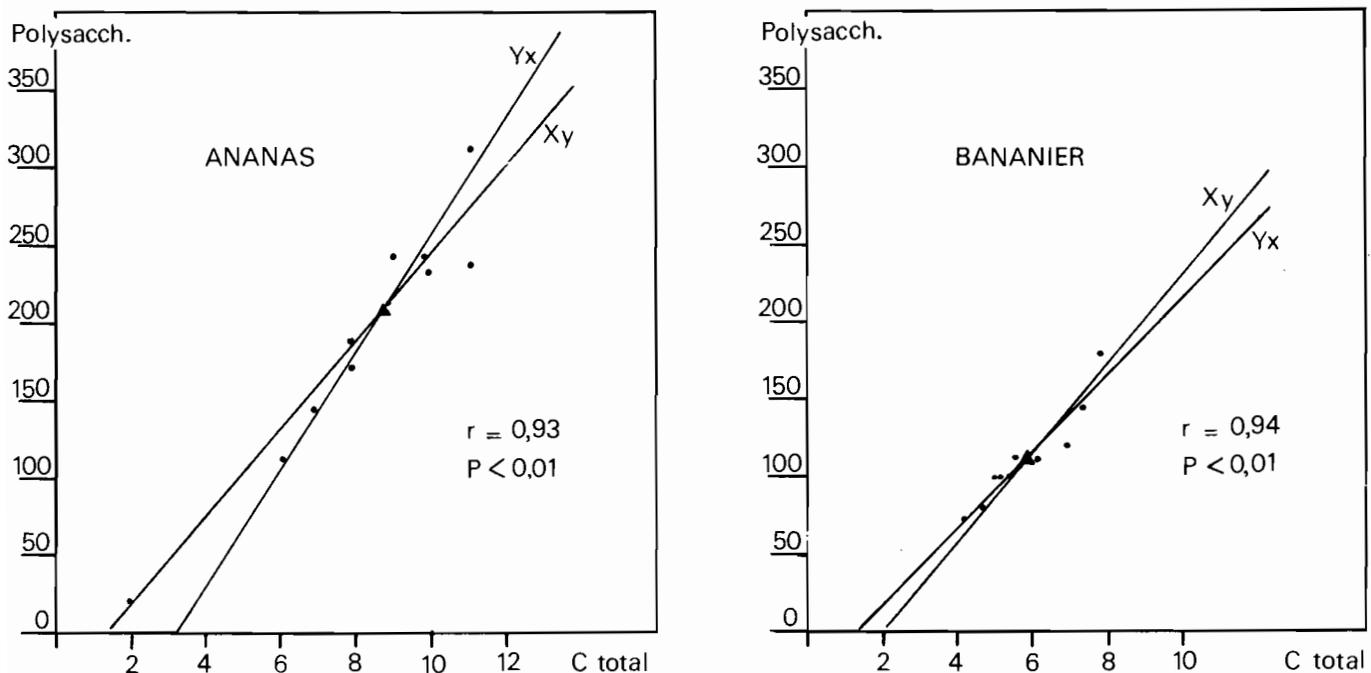


figure 12 • Corrélation entre la teneur en polysaccharides et en carbone total. Moyenne des trois années R₀F₀-R₀F₁-R₁F₀-R₁F₁. Incubation in situ.

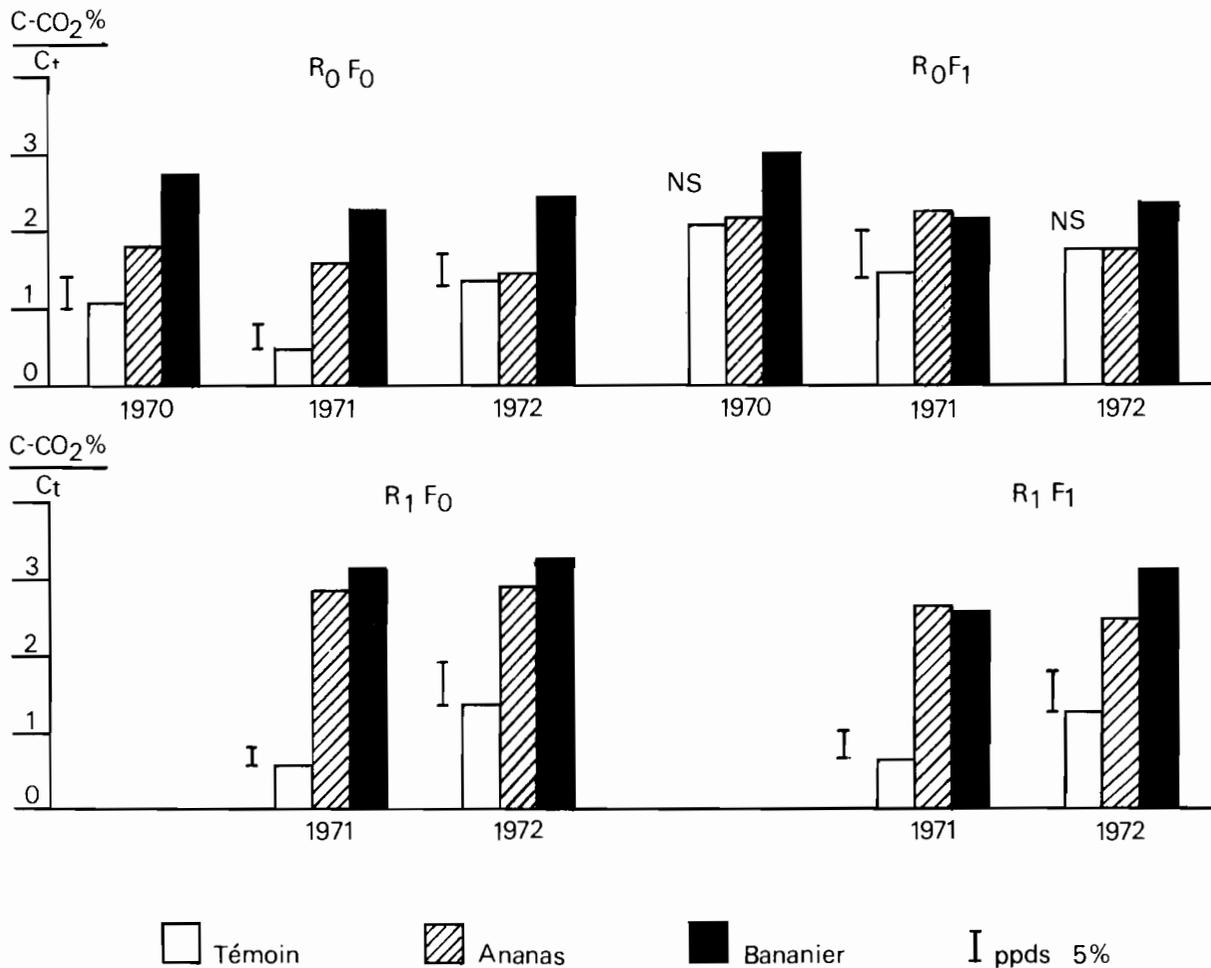


figure 13 • Coefficient de minéralisation du carbone. Incubation in situ.

Afin de préciser le rôle des différents composants de la fumure minérale, nous avons étudié *in vitro* l'action d'apport : d'urée, de chlorure de potassium, de dolomie et de scories de déphosphoration sur la minéralisation du carbone d'un sol de forêt. Les résultats du tableau 15 montrent que les engrais minéraux qui élèvent le pH (urée, dolomie, scories), stimulent la biodégradation. L'action inverse du chlorure de potassium est vraisemblablement en relation avec l'acidification du milieu.

Le calcium a un rôle complexe : il stimule la minéralisation du carbone facilement biodégradable tout en améliorant le rendement de la transformation des résidus végétaux en humus ; cette dernière action est particulièrement nette avec le bananier (tableau 13).

Tableau 15 : Carbone facilement biodégradable d'un sol de forêt d'Azaguié, un mois après l'enrichissement. (mg de CO₂ pour 100 g de sol en 7 jours à 30°C). Etude *in vitro*.

	Tém. (1)	Urée		ClK		Dolomie		Scories Thomas		p. p. d. s. 5 %
		1 ‰	5 ‰	1 ‰	5 ‰	1 ‰	5 ‰	1 ‰	5 ‰	
CO ₂	52	66	84	42	41	64	75	64	67	9
$\frac{C \text{ du } CO_2}{C_t}$	0,98	1,26	1,69	0,81	0,79	1,23	1,45	1,21	1,29	0,19
pH	4,7	6,0	6,5	3,9	3,9	5,6	6,4	5,2	6,1	

(1) C total = 14,2 p. 1000

Les quantités de carbone facilement biodégradable et les coefficients de minéralisation sont toujours plus élevés dans les échantillons enrichis annuellement (R₁) que dans ceux enrichis une seule fois en 1969 (R₀). Dans ces derniers, la quantité de carbone minéralisé et les coefficients de minéralisation diminuant de 1970 à 1972. Ces résultats sont tout à fait logiques ; l'apport de matière végétale fraîche enrichit le sol, en substances organiques facilement biodégradables qui constituent une source d'énergie pour les micro-organismes du sol, et permettent leur prolifération. Inversement, dans les échantillons enrichis une seule fois, le sol s'appauvrit en composés organiques peu polymérisés et l'activité des micro-organismes se ralentit.

2.2. ETUDE IN VITRO

2.2.1. Matière organique totale

Dans une première expérience, nous avons étudié l'évolution des teneurs en carbone d'échantillons enrichis avec 4 p. 100 de matière végétale, après des durées d'incubation de 10, 20, 30, 60 et 120 jours. Dans une deuxième expérience, nous avons étudié sur des périodes de 24 heures, pendant

260 jours, l'évolution du carbone par mesure du CO₂ dégagé.

L'évolution de la teneur en carbone total de 0 à 120 jours représentée sur la figure 14 est très comparable à celle de l'incubation in situ. Les teneurs en carbone décroissent très rapidement au cours des 60 premiers jours d'incubation et principalement les 10 premiers jours ; après 60 jours la diminution est plus lente. Les variations du témoin sont insignifiantes et correspondent à l'erreur expérimentale. Après 120 jours d'incubation, le taux de carbone résiduel (tableau 16) est un peu plus faible pour le bananier que pour l'ananas : 26 p. 100 et 34 p. 100.

Tableau 16 : Taux de carbone total résiduel p. 100 dans les échantillons enrichis avec 4 p. 100 de matière végétale. Etude in vitro.

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

Les résultats de l'étude de la minéralisation du carbone par mesure du CO₂ dégagé sont représentés par les courbes de la figure 15. La comparaison entre les sols enrichis en matière végétale de bananier ou d'ananas montre qu'il n'y a pas de différence fondamentale entre la minéralisation de ces deux substrats. Les différences concernent essentiellement l'intensité des phénomènes de minéralisation. Pour les deux végétaux on observe, comme le signale DOMMERGUES (1968), une phase d'oxydation primaire d'une durée de 14 jours, se subdivisant en une phase d'adaptation de 24 heures, puis en une phase de croissance exponentielle de l'intensité respiratoire extrêmement active, principalement entre le deuxième et le cinquième jour. Les maximums d'intensité respiratoire pour les deux substrats se produisent 48 heures après le début de l'incubation : 416 mg CO₂/100 g/24 h pour l'ananas et 228 mg CO₂/100 g/24 h pour le bananier. Durant cette phase d'oxydation primaire qui correspond à la minéralisation de composés hydrocarbonés à biodégradation rapide, la quantité de gaz carbonique dégagé est plus élevée pour l'ananas. La phase d'oxydation secondaire qui commence au quatorzième jour peut également être subdivisée en deux phases : du quatorzième au soixantième jour, une phase d'activité moyenne : 60 à 10 mg CO₂/100 g/24 h, après 60 jours une phase d'oxydation faible : 5 à 10 mg CO₂/100 g/24 h jusqu'à 210 jours, 3 à 4 mg CO₂/100 g/24 h de 210 à 260 jours. Durant cette phase d'oxydation secondaire, la production de gaz carbonique est légèrement plus élevée pour l'ananas jusqu'au cent dixième jour, à l'exception d'une courte période comprise entre le quinzième et vingt cinquième jour où la courbe du bananier présente un deuxième maximum (ce deuxième maximum de la courbe d'intensité respiratoire du bananier a été confirmé lors d'une autre expérience). Après le cent dixième jour, l'intensité respiratoire du bananier est légèrement supérieure à celle de l'ananas, mais les différences sont faibles,

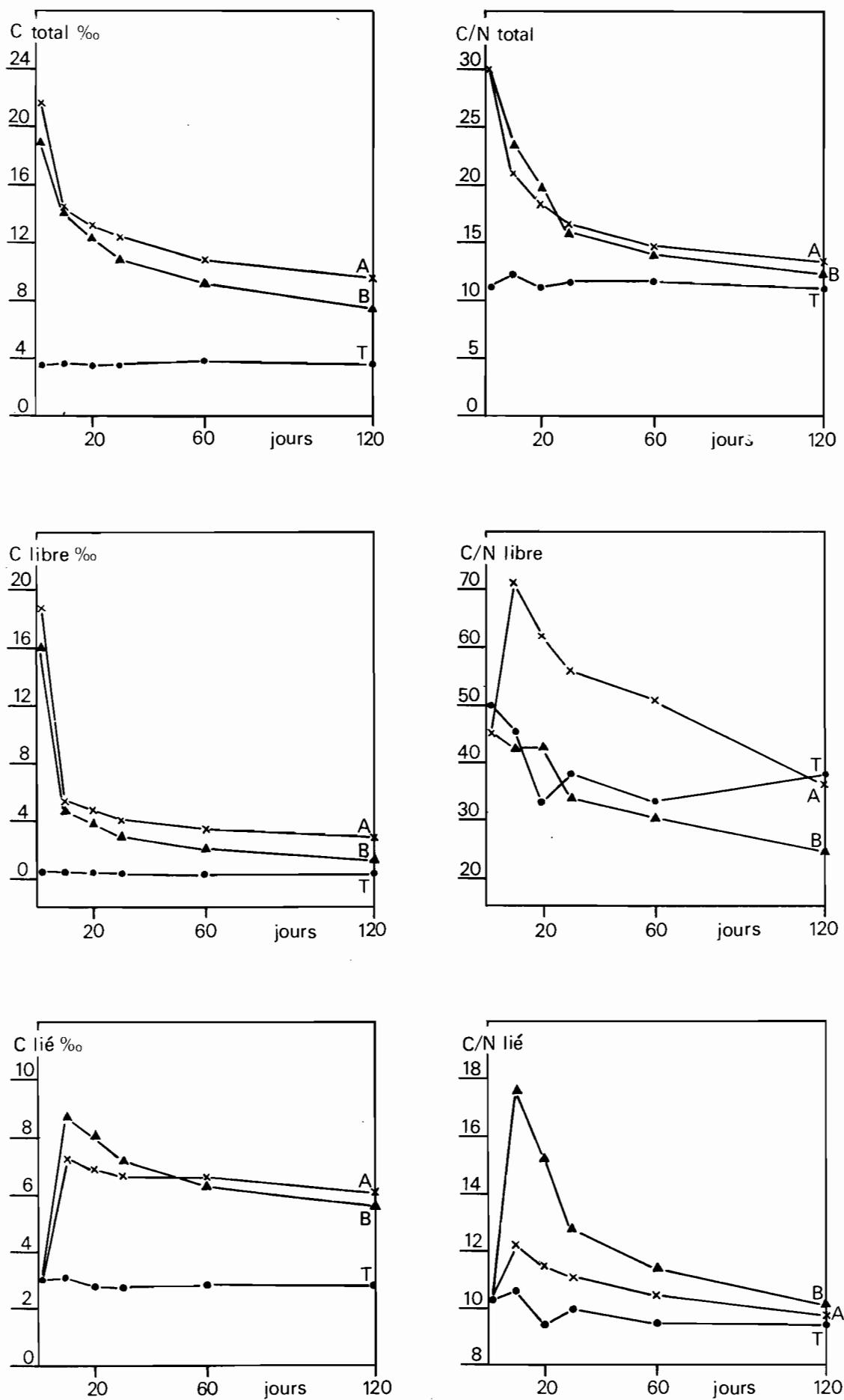
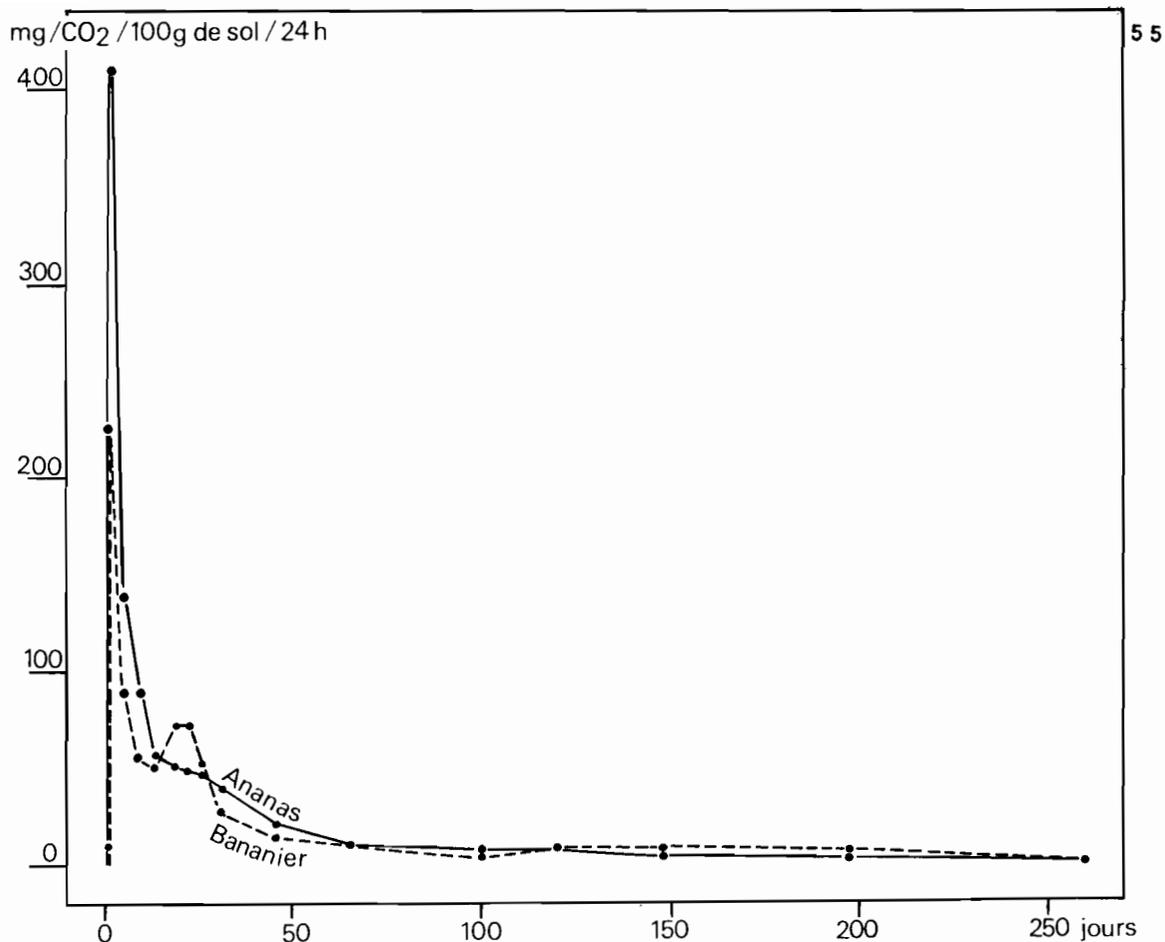


figure 14 • Evolution des teneurs en carbone. Etude in vitro.

T = Témoin

A = Ananas

B = Bananier



Les valeurs du témoin ne sont pas représentables à l'échelle du graphique (inférieur à 1 mg/CO₂/100g/24h).

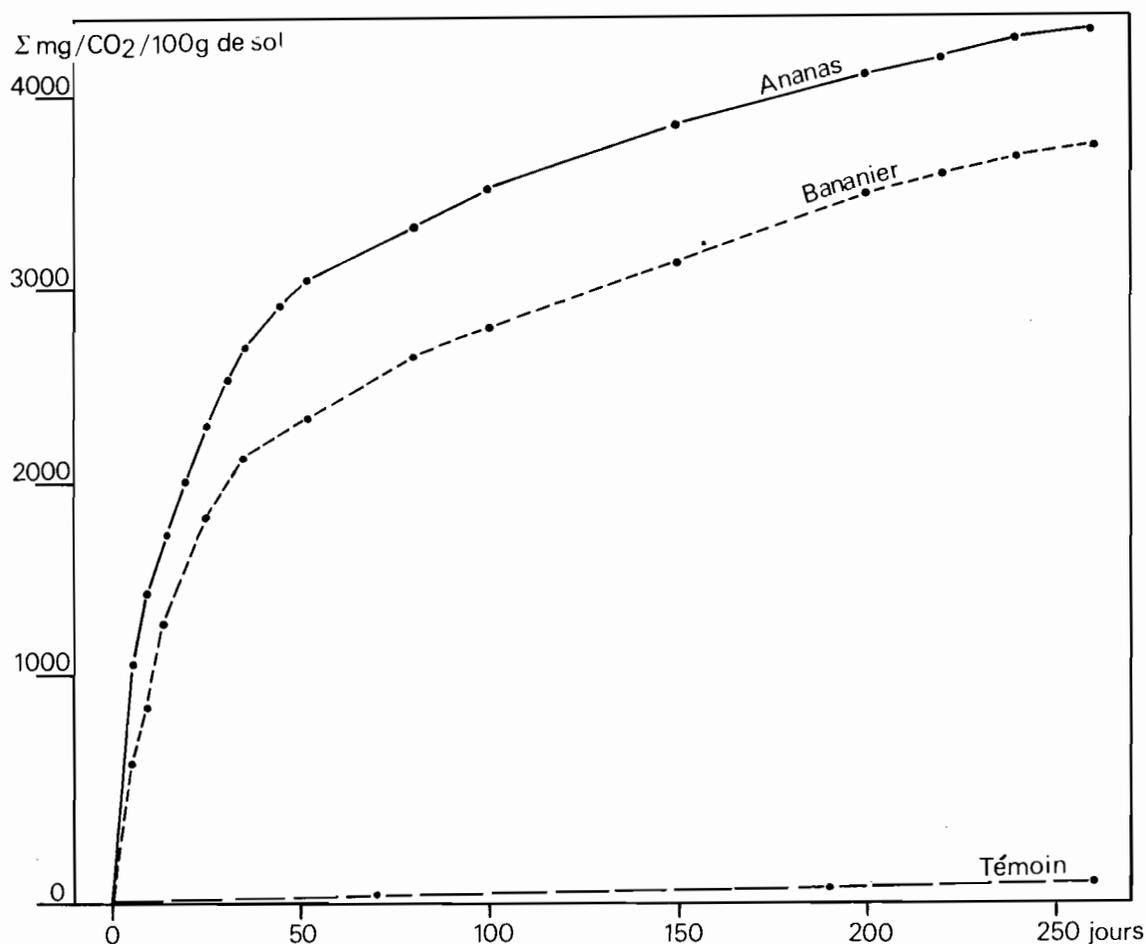


figure 15 • Courbes d'intensité respiratoire et courbes cumulatives du dégagement de CO₂ dans un sol enrichi avec 4 p.cent de matière végétale de bananier et d'ananas à C/N = 45. Etude in vitro.

(1 à 2 mg /CO₂/100 g/24 h) et s'annulent à partir du deux cent vingtième jour. Cette phase correspond à la minéralisation de composés hydrocarbonés à vitesse de décomposition moyenne et lente. La respiration endogène qui est exprimée par le dégagement de gaz carbonique du sol non enrichi est extrêmement faible : inférieure à 1 mg. Cette faible intensité respiratoire ne doit pas surprendre puisque le sol provient d'un horizon non humifère à teneur en carbone total faible (3 p. mille).

L'expression des résultats sous forme de coefficient, permet une comparaison plus fine de la minéralisation des deux substrats dont les teneurs en carbone sont un peu différentes. Le coefficient de minéralisation du carbone est défini par le rapport :

$$\frac{\text{C du CO}_2 \text{ produit entre les temps } t_1 \text{ à } t_2}{\text{C total à } t_1} \times 100$$

Les coefficients de minéralisation calculés pour des périodes de temps correspondant sensiblement à des changements de pente de la courbe cumulative sont indiqués dans le tableau 17.

Tableau 17 : Coefficient de minéralisation du carbone en 24 heures.
Etude in vitro.

Jours	0 à 5	5 à 25	25 à 45	45 à 120	120 à 260
Témoin	0,08	0,05	0,04	0,03	0,03
Ananas	2,52	0,93	0,54	0,19	0,11
Bananier	1,63	0,98	0,45	0,20	0,14
p. p. d. s. (1) 5 %	0,25	N.S	N.S	N.S	0,01
p. p. d. s. 1 %	0,36	N.S	N.S	N.S	0,02

(1) L'analyse statistique ne porte que sur la comparaison entre les traitements "bananier" et "ananas". Le témoin est évidemment significativement différent des deux autres traitements.

Les coefficients de minéralisation du carbone ne sont significativement différents (P = 0,01) qu'entre 0 et 5 jours (ananas supérieur au bananier) et entre 120 et 260 jours (bananier supérieur à ananas).

Discussion des résultats

La différence de composition biochimique de la matière végétale de bananier et d'ananas (tableau 8) permet d'interpréter les différences d'intensité respiratoire entre les deux substrats pendant la première phase de l'incubation. La biodégradation de la matière végétale de l'ananas, beaucoup plus riche que celle du bananier en composés hydrocarbonés du groupe I (composés hydrosolubles à 100°C) et en sucres (réducteurs et non réducteurs),

est plus intense que celle du bananier pendant la phase d'oxydation primaire. Le deuxième maximum de la courbe d'intensité respiratoire du bananier vers le vingtième jour pourrait correspondre à la biodégradation des composés hydrocarbonés du groupe II (composés solubles à la soude à 1 p. 100 à 100°C) dont la teneur est élevée dans la matière végétale de bananier. Dans la phase d'oxydation secondaire qui correspond à la minéralisation de composés hydrocarbonés moyennement (cellulose) ou lentement biodégradables (lignine), les deux substrats dont la composition en cellulose et en lignine est peu différente, ont une évolution comparable.

2.2.2. Matière organique libre, liée et acides humatomélaniques

Les résultats sont résumés graphiquement sur la figure 14 et dans les tableaux X à XII.

La vitesse de transformation de la matière végétale (minéralisation et liaison avec la matière minérale) est très rapide pour les deux substrats puisqu'au dixième jour d'incubation les taux de carbone libre résiduel sont de 27 p. 100 (ananas) et 28 p. 100 (bananier) soit un taux de transformation de plus de 70 p. 100. La vitesse de transformation se ralentit ensuite entre le dixième et le trentième jour, puis entre le trentième et le cent vingtième jour. L'allure des courbes de variation du carbone libre est très comparable pour les deux substrats, ~~seule~~ l'intensité des phénomènes est différente. Après 120 jours d'incubation le taux de carbone libre résiduel est plus élevé pour l'ananas que pour le bananier : 13 et 6 p. 100.

Les valeurs des rapports C/N des fractions libres sont très différentes entre le bananier et l'ananas. Au dixième jour, les rapports sont de 71 pour l'ananas et de 42 pour le bananier. La matière végétale incorporée ayant un rapport C/N de 45, on peut en conclure que la matière végétale d'ananas est hétérogène et possède une fraction à C/N faible qui s'est minéralisée ou liée rapidement à la matière minérale du sol et une fraction à C/N très élevée qui constitue la fraction organique libre. Pour le bananier, il semble au contraire que la matière végétale soit homogène puisqu'au dixième jour, alors que la teneur en carbone lié est maximale, le rapport C/N de la fraction libre est voisin de celui de la poudre de bananier incorporée. Ces différences, dans la composition des fractions libres, expliquent que cette fraction se minéralise moins rapidement dans le traitement "ananas" et que la proportion de C libre par rapport au C total soit plus élevée avec l'ananas : 29 p. 100 contre 19 p. 100 à 120 jours.

La liaison de la matière végétale avec la fraction minérale du sol se fait très rapidement, et la teneur en carbone lié est maximale pour le bananier et l'ananas au dixième jour d'incubation. A cette date, le taux de carbone lié résiduel est supérieur pour le bananier : 37 p. 100 contre 24 p. 100 pour l'ananas. Les teneurs en carbone lié décroissent du dixième au cent vingtième jour, la diminution est plus rapide pour le bananier que pour l'ananas : 35 et 17 p. 100. Après 120 jours les taux de C lié résiduel sont identiques pour le bananier et l'ananas : 16,5 p. 100. 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. Comme l'a montré MONNIER (1965), il s'agit de produits transitoires de l'humification qui peuvent apparaître en quantité relativement importante dans le sol, à la suite de la transformation rapide de matières végétales très fermentescibles. Plus récemment GUCKERT (1973), étudiant l'évolution dans un sol brun lessivé, de paille de blé marquée au carbone 14, a précisé la nature de ces produits transitoires. Il s'agit de composés non extractibles aux réactifs alcalins, résultant directement de l'activité de la microflore du sol, que cet auteur désigne sous le nom d'humine microbienne. La matière végétale de bananier produit plus de ces composés que celle d'ananas.

Le rendement de la transformation de la matière organique apportée en matière organique liée est relativement faible pour l'ensemble de la période étudiée (120 j), il est identique pour le bananier et l'ananas. En effet, la disparition de 16 p. 1000 de carbone sous forme libre correspond à une augmentation de 3,1 p. 1000 de carbone sous forme liée pour l'ananas et la disparition de 14,5 p. 1000 correspond à une augmentation de 2,6 p. 1000 pour le bananier, soit des rendements de 19 et 18 p. 100.

La transformation de l'azote est moins rapide que celle du carbone ; l'azote sous forme liée augmente du début de l'incubation jusqu'au soixantième jour, avec toutefois un accroissement maximal au cours des dix premiers jours qui suivent l'incorporation au sol de la matière végétale.

L'évolution des rapports C/N de la fraction liée est différente pour le bananier et pour l'ananas. Pour les deux substrats les rapports C/N diminuent au cours de l'incubation et tendent vers la valeur 10 qui est atteinte après 120 jours. En revanche, la matière organique liée formée au dixième jour qui suit l'addition au sol de matière végétale a un C/N significativement plus élevé avec le bananier, différence qui se manifeste jusqu'au soixantième jour.

Les acides humatomes sont plus élevés pour l'ananas que pour le bananier, les différences sont importantes jusqu'au soixantième jour d'incubation : deux à quatre fois plus ; au cent vingtième jour les teneurs sont pratiquement identiques dans les deux traitements.

2.2.3. Composés humiques

Les résultats des analyses, après 120 jours d'incubation à la température ambiante (27°C), sont présentés sur la figure 16 et le tableau XIV.

A ce stade d'évolution, les teneurs en composés extractibles et non extractibles de la fraction organique liée à la matière minérale sont identiques pour les deux plantes 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 pour l'ananas (1,38 contre 0,77) traduisant un degré de polymérisation du carbone extractible plus faible que dans le cas du bananier.

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

TÉMOIN NON ENRICHI AU JOUR J_0 

SOL ENRICHI AVEC 4% DE MATIÈRE VÉGÉTALE D'ANANAS APRÈS 120 JOURS D'INCUBATION



SOL ENRICHI AVEC 4% DE MATIÈRE VÉGÉTALE DE BANANIER APRÈS 120 JOURS D'INCUBATION


 Acides
humatomélaniques

 Acides
fulviques

 Humine

 Surnageants
 $d < 18$
 Acides
humiques
ECHELLE  1‰

figure 16 • Répartition du carbone après fractionnement physique et chimique. Etude *in vitro*.

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

	<u>C libre</u>	<u>AF + AH</u>	<u>Humine</u>
Ananas	32 %	14 %	53 %
Bananier	5 %	18 %	76 %

2.2.4. Polysaccharides

L'évolution des teneurs en polysaccharides, dans la fraction dense de la séparation densimétrique, montre que les matières végétales d'ananas et de bananier enrichissent le sol en polysaccharides (figure 17). Ce résultat est logique, les quantités de polysaccharides apportés par la matière végétale représentant pour 100 g de terre : 995 mg pour le bananier et 755 mg pour l'ananas. Pour les deux substrats, la teneur est maximale au dixième jour d'incubation ; elle est plus élevée pour le bananier que pour l'ananas jusqu'au soixantième jour. A 120 jours les polysaccharides sont légèrement supérieurs (10 p. 100) dans le traitement "ananas". A cette date le taux résiduel est nettement plus élevé pour l'ananas que pour le bananier : 14 et 9 p. 100.

L'évolution des polysaccharides de la fraction dense est étroitement liée à celle du carbone (figure 18). Comme celui-ci, les teneurs en polysaccharides diminuent entre le dixième et le cent vingtième jour d'incubation, mais beaucoup plus rapidement pour le bananier que pour l'ananas : 45 et 16 p. 100. Dans le sol "témoin" les variations de teneur sont très faibles et correspondent à l'erreur expérimentale.

Les rapports C. polysaccharides/C lié varient très peu dans le traitement "ananas", au cours de 120 jours d'incubation : 11 à 11,6 p. 100 ; les variations sont plus élevées pour le bananier : 13,4 à 10,9 p. 100.

Les sucres hydrosolubles sont à des teneurs très faibles dans les échantillons enrichis ; ils représentent moins de 1 p. 100 du carbone lié. Leur teneur est nulle dans le témoin (figure 17).

2.3. CONCLUSION DE L'ETUDE SUR LA MATIERE ORGANIQUE

Pour les deux substrats, la biodégradation des végétaux incorporés très rapide la première année, particulièrement au cours des deux premiers mois, se ralentit à la deuxième et troisième années. La biodégradation de la matière végétale de bananier est plus rapide que celle d'ananas.

L'apport de matière végétale élève la teneur du sol en composés carbonés ; l'augmentation est d'autant plus importante que les apports sont répétés, mais elle n'est pas proportionnelle à ceux-ci, elle est plus élevée pour le premier apport que pour les suivants.

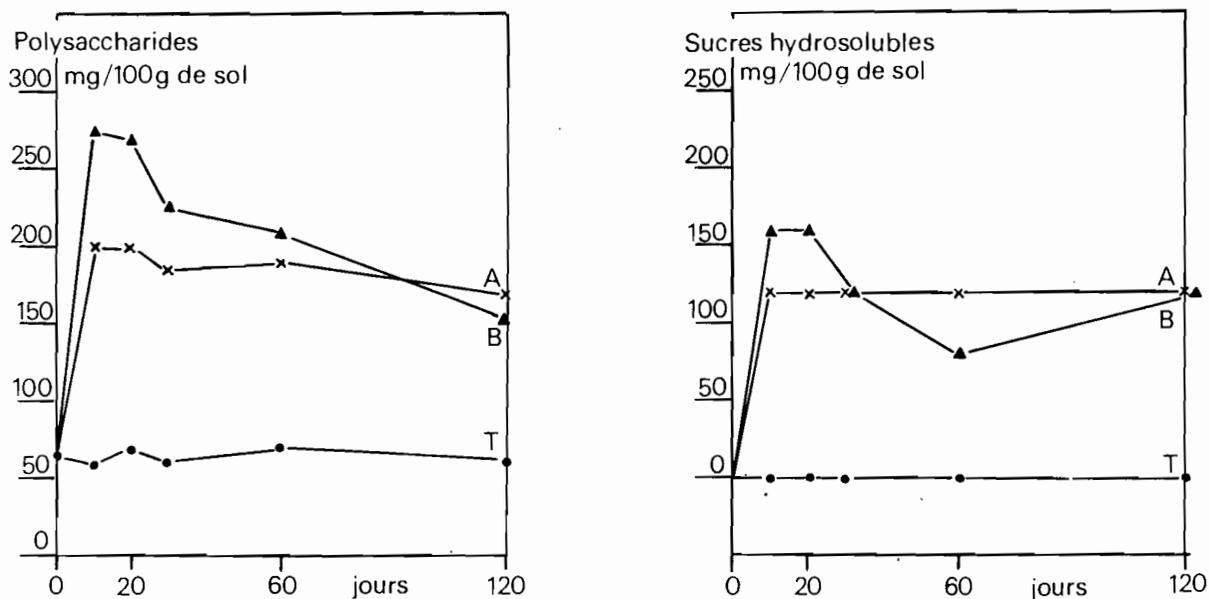


figure 17 • Evolution des teneurs en polysaccharides et en sucres hydrosolubles de la fraction liée. Etude in vitro.

T = Témoin

A = Ananas

B = Bananier

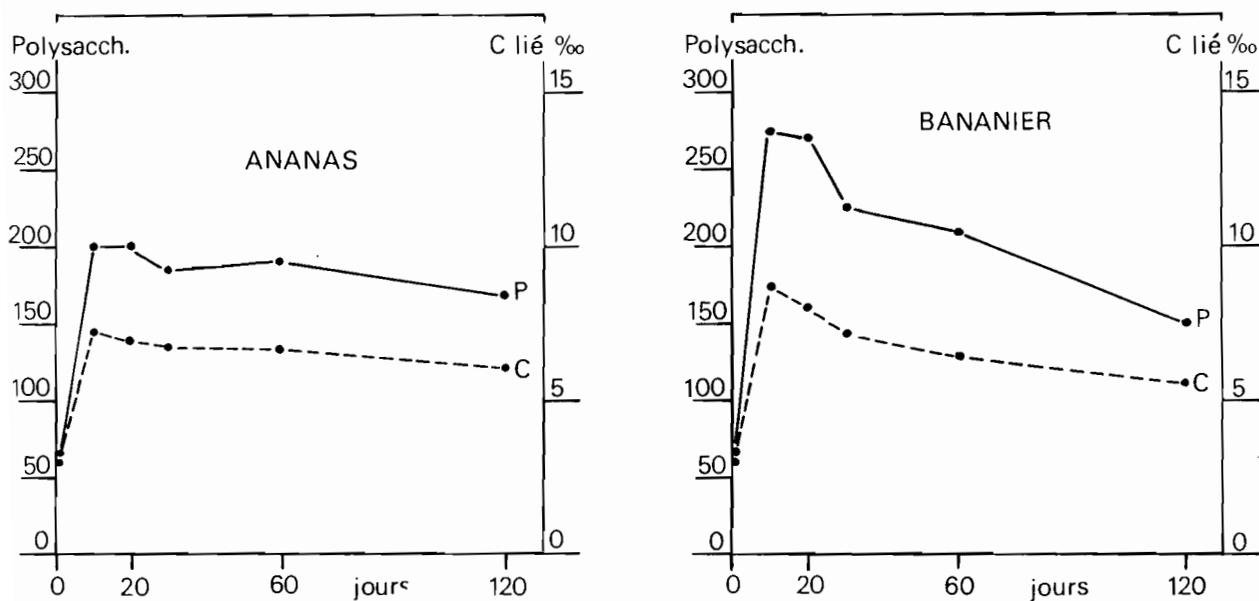


figure 18 • Evolution comparée des teneurs en carbone et en polysaccharides de la fraction liée. Etude in vitro.

—•— P = Polysaccharides

- - -•- - C = C lié

Les taux de carbone total résiduel sont deux à trois fois plus élevés pour l'ananas qui produit également, plus de matière organique libre et liée, plus de composés extractibles et non extractibles, plus de polysaccharides, mais moins de substances transitoires que le bananier.

L'enrichissement du sol en matière organique totale, par les **apports végétaux**, est dû principalement à une augmentation de l'humine. Pour l'ananas, l'accroissement sous cette forme représente 65 à 90 p. 100 de l'augmentation du C total et les composés extractibles seulement 10 à 35 p. 100. Pour le bananier, la totalité de l'enrichissement en C total se fait sous forme d'humine ; les acides fulviques sont toujours un peu plus faibles que dans le sol témoin, les acides humiques ont une teneur voisine.

Les matières organiques résiduelles produites par le bananier et l'ananas ont une composition différente :

- La proportion de matière organique libre est plus élevée pour l'ananas, et la fraction de la matière organique liée est plus stable que celle du bananier ; entre 1970 et 1972, le pourcentage de diminution de cette fraction est trois fois plus faible pour l'ananas.
- Les taux d'extraction sont plus faibles pour le bananier et les rapports C humine/C total tendent à être un peu plus élevés que pour l'ananas.
- Après 4 mois d'incubation le rapport : acides fulviques / acides humiques est plus élevé pour l'ananas (1,4 contre 0,8), mais après une année, il n'y a plus de différences entre les deux végétaux.
- La proportion de polysaccharides est légèrement plus élevée pour l'ananas : rapport C. polysaccharides / C total de 7 à 9 p. 100 pour le bananier et de 8 à 11 p. 100 pour l'ananas.
- Les coefficients de minéralisation du carbone facilement biodégradable sont généralement plus élevés pour le bananier que pour l'ananas. Les différences ne sont toutefois statistiquement significatives que pour le traitement avec enrichissement unique et sans fertilisation minérale ($R_0 F_0$).

Une fumure minérale complète (N - P - K - Ca - Mg) a un effet positif sur le rendement de la transformation des résidus végétaux en humine, elle favorise la formation de composés polymérisés et stables, et augmente la teneur en polysaccharides résiduels. Cette action est due aux engrais qui apportent de la chaux (dolomie et scories Thomas). La fertilisation azotée, en revanche, active la biodégradation et diminue la teneur en matière organique résiduelle.

3. ETUDE DE LA MINERALISATION DE L'AZOTE

Avant d'aborder cette étude, il nous paraît important de souligner les différences de composition quantitative et qualitative des deux matières végétales. Rappelons que différents organes de chaque plante sont mélangés en proportion adéquate de façon à constituer des matières végétales de même rapport C/N, égal à 45 et que les teneurs en azote total sont un peu plus élevées pour l'ananas que pour le bananier (17 à 18 p. 100) (tableaux 8 et 9). Alors que l'ananas (feuilles apicales et basales) ne contient que peu de nitrates, le bananier (stipe et limbe) est très riche. D'après les quelques analyses que nous avons faites, il semble que la teneur soit très variable d'un bananier à l'autre, puisque nous avons trouvé des teneurs variant de 1.250 à 5.000 p.p.m. de N-NO₃. L'azote ammoniacal apporté par les 4 p. 100 de matière végétale est faible (1 à 4 mg par kg de terre), l'ananas en apporte un peu plus que le bananier.

Le dosage de l'azote minéral des différents organes du bananier et de l'ananas montre que les teneurs varient fortement (tableau 18). Ainsi, les feuilles d'ananas contiennent très peu de nitrates, tandis que les tiges et rhizomes en contiennent une quantité non négligeable : 300 à 400 p.p.m. De même le stipe et la souche du bananier sont très riches : 2.600 à 3.000 p.p.m., dans le bananier analysé, alors que dans le limbe la teneur en nitrates est nulle.

Tableau 18 : Exemple de composition d'un bananier et d'un plant d'ananas. Extraction par agitation de 1 heure dans l'eau. Résultats en p.p.m. de matière sèche.

Plante	Organe	N-NH ₄	N-NO ₃	N minéral total
Ananas	(Feuilles)	86	53	139
	(Tige)	227	423	650
	(Rhizome)	129	402	531
Bananier	(Limbe)	77	0	77
	(Stipe)	102	3.007	3.109
	(Rhizome)	76	2.617	2.693

3.1. INCUBATION IN SITU

Etant donné la similitude entre l'évolution de l'azote et du carbone de la matière organique total et des fractions libres et liées, l'étude de l'azote a été faite conjointement avec celle du carbone. Nous nous limiterons dans ce paragraphe à rappeler les principaux résultats.

- L'apport de matière végétale élève la teneur en azote total du sol ; l'ananas enrichit davantage que le bananier.

- En absence de fertilisation minérale les taux d'azote total résiduel sont 1,5 à 2 fois plus élevés pour l'ananas que pour le bananier. Lorsqu'on apporte une fertilisation, les taux résiduels sont seulement de 1,1 à 1,4 fois plus élevés pour l'ananas dans le cas d'enrichissement unique (R_0) ; dans le cas d'enrichissement annuel (R_1), il n'y a plus de différences entre l'ananas et le bananier (tableau 10). Une interprétation de ce résultat sera donnée dans la discussion.

- Les taux d'azote total résiduel sont deux à quatre fois plus élevés que les taux de carbone. A titre d'exemple, dans les traitements avec enrichissement unique (R_0) les taux résiduels (p. 100), après trois années d'évolution (1972), sont les suivants :

	F_0		F_1	
	C	N	C	N
Ananas	15	43	25	50
Bananier	5	21	11	41

- Le bananier produit une matière organique libre à C/N plus faible que l'ananas, les différences sont plus grandes en présence de fertilisation minérale (F_1), qu'en absence (F_0) (tableau 11). Il produit, également, une matière organique liée à C/N légèrement plus faible que l'ananas (bananier : 9,1 à 9,8 ananas : 10,8 à 11,7).

3.2. ETUDE IN VITRO

La minéralisation de l'azote a été étudiée in vitro sur des échantillons enrichis avec 4 p. 100 de matière végétale de bananier ou d'ananas. Une première expérimentation faite avec la terre de forêt de l'horizon 30 - 60 cm, n'a pas permis d'étudier la nitrification ; la teneur de la terre en germes nitrificateurs étant très faible, la nitrification a été quasi nulle. L'expérimentation a été reprise avec un sol prélevé dans l'horizon humifère (0 - 10 cm) d'une parcelle cultivée en *Stylosanthes gracilis*, riche en germes nitrificateurs ; pour cette dernière on a étudié en plus l'action de la fumure minérale azotée.

3.2.1. Horizon non humifère

La figure 19.I et le tableau XV montrent que l'azote minéral présent, dans le sol ou dans la matière végétale, à la mise en incubation est immobilisé au dixième jour d'incubation dans les traitements "ananas" et "bananier" (phase d'immobilisation nette). Cette immobilisation correspond à une réorganisation de l'azote minéral par les micro-organismes telluriques, phénomène bien connu, lorsque l'on incorpore au sol une matière végétale à C/N élevé. Dans le traitement "témoin", la teneur en azote minéral augmente faiblement mais régulièrement de 0 à 260 jours. Une étude parallèle a montré, que les pertes d'azote ammoniacal, sous forme gazeuse, sont totalement nulles dans les trois traitements. Dans le traitement "ananas", la

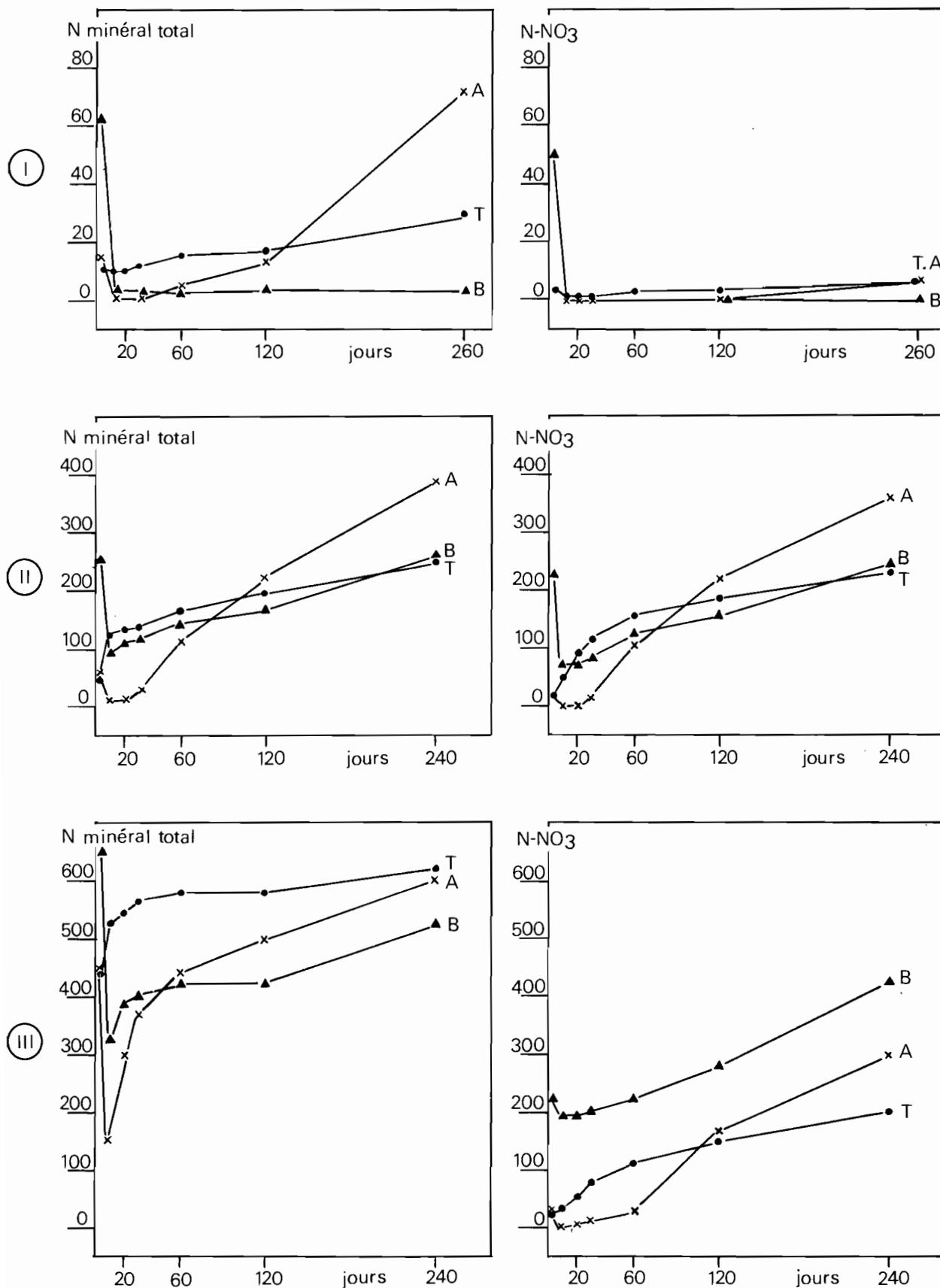


figure 19 • Evolution de l'azote minéral. Etude in vitro .

I - Sol de forêt, horizon 30-60 cm, sans apport de N.

II - Sol prélevé sous culture de stylosanthes de 0 à 10 cm, sans apport d'azote.

III - Sol ≡ II, avec apport de 400ppm de N (sulfate d'ammoniaque).

Résultats exprimés en mg par kg de terre.

T = Témoine

A = Ananas

B = Bananier

teneur en azote minéral ne varie pratiquement pas du dixième au trentième jour. Ce n'est qu'à partir du trentième jour que l'on observe une minéralisation nette (phase de minéralisation nette), faible entre le trentième et le cent vingtième jour, plus forte entre le cent vingtième et deux cent soixantième jour. A 260 jours, la teneur en azote minéral du traitement "ananas" est double de celle du témoin. Dans le traitement "bananier" on n'observe aucune minéralisation nette de l'azote, tout semble indiquer que l'azote minéral est "bloqué".

La nitrification nette est nulle ou quasi nulle dans les trois traitements, pendant les quatre premiers mois d'incubation. A 260 jours, il y a une faible nitrification nette dans les traitements "témoin" et "ananas" (6 et 7 p. p. m.), mais la teneur en nitrates est toujours nulle dans le traitement "bananier". La totalité des nitrates, contenus dans le mélange terre-matière végétale de bananier à la mise en incubation (53 p. p. m.) ont été immobilisés. L'étude de la minéralisation nette explique l'absence de nitrification dans le traitement "bananier", mais non dans les traitements "ananas" et "témoin". Différents tests de nitrification (méthode SAKAI), réalisés sur la terre qui a servi aux incubations, nous ont permis de conclure que la très faible nitrification était en relation avec une densité en germes nitrificateurs très faible. Afin d'étudier la nitrification, une nouvelle étude a été faite sur un sol riche en germes nitrificateurs.

3.2.2. Horizon humifère

Le sol : ferrallitique fortement désaturé, a une texture argilo-sablo-limoneuse. La composition granulométrique est très comparable à celle de l'horizon 30 - 60 cm du sol de forêt, mais les teneurs en éléments fertilisants sont plus élevées, en particulier, la teneur en cations échangeables (tableau 19).

Tableau 19 Caractéristiques du sol prélevé sous stylosanthes de 0 à 10 cm.

C total ‰	N total ‰	C/N	Cations échangeables mé/100 g				Coeffi- cient de satura- tion %	pH	P ₂ O ₅ assimi. ‰
			Ca	Mg	K	S			
26,0	2,1	12	2,9	1,1	0,2	4,2	49	4,7	0,02

3.2.2.1. Minéralisation de l'azote sans enrichissement en azote minéral

Les résultats sont présentés dans le tableau XVI et sur la figure 19.II. Comme nous l'avons observé dans la précédente étude, l'incorporation au sol de matière végétale d'ananas (feuilles) n'apporte que des quantités insignifiantes d'azote minéral. En revanche, les 4 p. 100 de

matière végétale de bananier (stipe et limbe) apportent 200 mg de $N-NO_3$ par kg de terre. Le sol contient en outre 44 mg d'azote minéral par kg dont 50 p. 100 de nitrates. Après incorporation de matière végétale au sol, on observe un phénomène d'immobilisation de l'azote minéral présent, dans le mélange : sol - matière végétale à la mise en incubation. L'immobilisation, plus élevée pour le bananier que pour l'ananas (161 p.p.m. contre 42 p.p.m.), correspond à une disponibilité plus grande d'azote minéral dans le bananier. A cette première phase, de 10 jours pour le bananier et de 20 jours pour l'ananas, succède une phase de minéralisation nette, beaucoup plus active pour l'ananas que pour le bananier. Après 240 jours d'incubation, les traitements "témoin" et "bananier" ont des teneurs en azote minéral identiques : 248 et 257 p.p.m., le traitement "ananas" est plus élevé : 387 p.p.m. (valeurs indiciaires 100, 103, 156). Ces différences sont encore plus grandes si on compare les quantités minéralisées, du dixième au deux cent quarantième jour d'incubation, pendant la phase de minéralisation nette. Durant cette période, la minéralisation de l'ananas est de 378 p.p.m. contre 167 p.p.m. seulement pour le bananier, soit deux fois plus. Dans le témoin, dans lequel il n'y a pas de phase d'immobilisation, la minéralisation entre le premier et deux cent quarantième jour est de 188 p.p.m. soit supérieure à celle du traitement "bananier".

Dans cette étude, utilisant un sol riche en germes nitrificateurs, la nitrification nette est élevée. Les nitrates apparaissent au fur et à mesure de la minéralisation. Comme pour l'azote minéral total, la teneur en nitrates est plus élevée pour l'ananas que pour le bananier. A 240 jours d'incubation, l'azote nitrique est de 232 et 247 p.p.m. dans les traitements "témoin" et "bananier" et de 361 p.p.m. dans le traitement "ananas" (valeurs indiciaires 100, 106, 155). Les quantités nitrifiées pendant la phase de nitrification nette sont de : 361 p.p.m. (ananas), 210 p.p.m. (témoin), 146 p.p.m. (bananier).

3.2.2.2. Minéralisation de l'azote avec enrichissement en azote minéral

L'azote minéral est apporté sous forme de sulfate d'ammoniaque. L'apport, calculé de façon à diminuer la valeur du rapport C/N de la matière végétale de moitié, est de 400 mg d'azote par kg de terre ; cette quantité correspond à 10 kg par tonne de matière végétale sèche. Les résultats sont présentés dans le tableau XVI et sur la figure 19. III).

Comme dans les études précédentes, l'incorporation de matière végétale provoque une immobilisation nette de l'azote minéral. Celle-ci, beaucoup plus importante que dans l'étude sans apport d'azote minéral, s'explique par les quantités élevées d'azote minéral disponible. Les immobilisations sont du même ordre de grandeur pour le bananier et pour l'ananas : 317 et 258 p.p.m. ; elles représentent 49 p. 100 et 58 p. 100 de l'azote minéral du mélange : sol - matière végétale à la mise en incubation. Ces faibles différences des quantités d'azote minéral immobilisé, sont dues à la constance des rapports C/N des deux substrats dans cette expérience. Il est vraisemblable qu'au champ, où le C/N de la matière végétale d'ananas est deux fois plus élevé que celle du bananier, l'immobilisation d'azote minéral est plus élevée pour l'ananas. La phase d'immobilisation est de courte durée pour les deux substrats, la phase de minéralisation nette débute entre le dixième et le vingtième jour. La minéralisation nette est plus faible pour le bananier que

pour l'ananas. Du dixième au deux cent quarantième jour la minéralisation de l'ananas est de 451 p.p.m. Pendant la même période elle n'est que de 195 p.p.m. pour le bananier, soit identique à celle du témoin : 197 p.p.m., entre le premier et le deux cent quarantième jour. A 260 jours, les teneurs en azote minéral sont plus faibles dans les échantillons enrichis avec de la matière végétale que dans le témoin : 641 p.p.m. (100), ananas 600 p.p.m. (93), bananier 529 p.p.m. (84).

Dans le traitement "bananier", qui à la mise en incubation, est riche en nitrates et en ammonium, l'immobilisation représente 87 p. 100 de l'azote ammoniacal et seulement 13 p. 100 de l'azote nitrique. Cette préférence des micro-organismes pour la forme ammoniacale a été observée par différents auteurs dont BOISCHOT et SYLVESTRE, (1951).

Les courbes d'évolution des nitrates montrent que, contrairement à ce que l'on observe dans l'étude faite sans apport d'azote ammoniacal, les teneurs en NO_3 sont plus élevées dans le traitement "bananier" que dans les traitements "témoin" et "ananas". Cette supériorité du traitement "bananier" est due à ce que le niveau de NO_3 est beaucoup plus élevé, dans ce traitement, au début de la phase de nitrification nette : bananier 188 p.p.m., ananas 0, témoin 22 p.p.m. Toutefois, la nitrification nette du dixième au deux cent quarantième jour est plus élevée pour l'ananas que pour le bananier : 299 p.p.m. contre 242 p.p.m. La nitrification dans le témoin est plus faible : 181 p.p.m.

L'apport d'azote ammoniacal (400 p.p.m.) diminue la vitesse de nitrification dans les traitements "ananas" et "témoin" mais non dans le traitement "bananier" (figure 20). Cette diminution de l'activité des micro-organismes responsables de la nitrification est, très vraisemblablement, en relation avec les concentrations élevées en azote ammoniacal (300 à 500 p.p.m.) dans les traitements "ananas" et "témoin". Dans le traitement "bananier", dans lequel la minéralisation nette est plus faible, la teneur en N-NH_4 ne dépasse pas 200 p.p.m.

Contrairement à la nitrification, la minéralisation nette dans les traitements "ananas" et "bananier" est légèrement activée par l'apport de sulfate d'ammoniaque. Les quantités d'azote minéralisé, du dixième au deux cent quarantième jour, sont respectivement de 378 p.p.m. (N_0) et 451 p.p.m. (N_1) pour l'ananas et de 167 p.p.m. (N_0) et 195 p.p.m. (N_1) pour le bananier. Dans le traitement "témoin" les quantités nettes d'azote minéralisé sont très voisines : 204 p.p.m. (N_0) et 197 p.p.m. (N_1).

3.3. ETUDE EN LYSIMETRES

Cette étude a été entreprise, afin de préciser certains résultats d'apparence contradictoire. Les expériences, in vitro, de la minéralisation de l'azote ont, en effet, montré que l'ammonification et la nitrification nettes de l'azote organique étaient moins actives pour la matière végétale de bananier que pour celle d'ananas. De cette conclusion, il est logique de déduire que les pertes d'azote, par lixiviation, seront plus élevées pour l'ananas que pour le

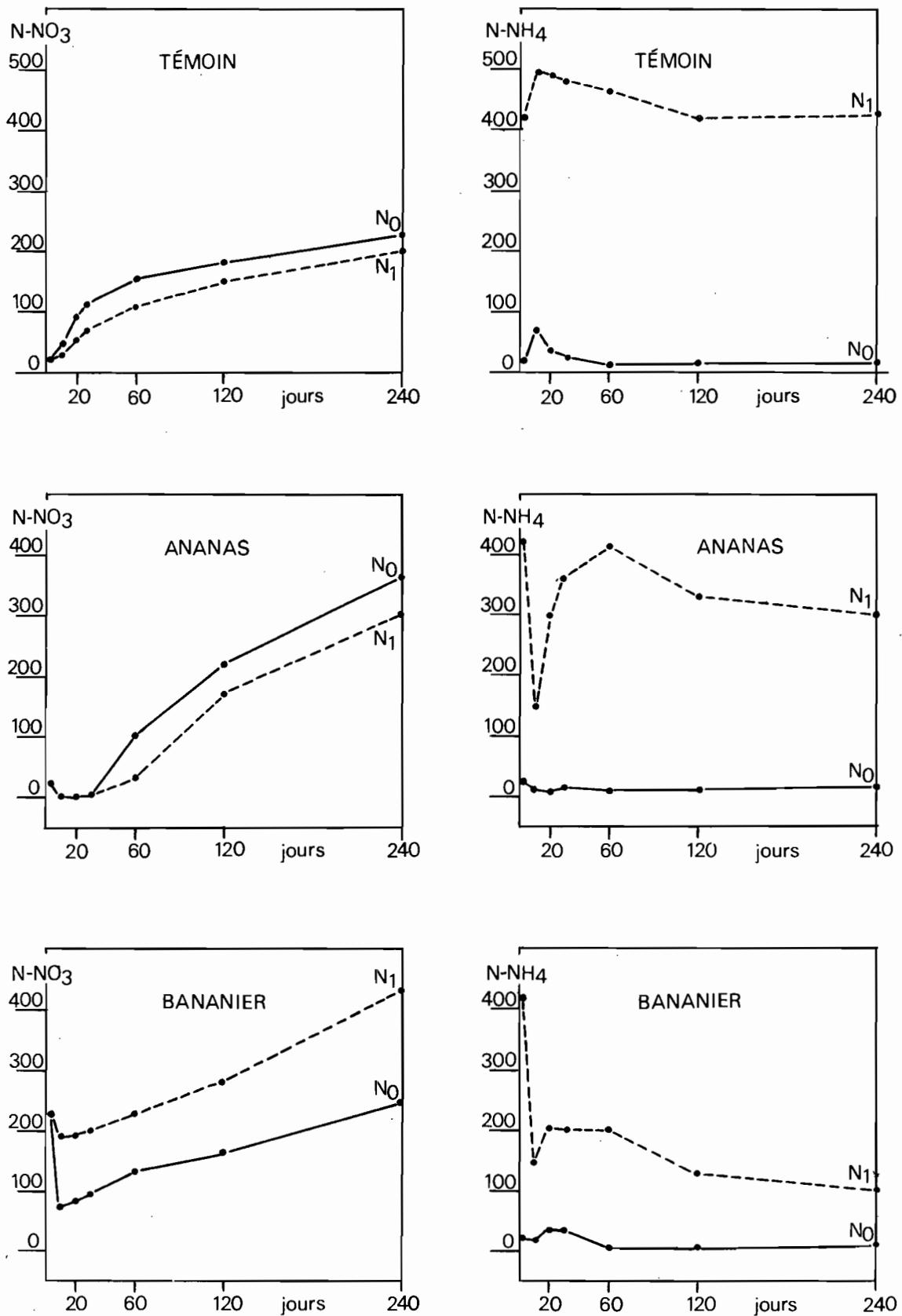


figure 20 • Evolution comparée de l'azote nitrique et ammoniacal avec (N₁) et sans (N₀) apport d'azote. Etude in vitro.

Résultats en mg par kg de terre.

bananier. Cette conclusion est mise en défaut par les résultats des incubations *in situ* ; ceux-ci montrent, au contraire, que les teneurs en azote total résiduel sont plus élevées pour l'ananas que pour le bananier.

Rappelons que l'étude en lysimètres est faite avec la même terre de forêt, que celle utilisée dans les incubations : *in situ* et *in vitro*. Comme nous l'avons souligné précédemment, ce sol est initialement pauvre en azote minéral et en germes nitrificateurs. Aux trois traitements principaux : témoin, ananas, bananier, on compare deux sous-traitements avec (F_1) et sans fumure minérale (F_0). La fumure minérale est la même que celle des incubations *in situ*. Les quantités sont calculées proportionnellement à la surface des lysimètres. La fumure azotée, apportée sous forme d'urée, est de 110 mg d'azote pour 0,5 kg de terre par épandage, soit 220 mg par an. Les apports sont faits en septembre et en novembre. Les résultats sont présentés sous forme graphique sur les figures 21 et 22.

3.3.1. Traitements sans fumure minérale (F_0)

Les premières pluies qui suivent l'incorporation au sol de matière végétale de bananier, entraînent une partie des nitrates apportés par la matière végétale. Les pertes d'azote minéral par lixiviation sont ensuite très faibles : 8 mg pour 0,5 kg de terre en 13 mois, ce qui confirme la faible minéralisation de la matière végétale de bananier. Les courbes des pertes cumulées d'azote minéral, dans les traitements "témoin" et "ananas", sont très comparables aux courbes d'évolution de l'azote minéral de l'étude *in vitro*. Dans le traitement "témoin", les pertes sont régulières du mois d'octobre 1971 au mois de novembre 1972. Dans le traitement "ananas", les pertes relativement faibles d'octobre à janvier, augmentent après cette date, ce qui traduit une activation de la minéralisation nette. Les pertes, d'abord inférieures à celles du traitement "témoin", deviennent supérieures à partir du cinquième mois. Au cours des 14 mois d'étude, les pertes sous forme d'azote minéral sont identiques pour le bananier et l'ananas 22 mg par lysimètre, soit 25 p. 100 de plus que dans le témoin. Les pertes d'azote minéral se produisent sous forme de NH_4 et de NO_3 . La forme nitrique représente 61 p. 100 dans le témoin, 50 p. 100 pour l'ananas, 72 p. 100 pour le bananier, dont 62 p. 100 immédiatement après l'incorporation de matière végétale. La proportion, relativement élevée, des pertes d'azote sous forme ammoniacale est en relation avec la faible nitrification dans ce sol. L'apport d'azote minéral par les eaux de pluie est faible : 2,2 mg par lysimètre ; cette quantité équivaut à 3 kg/ha en 14 mois.

Les pertes, sous forme d'azote organique, sont les plus élevées dans le traitement "ananas" et les plus faibles dans le traitement "témoin". Le bananier est intermédiaire. Une partie de celles-ci est en fait constituée par l'azote organique contenu dans l'eau de pluie, dont une fraction seulement a été retenue par le sol. Les courbes de la figure 21 montrent en effet que l'azote organique, contenu dans l'eau de pluie, est légèrement supérieur aux pertes du témoin. Il représente, au cours des 14 mois d'étude, 12 kg/ha de N. Si l'on admet que, dans le traitement "témoin", les pertes d'azote organique par lixiviation sont nulles, 22 p. 100 seulement de l'azote organique apporté par les pluies aurait été fixé par le sol. Par rapport au

(F₀)

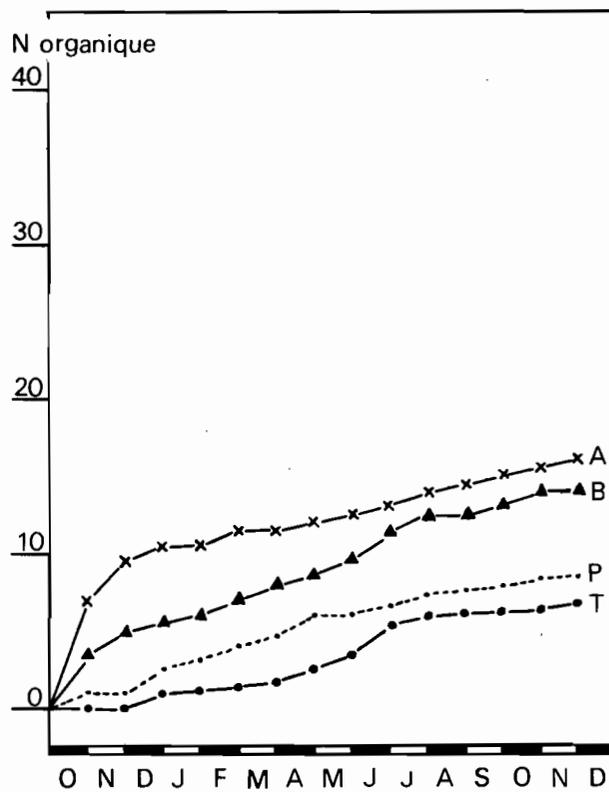
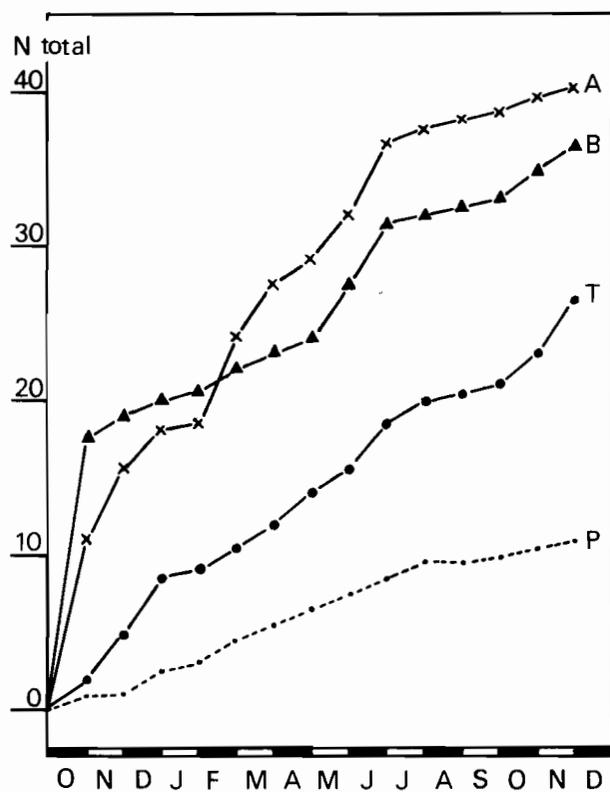
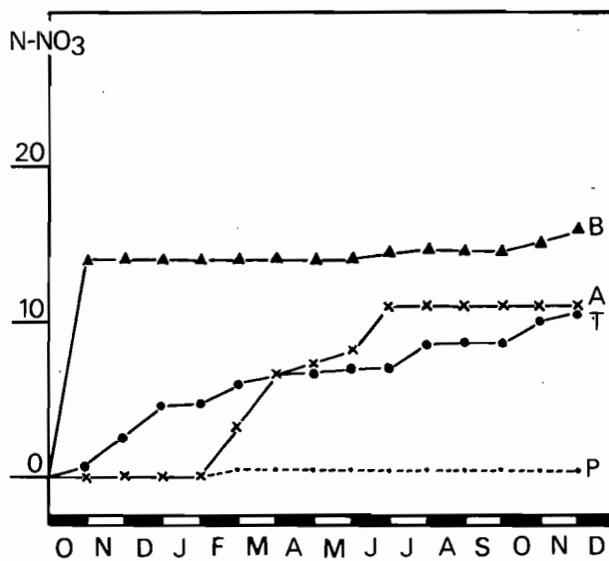
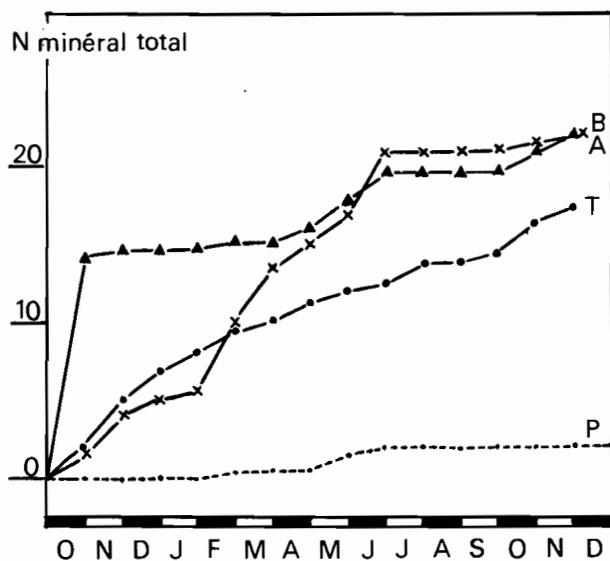


figure 21 • Pertes d'azote cumulées. Etude en lysimètres. Résultats exprimés en mg de N pou. 0,5 kg de terre.
 A = Ananas B = Bananier T = Témoin P = Pluie

F1

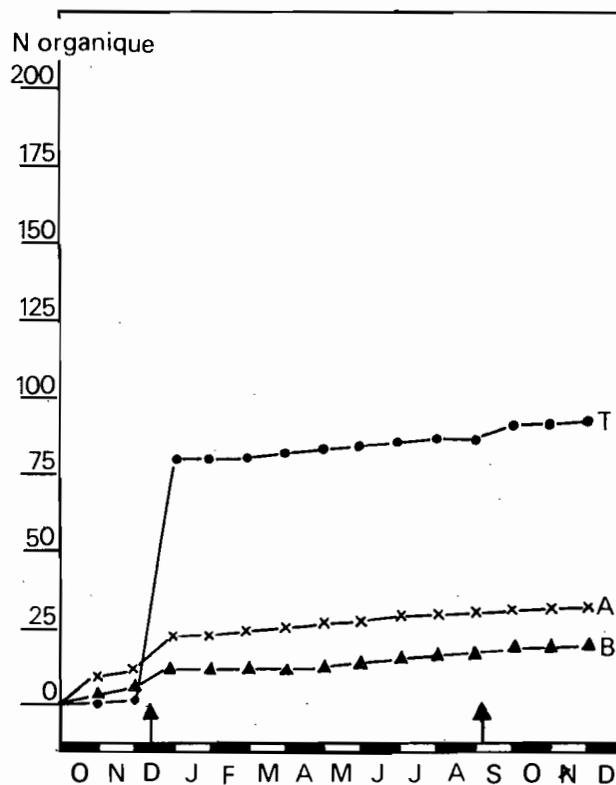
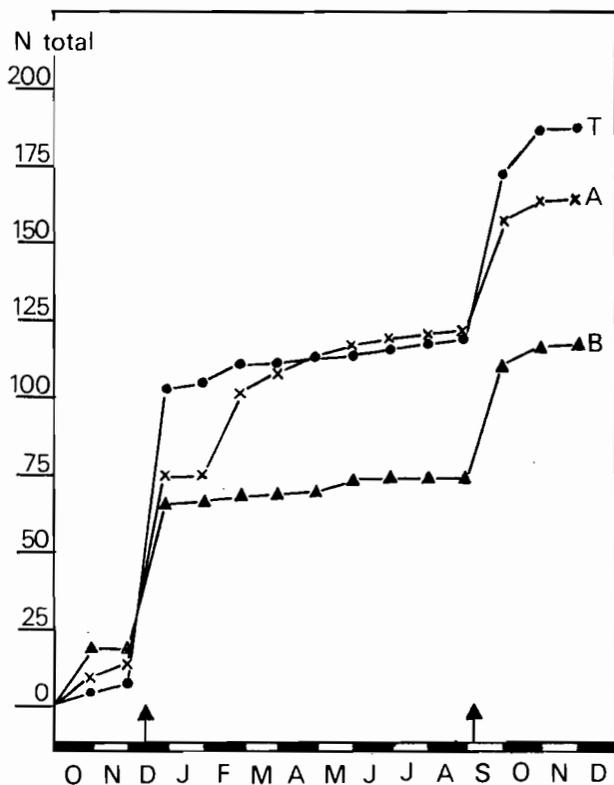
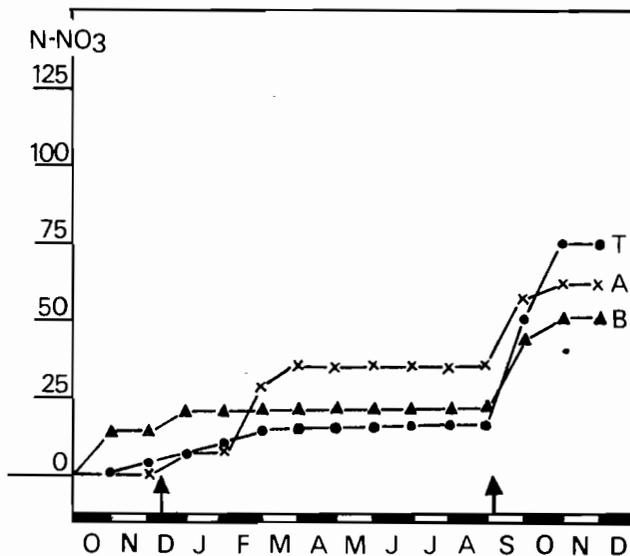
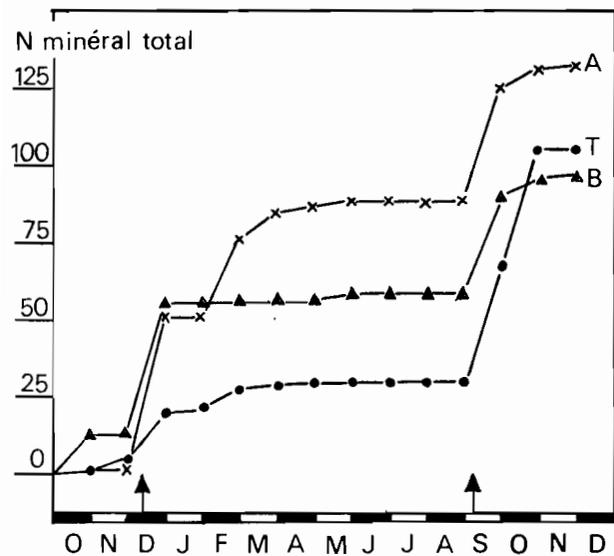


figure 22 • Pertes d'azote cumulées. Etude en lysimètres. Résultats exprimés en mg de N pour 0,5 kg de terre. Les flèches indiquent les dates d'apport de la fertilisation minérale.
 T = Témoin A = Ananas B = Bananier

témoin, les pertes sont deux fois plus élevées pour le bananier et trois fois plus pour l'ananas.

Les pertes totales : azote minéral + organique sont dans la proportion suivante : 100 (témoin), 150 (bananier), 167 (ananas).

3.3.2. Traitements avec fumure minérale (F₁)

Une fraction importante de l'azote apporté par la fumure (urée) est perdue par lixiviation. Les pertes sont maximales dans le traitement "témoin" et minimales dans le traitement "bananier", le traitement "ananas" est intermédiaire. Si l'on admet que les différences de pertes entre les traitements "F₁" et "F₀", au cours des deux mois qui suivent l'application de fertilisants, correspondent à la lixiviation de l'engrais azoté, les pertes consécutives aux deux apports (novembre 1971 et septembre 1972) seraient les suivantes :

	<u>Témoin</u>	<u>Ananas</u>	<u>Bananier</u>
mg de N par lysimètre	173	103	86
p. 100 de N de l'engrais	79	47	39

Les pertes se produisent sous différentes formes : azote ammoniacal, azote nitrique ou urée. La proportion varie suivant les traitements et entre la première et la deuxième application (tableau 20).

Tableau 20 : Pourcentage de perte par lixiviation des différentes formes d'azote. Etude en lysimètres.

Traite- ments	Première application			Deuxième application		
	N-NH ₄	N-NO ₃	N-urée	N-NH ₄	N-NO ₃	N-urée
Témoin	11	5	84	21	73	6
Ananas	69	13	18	36	62	2
Bananier	75	13	12	20	69	11

Lors de la première application, une fraction importante de l'urée apportée dans le témoin (84 p. 100) a été lixiviée avant d'avoir été ammonifiée. Dans les traitements enrichis en matière végétale l'hydrolyse de l'urée est plus rapide, la lixiviation s'est faite principalement sous forme d'azote ammoniacal (69 et 75 p. 100). A la deuxième application, le maximum de pertes se produit sous forme d'azote nitrique dans les trois traitements (62 à 73 p. 100). Les différences de formes sous lesquelles l'azote est lixivié s'expliquent, en partie, en fonction des précipitations qui ont suivi les apports d'engrais. La première application a été suivie d'une période pluvieuse :

70 mm entre le deuxième et le sixième jour, ce qui a pour conséquence d'entraîner l'urée soit avant l'hydrolyse (témoin), soit avant la nitrification (bananier et ananas). La deuxième application a été suivie d'une semaine sans pluie, la lixiviation s'est faite entre le huitième (18 mm) et le quatorzième jour (5 mm), alors que l'urée avait été hydrolysée et en partie nitrifiée. Les quantités importantes d'urée nitrifiée huit jours après l'application, indiquent qu'après une année, la densité en germes nitrificateurs du sol des trois traitements dans lesquels on apporte de la fumure minérale, est satisfaisante alors qu'elle était très faible à l'origine.

4.3. DISCUSSION DES RESULTATS

Les études : in vitro et en lysimètres, montrent clairement que la minéralisation nette de l'azote, dans le mélange : terre - matière végétale, est plus élevée pour l'ananas que pour le bananier. Dans l'expérience en lysimètres, les pertes sous forme d'azote minéral après 14 mois sont identiques pour l'ananas et pour le bananier. Pour ce dernier, 62 p. 100 des pertes se produisent sous forme de nitrates immédiatement après l'incorporation de la matière végétale. Ces nitrates proviennent du stipe qui en contient des teneurs très élevées. Des pertes très importantes au moment de la destruction d'une bananeraie, ont été observées dans une case de drainage établie dans la bananeraie d'Azaguié sur sol ferrallitique (GODEFROY, ROOSE, 1970). La concentration en azote minéral de l'eau de drainage qui est de l'ordre de 20 à 30 mg/l. s'est élevée à 390 mg/l. après la première pluie qui a suivi la destruction. Si l'on ne tient pas compte de cette lixiviation des nitrates, après l'incorporation au sol de stipe de bananier, les pertes en azote minéral dans les lysimètres, au cours des 14 mois, sont moitié plus faibles que dans le témoin et trois fois plus faibles que pour l'ananas, ce qui confirme la faible minéralisation de la matière végétale de bananier. On n'observe pas, dans les lysimètres, une immobilisation des nitrates aussi importante que dans le traitement "bananier" de l'étude in vitro avec le sol de l'horizon non humifère, dans lequel la totalité des nitrates est immobilisée. Cette différence est probablement en relation avec le fractionnement de la matière végétale. Dans l'étude in vitro, la matière végétale est mélangée à la terre sous forme de poudre ; dans les lysimètres elle est incorporée sous forme de petits cubes de 6 mm.

La plus forte minéralisation de la matière végétale d'ananas, par rapport à celle du bananier, peut être rapprochée du fait que l'ananas produit une matière organique contenant une fraction libre plus importante que le bananier. Les travaux de BLONDEL (1971), réalisés dans des sols du Sénégal, montrent le rôle de la fraction libre sur la production de l'azote minéral dans le sol. Ce rôle de la matière organique libre est confirmé par la teneur en azote minéral plus élevée (19 p. 100), lorsque le sol est enrichi avec 1 p. 100 de M.O. libre d'ananas (tableau 21).

Les pertes sous forme d'azote organique ne sont pas négligeables. Si on soustrait des pertes, l'azote organique apporté par l'eau de pluie, celles-ci représentent dans les traitements "F₀" : 20 et 30 p. 100 des pertes totales des traitements "bananier" et "ananas". Dans les traitements "F₁" les pertes totales en azote organique (sol, matière végétale, urée, eaux de

pluie) sont également plus élevées pour l'ananas que pour le bananier : 32 mg par lysimètre contre 20 mg.

Tableau 21 : Teneur en azote minéral dans un sol ferrallitique formé sur sables argilo-ferrugineux, cultivé en ananas. Horizon 0 à 25 cm. Résultats en mg par kg de terre. Etude in vitro.

	Début d'incubation		Après 45 jours d'incubation à 27°C		p. p. d. s.		CV %
	Sol non enrichi	Sol non enrichi	Sol enrichi avec 1 % de M. O. libre d'ananas.	5 %	1 %		
N-minéral total	9,2	21,0	25,0	2,4	3,4	9,4	
N-NO ₃	0	15,0	19,3	3,3	N.S	13	

Les pertes d'azote organique et la minéralisation de l'azote étant plus faibles, dans les traitements "bananier" que dans les traitements "ananas", les taux d'azote total résiduel devraient être plus élevés pour le bananier que pour l'ananas. Les résultats des incubations in situ infirment cette conclusion. Les taux d'azote total résiduel sont au contraire plus élevés pour l'ananas que pour le bananier.

Deux hypothèses peuvent être formulées pour expliquer ces résultats : a) La fixation de l'azote atmosphérique au cours de la décomposition de la matière végétale dans le sol serait plus importante pour l'ananas que pour le bananier. b) La dénitrification serait plus grande pour le bananier que pour l'ananas.

Des mesures de fixation d'azote atmosphérique effectuées par J. BALANDREAU, dans 15 parcelles de l'expérimentation in situ, n'ont pas permis de confirmer la première hypothèse, sans toutefois l'infirmer. La variabilité des résultats obtenus entre les répétitions d'un même traitement est telle qu'elle ne permet aucune interprétation. J. BALANDREAU attribue cette grande variabilité au développement important de Cyanophycées (espèce Nostoc et autres non déterminées) à la surface du sol. Des observations faites sur 120 parcelles de l'essai, n'ont pas permis de mettre en évidence de relation entre le développement de ces algues fixatrices d'azote et les traitements "T" - "A" - "B", ni entre les traitements "R₀" et "R₁". En revanche, le développement de ces algues tendrait à être plus important dans les traitements "F₁" que dans les "F₀", mais il est surtout conditionné par l'humidité du sol. La surface du sol des différentes fosses n'étant pas parfaitement horizontale, les eaux de ruissellement empruntent des trajets

privilegiés le long desquels la prolifération des algues est très intense. Des observations similaires peuvent être faites en bananeraie. Le développement de ces fixateurs d'azote est beaucoup plus important dans les sols de bas-fond, que dans les sols de plateau ou de pente. Dans les bas-fonds, les populations les plus denses se développent dans les zones où le micro-relief forme de petites cuvettes, dans lesquelles le ressuyage du sol est lent ou imparfait. Indépendamment de ce facteur "algue" qui a perturbé les mesures, l'essai n'ayant pas été conçu pour l'étude de la fixation d'azote se prête mal aux mesures. Pour une telle étude, il aurait été préférable d'enfouir la matière végétale dans tout le volume de terre.

En faveur de la deuxième hypothèse, nous invoquerons les valeurs du pH beaucoup plus élevées dans le traitement "bananier" que dans le traitement "ananas". La dénitrification est un processus neutrophile puisque son pH optimal se situe en 7,0 et 8,6 (DOMMERGUES et MANGENOT, 1970). Les valeurs des pH dans le traitement "bananier" sont comprises dans ces limites (tableau 22).

Tableau 22 : Valeurs du pH. Incubation in situ.

Année	R ₀ F ₀			R ₀ F ₁			R ₁ F ₀			R ₁ F ₁		
	T	A	B	T	A	B	T	A	B	T	A	B
1970	4,9	5,0	7,3	4,8	4,8	6,9						
1971	4,7	4,9	7,6	5,3	5,1	7,1	4,8	5,5	7,9	5,5	6,7	7,4
1972	4,5	4,5	7,1	5,2	4,6	6,0	4,8	5,2	7,8	5,4	6,1	7,5

Ces différences de pH entre traitements "bananier" et "ananas" sont en relation avec l'enrichissement du sol en cations. Comme nous l'avons souligné précédemment (cf. chapitre II, paragraphe 1.1.3.), la matière végétale de bananier contient plus de potassium et de calcium que celle d'ananas. Dans nos conditions expérimentales, où les quantités de matière végétale incorporée au sol sont élevées (4 p. 100), l'apport de cations à chaque enrichissement est, en moyenne, de 8,7 mé/100 g de sol pour le bananier et seulement de 2,7 mé/100 g pour l'ananas.

Tous les auteurs admettent maintenant que la dénitrification ne peut se manifester, que si le taux d'oxygène, dans le milieu, ne dépasse pas un certain seuil qui est très bas. Les sols très humides et mal drainés remplissent les conditions les plus favorables. Mais, l'expérience montre que la dénitrification peut se manifester, également, dans les sols bien drainés ne présentant aucun caractère d'anaérobiose (Mc GARITY, 1961 ; GREENWOOD, 1962 ; EKPETE et CORNFIELD, 1969, cités par DOMMERGUES, 1970). Cette anomalie, apparente, s'explique par le fait qu'un sol aéré comporte toujours

des micro-habitats, dont certains sont particulièrement favorables au développement des processus de dénitrification, par exemple à proximité ou au contact des débris organiques. Dans notre étude, où les quantités de matière végétale incorporée au sol sont considérables (elles correspondent à 120 t/ha de M.S.) de tels phénomènes d'anaérobiose ont pu se produire. Les possibilités de dénitrification sont d'autre part accrues avec le bananier, par rapport à l'ananas car :

- a) - il y a beaucoup plus de C minéralisable donc plus de substances donatrices d'électrons (réductrices).
- b) - il y a une moins bonne structure donc une porosité plus faible et une probabilité de conditions anaérobies plus élevée.

Si l'on retient l'hypothèse de la dénitrification, il n'est pas prouvé, que de tels phénomènes se produisent dans les sols de bananeraie car :

- a) - les quantités de résidus de culture incorporés annuellement au sol sont beaucoup plus faibles (de l'ordre de 10 fois moins) et ils ne sont généralement pas enfouis.
- b) - les pH des sols sont généralement acides (5,0 à 5,5).

Les pertes de l'azote apporté par la fumure minérale sont très élevées dans les lysimètres ; l'incorporation au sol de matière végétale diminue la lixiviation, mais davantage pour le bananier que pour l'ananas. Ce résultat est confirmé dans l'incubation in situ : l'augmentation de la teneur en azote total dans les traitements avec fumure minérale (F_1), par rapport aux traitements sans fumure (F_0), est plus élevée avec le bananier ; les différences entre F_0 et F_1 ne sont pas significatives dans les traitements "ananas". Dans le traitement "bananier", l'augmentation de la teneur en azote total dans F_1 , par rapport à F_0 est de 19 p. 100 dans R_0 et de 12 p. 100 dans R_1 . Cet azote se fixe sur les deux fractions de la matière organique, dans la proportion de 30 à 50 p. 100 sur la fraction libre dont elle diminue le rapport C/N (tableau 23).

Tableau 23 : Valeur des rapports C/N de la matière organique libre dans le traitement bananier. Incubation in situ.

	$R_0 F_0$	$R_0 F_1$	$R_1 F_0$	$R_1 F_1$
1970	33	20		
1971	31	24	25	18
1972	30	20	26	16

Dans l'étude lysimétrique l'urée apportée dans le témoin, lors de la première application, a été lixiviée en grande partie avant d'avoir été hydrolysée. Des mesures de l'activité uréasique ont, en effet, montré que le sol (horizon 30 - 60 cm du sol de forêt) était extrêmement pauvre en uréase

(0,3 mg N-NH₄/3 h/g C). L'activité uréasique est accrue après enrichissement du sol en matière végétale de bananier et d'ananas (4,5 mg N-NH₄/3 h/g C après 120 jours d'incubation). Dans ces deux traitements, l'urée a été rapidement hydrolysée et les pertes se sont produites sous forme de NH₄, la nitrification étant très faible.

Dans notre expérience utilisant des matières végétales de même C/N (45), l'immobilisation nette d'azote minéral contenu dans le mélange : terre - matière végétale au moment de l'incorporation, est peu différente pour les deux substrats, lorsque cet azote minéral est en excès. Cette immobilisation représente 0,75 p. 100 du poids de matière végétale incorporée. L'azote ammoniacal est préférentiellement immobilisé lorsque les deux formes : nitrrique et ammoniacale sont présentes dans le sol.

Dans les études sans apport d'azote minéral, dans lesquelles les teneurs en azote NH₄ sont faibles, les nitrates sont immobilisés. Comme l'a montré BURRIS (1959), les formes nitriques sont utilisables en l'absence de NH₄, mais exigent avant leur utilisation une réduction préalable en ammoniaque.

L'augmentation de teneur en nitrates entraîne une acidification du milieu, phénomène bien connu (figure 23). La nitrification est active à des pH très fortement acides : 3,5 à 4,0, ce qui suggère l'adaptation de micro-organismes nitrificateurs aux pH acides. En revanche, la nitrification est nettement ralentie par l'augmentation de la concentration dans le sol d'azote ammoniacal, comme il ressort de l'étude de la nitrification avec apport élevé de sulfate d'ammoniaque.

4. CAPACITE D'ECHANGE CATIONIQUE

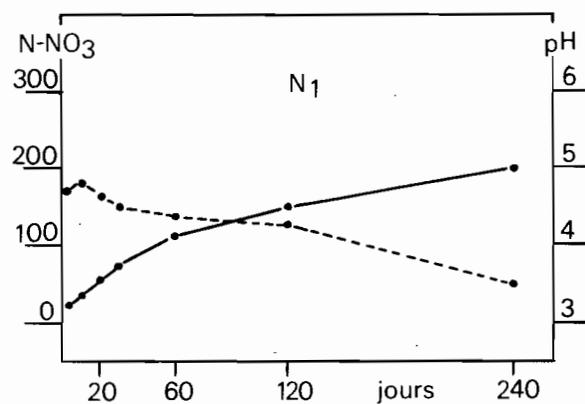
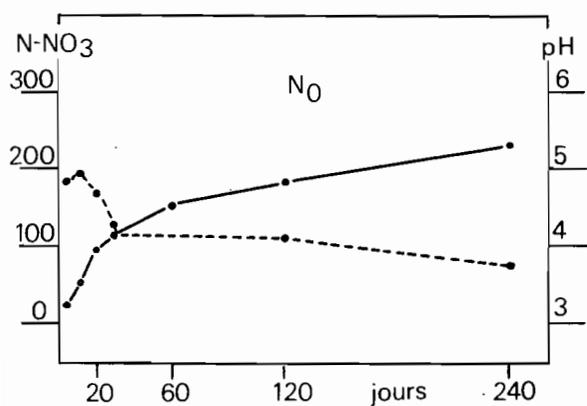
L'étude de cette caractéristique est limitée aux incubations in situ.

4.1. COMPARAISON ENTRE LES TRAITEMENTS ET LES ANNEES

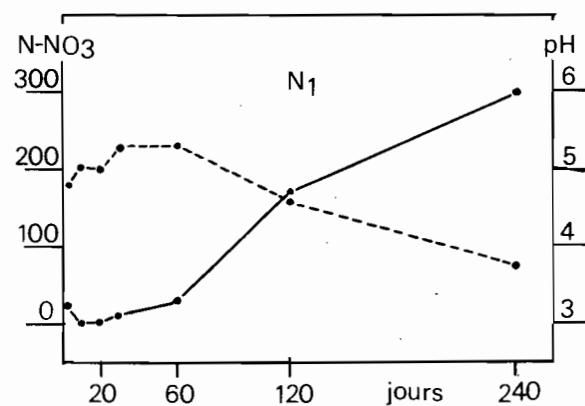
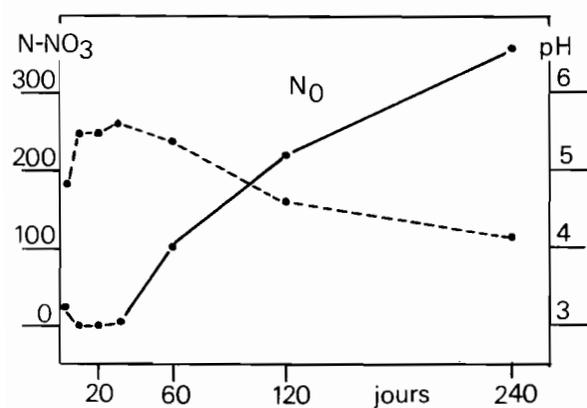
L'incorporation au sol de matière végétale de bananier et d'ananas augmente la capacité d'échange cationique (T) mais davantage pour le bananier que pour l'ananas (figure 24 et tableau XVII). Dans le cas d'un apport unique de matière végétale (R₀), les valeurs sont maximales un an après l'enfouissement ; elles diminuent légèrement (bananier 0,2 à 0,3 mé/100 g) ou se stabilisent à ce niveau (ananas) à la deuxième et troisième année. Dans le cas d'incorporation annuelle de matière végétale (R₁), la capacité d'échange s'accroît chaque année ; l'augmentation après le premier apport est un peu plus élevée que pour les suivants . A la troisième année, les accroissements des capacités d'échange par rapport à la valeur de T du sol avant l'enrichissement sont les suivants :

	<u>Ananas</u>	<u>Bananier</u>
R ₀ F ₀	16 p. 100	19 p. 100
R ₀ F ₁	16 p. 100	24 p. 100
R ₁ F ₀	40 p. 100	54 p. 100
R ₁ F ₁	49 p. 100	57 p. 100

TÉMOIN



ANANAS



BANANIER

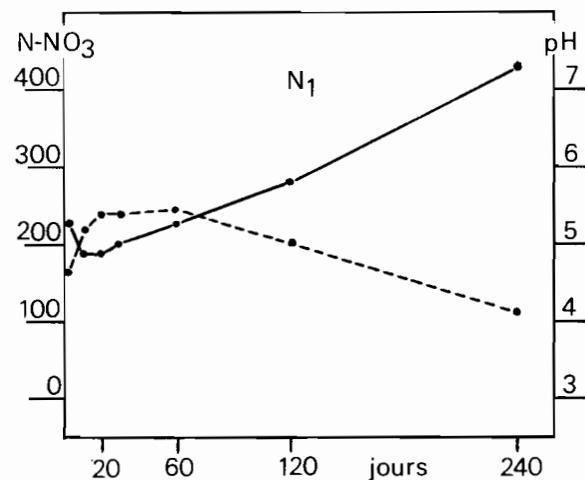
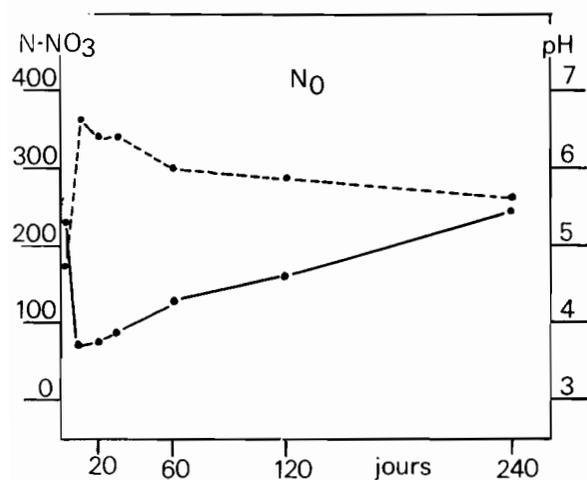


figure 23 • Evolution comparée de la teneur en nitrates et du pH du sol. Etude in vitro.

—•— N-NO₃ - - - - - pH

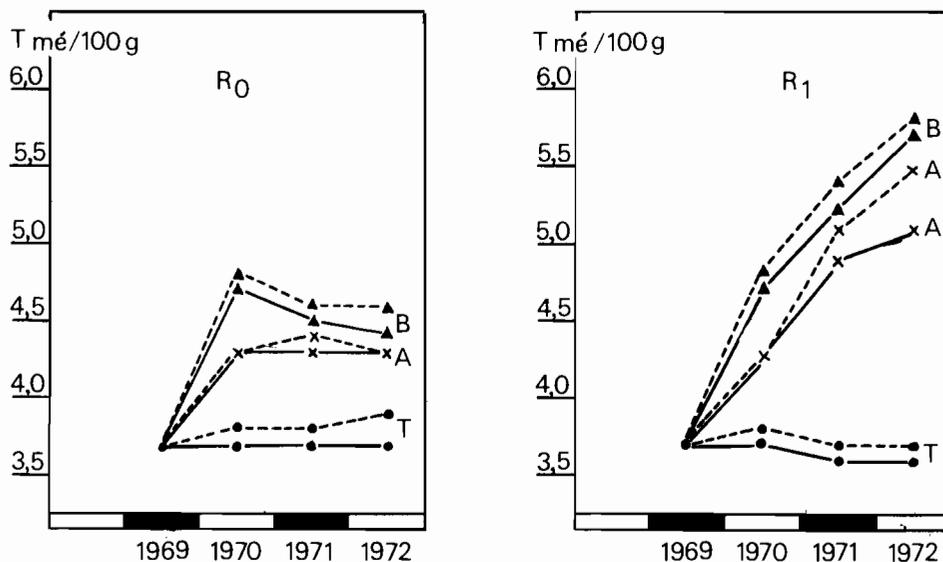


figure 24 • Evolution de la capacité d'échange cationique. Incubation in situ.

T = Témoin A = Ananas B = Bananier — F₀ - - - F₁

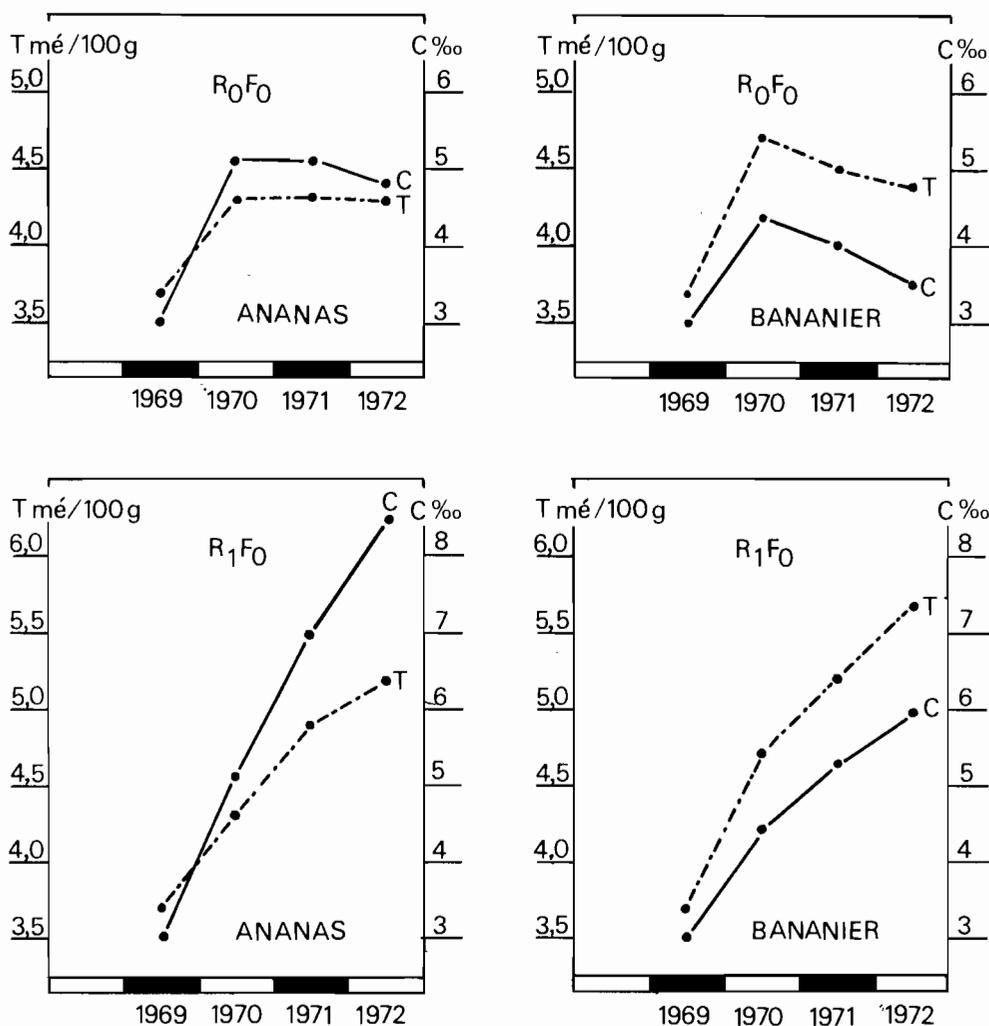


figure 25 • Evolution comparée de la capacité d'échange cationique et de la teneur en C lié. Incubation in situ.

Dans les traitements "bananier" et "ananas" les capacités d'échange tendent à être plus élevées lorsque l'on apporte des engrais minéraux, que sans fertilisation ; les variations du traitement "témoin" sont très faibles et non significatives.

4.2. RELATION ENTRE LA CAPACITE D'ECHANGE ET LA TENEUR EN MATIERE ORGANIQUE.

La comparaison des courbes d'évolution de la capacité d'échange et de la teneur en matière organique montre qu'il y a une relation étroite entre ces deux caractéristiques (figure 25). Cette relation est confirmée par les valeurs très élevées des coefficients de corrélation, significatifs à un seuil de probabilité inférieur à 0,01 ($0,85 < r < 0,98$) (tableau XVIII).

Il y a, toutefois, lieu de noter une différence importante entre les deux matières végétales. Alors que l'ananas produit plus de matière organique résiduelle de toutes les formes étudiées (libre, liée, acides humiques, acides fulviques, humine), la matière végétale de bananier a une action supérieure du point de vue de la capacité d'échange cationique.

Une estimation, des valeurs de T des deux types de matière organique produite, est donnée par les valeurs des coefficients de l'équation de régression linéaire simple. La valeur moyenne est de 425 mé/100 g C pour le bananier et de 200 mé/100 g C pour l'ananas, soit moitié plus faible. La capacité d'échange de la matière organique liée à la fraction minérale du sol est un peu plus élevée, que celle de la matière organique totale : bananier 480 mé/100 g C lié, ananas 290 mé/100 g C lié.

Les capacités d'échange plus élevées, dans les traitements "F₁" que dans "F₀", sont en relation avec les augmentations quantitatives de C.

Dans les sols ferrallitiques forestiers de Côte d'Ivoire, la valeur moyenne de la matière organique, pour les horizons A₁ des sols sous forêt dense humide sempervirente s'établit aux alentours de 190 à 250 mé/100 g C (de BOISSEZON, 1970).

4.3. DISCUSSION ET CONCLUSION

Malgré les très nombreux travaux consacrés aux causes de la capacité d'échange de la matière organique, nos connaissances dans ce domaine sont encore limitées. D'une étude bibliographique très complète RUELLAN (1967) tire les conclusions suivantes.

La capacité d'échange de la matière organique est due :

1er. Aux groupes carboxyles liés à différents composés, qui peuvent se dissocier et libérer des ions H⁺ à des pH inférieurs à 6, la valeur du pH de dissociation dépendant du composé auquel appartient des groupes (pH 4,6 pour les acides humiques).

2è. Aux hydroxyles liés, également, à différents composés de la matière organique et qui peuvent se dissocier à des pH supérieurs à 6 et de plus en plus

quand le pH croît.

3è. La capacité d'échange dépend du degré d'oxydation de la matière organique : plus il est fort et plus il y a de groupes carboxyles acides. Ce degré d'oxydation dépendrait, lui-même, des conditions de pH qui ont régi la formation de l'humus. En milieu neutre ou légèrement alcalin, l'humus formé est plus oxydé qu'en milieu acide, d'où une capacité d'échange plus grande (MATTSON et al, 1943).

4è. La capacité d'échange augmente avec le degré d'humification. Ainsi la valeur T/C est un bon critère pour apprécier indirectement le degré d'humification (DUCHAUFOR, 1960).

5è. Le rôle du pH sur la capacité d'échange a été, également, mis en évidence par CHAMINADE (1944), RHODES (1957), HELLING et al (1964) ; ce dernier a montré que la capacité d'échange de la matière organique est multipliée par 8 quand le pH augmente de 2,5 à 8.

Les travaux réalisés par BONNEAU et al (1964), puis confirmés par NGUYEN KHA et al (1969), ont d'autre part montré que la capacité d'échange résulte de l'évolution directe de certains composés végétaux (lignine), sans passage par une phase soluble : des radicaux carboxyles apparaissent par oxydation et ils permettent les liaisons chimiques avec les composés minéraux.

Il semble donc, que les propriétés différentes des deux matières organiques soient dues à une composition différente, en relation avec les conditions d'humification. La matière végétale de bananier, plus riche en cations (Ca et K en particulier) que celle d'ananas, élève beaucoup plus le pH du sol : bananier : 7,0 à 8,0, ananas : 4,5 à 5,5 (tableau 22). Les conditions de pH, dans le traitement "bananier", favorisent donc la formation de groupes carboxyles et hydroxyles acides, en plus grand nombre que dans le traitement "ananas".

5. ETUDE DE LA STRUCTURE

5.1. INCUBATION IN SITU

Les résultats sont présentés sur les figures 26 à 28 et dans le tableau XIX.

5.1.1. Comparaison entre les traitements et entre les années

L'apport de matière végétale de bananier et d'ananas améliore la structure du sol. L'amélioration est plus importante pour l'ananas que pour le bananier (figure 26). L'accroissement, par rapport au témoin, des taux d'agrégats stables à l'eau est beaucoup plus élevé pour Aga que pour Agb. A titre d'exemple, après trois années d'enrichissement du sol en matière végétale, les taux d'Aga ont augmenté (en valeur absolue) : de 18 p. 100 (ananas) et 4 p. 100 (bananier) contre 3 p. 100 et 0,7 p. 100 pour Agb, soit un rapport de 1 à 6. La plus grande stabilité structurale, dans les échantillons enrichis, doit donc être attribuée plus à une augmentation de la cohésion, qu'à une diminution de la mouillabilité.

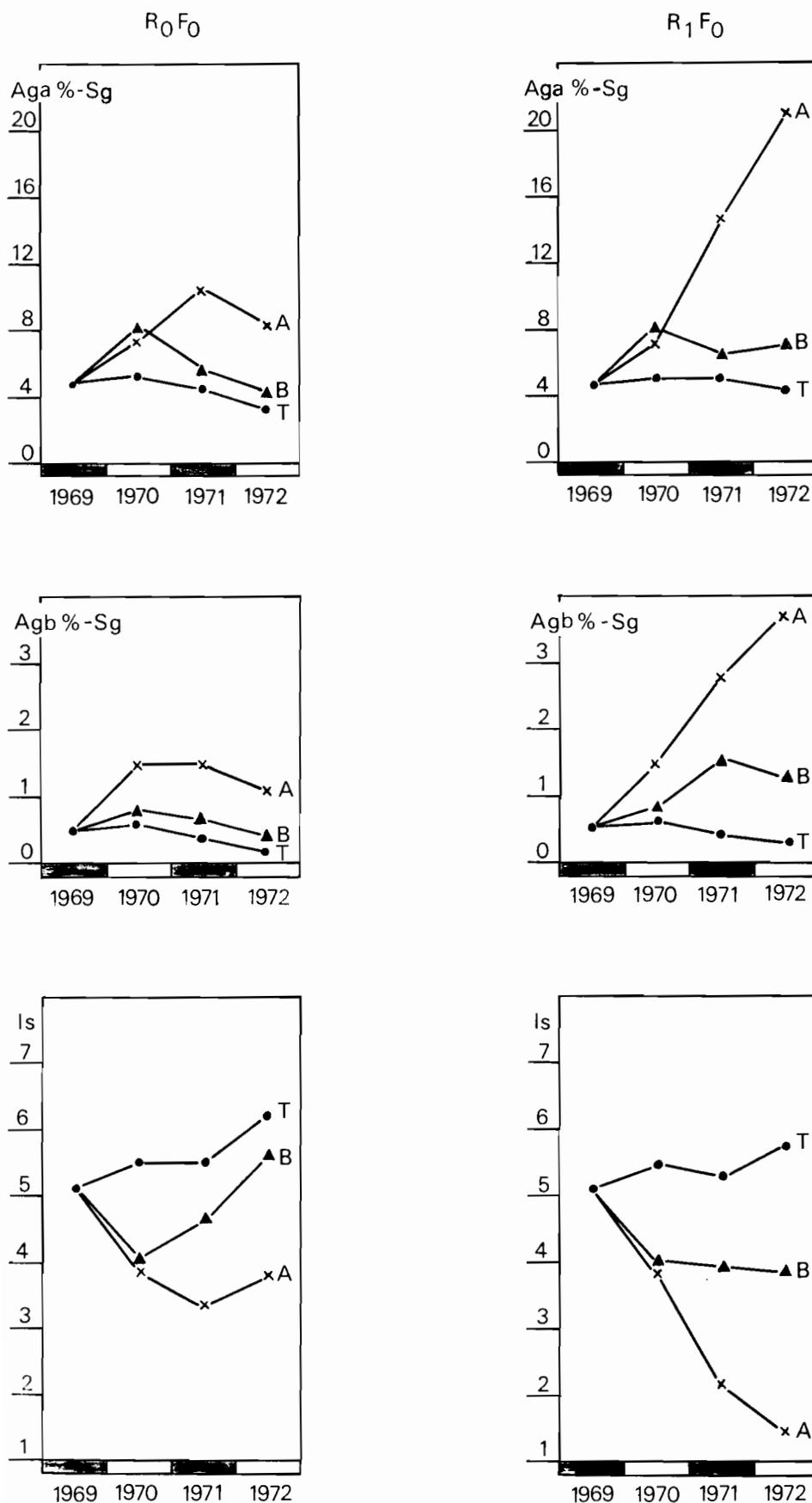


figure 26 • Evolution de la structure. Incubation in situ.

T = Témoin

A = Ananas

B = Bananièr

Dans le cas d'un apport unique de matière végétale de bananier (R_0), après un accroissement de la stabilité la première année, le taux d'agrégation diminue les années suivantes. Pour l'ananas, l'amélioration est plus durable, la stabilité ne décroît qu'à partir de la troisième année et la diminution est plus faible que pour le bananier. Dans le traitement "témoin", on observe une détérioration régulière de la stabilité entre 1969 et 1972. Trois ans après l'enrichissement en matière végétale de bananier, la stabilité structurale est sensiblement la même que celle du sol à l'origine. L'apport de 4 p. 100 de matière végétale de bananier n'a donc eu pour effet que de maintenir la stabilité à son état initial, alors qu'elle a diminué dans le traitement "témoin". L'apport de matière végétale d'ananas est plus efficace, puisque la structure en 1972 est améliorée par rapport à celle de 1969 : l'indice " I_s " de 5,24 en 1969 s'abaisse à 3,79 (F_0) et 4,10 (F_1) en 1972. Les variations des taux d'agrégats sont faibles : Aga + 3,3 p. 100 (F_0) et 2,5 p. 100 (F_1), Agb + 0,6 p. 100 (F_0 et F_1). On peut se demander ce qu'elles représentent pratiquement. MONNIER et GRAFFIN (1971) estiment que pour les faibles valeurs d'Agb (4 p. 100 et en dessous), les variations ne sont significatives d'une amélioration que pour des différences supérieures à une unité p. 100. Pour un matériau donné, en effet, une variation de cet ordre est un seuil à partir duquel on enregistre effectivement, au champ, une modification du comportement vis-à-vis de l'eau.

Dans le cas d'enrichissement annuel en matière végétale (R_1), l'évolution de la structure est très différente entre l'ananas et le bananier. Dans le traitement "ananas", l'amélioration de la structure est extrêmement nette puisque l'indice " I_s " s'abaisse de 5,24 en 1969 à 1,46 (F_0) et 2,04 (F_1) en 1972. De même, les accroissements des taux d'agrégats sont appréciables : Aga + 16 p. 100 (F_0) et + 14 p. 100 (F_1), Agb + 3,2 p. 100 (F_0) et + 1,6 p. 100 (F_1). L'augmentation de stabilité de la structure est continue d'année en année, les courbes d'évolution sont sensiblement des droites. Dans le traitement "bananier", on observe une amélioration notable de la structure la première année dans les traitements "avec" et "sans" fumure minérale. Dans le traitement " F_0 ", cette bonification se maintient en deuxième et en troisième année. Dans le traitement " F_1 ", à l'accroissement de la stabilité structurale la première année, succède une détérioration les années suivantes. Après trois années d'apports massifs de matière végétale (quantités équivalentes à 120 t/ha an de M.S.), l'action sur la structure est donc faible, surtout lorsque l'on apporte une fertilisation minérale. Entre 1969 et 1972 : l'indice " I_s " s'est seulement abaissé de 5,24 à 3,87 (F_0) et 4,75 (F_1), les taux d'Aga n'ont augmenté que de + 2,5 p. 100 (F_0) et + 1,6 p. 100 (F_1), celui d'Agb du traitement " F_0 " que de + 0,7 p. 100 ; dans " F_1 " Agb n'a pas varié. L'accroissement de stabilité due à l'incorporation annuelle de bananier est donc du même ordre de grandeur que celui d'un apport unique d'ananas. Du point de vue structural, la matière végétale de bananier est donc beaucoup moins intéressante que celle d'ananas.

L'aération du sol dans le traitement "témoin" (comparaison entre R_0 et R_1) n'a apparemment pas d'effet sur la structure.

En absence d'apport organique (témoin), la fertilisation minérale a une action défavorable sur la structure (figures 27 et 28). Dans les fosses, l'effet de battance lors des fortes pluies est plus important dans les

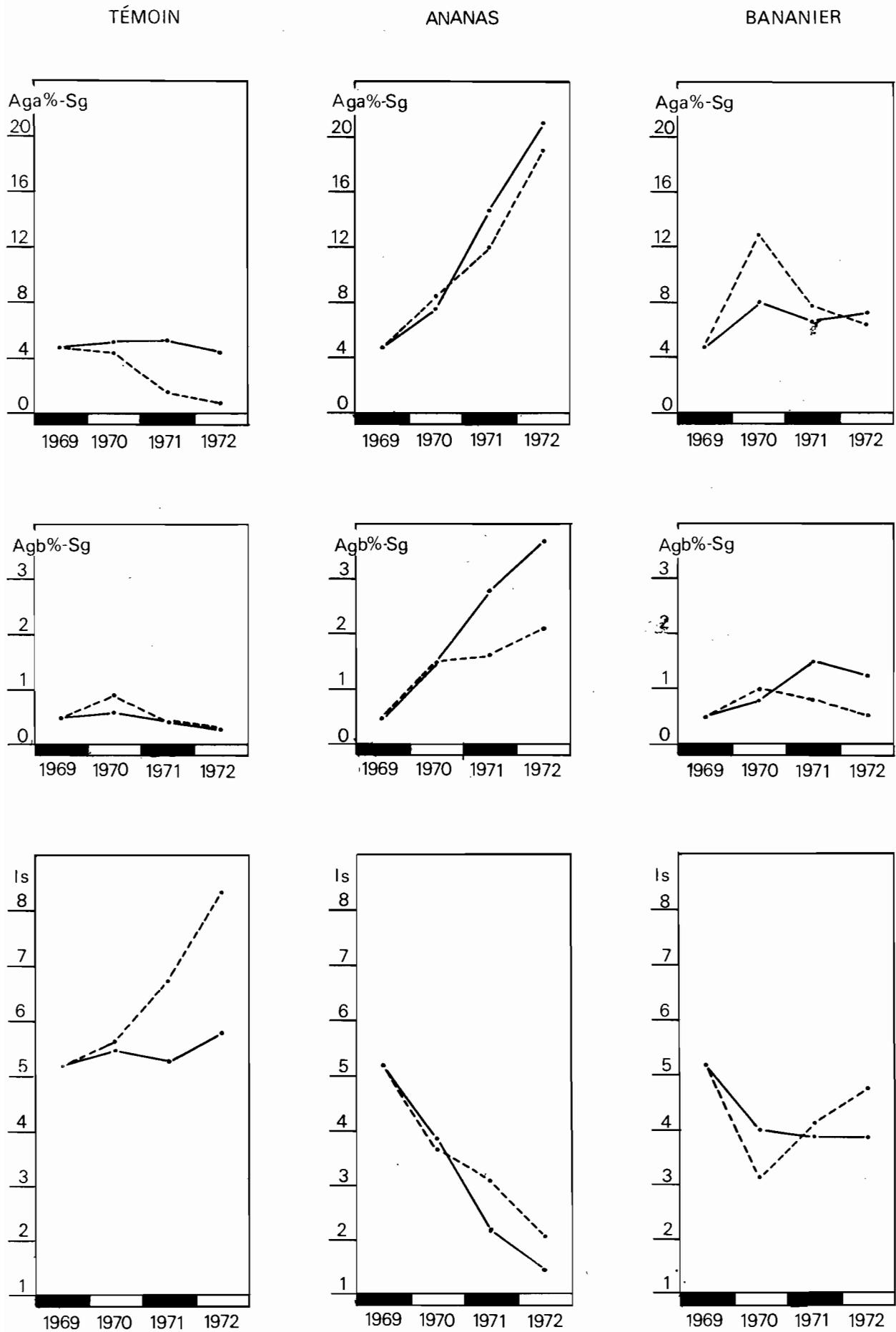


figure 28 • Evolution comparée de la structure dans les traitements R₁F₀ et R₁F₁. Incubation in situ.

F₀ ——— F₁ - - - -

parcelles "F₁" et la surface du sol est plus "croûtée" que dans les parcelles "F₀". Dans les traitements "bananier" et "ananas", la fumure minérale a deux effets antagonistes : diminution de la stabilité, augmentation de la teneur en matière organique. Dans les traitements "R₁", la résultante est une dégradation, dans les traitements "R₀", les effets s'annulent.

Afin de préciser le rôle des divers composants de la fumure minérale, nous avons étudié, in vitro, les effets d'apports : d'urée, de chlorure de potassium, de dolomie et de scories de déphosphoration sur la structure d'un sol de forêt, après un mois d'incubation à la température ambiante (tableau 24). On n'observe pas de différences significatives entre des apports de 1 p. 1000 et de 5 p. 1000. L'urée diminue la stabilité de la structure, la dolomie et les scories de déphosphoration ont une action positive, particulièrement sur la cohésion. Cette amélioration peut être attribuée au calcium, contenu dans la dolomie (30 p. 100) et les scories (50 p. 100), dont l'effet bénéfique sur la structure est bien connu. Le chlorure de potassium paraît améliorer légèrement la stabilité, mais les différences obtenues ne sont pas significatives.

Tableau 24 : Action des engrais sur la structure d'un sol de forêt (Azaguié). Résultats ⁽¹⁾ en valeur indiciaire par rapport au témoin. Etude in vitro.

	Témoin	Urée	Chlorure de potassium	Dolomie	Scories Thomas	p. p. d. s. 5 %
Aga vrais	100	74 ⁺⁺	99	108 ⁺	113 ⁺⁺	6
Age vrais	100	83	114	120 ⁺	128 ⁺⁺	19
Agb vrais	100	66 ⁺⁺	107	102	107	9
I _s	100	147 ⁺⁺	94	94	89 ⁺	11

Degré de signification par rapport au témoin : + P = 0,05 , ++ P = 0,01
(I_s) du témoin = 2,05 (1)

5.1.2. Relation entre la structure et la teneur en matière organique

L'étude des corrélations par année, groupant les traitements "témoin, ananas et bananier", montre qu'il y a une relation très étroite entre le carbone total, l'indice d'instabilité et les différentes fractions agrégées. Les coefficients de corrélation "r" sont élevés et significatifs au seuil de probabilité 0,01. Le calcul avec la fraction liée du carbone, au lieu de C total, donne des coefficients "r" du même ordre de grandeur (tableau XX à XXIII). Les corrélations sont généralement plus étroites pour les traitements "F₀" que pour les traitements "F₁".

L'examen de la répartition des points, par rapport à la droite de régression, permet de distinguer trois "nuages" de points correspondant aux trois traitements : T, A, B. On remarque, que pour un traitement donné, la dispersion des points est quelquefois élevée, ce qui indique que les valeurs des coefficients "r" très élevées, peuvent dans certains cas traduire plus une différence entre traitements, qu'une relation entre la teneur en matière organique et la structure.

Afin de préciser l'action spécifique, sur la structure, de la matière organique formée à partir des matières végétales de bananier et d'ananas, nous avons étudié séparément les corrélations pour le bananier et l'ananas en associant les traitements "R₀" et "R₁". Les relations entre la teneur en matière organique totale ou liée et la structure sont plus étroites pour l'ananas que pour le bananier : coefficients de corrélation et pente des droites de régression plus élevés. Au prélèvement de 1972 il n'y a plus de corrélations entre la matière organique et la structure dans le traitement "bananier" lorsqu'on apporte une fertilisation minérale (figures 29 et 30). 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 en polysaccharides, ne permet pas de dissocier leur action, de celle des autres composés organiques (figure 31).

5.2. ETUDE IN VITRO

5.2.1. Comparaison entre les traitements

L'incorporation au sol de matière végétale de bananier et d'ananas augmente très fortement la stabilité de la structure exprimée par les taux d'agrégats stables à l'eau après prétraitements à l'alcool et au benzène. Cette augmentation est très rapide, l'accroissement maximal se produisant entre le premier et le dixième jour. L'évolution des taux d'agrégats diffère sensiblement entre le bananier et l'ananas, mais l'allure générale du phénomène est la même, à savoir : une augmentation extrêmement rapide et élevée de la stabilité des fractions agrégées mais d'assez courte durée (figure 32, tableau XXIV).

L'évolution des taux d'agrégats alcool est très comparable pour les deux substrats. Les taux maximaux sont atteints au trentième jour d'incubation, ils ne sont pas significativement différents entre le bananier et l'ananas. Les taux d'agrégation sont très élevés : 25 p. 100 et 26 p. 100 d'agrégats vrais contre 5 p. 100 dans le témoin, soit cinq fois plus élevés. A partir du trentième jour, on observe une diminution d'abord faible, puis plus rapide à partir du soixantième jour pour le bananier et du cent vingtième jour pour l'ananas. Après 280 jours d'incubation, les taux d'agrégats ne sont pas significativement différents entre bananier et ananas. Bien que moitié plus faibles que les taux maximaux, ils représentent encore une amélioration de la fraction agrégée importante : 11 et 12 p. 100 d'agrégats "vrais" contre 1 p. 100 pour le témoin. Dans le traitement "témoin", le taux diminue régulièrement au cours de l'incubation de 4,5 p. 100 à 1 p. 100.

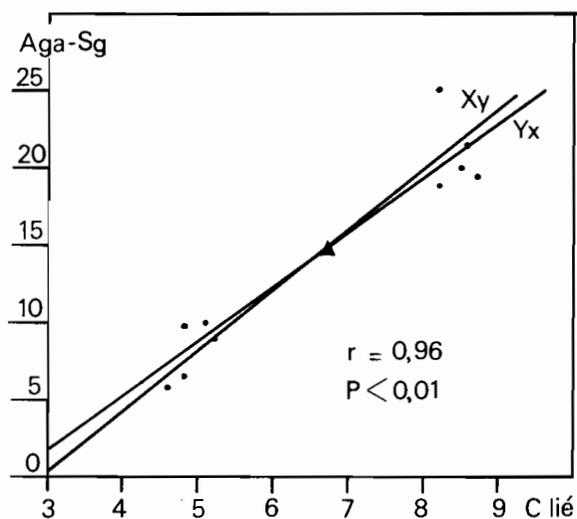
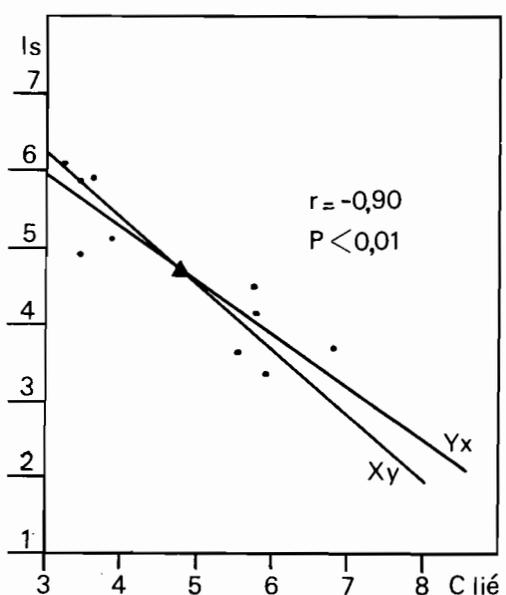
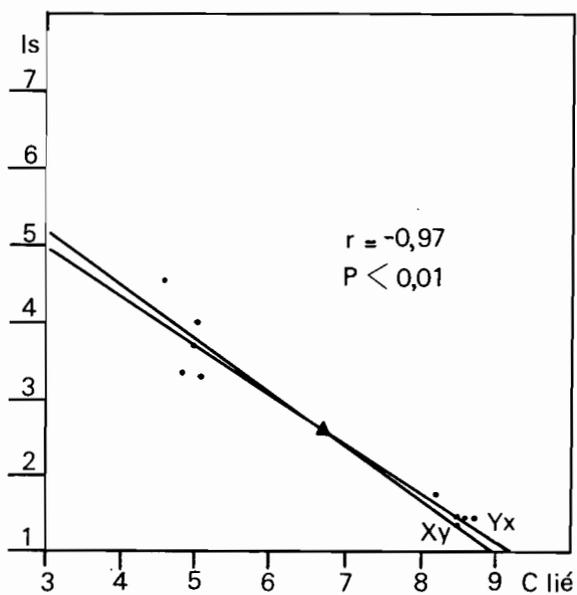
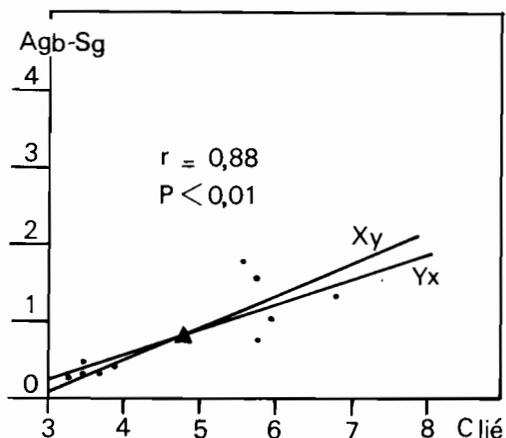
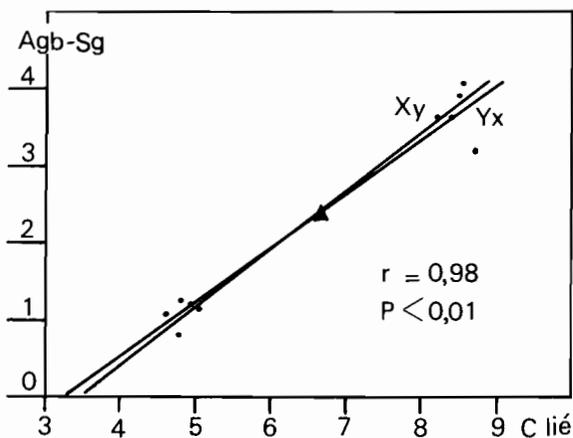
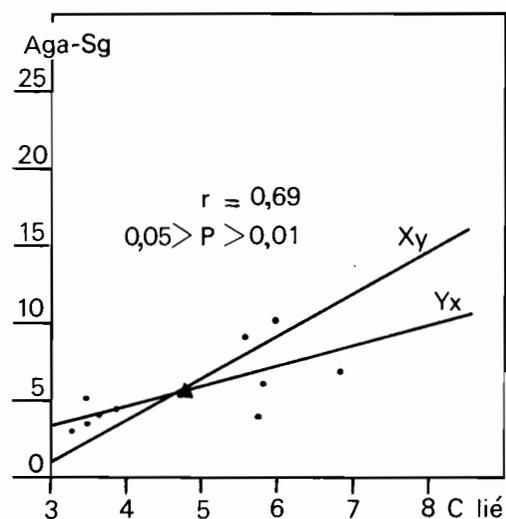
ANANAS (F₀)BANANIER (F₀)

figure 29 • Corrélations entre C lié et les différents tests de stabilité de la structure : traitements R₀F₀ et R₁F₀. Prélèvement 1972. Incubation in situ.

ANANAS (F₁)

BANANIER (F₁)

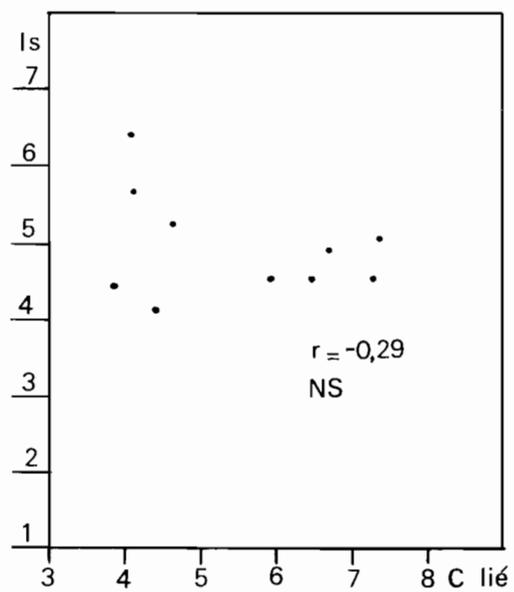
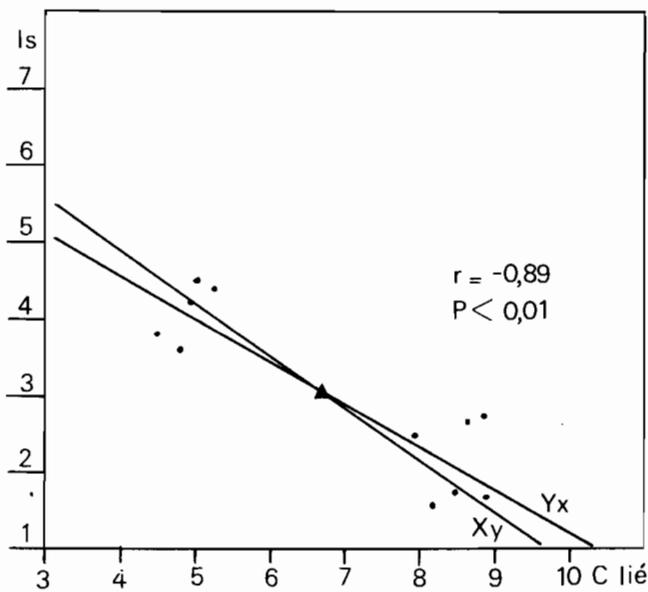
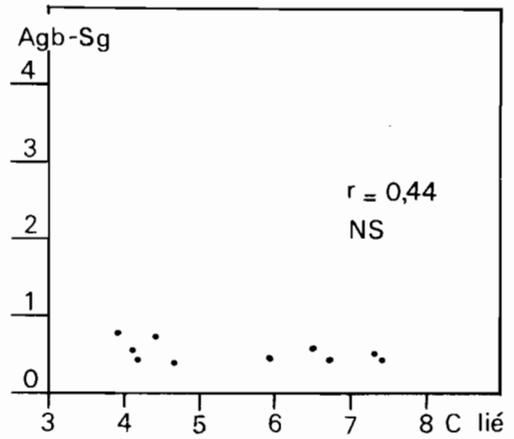
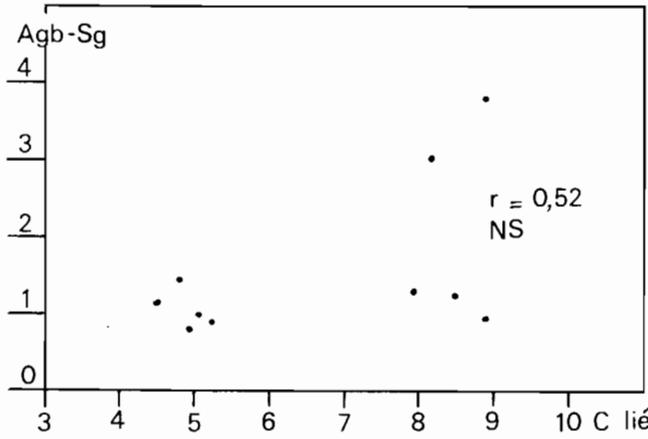
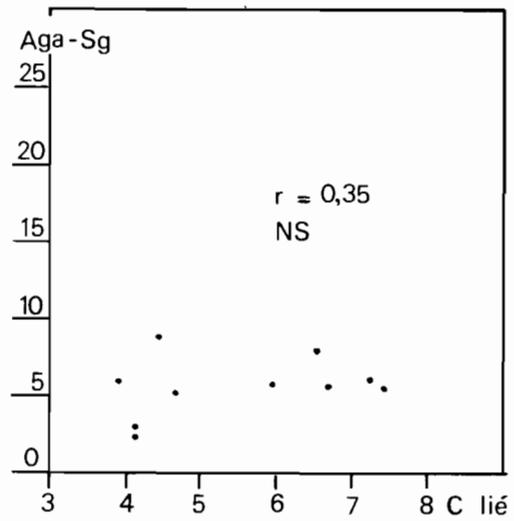
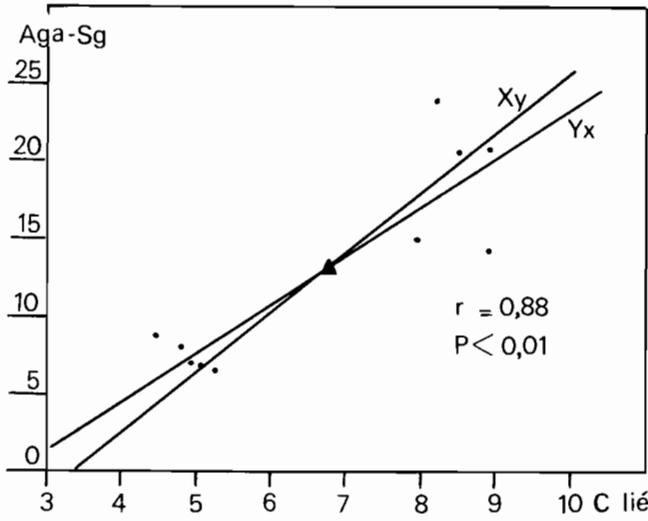


figure 30 • Corrélations entre C lié et les différents tests de stabilité de la structure : traitements R₀F₁ et R₁F₁. Prélèvement 1972. Incubation in situ.

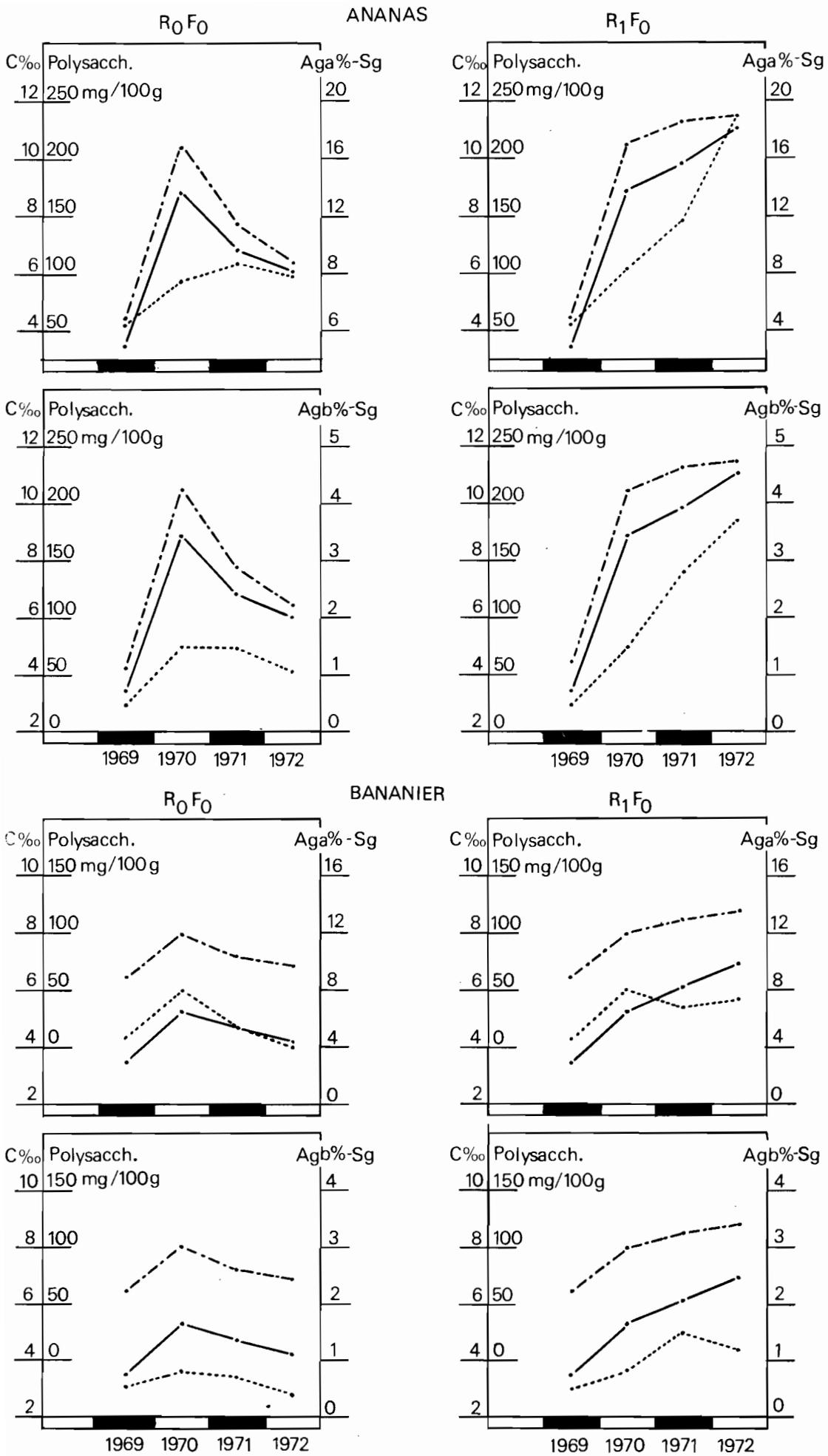


figure 31 • Evolution comparée de la structure, des polysaccharides et du C total. Incubation in situ.

..... Agrégats - - - - - Polysaccharides ······ C total

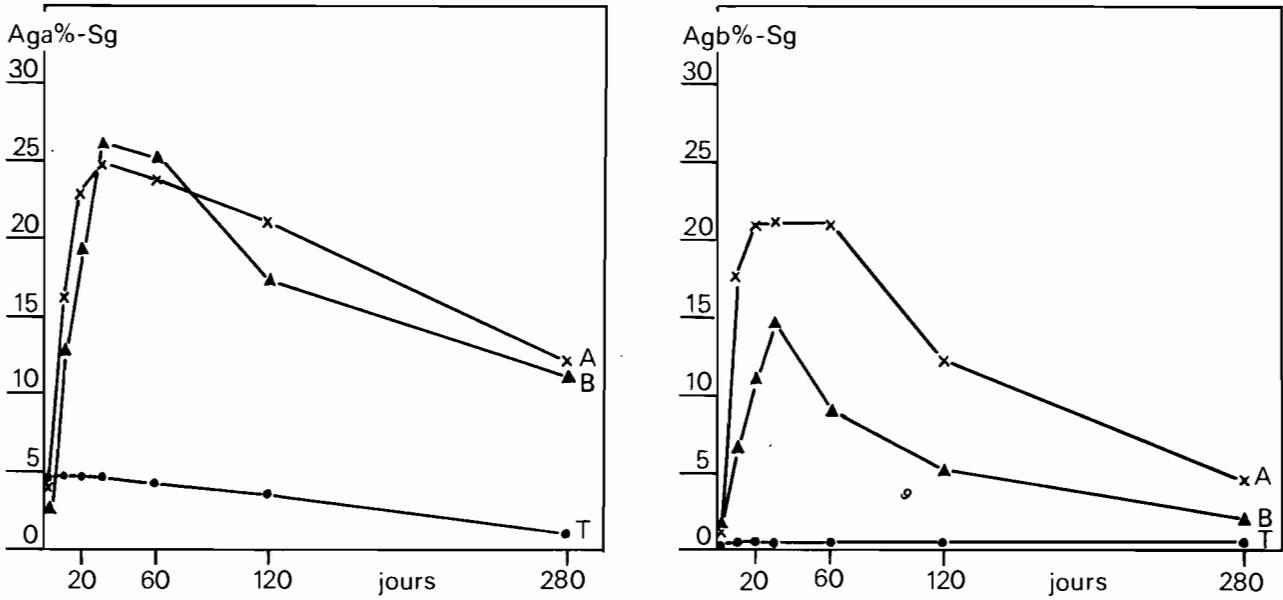


figure 32 • Evolution des taux d'agrégats. Etude in vitro.

T = Témoin A = Ananas B = Bananier

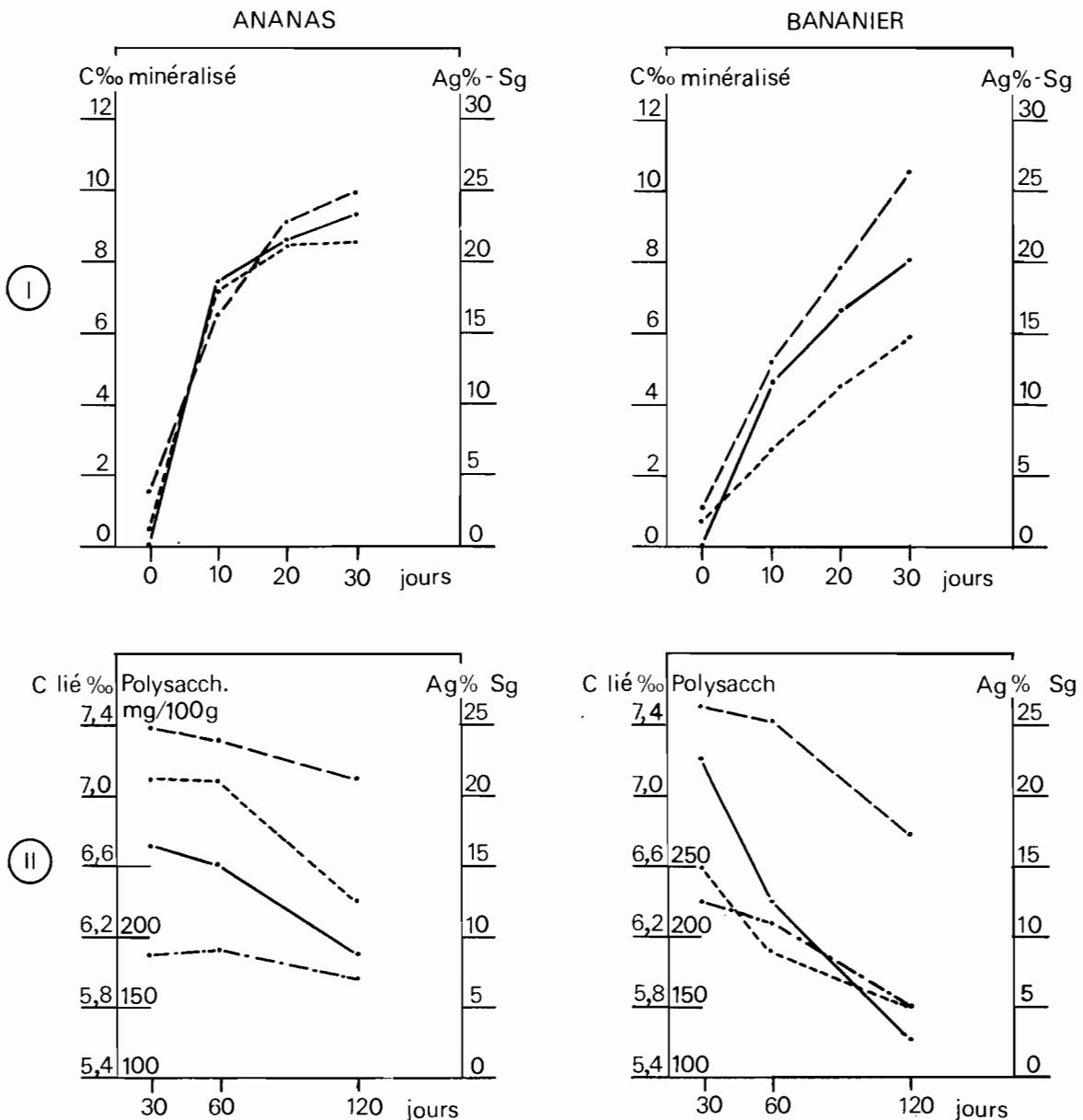


figure 33 • Evolution comparée des taux d'agrégats avec :

I- la quantité de C minéralisé cumulée; II- la teneur en polysaccharides de la fraction liée et C lié. Etude in vitro.

—— Carbone - - - - Polysaccharides - - - - Aga - - - - Agb

L'évolution des taux d'agrégats benzène est différente en intensité entre les deux substrats. Dans le traitement "ananas", l'augmentation de la stabilité est très rapide : le taux d'agrégats "vrais" pratiquement nul dans le témoin (0,4 p. 100) s'élève à 18 p. 100 au dixième jour. Le maximum est atteint au vingtième jour avec 21 p. 100. Le taux d'agrégats reste à ce niveau élevé jusqu'au soixantième jour, puis décroît ensuite. Dans le traitement "bananier", le taux d'agrégats augmente du dixième au trentième jour : 7 p. 100 au dixième jour, 11 p. 100 au vingtième jour, 15 p. 100 au trentième jour puis diminue. La diminution est maximale entre le trentième et soixantième jour. La fraction agrégée, bien qu'élevée, est toujours inférieure à celle de l'ananas. Dans le traitement "témoin", le taux d'agrégats benzène est inférieur à 1 p. 100 pendant toute la durée de l'incubation. Après 280 jours d'incubation, les effets améliorants dus à l'incorporation au sol de matière végétale ont très fortement diminué : les taux d'Agb ne sont plus que de 4,5 p. 100 pour l'ananas et de 2 p. 100 pour le bananier.

5.2.2. Relation entre l'évolution de la structure et de la matière organique

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. Comme nous l'examinerons ultérieurement, 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 33.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. Il existe, toutefois, un décalage entre le maximum de l'activité d'intensité respiratoire des micro-organismes observé après 48 h et le maximum d'agrégats stables observé entre le vingtième et trentième jour. Ces résultats peuvent être rapprochés de ceux de MEREDITH (1965), qui observe un maximum de dégagement de CO₂ après 48 h, alors que le maximum de stabilité des agrégats se situe après deux semaines d'incubation. D'après cet auteur, le décalage entre les deux maximums serait dû à une différence d'activité biologique. Le faible taux de CO₂ émis, pendant la période de stabilité maximale, proviendrait du métabolisme du carbone plus efficient des champignons. Ceux-ci assimilent cinq à six fois plus de carbone par unité de carbone transformé que les bactéries. Au cours de la première phase d'incubation, il y aurait un développement important de bactéries, tandis que les champignons dominent quand l'indice d'agrégation est plus élevé. Ce décalage dans le temps entre le maximum d'émission de CO₂ et le taux maximal d'agrégats stables est également observé par GUCKERT (1970) au cours de la biodégradation de paille et de glucose.

Si, maintenant, on considère la phase de stabilisation ou de diminution de la stabilité de la structure, on note un parallélisme entre les variations des taux d'agrégats et les teneurs en carbone et en polysaccharides

de la fraction dense : la diminution de la structure est en relation avec celle du carbone et des polysaccharides (figure 33.II). Que les courbes de variation ne soient pas exactement parallèles ne doit pas surprendre. Les taux d'agrégats traduisent la résultante, sur la structure, de deux effets opposés qui se produisent simultanément : un effet favorable, en relation avec la vitesse de minéralisation et un effet défavorable, en relation avec la diminution de la teneur en carbone et en polysaccharides de la fraction dense. On notera qu'il n'y a pas un parallélisme étroit entre les variations des taux d'agrégats alcool et benzène, ce qui indique la complexité des phénomènes en présence, et suggère que ce ne sont pas les mêmes composés organiques qui conditionnent la cohésion et la mouillabilité des agrégats, c'est-à-dire les deux facteurs principaux de la stabilité de la structure mis en cause par la théorie de HENIN.

Au cours de la phase agrégative, on n'observe pas de relations entre la teneur en polysaccharides et la stabilité structurale. Les teneurs en polysaccharides sont maximales au dixième jour d'incubation, alors que les maximums de stabilité sont atteints au vingtième ou trentième jour (figures 17 et 32). Pour le bananier, en particulier, la phase d'accroissement de la stabilité correspond à une décroissance des polysaccharides. D'autre part, les échantillons enrichis en bananier ont des teneurs en polysaccharides plus élevées que ceux enrichis en ananas, mais ont des taux d'agrégats benzène plus faibles.

Nous référant aux travaux de GUCKERT (1970), il semble donc que les polysaccharides présents dans le sol soient d'origine "héritée" et non de néoformation. Cet auteur a en effet montré, que c'était essentiellement les polysaccharides issus d'une synthèse microbienne qui jouaient un rôle dans les phénomènes d'agrégation et non les polysaccharides hérités.

La corrélation très étroite entre les teneurs du sol en carbone lié et en polysaccharides, ainsi que les quantités élevées apportées par les matières végétales de bananier et d'ananas (995 et 775 mg/100 g de sol) militent en faveur d'une origine héritée. On observe, d'autre part, que les augmentations de teneur en polysaccharides dans le sol, entre traitements "bananier" et "ananas", de la mise en incubation au dixième jour, sont sensiblement dans le même rapport que les teneurs en polysaccharides des deux plantes (sol : $\frac{B}{A} = 1,5$, plante : $\frac{B}{A} = 1,3$)

5.2.3. Discussion des résultats

Les types de courbes que nous avons obtenus sont assez classiques et peuvent être rapprochés de ceux publiés par divers chercheurs (MONNIER 1965, MEREDITH 1965, GUCKERT 1970), qui ont étudié l'action sur la structure de différents substrats organiques (glucose, pailles ou farines de matières végétales diverses).

L'unanimité est loin d'être faite sur l'interprétation des phénomènes d'agrégation. Pour 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. Leur action est très intense mais de courte durée. Les produits "transitoires" de l'humification ou substances "préhumiques" interviendraient ensuite, leur activité spécifique restant très élevée. Elle semble indépendante de l'origine végétale des apports, mais liée aux conditions de la fermentation (répartition de l'apport, aération et richesse minérale du milieu). Enfin au terme de l'évolution, l'efficacité de l'humus résiduel plus faible mais beaucoup plus durable, est lui aussi fonction des conditions dans lesquelles s'effectue sa liaison au sol, mais aussi de la texture de ce dernier.

MARTIN (1945), étudiant les cultures pures indique qu'en présence d'une source d'énergie convenable une large gamme de moisissures, streptomycètes, levures et bactéries sont capables de lier les particules du sol en agrégats stables.

D'après MEREDITH déjà cité, le taux de décomposition, durant les premiers stades de l'incubation, est le reflet des constituants organiques et apparaît être un des plus importants facteurs qui déterminent le degré d'agrégation.

Selon HARRIS al (1964), la stabilisation des gros agrégats serait associée à la présence de champignons, tandis que la formation des petits agrégats stables à l'eau serait liée à la présence de bactéries qui suit immédiatement l'incubation. Le rôle des champignons dans l'agrégation a été montré aussi par GREENLAND et al (1962).

De nombreux auteurs insistent sur le rôle des polysaccharides du sol. D'après GREENLAND (1965), les chaînes de polysaccharides de poids moléculaires élevés et d'aspect flexible s'étalent à la surface des argiles en établissant avec ces derniers de nombreux points de contact, chacune de ces liaisons considérées isolément, est relativement faible, mais leur nombre élevé confère à l'ensemble une cohésion importante. L'importance des polysaccharides est également mise en évidence par MARTIN (1971) et GUCKERT (1970, 1973). Ce dernier, étudiant l'action du glucose ^{14}C et de la paille ^{14}C sur la stabilité de la structure, montre le rôle prépondérant des polysaccharides d'origine microbienne dans l'augmentation du taux d'agrégation d'un sol limoneux, à partir d'un certain seuil de polysaccharides.

À côté des partisans de la théorie des polysaccharides, d'autres auteurs accordent également aux substances humiques un rôle dans l'agrégation ; cependant il ne règne pas d'unanimité et certains chercheurs contestent même l'action des composés humiques. Ainsi pour COMBEAU et QUANTIN (1964) la stabilité structurale serait améliorée non, par les matières humiques du sol, mais par la fraction non encore humifiée.

En conclusion (GUCKERT, 1973), il semble qu'il y ait lieu de faire une distinction, entre l'accroissement rapide et fugace de la structure du sol (phase agrégative), provoqué par l'activité des micro-organismes, conduisant à la formation d'une "humine microbienne" et la structure permanente du sol (phase de stabilisation), conditionnée par la présence "d'humine stabilisée" et plus faiblement "d'humine héritée".

Compte tenu de ces différentes théories, l'interprétation de nos résultats expérimentaux peut être la suivante.

L'agrégation au cours du premier mois d'incubation est en relation avec l'activité intense des micro-organismes et des produits de leur métabolisme ; produits dont la composition n'a pas fait l'objet d'une investigation dans notre expérience. Dans le traitement "ananas", dans lequel le taux d'agrégats benzène augmente plus rapidement et plus intensivement que dans le traitement "bananier", l'activité des micro-organismes pendant la phase d'oxydation primaire est plus élevée ; le maximum d'intensité respiratoire qui se situe après 48 heures d'incubation est presque deux fois plus élevé (416 mg CO₂/100 g/24 h, contre 228 mg CO₂/100 g/24 h pour le bananier). Ces différences d'activité entre les deux substrats sont en relation avec leur composition. Comme nous l'avons indiqué précédemment (tableau 8), la matière végétale d'ananas utilisée dans notre étude contient beaucoup plus de composés hydrosolubles (sucres, amidon, gommés etc...) que celle du bananier : 45 p. 100 dont 18 p. 100 de sucres, contre 25 p. 100 dont moins de 1 p. 100 de sucres pour le bananier. A l'action des produits du métabolisme des micro-organismes s'ajoute l'action propre des corps microbiens. Au dixième jour d'incubation, la terre des traitements "bananier" et "ananas" est recouverte d'abondants filaments mycéliens grisâtres (5 mm d'épaisseur), favorisant la cohésion des agrégats et diminuant leur mouillabilité. Durant cette période de forte activité des micro-organismes, la diminution du carbone de la fraction liée à la matière minérale du sol, dont les valeurs maximales sont atteintes au dixième jour, est largement compensée par l'action positive des micro-organismes, la stabilité de la structure continue à augmenter. Du trentième au sixtième jour, l'activité des micro-organismes décroît tout en n'étant pas négligeable : 40 à 10 mg de CO₂/100 g/24 h. Dans le cas de l'ananas, les teneurs du sol en polysaccharides et en C lié ne varient pas, les taux d'agrégats restent stationnaires (Agb) ou diminuent très faiblement (Aga). Dans le cas du bananier, les teneurs du sol en polysaccharides et en C lié décroissent, Agb diminue assez fortement et Aga faiblement. A partir du sixtième jour, l'activité des micro-organismes devient faible dans les deux substrats : intensité respiratoire inférieure à 10 mg de CO₂/100 g/24 h, le C lié et les polysaccharides diminuent ainsi que le taux d'agrégation.

Comme dans les incubations in situ, la liaison étroite entre la teneur du sol en carbone et en polysaccharides liés ne permet pas de différencier l'action, sur la structure, des polysaccharides de celle des autres composés organiques.

5.3. CONCLUSION DE L'ETUDE DE LA STRUCTURE

L'apport de matière végétale de bananier et d'ananas améliore la stabilité structurale du sol mais l'ananas a une action supérieure et plus durable que le bananier.

Les effets maximaux d'un apport végétal sont obtenus au cours des deux premiers mois après l'enfouissement, ensuite la stabilité diminue. La décroissance est plus rapide pour le bananier que pour l'ananas ; pour ce dernier, des apports élevés et répétés de matière végétale (4 p. 100/an)

permettent, toutefois, une bonification progressive de la structure. Pour le bananier, après une amélioration la première année, les apports successifs n'ont pour effet que de maintenir l'accroissement de stabilité structurale obtenue la première année.

La phase agrégative est en relation avec l'activité intense des micro-organismes dans la période qui suit l'apport de matière végétale. A l'action des produits du métabolisme des micro-organismes, s'ajoute l'action propre des corps microbiens. La formation des agrégats n'est pas en relation avec la teneur du sol en polysaccharides dont l'origine héritée du matériel végétal est très probable. Ces résultats tendent donc à confirmer ceux de GUCKERT (1970) ; d'après cet auteur, seuls les polysaccharides de néoformation auraient une action importante dans les phénomènes d'agrégation.

La diminution de la stabilité est liée à celle de la matière humifiée et des produits transitoires de l'humification.

Les composants de la fertilisation minérale ont une action différente sur la stabilité structurale. L'azote qui favorise la biodégradation de la matière organique diminue la stabilité structurale. Les engrais apportant des cations et particulièrement de la chaux (dolomie et scories) ont un effet améliorant.

6. CONCLUSION DES ETUDES SUR MODELES

Dans les conditions climatiques du sud de la Côte d'Ivoire, caractérisées par une température moyenne élevée toute l'année (26°C) et une pluviosité élevée huit à neuf mois par an, la biodégradation de la matière végétale de bananier et d'ananas, dans un sol ferrallitique, est très rapide. Deux mois après l'enfouissement : 80 p. 100 (ananas) et 85 p. 100 (bananier) de la matière végétale a été minéralisée ou transformée ; un an après, les taux de carbone libre résiduels ne sont que de 15 p. 100 (ananas) et 1 p. 100 (bananier).

Les résidus de culture d'ananas, dont la biodégradation est moins rapide que celle du bananier, excepté dans les quelques jours qui suivent l'enfouissement, ont un rendement de transformation en humus supérieur à ceux du bananier. L'ananas produit plus de composés extractibles aux réactifs alcalins : acides humiques et acides fulviques, plus d'humine et plus de polysaccharides que le bananier.

Ainsi, pour des apports annuels de 4 p. 100 de matière végétale pendant trois ans, qui représentent un total de 360 t/ha de M.S., les teneurs résiduelles en différents composés organiques sont les suivantes, dans les traitements sans fertilisation minérale, un an après le dernier apport (résultats en t/ha) :

	<u>C. libre</u>	<u>C. acides humiques</u>	<u>C. acides fulviques</u>	<u>C. humine</u>	<u>C. polysaccharides</u>
Ananas	3,9	3,3	2,4	17,4	2,2
Bananier	0	0	0	9,6	0,8

La fraction la plus importante de la matière organique résiduelle : 70 à 90 p. 100 pour l'ananas et la totalité pour le bananier est sous forme d'humine. PERRAUD et al (1971), ont montré que dans les sols ferrallitiques, une proportion importante des composés non extractibles par les réactifs alcalins était constituée de matière organique fraîche ou peu évoluée "séquestrée" par les sesquioxydes.

Les taux d'azote total et d'azote lié résiduels, sont deux à quatre fois plus élevés que les taux de carbone correspondants. Les pertes en carbone sont donc beaucoup plus importantes que celles d'azote. Ce résultat est confirmé par les études in vitro, qui montrent que la minéralisation de l'azote est beaucoup plus lente et régulière que la biodégradation du carbone.

La minéralisation nette de l'azote est plus élevée avec la matière végétale d'ananas qu'avec celle de bananier. Un apport d'engrais azoté favorise la minéralisation. La nitrification est en relation avec la vitesse d'ammonification et avec la richesse en germes nitrificateurs du sol. Elle se produit à des pH très acides : 3,5 à 4,0 ; elle est ralentie par des concentrations en NH_4^+ élevées : 300 à 500 p.p.m.

Il faut mentionner les différences entre les résultats des incubations in situ (azote résiduel supérieur pour l'ananas) et ceux des études in vitro et en lysimètre (minéralisation également supérieure pour l'ananas). Deux hypothèses ont été avancées : 1er. possibilités accrues de dénitrification avec le bananier. 2è. possibilités de fixation accrues de N_2 avec l'ananas.

La première hypothèse nous semble la plus vraisemblable car :

- a) le bananier donne plus de C minéralisable (substance donatrice d'électrons),
- b) il donne une moins bonne structure (microhabitats anaérobies statistiquement plus nombreux),
- c) il donne un pH neutre ou légèrement basique (conditions optimales de pH pour la dénitrification : 7,0 à 8,6).

Les possibilités de fixation accrues avec l'ananas ne sont pas à négliger, bien que les quelques mesures effectuées n'aient pas permis de le démontrer, sans toutefois l'infirmier (dispositif expérimental mal adapté aux mesures, présence de Cyanophycées). Le problème n'est pas résolu définitivement, seule une étude microbiologique plus poussée, jointe à l'utilisation de ^{15}N pourrait résoudre tous ces points.

Le bananier produit une matière organique dont la capacité d'échange est, dans nos conditions expérimentales, deux fois plus élevées que celle produite à partir des résidus d'ananas : bananier : 425 mé/100 g C, ananas : 200 mé/100 g C. Nous référant aux travaux de nombreux auteurs, nous avons attribué cette différence aux conditions d'humification, en relation avec le pH ; en milieu neutre ou légèrement alcalin, l'humus formé est plus oxydé qu'en milieu acide et les groupements hydroxyles et carboxyles plus nombreux. La matière végétale de bananier, plus riche en cations (Ca et K en particulier) que celle d'ananas, élève beaucoup plus le pH du sol :

bananier : 7,0 à 8,0, ananas : 4,5 à 5,5 pour des enrichissements de 4 p.100.

L'évolution différente des résidus de culture du bananier et de l'ananas se traduit par une amélioration de la structure bien supérieure avec les résidus d'ananas. Le bananier a un turn-over beaucoup plus rapide, il produit plus de substances transitoires et moins de matière organique résiduelle ; son action sur la structure est donc beaucoup plus éphémère. L'ananas libérant plus progressivement les composés transitoires, donnant plus de polysaccharides, plus de matière organique humifiée et non humifiée, améliore davantage la structure et son action est plus durable.

L'étude dynamique réalisée au laboratoire a permis de montrer la liaison étroite entre l'activité biologique consécutive à l'addition d'un substrat organique au sol et la stabilité structurale. Le taux d'agrégation augmente considérablement au cours de la phase de multiplication et de croissance active de la microflore, puis décroît à partir du deuxième ou troisième mois.

Dans les incubations in situ, la diminution entre 1969 et 1972 de la stabilité structurale, dans le sol non enrichi en matière végétale (témoin), alors que les teneurs en matière organique totale et en polysaccharides ne varient pratiquement pas, peut être attribuée à l'augmentation des acides fulviques, dont l'action défavorable sur la structure a été observée par COMBEAU et QUANTIN (1964) et plus récemment par DABIN (1971).

L'action de la fertilisation minérale est complexe, tous les engrais n'agissant pas dans le même sens. L'azote active la biodégradation des résidus de culture et diminue le taux de matière organique résiduel ainsi que la stabilité structurale. Le calcium favorise l'humification, augmente la teneur en matière organique résiduelle et en composés polymérisés, améliore la stabilité des agrégats, particulièrement leur cohésion. Le potassium n'a pas d'action nette.



CHAPITRE III

ETUDE DANS LES CONDITIONS NATURELLES DE
L'EVOLUTION DE LA MATIERE ORGANIQUE, DE
LA CAPACITE D'ECHANGE CATIONIQUE ET DE
LA STRUCTURE DE SOLS FERRALLITIQUES CUL-
TIVES EN BANANIER ET EN ANANAS.

L'intérêt et la nécessité d'entreprendre des études à "long terme", sur l'évolution des sols en culture, se sont imposés aux chercheurs de l'IFAC depuis plusieurs années. En 1958, deux essais étaient mis en place en bananeraie, l'un en Côte d'Ivoire (Azaguié) sur sol ferrallitique, l'autre au Cameroun (Nyombé) sur sol brun eutrophe. En culture d'ananas, le premier essai de longue durée a commencé en 1960 en Côte d'Ivoire, sur sol ferrallitique (Anguédedou). Un deuxième a été mis en place en 1966 au Cameroun sur sol brun eutrophe (Nyombé).

Le but de ces essais est double :

1er. Comparer l'action de diverses formes de fertilisation minérale et organique sur la productivité.

2è. Etudier, pour chaque type de fertilisation, l'évolution dans le sol des composés organiques et minéraux et de la structure.

Etant donné l'ampleur du sujet, nous nous limiterons à l'étude de la matière organique et de la structure dans les sols ferrallitiques.

1. CONDITIONS DE L'ETUDE

L'essai en bananeraie est réalisé sur la station IFAC d'Azaguié, celui en culture d'ananas sur la station IFAC d'Anguédedou. Les deux stations, distantes d'une trentaine de kilomètres, sont situées dans le sud de la Côte d'Ivoire à respectivement : 40 et 12 km de la mer.

1.1. SOL

1.1.1. Bananier

Le sol de la bananeraie est un sol ferrallitique, fortement désaturé, rajeuni, issu de schistes, faciès jaune mais dont les caractéristiques chimiques de l'horizon de surface ont été profondément modifiées par la 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 de 10 à 75 p. 100 et corrélativement de diminuer l'acidité : 4,5 à 6,0 (tableau XXV).

Le profil (photo 3) est le suivant :

- 0 à 15 cm : Sol humide, couleur uniforme gris foncé (10 YR 4/1), horizon humifère, texture argilo-sablo-limoneuse, graveleux, structure polyédrique moyenne peu développée, poreux, friable, peu adhésif, plastique. Limite distincte et régulière.
- 15 à 80 cm : Sol humide, couleur uniforme brun-jaune (7,5 YR 5/6), très graveleux, à matrice d'argile sablo-limoneuse, graviers et cailloux de quartz de 0,5 à 15 cm de diamètre plus ou moins ferruginisés, structure polyédrique moyenne, moyennement développée. Limite graduelle et régulière.

80 à 150 cm : Sol très humide, couleur bariolée, fond rouge-jaunâtre (5 YR 5/6) tacheté de rouge (quartz ferruginisés), texture argileuse, peu graveleux, structure massive, débit à éclats polyédriques grossiers, peu adhésif, très plastique.

Etude de l'enracinement (à 0,50 cm d'un bananier)

0 à 15 cm : densité moyenne
 15 à 80 cm : rares
 80 à 150 cm : absentes.

La fraction graveleuse de l'horizon 0 - 25 cm constituée de graviers de quartz représente suivant les parcelles de 5 à 35 p. 100 du volume de sol (moyenne 10 à 20 p. 100). La dimension de ces quartz varie de 2 à 50 mm, la fraction 2 à 20 mm est la plus importante (environ 75 p. 100). La présence de ces graviers, dont la répartition est variable (coefficient de variation = 30 à 40 p. 100), constitue le principal facteur de l'hétérogénéité du sol. On notera que les dispositifs expérimentaux des essais réalisés, sur la station d'Azaguié, tiennent compte de cette hétérogénéité ; dans l'essai dont fait l'objet cette étude, le pourcentage d'éléments graveleux n'est pas significativement différent entre les traitements. La fraction graveleuse augmente au-dessous de 25 à 30 cm et constitue un obstacle à la pénétration des racines du bananier qui ne se développent, presque exclusivement, que dans les 25 à 30 premiers centimètres supérieurs.

L'analyse aux rayons X de la fraction argileuse de l'horizon 0 - 25, effectuée par F. SOUBIES, montre que cette fraction qui représente 15 à 20 p. 100 de la terre fine est composée d'environ 50 p. 100 de kaolinite, 25 p. 100 d'interstratifiés de type illite et 25 p. 100 de type chlorite. La structure de l'argile du sol forestier est identique à celle du sol en culture bananière depuis 18 années.

La capacité de rétension en eau est moyenne :

Humidité pondérale à pF 2,5 = 22 à 25 p. 100
 Humidité pondérale à pF 4,2 = 10 à 12 p. 100
 Eau utile = 10 à 12 p. 100

La porosité totale est moyenne : 40 à 45 p. 100, mais la macroporosité très faible : 10 p. 100. Il en résulte que le volume de la phase gazeuse est toujours faible, bien que le ressuyage et le drainage du sol soient normaux.

La stabilité de la structure est assez faible, ainsi que l'indice de percolation (K) qui est généralement inférieur à 1 cm/h.

Le tableau XXV met en parallèle la composition du sol dans les quatre traitements de l'essai et du même sol sous forêt.

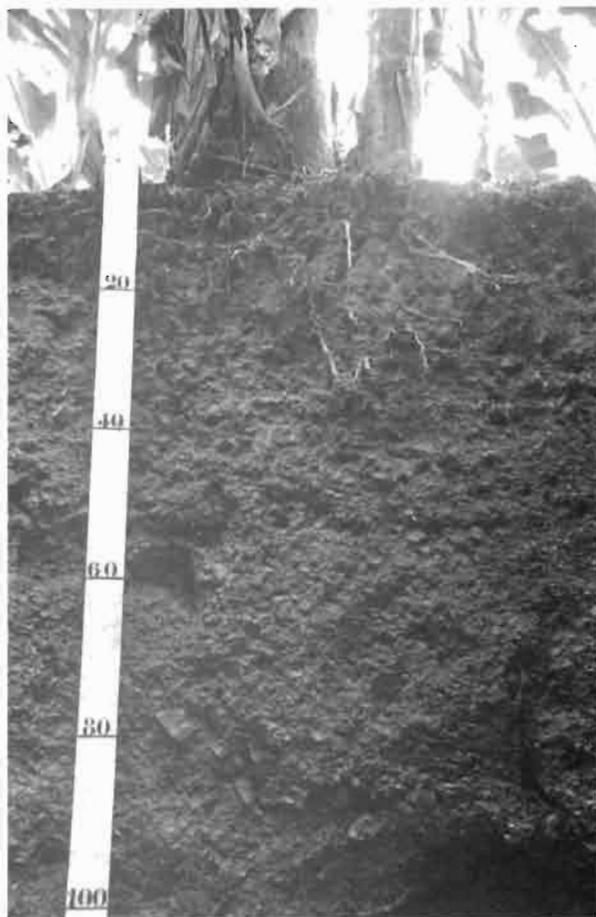


Photo 3. Profil de sol sous bananeraie (Azaguié).

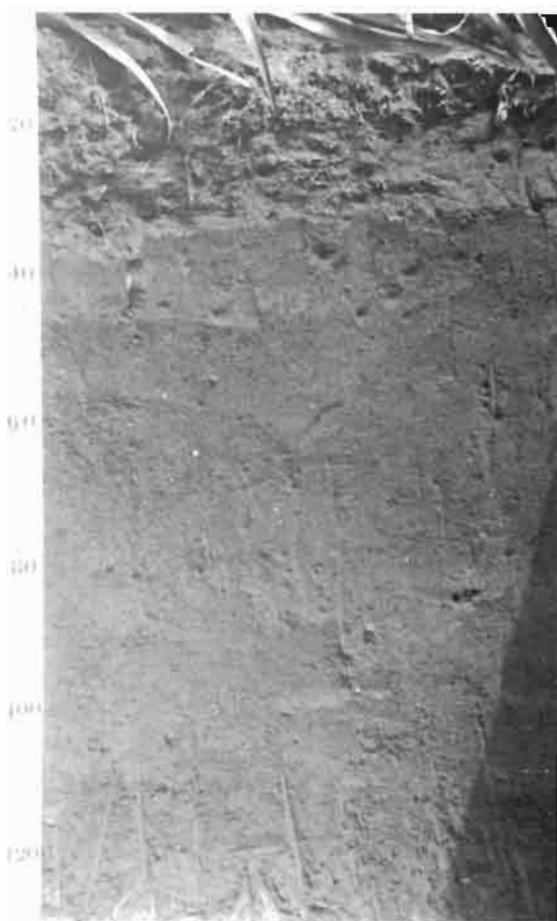


Photo 4. Profil de sol sous culture d'ananas (Anguédédou).

1.1.2. Ananas

Le sol est un sol ferrallitique fortement désaturé, appauvri, modal, formé sur sables argilo-ferrugineux ; il est bien représentatif des sols de Basse Côte d'Ivoire cultivés en ananas.

Le profil (photo 4) est le suivant :

0 à 30 cm : Sol frais, horizon humifère, brun foncé (7,5 YR 4/2), texture argilo-sableuse, structure polyédrique fine très faiblement développée, meuble, friable, peu dur, agrégats peu poreux. Limite distincte (labour).

30 à 80 cm : Sol frais, brun (7,5 YR 4/4), texture argilo-sableuse, structure continue, débit à éclats polyédriques moyens, cohérent, friable, peu dur, agrégats poreux. Limite diffuse.

80 à 150 cm : Sol frais, brun vif (7,5 YR 5/6), texture argilo-sableuse, structure continue, débit à éclats polyédriques moyens, cohérent, friable, peu dur, agrégats poreux.

La fraction argileuse (18 à 20 p. 100) est constituée d'argile kaolinitique. Les sables grossiers représentent de 60 à 70 p. 100 des sables totaux.

Etude de l'enracinement (profil perpendiculaire à un rang d'ananas).

0 à 30 cm : densité élevée.

Pratiquement plus de racines au-dessous de 30 cm.

La capacité de rétention en eau est moyenne. L'humidité à la capacité au champ voisine de pF 2,0 est de 14 à 16 p. 100 et l'humidité à pF 4,2 de 8 à 9 p. 100, d'où une eau utile de 5 à 8 p. 100.

La porosité totale est moyenne : 43 à 51 p. 100 ainsi que la macroporosité : 20 à 25 p. 100.

La stabilité de la structure est assez faible : l'indice d'instabilité (I_s) varie entre 1 et 1,5, mais compte tenu de la teneur en sables (70 à 75 p. 100) la perméabilité est moyenne : indice de percolation (K) compris entre 2 et 10 cm/h.

La teneur en éléments fertilisants est très faible dans le sol en culture et sous forêt (tableau XXV).

1.2. CLIMAT

Le climat des stations d'Azaguié (altitude 80 m) et d'Angué-dédou (altitude 10 m) est extrêmement voisin. Il se caractérise 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 cinq mois, comprenant décembre, janvier et février (figure 34).

La pluviosité moyenne annuelle est un peu plus élevée à Anguédédou qu'à Azaguié : 2.090 et 1.740 mm, cette différence est due à la plus forte intensité de la saison des pluies à Anguédédou.

La température moyenne est élevée : Azaguié 26°2 C, Anguédédou 25°5 C et les variations mensuelles 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'humidité relative est élevée : 60 à 80 p. 100 dans la journée, plus de 95 p. 100 la nuit et en début de matinée. Les amplitudes mensuelles sont faibles ; les écarts entre la moyenne des mois les plus secs (janvier, février) et des mois les plus humides (juin, juillet), ne dépassent pas 3 p. 100 la nuit ou en début de matinée et 5 p. 100 pendant la journée.

L'évapotranspiration potentielle est également élevée : 80 à 130 mm par mois avec une moyenne annuelle de 1.210 mm (Anguédédou) et 1.345 mm (Azaguié). Compte tenu de la répartition des pluies, le drainage annuel est supérieur à la différence : pluie - ETP, il est de l'ordre de 800 à 1.100 mm.

1.3. CONDITIONS EXPERIMENTALES

1.3.1. Bananier

L'essai a été mis en place au mois de décembre 1958 sur un terrain en culture bananière depuis 4 années. La végétation était auparavant de la forêt. La variété cultivée est le "Poyo", planté à la densité de 2.500 plants/ha. A partir de 1967 la densité a été réduite à 2.000 plants/ha. Cet essai a été replanté en juin 1961, puis en décembre 1964, mars 1967, janvier 1970 et janvier 1972.

L'essai est disposé suivant la méthode des blocs de FISCHER, il comporte 6 répétitions et 3 traitements principaux : (1) paillis, (2) fumier (3) paillis + fumier. Les traitements principaux sont subdivisés en 2 sous-traitements correspondant à 2 doses de fumier : 50 et 100 tonnes/ha ; on a donc les 6 traitements suivants :

	<u>ss/t. "a"</u>	<u>ss/t. "b"</u>
1 paillis	50 t/ha	50 t/ha
2.fumier	50 t/ha	100 t/ha
3 paillis + fumier	50 t/ha + 50 t/ha	50 t/ha + 100 t/ha

Au total l'essai est constitué de 36 parcelles de 146 m². Les fumures organiques sont appliquées à chaque replantation soit tous les deux ans et demi ou trois ans.

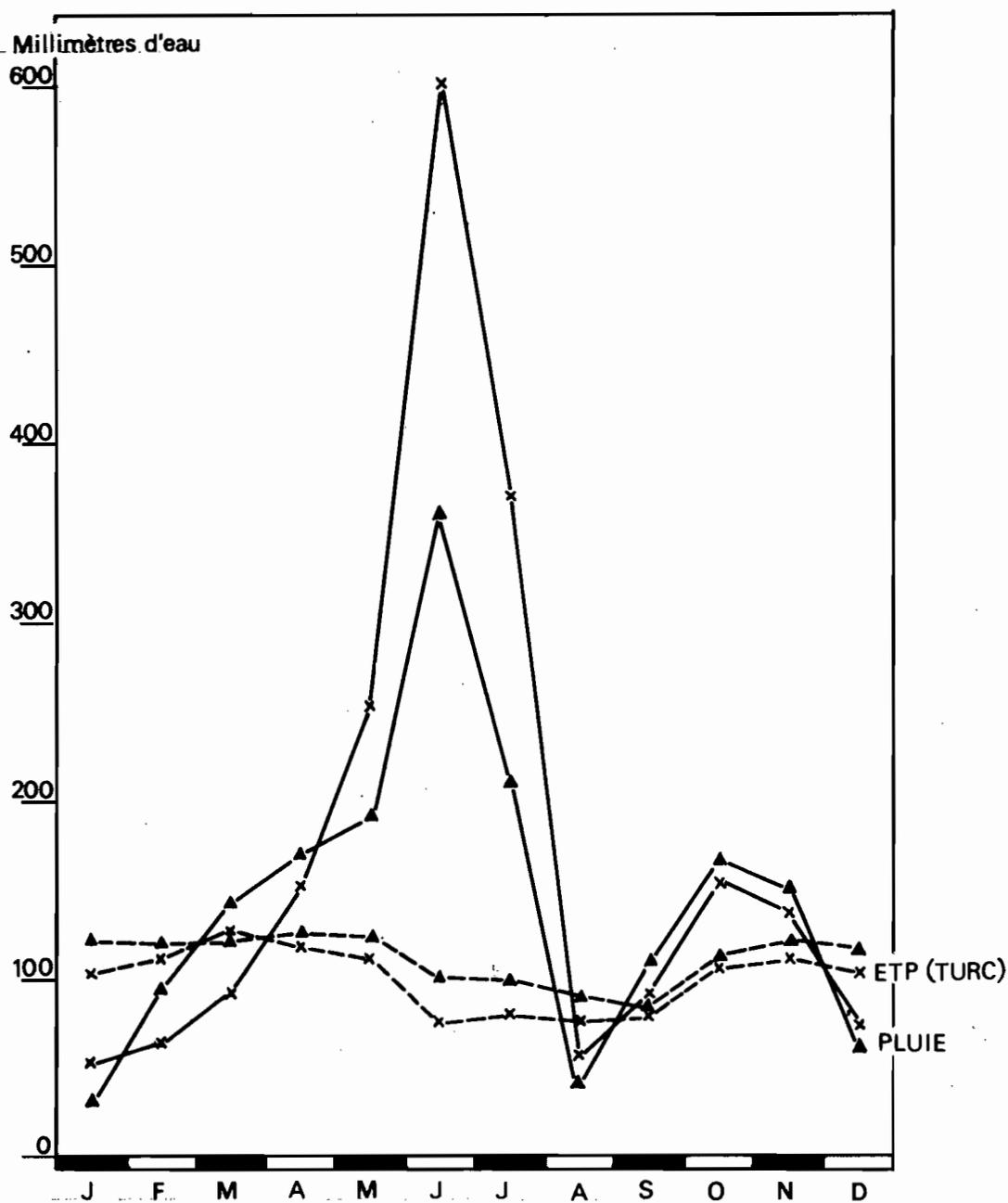
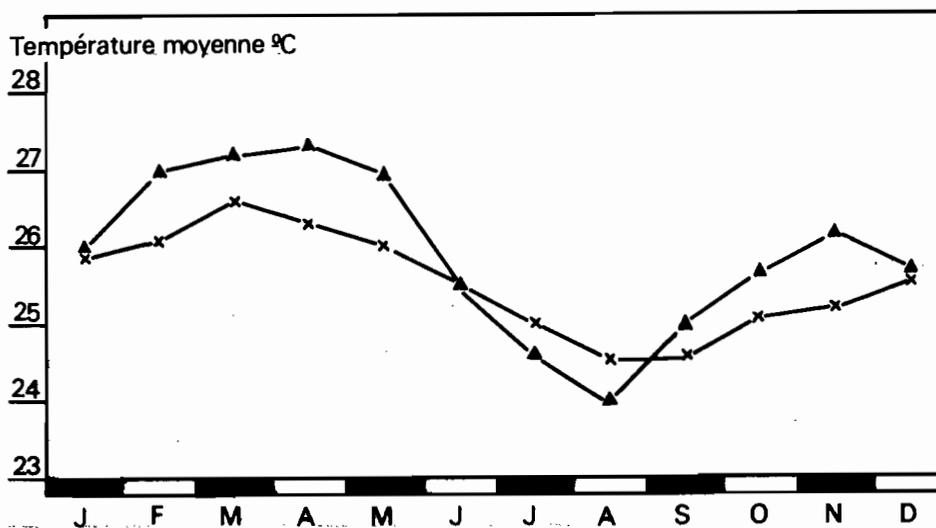


figure 34 • Données climatiques. Moyennes des 10 années.

▲ Azaguié x Anguédédou

A partir de la replantation du mois de mars 1967, les traitements ont été modifiés, afin d'introduire dans le dispositif de l'essai un traitement "témoin" qui ne reçoit ni paillis, ni fumier. En conséquence dans tous les sous-traitements "a" on a supprimé tout apport organique. Le fumier est apporté à une dose unique 75 t/ha en mars 1967 puis 120 t/ha à partir de 1970. A cette date, la quantité de paillis est portée à 80 t/ha. A partir de 1967 les traitements sont donc les suivants :

- 1a, 2a, 3a = témoin (T)
- 1b = paillis (P)
- 2b = fumier (F)
- 3b = paillis + fumier (P + F)

Le fumier est fabriqué avec la litière de bovins composée principalement de guatémala grass (Tripsacum laxum) ; il est enfoui par un labour manuel superficiel (20 à 30 cm) au croc à quatre dents. Un exemple de la composition de ce fumier est donné dans le tableau XXVI.

Le paillis est constitué d'herbes et de branchages coupés dans la forêt. Les difficultés de s'en procurer font que, de plus en plus, on tend à utiliser pour le paillis, les tiges et feuilles de guatémala grass cultivé à cet effet ; c'est ce matériel qui fut utilisé dans cet essai à partir de 1967.

Les prélèvements de sol sont effectués de 0 à 25 cm de profondeur, en période dite de "stabilité climatique", qui correspond aux mois de la saison sèche (décembre à février). Il est en effet important, si l'on désire suivre l'évolution d'un sol, que les prélèvements soient faits aux mêmes périodes climatiques. On sait, en effet, que certaines caractéristiques du sol varient suivant la saison. Ces variations sont particulièrement importantes en ce qui concerne la structure (HENIN, 1939 ; COMBEAU et QUANTIN, 1963 ; MONNIER, 1965 ; GODEFROY, 1969 ; GUCKERT, 1973). Le nombre de prélèvements "ponctuels" par parcelle élémentaire de 146 m² est de 12.

Tous les traitements (y compris les témoins) reçoivent la même fertilisation minérale. Des essais antérieurs 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. L'apport d'azote est en moyenne de 600 kg/ha/an (urée et sulfate d'ammoniaque), celui de potassium de 900 kg/ha/an de K₂O (chlorure de potassium). Les amendements calco-magnésiens sont apportés sous forme de dolomie : 1 t/ha/an. Le phosphore est fourni par les scories de déphosphoration : 1 t/ha tous les deux ou trois ans.

1.3.2. Ananas

L'essai a été planté en avril 1960 sur défrichement de forêt secondaire, sans brûlage important (branches de diamètre inférieur à 15 cm), les troncs ayant été débardés. On compare 4 traitements :

- (1) Aucune fumure (témoin) (T)
- (2) Fumure minérale (FM)
- (3) Fumure organique (FO)
- (4) Fumure minérale + fumure organique (FM + FO)

Le dispositif expérimental est celui des blocs de FISCHER avec 6 répétitions, soit 24 parcelles élémentaires de 120 m². La densité de plantation est de 51.300 pieds/ha. La variété est le Cayenne lisse. La culture est conduite pour la production de fruits destinés à l'usinage.

La fumure minérale à l'hectare par cycle de 20 à 24 mois est de 250 kg de N, 500 kg de K₂O et 175 kg de MgO. L'azote est apporté sous forme de sulfate d'ammoniaque, le potassium et le magnésium sous forme de sulfate de potassium et de patenkali.

La quantité de fumure organique fixée au début de l'essai à 100 t/ha à chaque replantation, soit tous les 20 ou 24 mois, a été fortement modifiée en cours d'essai, pour des raisons d'approvisionnement. Les apports ont été bien inférieurs à ceux initialement prévus.

Quantité de fumure organique en t/ha

<u>1er. cycle</u>	<u>2è. cycle</u>	<u>3è. cycle</u>	<u>4è. cycle</u>	<u>5è. cycle</u>	<u>6è. cycle</u>
100	(3) 45	70	45	35	30
	(4) 75				

La nature et la composition des amendements organiques sont très variables d'un cycle à l'autre (tableau XXVI). Il s'agit soit de fumier artificiel fait avec des déchets d'ananas et d'herbes provenant du désherbage, soit de fumier de bovins, soit de compost fabriqué avec les ordures ménagères de la ville d'Abidjan (Humuci). Au deuxième cycle, la composition du fumier apporté dans les traitements (3) et (4) n'est pas identique.

Pendant les sept premières années de l'essai, les durées des cycles ont varié d'un traitement à l'autre, le but recherché étant, en effet, d'obtenir un même poids moyen de fruits quelque soit le temps nécessaire pour l'obtenir. On attendait donc pour induire la différenciation de l'inflorescence, que le poids moyen des feuilles D atteigne, dans chacun des traitements, un poids donné, en l'occurrence 70 g. (Il existe une corrélation étroite entre le poids moyen des feuilles D au moment de l'induction et le poids du fruit). En sept années, d'importants décalages se sont produits entre les cycles des différents traitements et, dans le cas du traitement "témoin", il devenait de plus en plus difficile d'atteindre le poids moyen requis. Aussi a-t-on adopté à partir de 1967 le principe des replantations simultanées pour tout l'essai. Les dates des enfouissements de fumier et des résidus de culture sont indiquées dans le tableau 25.

La replantation d'un cycle comporte la succession des travaux suivants :

- Destruction des résidus de culture (feuilles, tiges, souches), par hachage des plants à la machette.
- Enfouissement par un labour manuel au croc à quatre dents, trois semaines après la destruction.
- Replantation, après incorporation de fumure organique (traitements 3 et 4), deux à trois mois après celle des résidus végétaux. Ces divers travaux sont faits manuellement, en raison de la faible dimension des parcelles. Dans la pratique courante de la culture, la destruction et les enfouissements sont faits mécaniquement au rotobroyeur et à la charrue bi-soc.

Tableau 25 : Date des enfouissements de matière organique.

Traite- ments	Amendements organiques		Résidus de culture			
	3	4	1	2	3	4
1er. cycle	avril 60	avril 60	déc. 61	déc. 61	janv. 62	nov. 61
2è. cycle	mars 62	déc. 61	nov. 63	juin 63	oct. 63	juil. 63
3è. cycle	déc. 63	sept. 63	déc. 65	juil. 65	déc. 65	juin 65
4è. cycle	janv. 66	août 65	avril 67	avril 67	avril 67	avril 67
5è. cycle	août 67	août 67	avril 69	avril 69	avril 69	avril 69
6è. cycle	sept. 69	sept. 69	mai 71	mai 71	mai 71	mai 71

Les prélèvements de sol sont faits de 0 à 25 cm de profondeur. On prélève un échantillon par parcelle élémentaire de 120 m², constitué de 30 prélèvements "ponctuels". Le premier prélèvement de sol a été fait à la mise en place de l'essai, après abattage de la forêt suivi d'un brûlage léger et avant la plantation d'ananas. Les prélèvements suivants sont faits chaque année à la même date (février) en période dite de "stabilité climatique".

1.3.3. Forêt

Afin d'étudier l'action de la mise en culture, sur l'évolution de la matière organique et de la structure du sol, il nous a semblé intéressant de comparer les caractéristiques des sols cultivés d'Azaguié et d'Anguédedou avec le même sol sous forêt. La situation des deux stations : en bordure de forêt, permet une telle comparaison. L'étude granulométrique nous a permis de vérifier que la texture de la terre fine était identique dans les sols : forestiers et en culture (tableau XXV). Dans le sol d'Azaguié, en revanche, la fraction graveleuse est plus élevée dans le sol en culture.

Les deux forêts appartiennent à deux types de forêt dense humide sempervirente : forêt à Diospyros spp. et Mapania spp. à Azaguié sur sol issu de schistes, forêt à Turraeanthus africanus et Heisteria parvifolia à

Anguédédou sur sol issu de sables argilo-ferrugineux (MANGENOT, 1955).

La teneur en matière organique de l'horizon 0 - 25 cm est inférieure de 25 p. 100 dans la forêt d'Azaguié par rapport à celle d'Anguédédou ; la différence est encore plus importante (35 p. 100) dans les cinq premiers centimètres du sol (tableau 26).

Tableau 26 : Caractéristiques des sols forestiers.

Horizon (cm)	ANGUEDEDOU		AZAGUIE	
	0 - 5	0 - 25	0 - 5	0 - 25
C ‰	25,7	15,8	16,5	11,8
N ‰	1,70	1,06	1,07	0,94
C/N	15,2	14,9	15,4	11,4
Coefficient de minéralisation du carbone en 7 j. à 30°C		1,07		1,82

BERNHARD (1970), qui a étudié la production et la décomposition de la litière des feuilles dans ces deux types de forêt ivoirienne, attribue cette différence à la production un peu supérieure de litière sous forêt type Anguédédou : 8 à 9 t/ha/an contre 7 à 8 t sous forêt type Azaguié, mais surtout à une différence d'évolution. Dans les sols sur schistes, minérale-ment un peu plus riches que ceux sur sables argilo-ferrugineux, la décomposition de la matière végétale est un peu plus rapide : coefficient de décomposition de JENNY : K = 3,6 contre 3,3 pour la forêt sur sables argilo-ferrugineux. Les mesures de carbone facilement biodégradable que nous avons faites confirment cette observation (tableau 26).

La composition qualitative de la matière organique est un peu différente dans les deux forêts, comme le montrent les résultats du tableau 27.

Tableau 27 : Composition de la fraction liée : horizon 0 - 25 cm. (résultats en p. 1000 de terre sèche).

	AF	AH	AF/AH	Taux d'ex- traction %	Humine	C Humine C Total
Forêt d'Azaguié	2,6	2,7	0,96	43,4	5,7	0,47
Forêt d'Anguédédou	3,0	4,4	0,68	49,3	6,2	0,41

Compte tenu des différences quantitatives et qualitatives de la matière organique dans les deux sols, il n'est pas possible, comme nous l'aurions souhaité, de prendre le sol forestier comme référence pour comparer

l'évolution du sol sous culture du bananier et de l'ananas. Les comparaisons doivent être limitées à l'évolution des sols sous culture, par rapport au sol forestier, dans deux conditions écologiques données.

2. ETUDE DE LA MATIERE ORGANIQUE

2.1. MATIERE ORGANIQUE TOTALE

2.1.1. Sol de bananeraie

Les résultats de 1958 à 1972, résumés dans les tableaux XXVII à XXIX et sur la figure 35, montrent que le carbone et l'azote total varient peu, pour un même traitement, au cours des 14 années étudiées. Sur les graphiques d'évolution annuelle, il apparaît quelques irrégularités pour certaines années. Celles-ci proviennent, soit d'erreurs expérimentales difficiles à éviter en plein champ (enfouissements irréguliers de la matière organique, variations légères de la profondeur des prélèvements, particulièrement difficiles à éviter dans ce sol très graveleux etc...), soit d'enfouissements rapprochés de résidus de culture ou de fumier, précédant les prélèvements d'échantillons qui sont faits chaque année à une date fixe (saison sèche), indépendamment des cycles de culture. Contrairement aux cultures des régions tempérées et à certaines des régions tropicales, les périodes de récolte et de replantation du bananier et de l'ananas s'étalent sur toute l'année.

Dès la fin de la première révolution (une révolution correspond à l'intervalle de temps entre deux replantations, c'est-à-dire à 2 ou 3 cycles de culture), le traitement "paillis + fumier" se distingue nettement des autres traitements par des teneurs en carbone et en azote plus élevées, tandis que les traitements "paillis" et "fumier" ne sont significativement différents entre eux qu'à partir de 1971, lorsque l'apport de fumier a été augmenté de 75 t à 120 t/ha. Les traitements "témoin" et "paillis" ne sont pas significativement différents. L'apport de fumier augmente les teneurs par rapport au témoin ($P = 0,05$), mais les différences ne sont importantes que pour un apport de fumier supérieur à 100 t/ha ($P = 0,01$).

Les variations du carbone et de l'azote dans le temps et entre les traitements sont très comparables, il existe d'ailleurs une corrélation linéaire très étroite entre la teneur dans le sol de ces deux éléments :

$$0,94 \leq r \leq 0,98.$$

Alors qu'il n'y a pas de différences notables des teneurs en carbone et en azote, entre les traitements "dose simple" et "dose double de fumier", lorsque celui-ci est apporté seul, il y a une interaction positive très significative de l'action du paillis et du fumier apportés ensemble. Lorsque le sol est paillé, l'apport de fumier à dose double augmente très significativement ($P = 0,01$) les teneurs en carbone et azote, par rapport à l'apport de fumier à dose simple. Cet effet du paillis apparaît également très nettement après introduction des traitements "témoin" dans cet essai. L'effet "paillis + fumier" est supérieur à la somme de l'effet "paillis" plus effet "fumier".

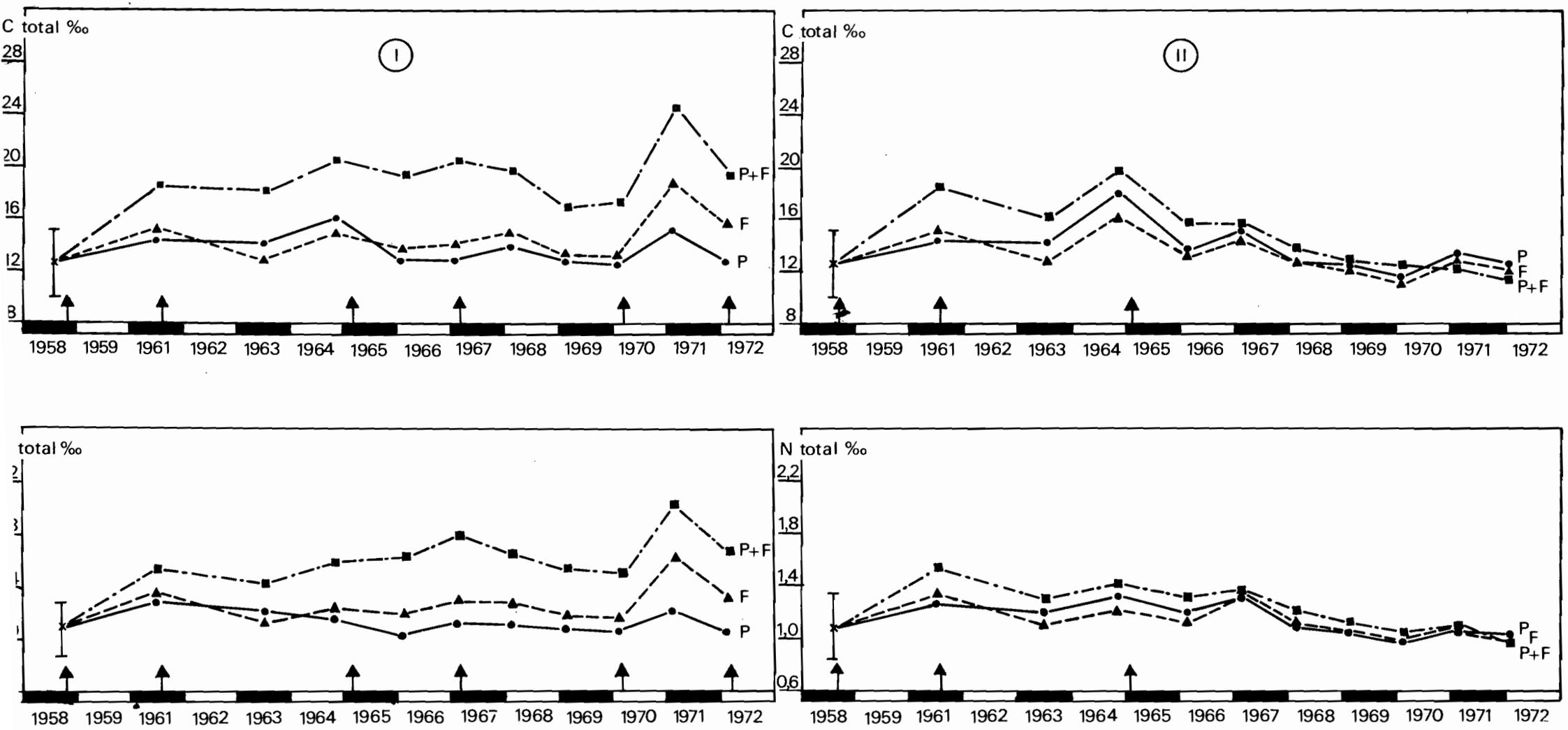


figure 35 • Evolution des teneurs en carbone et en azote total. Essai en bananeraie Azaguié.

I- Apports d'amendements organiques de 1958 à 1972. II- Suppression des amendements organiques à partir de la replantation de 1967.

Les flèches indiquent la date des apports organiques. Pour le carbone, les teneurs de 1958 à 1967, analysées par la méthode WALKLEY, ont été ajustées à la méthode ANNE.

F = Fumier ▲ P = Paillis ● P+ F = Paillis + Fumier ■

A titre d'exemple, en 1972, pour le carbone l'effet "paillis" par rapport au "témoin" est de 1,5 p. 100, l'effet "fumier" est de 32 p. 100, l'effet "paillis + fumier" est de 59 p. 100. Pour l'azote total les effets sont respectivement de : 2,5 p. 100, 36 p. 100 et 68 p. 100. Cette action du paillis sur le ralentissement de la biodégradation du fumier peut être attribuée à la diminution de la température du sol due au paillis (cf. chapitre I. paragraphe 2.3.).

Les rapports C/N ne varient pas entre les traitements ni entre les années ; ces rapports sont voisins de 12.

La comparaison, avec le même sol sous forêt, montre que la teneur en matière organique sous bananeraie est plus élevée que sous forêt, mais les différences ne sont statistiquement significatives que pour les traitements "fumier" (tableau 28). Ce résultat mérite toutefois d'être discuté. Comme nous le verrons ultérieurement, lors de l'étude de la structure, le sol de la bananeraie est soumis à des phénomènes d'érosion. Au cours des années de culture la partie superficielle du sol a été érodée. Alors que sous forêt, la proportion des graviers est pratiquement nulle : 1 à 2 p. 100 maximum, en bananeraie elle est en moyenne de 20 p. 100. Pour un même volume de sol, la quantité de terre fine est plus faible sous bananeraie que sous forêt. Pour comparer le sol de bananeraie et le sol de forêt, il semble donc préférable d'exprimer les résultats par rapport au sol total : terre fine (inférieure à 2 mm) + graviers.

Ainsi, nous avons observé, sur la station d'Azaguié, que les zones les plus graveleuses et les moins fertiles sont souvent celles où les teneurs en matière organique et en éléments fertilisants de la terre fine sont les plus élevées. Cette contradiction apparente tient au fait que pour un même volume de sol, les résidus de culture et les fertilisants minéraux ou organiques sont mélangés avec une quantité de terre plus faible, quand la fraction graveleuse est élevée, que lorsque celle-ci est faible. L'alimentation de la plante étant fonction du volume de terre fine prospecté par les racines, l'interprétation des analyses de sol doit donc tenir compte de la présence de quantités importantes de graviers (jusqu'à 60 p. 100 du volume de sol dans certaines parcelles).

Tableau 28 : Comparaison du sol de bananeraie et de forêt (moyenne des 4 dernières années).

	FORET	BANANERAIE				p. p. d. s. 5 %
		Témoin	Paillis	Fumier	Paillis + Fumier	
C ‰ terre fine	11,8	12,5	14,0	16,6	21,6	2,9
C ‰ terre fine + graviers	11,6	9,8	12,2	13,4	16,7	2,4
N ‰ terre fine	0,94	1,03	1,13	1,43	1,80	0,2
N ‰ terre fine + graviers	0,93	0,81	0,98	1,16	1,39	0,2
C/N	12,5	12,1	12,4	11,6	12,0	0,5

Cette nouvelle forme d'expression modifie peu, en fait, les conclusions. Les teneurs du sol sous forêt sont intermédiaires entre celles des traitements "témoin" et "paillis", mais les différences ne sont pas significatives à la probabilité 5 p. 100. L'apport de fumier, mais surtout de paillis + fumier élève la teneur du sol en matière organique, par rapport au sol forestier et tend à diminuer la valeur du rapport C/N.

2.1.2. Sol en culture d'ananas

Le tableau XXX et la figure 36 qui représente l'évolution annuelle du carbone et de l'azote total, montrent que la teneur en carbone, malgré quelques irrégularités, a peu varié au cours des 12 années de culture, puisqu'en 1972 les teneurs sont voisines de celles de 1960. En revanche, on observe une très nette diminution de la teneur en azote total entre 1960 et début 1963. Dans les traitements "témoin" la teneur se "stabilise" au niveau de 1963. Dans les trois autres traitements, mais surtout dans les deux traitements "fumure organique", la teneur se "stabilise" à un niveau un peu plus élevé. Tout semble indiquer que la modification du milieu écologique, produit par l'abattage de la forêt, a provoqué une très forte minéralisation de l'azote organique du sol, entraînant une activation de la minéralisation des résidus du premier cycle de culture et celle du fumier apporté au début du premier et du second cycle. Ce n'est qu'à partir du deuxième cycle (prélèvement de février 1964) que l'effet des traitements se manifeste.

A l'exception des prélèvements : 1962 et 1963, les courbes de variation du carbone et de l'azote sont très comparables. Les deux éléments sont liés par une corrélation linéaire très étroite : $0,87 \leq r \leq 0,92$. Les traitements se classent dans l'ordre croissant suivant : témoin (1), fumure minérale (2), fumure organique (3), fumure minérale + fumure organique (4). Statistiquement (1) est inférieur aux trois autres traitements, (2) est inférieur aux traitements (3) et (4). Les différences entre les traitements (3) et (4) ne sont généralement pas significatives au seuil de probabilité : $P = 0,05$. L'ordre de classement des traitements est tout à fait logique, il correspond aux quantités de matière sèche enfouie (résidus seuls ou résidus + fumier).

Les valeurs des rapports C/N sont assez constantes entre les différentes années, mais moins qu'en bananeraie. Cette différence peut s'expliquer par les modes de restitution des résidus végétaux qui sont différents en bananeraie et en plantation d'ananas (cf. chapitre I). Les deux traitements qui reçoivent du fumier (3 et 4) ont des rapports significativement inférieurs aux traitements "témoin" et "fumure minérale seule". Pour ces derniers, les valeurs des rapports C/N sont voisins de 14, alors qu'ils sont de l'ordre de 13 dans les deux traitements "fumure organique". Pour certaines années, les rapports sont beaucoup plus élevés. Par exemple, au prélèvement du mois de février 1964 le rapport C/N du traitement "témoin" est de 19,7. Cette valeur élevée provient de ce que l'enfouissement des résidus de culture, dans ce traitement, a été fait au mois de décembre 1963. Les mois de décembre à février étant des mois où les précipitations sont extrêmement faibles, la matière végétale enfouie était peu minéralisée au moment du prélèvement de sol.

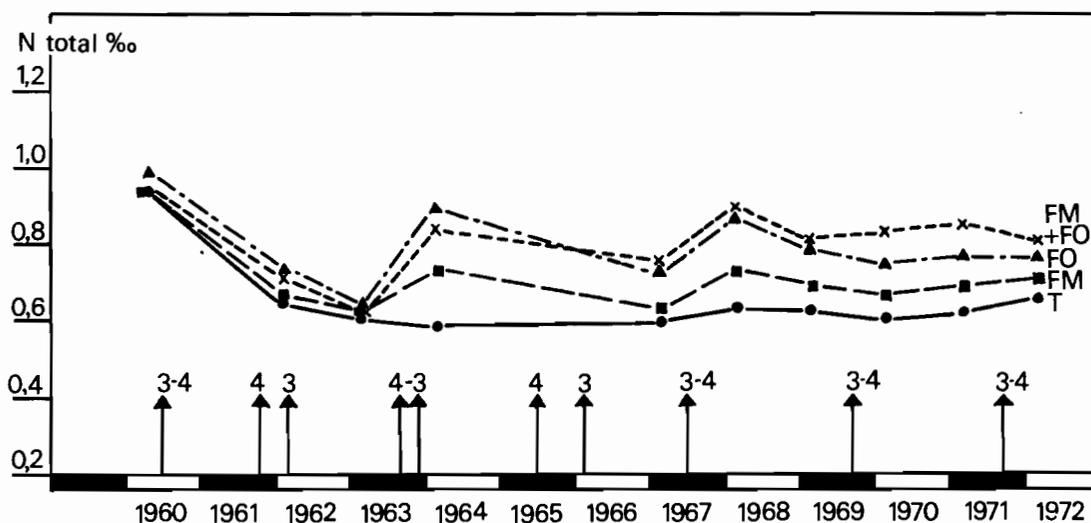
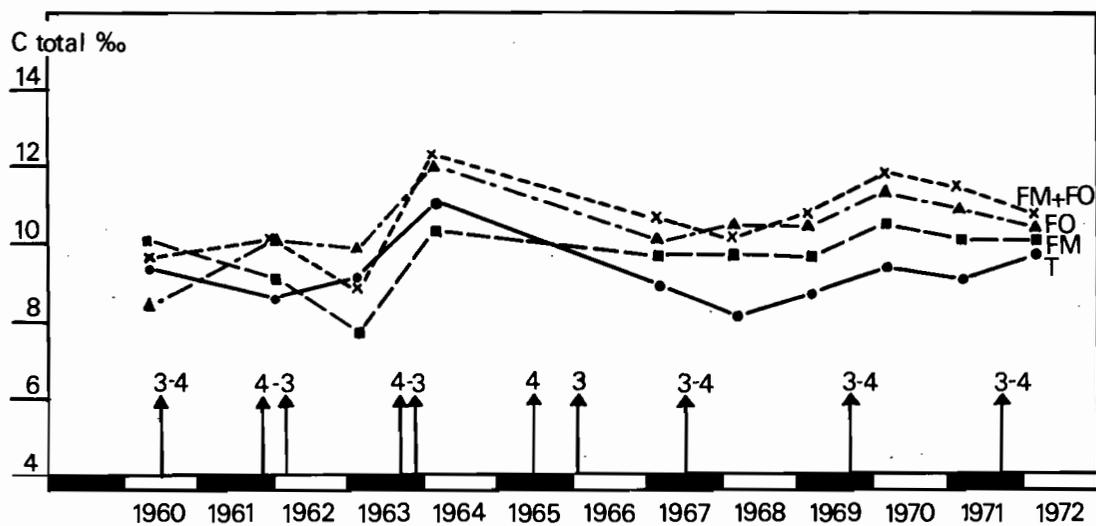


figure 36 • Evolution des teneurs en carbone et en azote total. Essai en culture d'ananas Anguédédou.

Les flèches indiquent la date des apports de fumier dans les traitements 3 et 4.

Pour le carbone, les teneurs de 1960 à 1964, analysées par la méthode WALKLEY, ont été ajustées à la méthode ANNE.

T = Témoin

FO = Fumure organique

FM = Fumure minérale

La comparaison avec le sol de forêt montre que les teneurs en carbone et en azote total sont plus faibles en culture d'ananas, même lorsqu'on apporte une fumure organique (tableau 29).

Tableau 29 : Comparaison du sol cultivé en ananas et du sol forestier (moyenne des 4 dernières années).

	FORET	ANANAS				p.p.d.s.: 5 %
		Sans fumure	Fumure minérale	Fumure organique	Fumure miné. + orga.	
C ‰	15,8	9,3	10,2	10,8	11,4	0,8
N ‰	1,06	0,63	0,68	0,77	0,83	0,05
C/N	14,9	14,8	15,0	14,0	13,7	0,4

Si l'on compare les teneurs en carbone et en azote du sol sous forêt, avec celles à la mise en culture, en 1960, on constate que dans l'intervalle de temps nécessité par la préparation du terrain : abattage de la forêt, débardage des troncs et brûlage des petites branches, soit environ 6 mois, il s'est produit une minéralisation intense du carbone, puisque la teneur s'abaisse de 15 à 10 p. 1000. Cette teneur se "stabilise" ensuite à ce niveau ou légèrement au-dessus suivant les traitements, pendant les 12 années de culture d'ananas. Pour l'azote, la diminution pendant la période qui suit l'abattage de la forêt est beaucoup plus lente et à la mise en culture les teneurs sont voisines de celles sous forêt : 0,94 à 1 p. 1000. En revanche, la diminution se poursuit au cours des années 1961 et 1962 et ce n'est qu'à partir de la troisième année qu'un "équilibre" s'établit pour chacun des traitements.

2.2. MATIERE ORGANIQUE LIBRE, LIEE ET ACIDES HYMATOMELANIQUES

2.2.1. Sol de bananeraie

Les résultats des fractionnements densimétriques de la matière organique sont résumés dans les tableaux XXXI et XXXII.

Aux prélèvements des années 1969 et 1970, effectués 2 et 3 ans après l'apport de fumier ou de paillis, les teneurs en carbone ou en azote libre des traitements "témoin", "paillis" et "fumier" sont très voisines, les faibles différences ne sont pas significatives. Pour ces prélèvements, seul le traitement "paillis + fumier" est supérieur aux autres ($P = 0,01$). Au prélèvement de 1971, fait 11 mois après l'apport de paillis ou de fumier, les traitements se différencient dans l'ordre croissant suivant : témoin, paillis, fumier, paillis + fumier. Comme pour le carbone et l'azote total, l'effet du "paillis + fumier" est supérieur à l'effet du "paillis seul", plus l'effet du "fumier seul". Pour ce prélèvement 1971, les teneurs des fractions libres des traitements recevant un amendement organique, sont supérieures à celles des

années 1969 et 1970, résultat tout à fait logique, puisqu'il y a eu un apport relativement récent de fumier ou de paillis.

Les valeurs des rapports C/N de la fraction libre sont assez constantes pour un même traitement. Ce rapport voisin de 20 dans les traitements "témoin" et "paillis" diminue légèrement dans les traitements "fumier": 16 à 17. Cette diminution est en relation avec la teneur en C/N des fumiers qui est généralement voisine de 15.

Les proportions de C et N libre par rapport à C et N total sont de l'ordre de 16 à 20 p. 100 pour le carbone et de 10 à 14 p. 100 pour l'azote. On note, cependant, une exception pour les traitements : "fumier" et "paillis + fumier" du prélèvement 1971. Pour cette année, la fraction libre représente 30 et 35 p. 100 du C total. Au moment du prélèvement, le fumier enfoui 11 mois auparavant n'est pas encore complètement biodégradé.

L'évolution des teneurs en carbone et en azote lié est très comparable à celle de la fraction libre. Il n'y a pas de différences significatives entre les traitements "témoin", "paillis" et "fumier" en 1969 et 1970, tandis que le traitement "paillis + fumier" est nettement supérieur. En 1971, les traitements se classent dans l'ordre croissant suivant : témoin, paillis, fumier, paillis + fumier.

Les rapports C/N de la fraction liée sont très constants et compris entre 10 et 11.

Les composés solubles dans le mélange bromoforme - alcool, produits intermédiaires, pour la plupart des acides humiques, sont à des teneurs très faibles : 0,3 à 0,7 p. 1000. La proportion, par rapport au carbone total, varie peu entre les traitements, elle est de 2 et 5 p. 100.

La comparaison avec le sol de forêt montre que les teneurs, les proportions et les rapports C/N des fractions libres et liées sont voisines sous forêt et dans les traitements "témoin" et "paillis" du sol de bananeraie.

2.2.2. Sol en culture d'ananas

Les résultats sont présentés dans les tableaux XXXIII et XXXIV.

Les teneurs en carbone et en azote des fractions libres et des fractions liées se classent dans l'ordre croissant suivant : témoin, fumure minérale, fumure organique, fumure minérale + fumure organique. Les différences bien que faibles en valeur absolue, particulièrement pour la fraction libre, sont significatives.

Les proportions de C et N libre, par rapport aux teneurs en C et N total, varient dans le même sens : minimales dans le traitement "témoin", maximales dans le traitement "fumure minérale + fumure organique". Les différences ne sont pas très élevées. Les valeurs extrêmes des rapports sont de 8 à 11 p. 100 pour le carbone et de 3 à 8 p. 100 pour l'azote.

Les rapports C/N de la fraction libre diminuent du traitement "témoin" au traitement "fumure minérale + fumure organique". La moyenne, pour les 3 années étudiées, est de 33 pour le témoin, 30 pour le traitement "fumure minérale", 23 pour le traitement "fumure organique", 21 pour le traitement "fumure minérale + fumure organique". Ces différences sont en relation avec la valeur faible des rapports C/N du fumier qui est en moyenne de 15. Les rapports C/N de la fraction liée diffèrent peu entre les traitements : 12 à 14.

Les teneurs en acides humatomes diffèrent peu entre les traitements, ces composés représentent de 6 à 8 p. 100 du C total.

Les fractions libres et liées sont plus élevées dans le sol de forêt mais les proportions, par rapport à la teneur en matière organique totale, sont voisines. En culture d'ananas avec apport de fumier, les rapports C/N de la fraction libre sont du même ordre de grandeur que dans les sols forestiers ; ils sont plus élevés dans les traitements "témoin" et "fumure minérale seule".

2.3. COMPOSES HUMIQUES

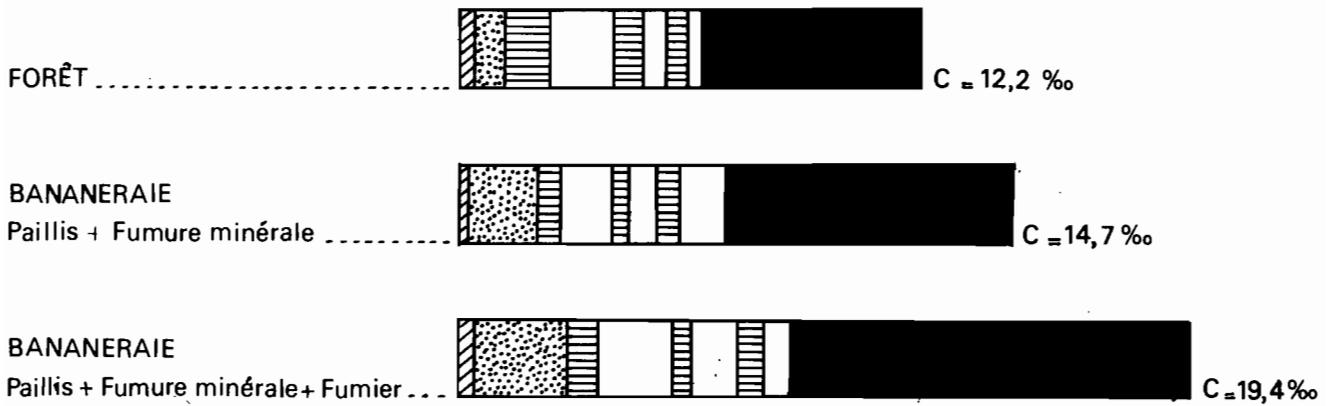
2.3.1. Sol de bananeraie

La comparaison porte sur trois échantillons : un de sol de forêt et deux prélevés sous bananeraie : l'un dans les parcelles "paillis", l'autre dans les parcelles "paillis + fumier". Les amendements organiques sont apportés depuis 12 années et le terrain est en culture bananière depuis 16 ans. Les résultats des fractionnements des composés humiques sont présentés dans le tableau XIII et sur la figure 37.

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. L'accroissement relatif de l'humine est de : + 33 p. 100 avec le paillis seul et + 86 p. 100 avec le paillis + le fumier. Les rapports des acides fulviques/acides humiques sont plus faibles dans le sol en culture bananière ; 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 que sous forêt : 4,0 contre 0,6 mé/100 g de sol de Ca échangeable.

L'étude des acides humiques par électrophorèse (figure 38) sur les extractions I (pH : 7) et III (pH : 12) montre que les AH₁ du sol de forêt et du sol de bananeraie : parcelle "paillis" diffèrent peu. En revanche, la parcelle "paillis + fumier" a plus d'AH mobiles (AH bruns) et moins d'immobiles (AH gris). Les AH₃ contiennent peu d'AH mobiles à l'exception du sol de

SOL FERRALLITIQUE AZAGUIÉ



SOL FERRALLITIQUE ANGUÉDÉDOU

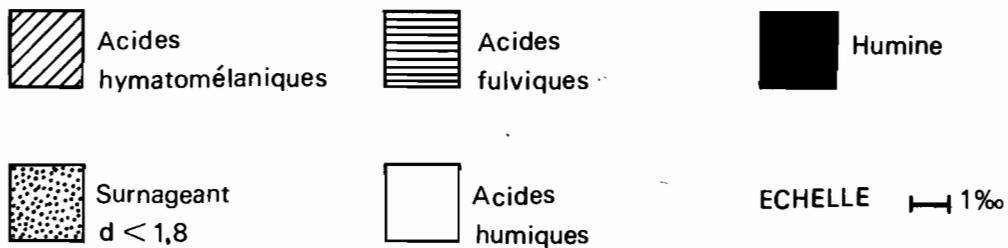
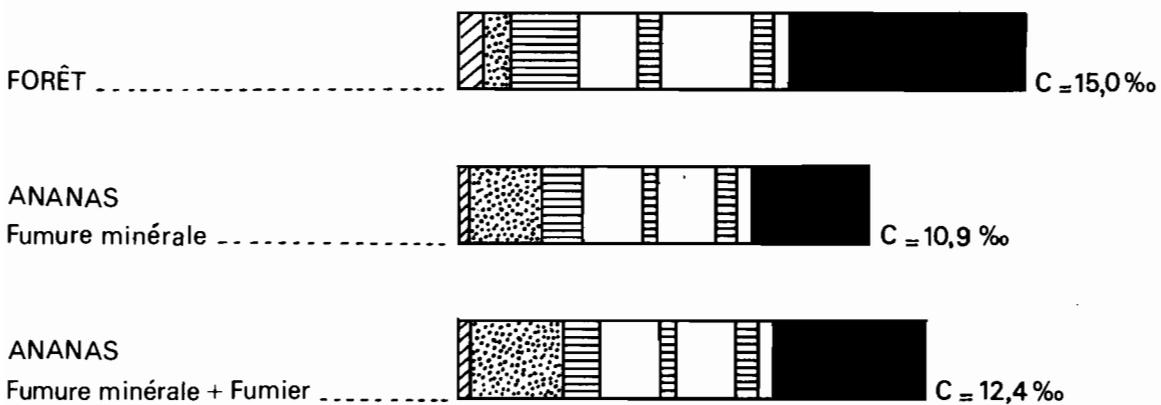


figure 37 • Répartition du carbone après fractionnement physique et chimique. Etude au champ.

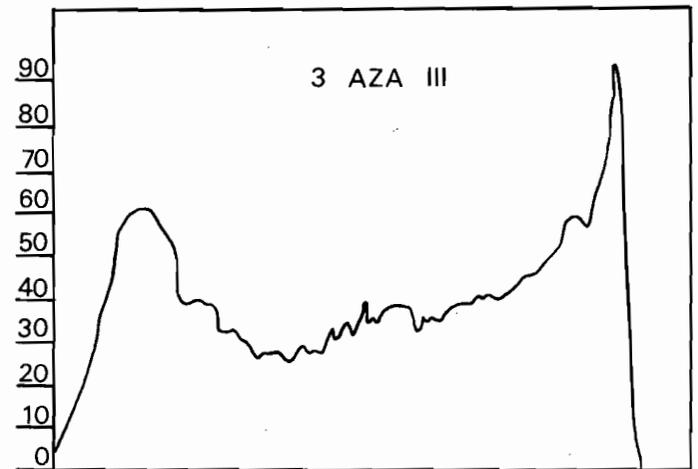
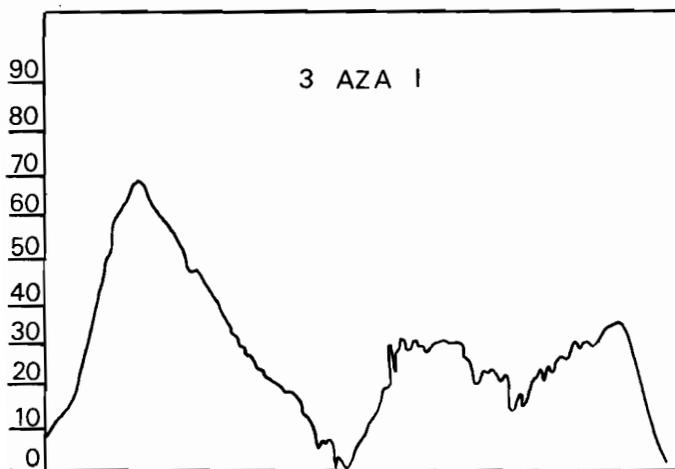
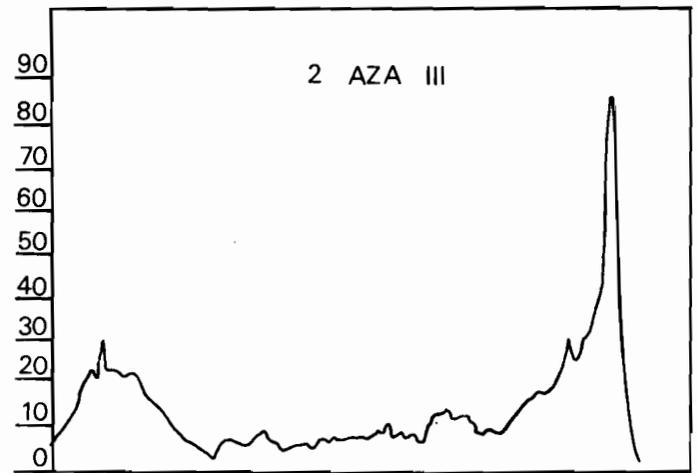
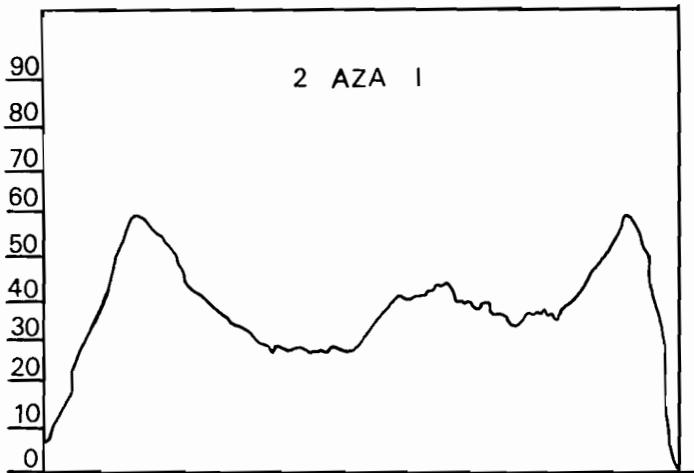
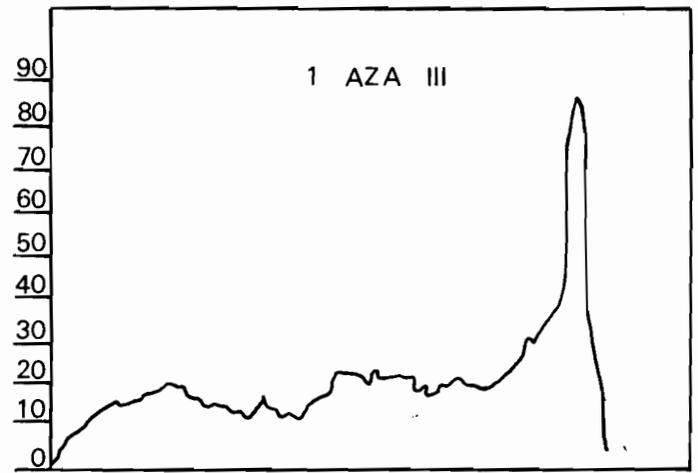
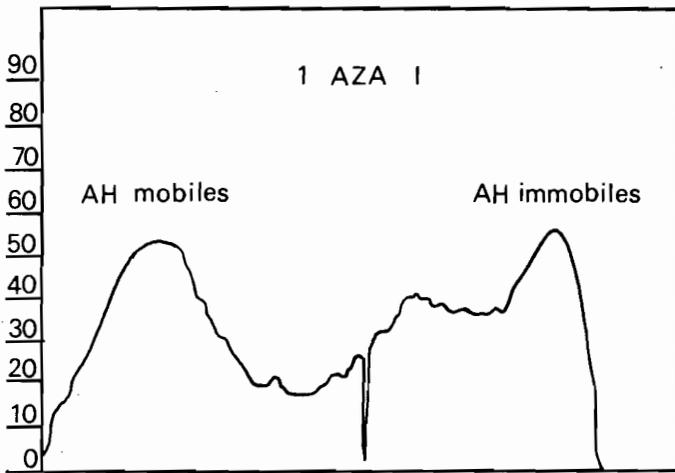


figure 38 • Courbes de densité optique des AH du culot, obtenues par électrophorèse. Essai bananeraie Azaguié.

I = Extraction à pH 7 ; III = Extraction à pH 12 .

1 AZA = Forêt

2 AZA = Bananeraie + Paillis + Fumure minérale

3 AZA = Bananeraie + Paillis + Fumure minérale + Fumier .

bananeraie parcelle "paillis + fumier". L'apport de fumier augmente donc la teneur du sol en acides humiques mobiles.

2.3.2. Sol en culture d'ananas

Comme pour le bananier, on compare le sol forestier au sol des traitements "fumure minérale" et "fumure minérale + fumure organique", après 10 années de culture d'ananas. (tableau XIII et figure 37).

Les taux d'extraction sont du même ordre de grandeur sous forêt et sous culture d'ananas, mais la teneur en humine et le rapport C humine/C total sont plus faibles dans le sol cultivé. La diminution relative de l'humine est de : - 27 p. 100 pour la culture avec fertilisation minérale seule et - 17 p. 100 pour la culture avec fertilisation minérale + organique. Les rapports des AF/AH diminuent sous culture d'ananas, par rapport à la forêt, 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 sous culture d'ananas. Inversement, la fraction non extractible (humine) est constituée de composés moins fortement polymérisés sous culture d'ananas que sous forêt.

La teneur en AH mobiles dans AH₁ (figure 39) est du même ordre de grandeur dans le sol de forêt et dans le sol cultivé en ananas avec fumier et fumure minérale, il est plus faible dans le sol en culture avec fumure minérale. Les AH₃ contiennent très peu de AH mobiles dans les trois cas.

2.4. POLYSACCHARIDES

2.4.1. Sol de bananeraie

La teneur en polysaccharides est la plus faible dans le traitement "témoin" et la plus élevée dans le traitement "paillis + fumier", les traitements "paillis" et "fumier" ont des teneurs intermédiaires (tableau 30).

Tableau 30 : Comparaison de la teneur en polysaccharides du sol de bananeraie et de forêt (moyenne des 4 dernières années).

	FORET	BANANERAIE				p.p.d.s
		Témoin	Paillis	Fumier	Paillis + fumier	
mg de polysaccharides/100 g de terre	229	203	220	253	311	45
C polysacch/C total %	7,8	6,4	6,3	6,1	5,7	0,8

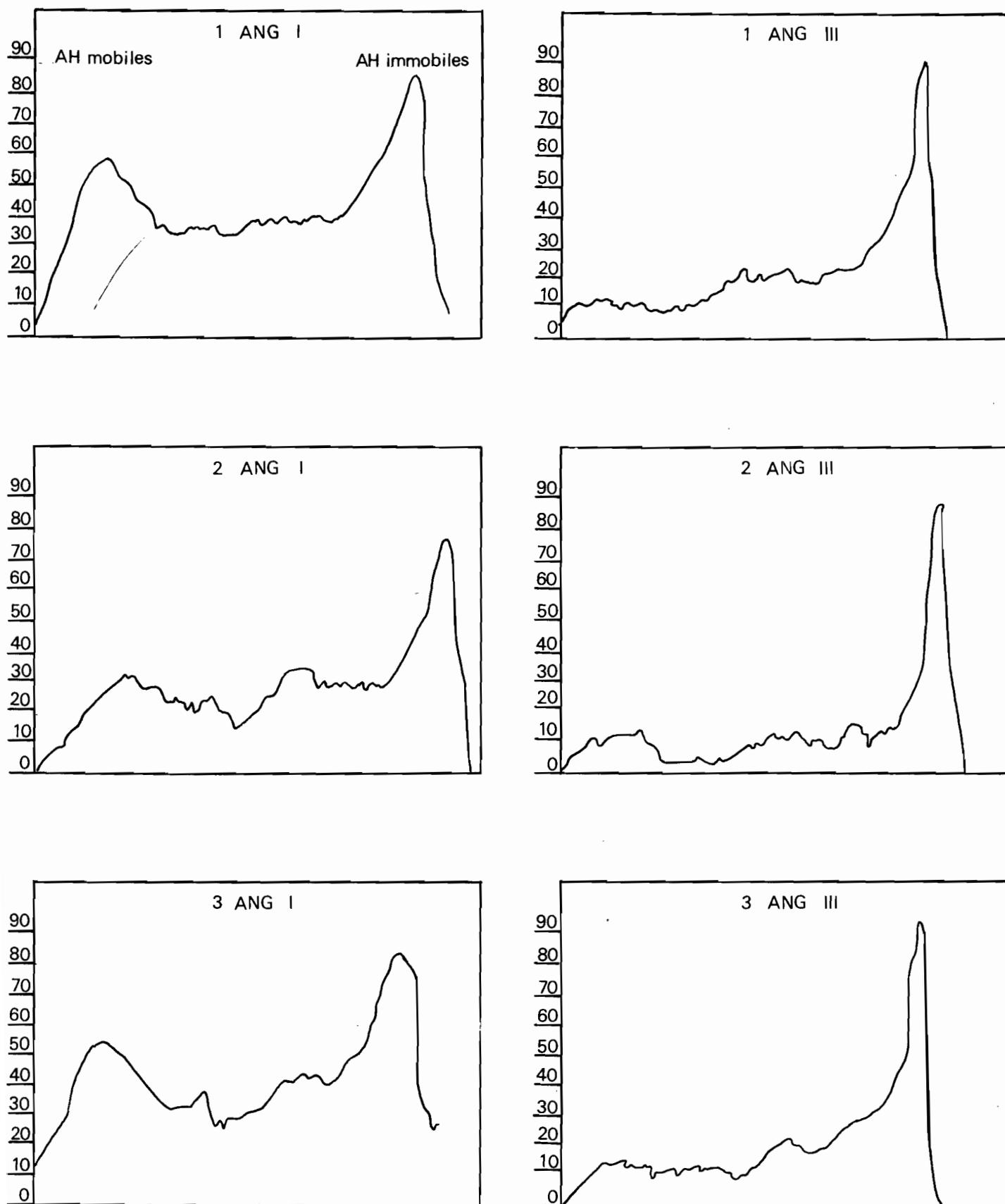


figure 39 • Courbes de densité optique des AH du culot, obtenues par électrophorèse. Essai ananas Anguédédou.

I = Extraction à pH 7; III = Extraction à pH 12.

1 ANG = Forêt

2 ANG = Ananas + Fumure minérale

3 ANG = Ananas + Fumure minérale + Fumier

La proportion de polysaccharides, par rapport à la teneur en matière organique totale, varie peu dans les divers traitements : elle est voisine de 6 p. 100. (Corrélation C total x polysaccharides : $r = 0,94$).

La teneur en polysaccharides du sol forestier est voisine de celle du traitement "paillis" de la bananeraie. Ils représentent 7 à 8 p. 100 de la matière organique, soit une proportion légèrement supérieure (1 à 2 p. 100) à celle du sol de la bananeraie.

2.4.2. Sol en culture d'ananas

La teneur en polysaccharides est de 10 à 15 p. 100 plus élevée dans les traitements avec fumure minérale, par rapport au traitement sans aucune fumure (témoin). Le traitement "fumure organique seule" est identique au traitement "témoin" (tableau 31).

Tableau 31 : Comparaison de la teneur en polysaccharides du sol cultivé en ananas et du sol forestier (moyenne des 4 dernières années).

	FORET	ANANAS				p. p. d. s
		Sans fumure	Fumure minérale	Fumure organique	Fumure miné. + orga.	
mg de polysaccharides/100 g de terre	207	129	143	131	152	11
C polysacch. / C total %	5,2	5,5	5,6	4,9	5,4	NS

Le sol en culture a une teneur en polysaccharides plus faible que le sol forestier (25 à 40 p. 100). Cette différence est en relation avec la teneur en matière organique, qui est plus élevée dans le sol forestier. Les rapports : C polysaccharides / C total du sol forestier et du sol cultivé sont très voisins (5 p. 100), de même que ceux des différents traitements.

2.5. CARBONE FACILEMENT BIODEGRADABLE

2.5.1. Sol de bananeraie

La quantité de carbone facilement biodégradable est plus élevée dans le traitement "paillis + fumier" que dans les autres traitements, qui diffèrent peu entre eux (tableau 32). En revanche, les coefficients de minéralisation sont les plus élevés dans le traitement "témoin" et les plus faibles dans les traitements "fumier". Le coefficient de minéralisation du sol forestier est supérieur à celui du sol de bananeraie.

Tableau 32 : Carbone facilement biodégradable. Essai en bananeraie Azaguié (horizon 0 - 25 cm).

	FORET	BANANERAIE				p. p. d. s. 5 %
		Témoin	Paillis	Fumier	Paillis + Fumier	
1972						
mg de CO ₂ /100 g sol		55	57	60	83	17
Coef. de minéralisation %		1,23	1,19	1,00	1,17	NS
1973						
mg de CO ₂ /100 g sol	102	81	92	97	131	14
Coef. de minéralisation %	2,07	1,76	1,64	1,44	1,42	0,12

2.5.2. Sol en culture d'ananas

La teneur en carbone facilement biodégradable et le coefficient de minéralisation sont un peu plus faibles dans le traitement "sans fertilisation", par rapport aux trois autres traitements, qui ne diffèrent pas entre eux. Les différences ne sont toutefois significatives à la probabilité 5 p. 100 qu'en 1973 (tableau 33). Le coefficient de minéralisation et la quantité de carbone facilement biodégradable sont plus élevés dans le sol de forêt que dans le sol en culture.

Tableau 33. Carbone facilement biodégradable. Essai en culture d'ananas, Anguédédou (horizon 0 - 25 cm).

	FORET	ANANAS				p. p. d. s. 5 %
		Sans fumure	Fumure minérale	Fumure organique	Fumure minérale + organique	
1972						
mg de CO ₂ /100 g sol		22	25	26	28	NS
Coef. de minéralisation %		0,62	0,65	0,68	0,71	NS
1973						
mg de CO ₂ /100 g sol	67	27	33	37	36	4
Coef. de minéralisation %	1,13	0,81	0,89	0,93	0,84	0,10

3. ETUDE DE L'AZOTE MINERAL

La minéralisation azotée des résidus de culture du bananier et de l'ananas n'a pas été étudiée en plein champ. Des observations sur l'évolution des engrais azotés (GODEFROY, 1969), et sur la lixiviation de l'azote par les eaux de drainage (GODEFROY, ROOSE, 1970), réalisées dans la bananeraie d'Azaguié, nous ont permis, toutefois, de préciser les conditions d'évolution des engrais, particulièrement de l'urée.

L'hydrolyse de l'urée et la nitrification sont très rapides, de l'ordre de quelques jours ; la lixiviation de l'azote sous forme nitrique représente 75 p. 100 des pertes, contre 4 p. 100 seulement sous forme ammoniacale. Des pertes sous forme d'urée, peuvent se produire quand survient une forte pluie après un épandage, mais elles sont peu fréquentes sous cette forme. L'étude en case de drainage, a permis de chiffrer les pertes d'azote en bananeraie à un minimum de 200 à 275 kg/ha/an, pour des apports d'engrais azotés de 350 à 500 kg/ha/an. On a pu montrer, d'autre part, qu'il y avait une corrélation très étroite entre la teneur en nitrates du sol et celle des eaux de drainage ($r = 0,80$ avec $P < 0,01$). Dans un essai de fertilisation à trois doses d'azote (140 à 440 kg/ha/an), la lixiviation d'azote minéral dans l'horizon 0 - 25 cm, pendant les trois mois de la grande saison des pluies (mai, juin, juillet), a été respectivement de 85, 120 et 140 kg/ha dont 97 à 98 p. 100 sous forme nitrique.

L'étude des pertes d'azote en culture d'ananas n'a pas été entreprise à ce jour. On peut penser que l'utilisation des engrais minéraux est meilleure qu'en bananeraie. D'une part, le système racinaire forme un chevelu plus dense que celui du bananier, d'autre part, le mode d'application de l'engrais azoté, soit à l'aisselle des feuilles (sulfate d'ammoniaque) soit en pulvérisation sur le feuillage (urée) limite les pertes par lixiviation, une fraction seulement de l'engrais "transitant dans le sol".

4. ETUDE DE LA CAPACITE D'ECHANGE CATIONIQUE

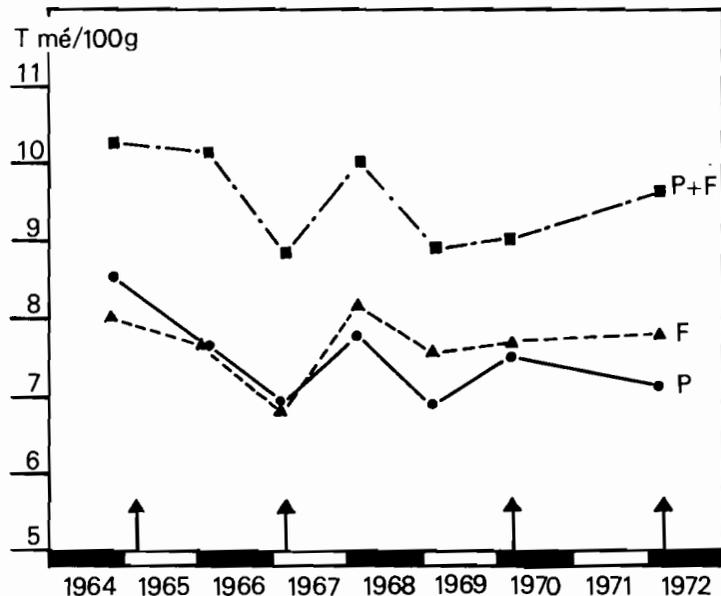
4.1. SOL DE BANANERAIE

4.1.1. Résultats

La capacité d'échange cationique (T) est plus élevée de 2 à 3 mé/100 g dans le traitement "paillis + fumier", par rapport aux autres traitements qui ne diffèrent pas entre eux (figure 40 et tableau XXXV). Les différences entre "fumier" et "paillis" ou "paillis" et "témoin" ne sont pas significatives, celles entre "fumier" et "témoin" ne le sont que pour le prélèvement de 1972. Pour des teneurs identiques en matière organique, les valeurs de la capacité d'échange sont du même ordre de grandeur, quelle que soit l'origine de la matière organique : paillis, fumier ou résidus de culture.

Malgré quelques irrégularités des courbes de variation, on peut considérer qu'entre 1964 et 1972, période pendant laquelle on a étudié cette caractéristique, les niveaux sont sensiblement constants dans les trois traitements qui apportent un amendement organique. Dans les sous-traitements

I



II

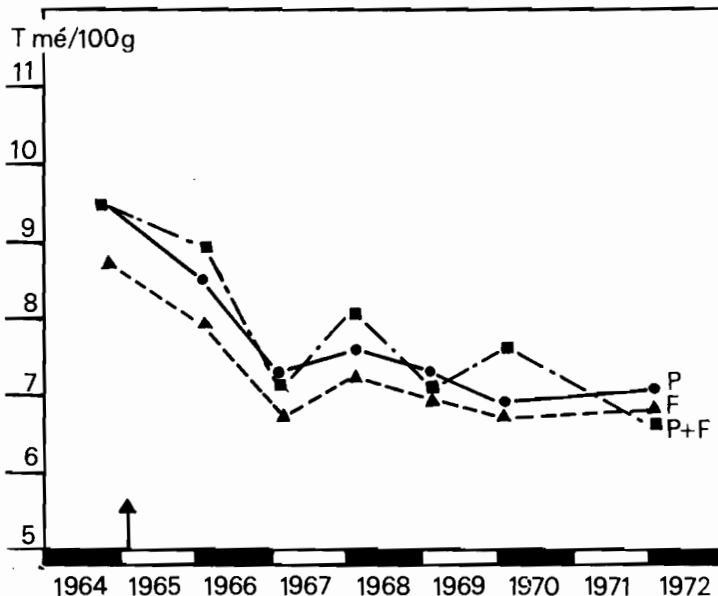


figure 40 • Evolution de la capacité d'échange cationique. Essai en bananeraie Azaguie.

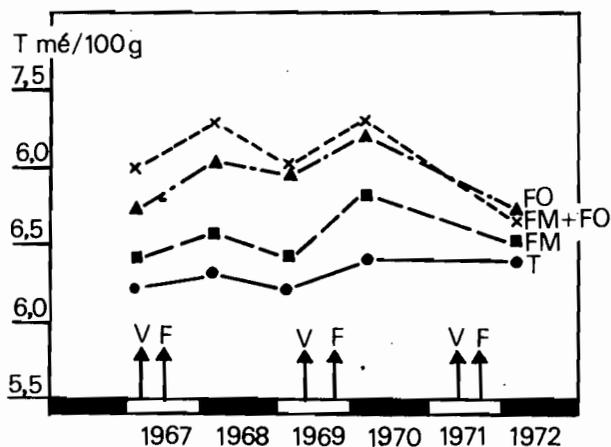
I = Apports d'amendements organiques à partir de la replantation de 1958 à 1972.

II = Suppression des amendements organiques à partir de la replantation de 1967.

Les flèches indiquent la date des apports organiques.

figure 41 • Evolution de la capacité d'échange cationique. Essai en culture d'ananas Anguédédou.

Les flèches indiquent la date des enfouissements de matière végétale (V) et de fumier (F).



à dose simple de fumier, transformés à partir de la replantation de 1967 en traitement "témoin", sans apport d'amendements organiques, il n'apparaît pas de différences significatives entre les traitements. Après une diminution entre 1964 et 1967, la capacité d'échange se "stabilise" dans les trois traitements à une valeur voisine de 7 mé/100 g de sol.

4.1.2. Relation entre la capacité d'échange et la teneur en matière organique.

Il y a un parallélisme étroit entre les courbes d'évolution de la capacité d'échange et celles du carbone total. L'étude des corrélations confirme la relation étroite entre ces deux caractéristiques. Les coefficients de corrélation "r" sont toujours très élevés : compris entre 0,74 et 0,94 (tableau XLIII). Ils ne sont pas différents dans les sous-traitements où les apports d'amendements organiques sont continus et dans ceux où ils ont été supprimés à partir de 1967. Les coefficients de corrélation, entre la fraction liée de la matière organique et la capacité d'échange, sont du même ordre que ceux avec la matière organique totale. Cette absence de différence s'explique par la faible variation des rapports : C lié/C total.

4.1.3. Comparaison avec le sol de forêt.

La comparaison, entre sol de forêt et sol de bananeraie, indique que la matière humifiée produite sous bananeraie a une action supérieure vis-à-vis de la capacité d'échange à celle produite sous forêt. Les résultats du tableau 34 qui mettent en parallèle, pour une même date de prélèvement, les valeurs de T d'échantillons prélevés sous forêt et en bananeraie, choisis pour leurs teneurs en carbone très voisines, montrent que la capacité d'échange du sol de bananeraie est de 15 à 30 p. 100 plus élevée.

Tableau 34 : Comparaison des valeurs de la capacité d'échange cationique (mé/100 g de sol) sous forêt et sous bananeraie dans des échantillons de même teneur en carbone total.

	1970		1972	
Forêt	6,1 (100)	5,5 (100)	5,5 (100)	5,0 (100)
Bananeraie	7,1 (116)	6,8 (124)	6,8 (124)	6,5 (130)

Cette différence, entre les deux matières organiques, peut être attribuée à un plus grand nombre de groupements carboxyles et hydroxyles acides dans le sol de bananeraie, en relation avec les conditions d'humification liées au pH du sol. Le pH du sol de bananeraie est supérieur en moyenne de 1,2 à 2 unités pH à celui du sol de forêt (bananeraie : 5,8 à 6,2, forêt : 4,0 à 4,5). Comme nous l'avons souligné précédemment, cette élévation du

pH du sol sous bananeraie est une conséquence de la fertilisation. Pour tenir compte des besoins de la plante on apporte, en effet, chaque année en bananeraie 1 ou 2 t/ha de dolomie.

4.2. SOL EN CULTURE D'ANANAS

4.2.1. Résultats

Les traitements ont une action très nette sur la capacité d'échange cationique ; les valeurs de T augmentent dans l'ordre suivant : témoin, fumure minérale, fumure organique, fumure minérale + fumure organique. Les différences entre "témoin" et "fumure minérale" d'une part, "fumure organique" et "fumure minérale + fumure organique" d'autre part, ne sont généralement pas significatives (tableau XXXVI et figure 41). Mis à part quelques irrégularités certaines années, les valeurs de la capacité d'échange peuvent être considérées comme "constantes" pendant la période étudiée (1967 à 1972).

4.2.2. Relation entre la capacité d'échange et la teneur en matière organique.

Le parallélisme, entre les courbes d'évolution de la matière organique totale et celles de la capacité d'échange, est très étroit. Les coefficients de corrélation, entre ces deux caractéristiques, sont toujours élevés (0,67 à 0,89) et supérieurs au seuil de probabilité $P = 0,01$ (tableau XLV). Les coefficients de corrélation ne sont pas différents lorsqu'on analyse, séparément, les traitements qui reçoivent un amendement organique (3 et 4) et ceux dont la matière organique provient exclusivement des résidus de culture (1 et 2). De même, à teneur en matière organique totale égale, les valeurs de la capacité d'échange sont identiques dans les traitements "avec" et "sans" fumier. Le calcul des corrélations avec la fraction du carbone lié à la matière minérale, dont la proportion avec le carbone total est sensiblement constante, n'augmente pas la valeur des coefficients "r".

4.2.3. Comparaison avec le sol de forêt.

La capacité d'échange est de 20 à 40 p. 100 plus élevée sous forêt que dans le sol en culture. Afin de préciser si cette différence est uniquement due à la diminution quantitative de la teneur en matière organique dans le sol en culture, il est nécessaire de comparer des échantillons de même teneur en matière organique. Les niveaux étant supérieurs dans le sol forestier par rapport au sol cultivé, il n'est pas possible de comparer les valeurs de la capacité d'échange entre échantillons de même teneur en C total, comme nous l'avons fait dans l'étude en bananeraie. Une estimation des valeurs de T, pour des teneurs en C total dans le sol en culture, équivalentes aux teneurs sous forêt, peut être faite d'après les équations des droites de régression entre C et T, calculées avec les résultats des 24 parcelles de l'essai.

La comparaison, faite sur six échantillons, indique que la capacité d'échange moyenne est plus élevée de 4,5 p. 100 pour les valeurs mesurées, par rapport aux valeurs calculées. Cette différence n'est pas

significative à la probabilité 5 p. 100. On peut donc conclure de ces résultats, que les valeurs de T plus élevées du sol de forêt sont dues aux teneurs en matière organique supérieures et non à une différence qualitative. On remarquera que le sol cultivé et le sol sous forêt ont des pH voisins, compris entre 4,0 et 4,5. En culture d'ananas, la fertilisation minérale composée d'azote, de potassium et de magnésium épandus par pulvérisation aqueuse sur les feuilles, a peu d'influence sur le pH du sol. On observe, toutefois, sous culture une tendance à une légère acidification (0,2 à 0,5 unité pH) par rapport au sol forestier.

5. ETUDE DE LA STRUCTURE

Comme nous l'avons précisé au chapitre II, l'évaluation de la structure est basée sur des tests de dispersion des agrégats sous l'action de l'eau, dans des conditions standard.

5.1. SOL DE BANANERAIE

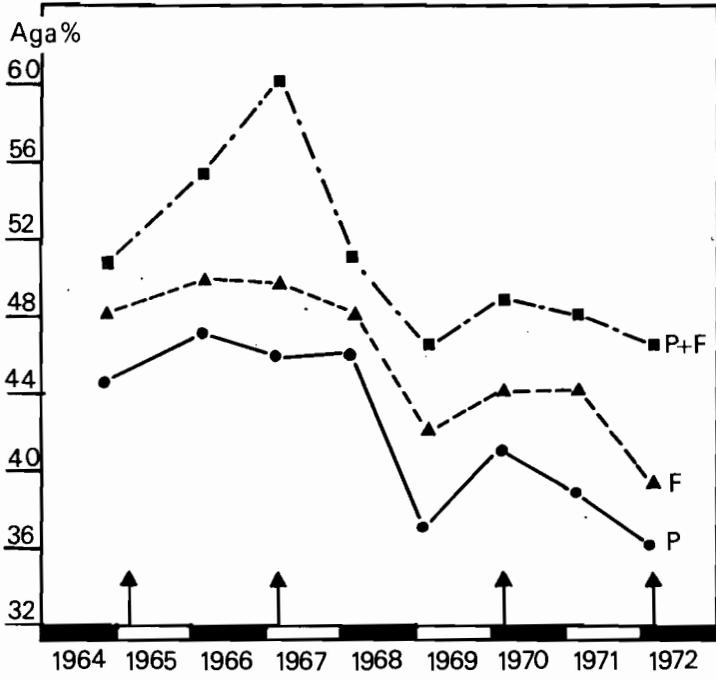
5.1.1. Comparaison entre les traitements et entre les années

Les résultats sont présentés dans les tableaux XXXVII à XLII et sur la figure 42.

L'état global de la structure, exprimé par l'indice d'instabilité : I_s , indique une très nette amélioration de la stabilité avec l'apport de fumier : seul ou avec le paillis (valeurs de I_s plus faibles). Le traitement "paillis + fumier" a un effet supérieur à la somme des effets, "paillis" + effets "fumier" cette observation a déjà été faite lors de l'étude de la matière organique. L'action favorable du fumier, sur la stabilité de la structure, est beaucoup plus nette dans les traitements à dose double de fumier (100 t/ha) que dans les traitements à dose simple (50 t/ha). Dans les traitements à dose simple, les différences entre "paillis" et "fumier", d'une part, ou "fumier" et "paillis + fumier", d'autre part, ne sont généralement pas significatives au seuil de probabilité 5 p. 100 ; seuls sont significativement différents les traitements "paillis" et "paillis + fumier".

L'évolution de l'indice d'instabilité, entre 1964 et 1972, indique une très nette dégradation de la structure dans tous les traitements. Dans les parcelles recevant un amendement organique, l'augmentation, en valeur absolue, de I_s est maximale dans le traitement "paillis" (variation de 1,41 à 2,99) et minimale dans le traitement "paillis + fumier" (variation de 0,78 à 1,16). Le traitement "fumier seul" est intermédiaire : (variation de 0,95 à 1,94). En revanche, les accroissements relatifs sont comparables : I_s augmente de une fois et demie à deux fois dans les trois traitements. Dans les sous-traitements à dose simple de fumier, dans lesquels on a supprimé les apports de fumier et de paillis à partir de la replantation de 1967, (dernière application de paillis et de fumier début 1965), la dégradation de la structure est très rapide. L'augmentation de I_s est aussi forte dans les parcelles qui ont reçu du fumier jusqu'en 1965, que dans celles paillées. On observe, cependant, un arrière effet des apports de fumier jusqu'en 1970, soit pendant

I



II

131

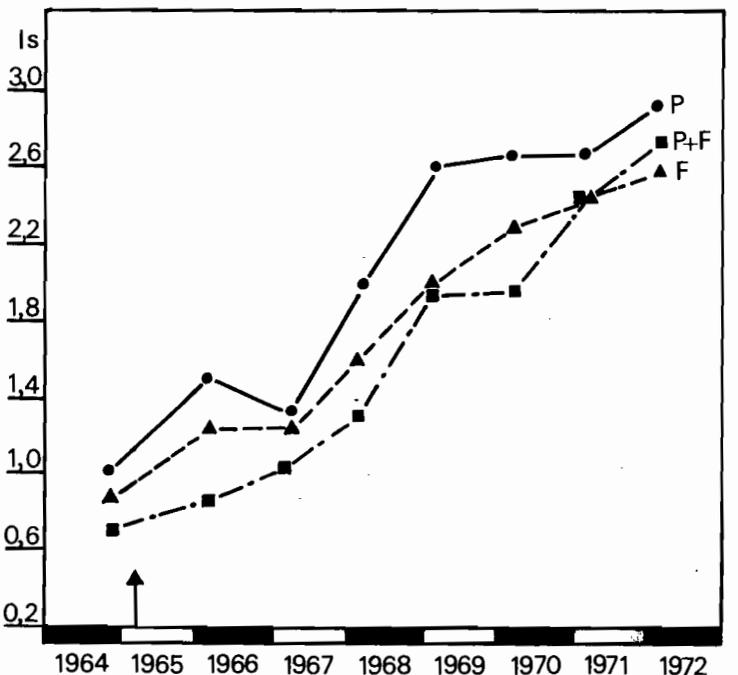
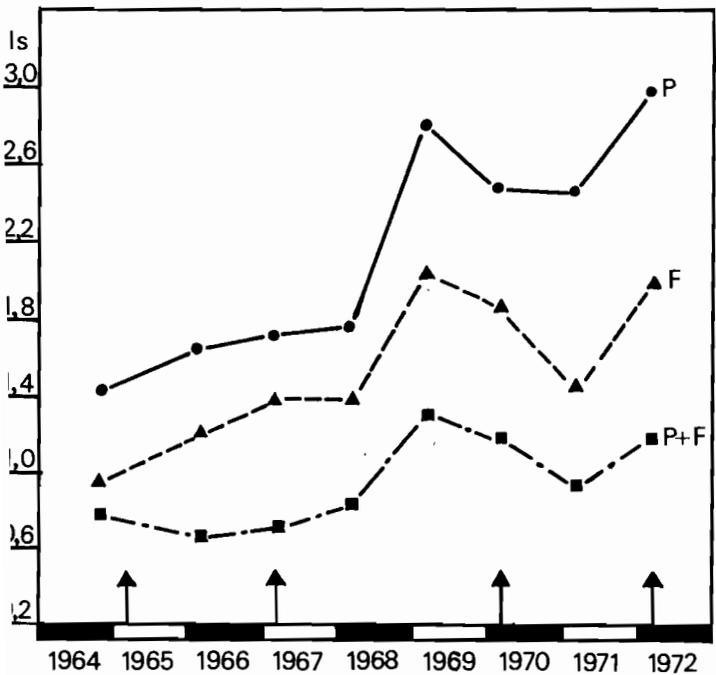
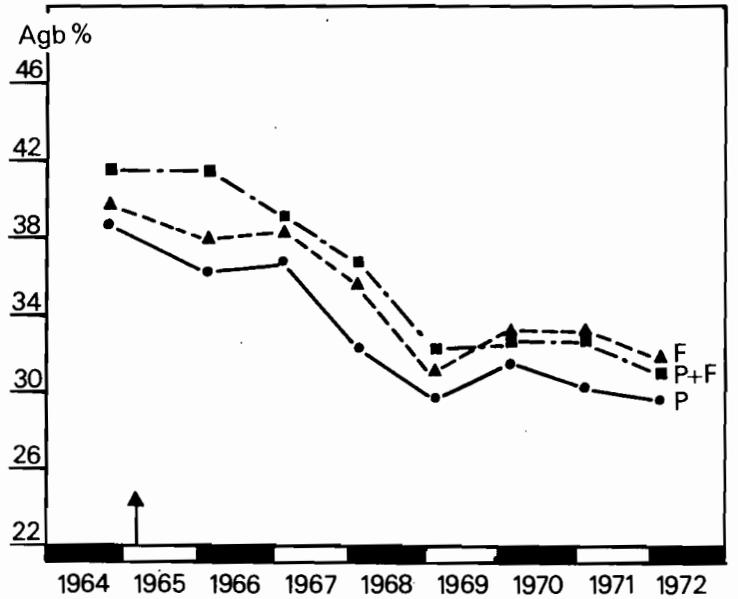
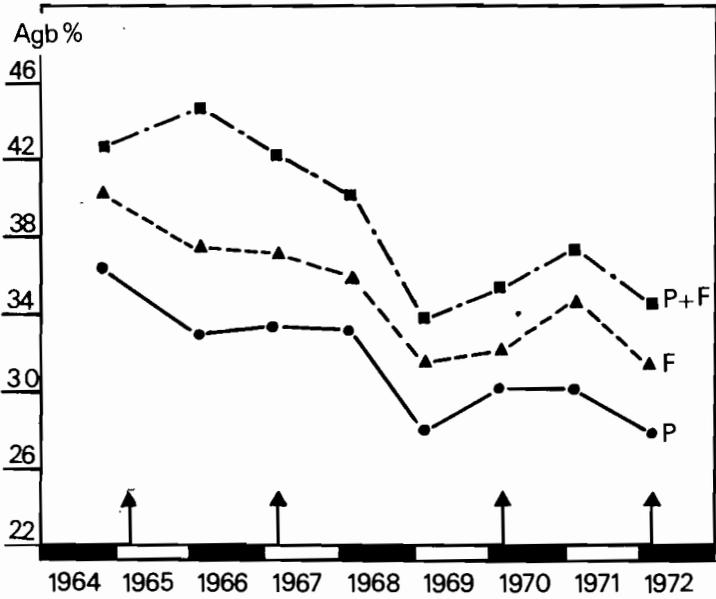
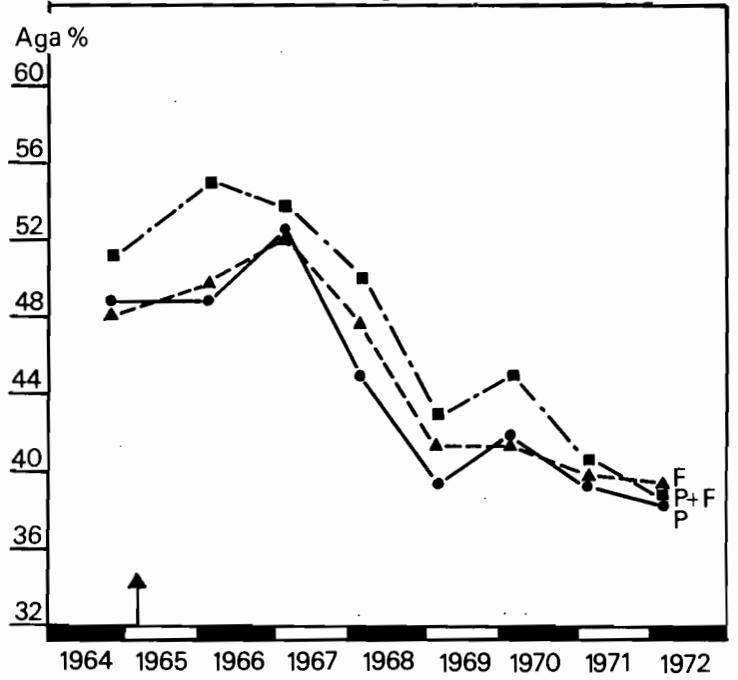


figure 42 • Evolution de la structure. Essai en bananeraie Azaguié.

I = Apports d'amendements organiques de 1958 à 1972.

II = Suppression des amendements organiques à partir de la replantation de 1967.

Les flèches indiquent la date des apports organiques. Sables grossiers % = 29 ± 2.

5 ans. Il faut noter, toutefois, que les différences ne sont significatives à la probabilité 5 p. 100 que jusqu'en 1968.

Les taux d'agrégats stables à l'eau, après prétraitement ou sans prétraitement, indiquent que la dégradation de la structure, au cours des années, est due à la fois à une diminution de la cohésion, appréciée par les taux d'agrégats stables à l'eau après prétraitement à l'alcool et à un accroissement de la mouillabilité, appréciée par les taux d'agrégats stables à l'eau après prétraitement au benzène.

5.1.2. Relation entre la structure et la teneur en matière organique.

L'étude des corrélations pour chacune des années, entre la teneur en carbone total et les différents constituants de la structure (Aga, Age, Agb, A + L maxi., I_s) met nettement en évidence le rôle de la matière organique sur la structure du sol (tableau XLIII). Pour les sous-traitements "b", dans lesquels on apporte un amendement organique à chaque replantation, les coefficients de corrélation "r" sont toujours supérieurs à 0,47 qui correspond au seuil de probabilité 0,05 ; Ils sont généralement supérieurs à 0,7. Dans les sous-traitements "a", dans lesquels on a supprimé les amendements organiques, les corrélations sont beaucoup moins étroites. A partir de 1969, il n'y a plus que des corrélations extrêmement lâches ou nulles, entre la teneur en carbone et les taux d'Age et d'Agb, de même qu'avec la dispersion des éléments fins (A + L maxi.). Les valeurs de "r" pour les agrégats alcool et pour l'indice "I_s", bien que significatives (P = 0,05), sont assez faibles : 0,5 à 0,6.

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 (valeurs de "r" généralement voisines). Le fait que la teneur en carbone lié, dans les différents traitements, soit sensiblement proportionnelle à la teneur en carbone total (76 à 80 p. 100), explique les faibles différences entre les valeurs de "r" et ne permet pas de tirer des conclusions quant au 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 du sol. En revanche, l'étude dans le temps montre nettement l'action des facteurs extérieurs sur l'évolution de la structure. Alors que les niveaux en carbone et en azote organique varient peu, pour un même traitement, au cours des années, la stabilité structurale diminue d'années en années. La résultante des facteurs favorables (matière organique) et défavorables (conditions de milieu créées par la culture) est donc en faveur de ces derniers, même dans le cas d'apport d'amendement organique.

Une autre différence concerne la comparaison entre les traitements "paillis" et "fumier". Pour une même teneur en matière organique totale, le fumier donne au sol une structure plus stable que le paillis. Cette différence est également très nette dans le sous-traitement "a" après suppression des apports d'amendements organiques. Pour des teneurs en

carbone égales ou même légèrement inférieures, les parcelles qui ont reçu anciennement du fumier ont une meilleure structure que les autres. Ces observations sont à rapprocher de celles faites précédemment, à savoir qu'à partir de 1969, il n'y a plus de corrélations étroites dans le sous-traitement "a", entre la teneur en matière organique et la structure. Ces résultats suggèrent que la matière organique produite à partir du fumier a une action plus favorable, sur la structure, que celle formée avec les résidus végétaux du bananier.

5.1.3. Comparaison avec le sol de forêt

L'action défavorable de la culture, sur la stabilité structurale, apparaît nettement quand on compare les valeurs de I_s et les taux d'agrégation avec ceux du même sol sous forêt. Seul l'apport de "paillis + fumier" permet de conserver au sol cultivé une structure équivalente au sol forestier (tableau 35). L'étude des différentes fractions agrégées permet d'attribuer cette diminution de la stabilité, plus à une augmentation de la mouillabilité qu'à une diminution de la cohésion.

Tableau 35 : Comparaison de la structure sous forêt et sous bananeraie (moyenne des 4 dernières années).

	FORET	BANANERAIE				p. p. d. s.
		Témoin	Paillis	Fumier	Paillis + fumier	5 %
I_s	1,16 (100)	2,49 (214)	2,57 (222)	1,55 (142)	1,03 (89)	0,23
Aga vrais %	13,1 (100)	10,2 (78)	12,2 (93)	13,8 (105)	19,6 (150)	2,4
Age vrais %	7,0 (100)	3,0 (43)	3,8 (54)	5,4 (77)	9,1 (130)	1,6
Agb vrais %	6,2 (100)	1,7 (27)	2,4 (39)	3,7 (60)	7,0 (113)	1,4

Pour des teneurs en matière organique totale égales ou même inférieures, la structure est beaucoup plus stable sous forêt que sous bananeraie. Les résultats du tableau 36 qui mettent en parallèle, pour une même date de prélèvement, les valeurs de I_s d'échantillons prélevés sous forêt et dans les parcelles "paillis" de bananeraie, choisis pour leurs teneurs en carbone très voisines, illustrent bien la diminution de la stabilité de la structure sous bananeraie.

Pour obtenir sous bananeraie une stabilité de la structure identique à celle du sol de forêt, il est nécessaire d'élever très fortement la teneur en matière organique du sol, ce qui n'est obtenu que dans le traite-

ment "paillis + fumier". Les résultats du tableau 37, qui comparent les teneurs en carbone total d'échantillons de forêt et de bananeraie d'indice d'instabilité identique, indiquent que pour compenser la baisse de stabilité de la structure due à la mise en culture, il faut élever la teneur en carbone du sol de 1,3 à 2 fois par rapport au sol de forêt.

Tableau 36 : Comparaison de l'indice d'instabilité sous forêt et sous bananeraie dans des échantillons de même teneur en carbone total.

	1970		1972		
Forêt	1,25 (100)	1,35 (100)	1,12 (100)	1,39 (100)	1,50 (100)
Bananeraie	2,65 (212)	2,27 (168)	3,00 (268)	3,39 (286)	3,12 (208)

Tableau 37 : Comparaison des teneurs en carbone total (%) sous forêt et sous bananeraie dans des échantillons d'indice d'instabilité identique.

	1970	1971			1972		
Forêt	11,7 (100)	8,3 (100)	10,3 (100)	10,9 (100)	10,5 (100)	11,2 (100)	12,1 (100)
Bananeraie	16,8 (144)	16,0 (193)	20,9 (203)	21,5 (197)	16,2 (154)	20,1 (180)	16,2 (154)
"paillis + fumier"							

5.2. SOL EN CULTURE D'ANANAS

5.2.1. Comparaison entre les traitements et entre les années

Les résultats sont résumés dans le tableau XLIV et sur la figure 43.

L'indice d'instabilité est le plus élevé dans le traitement "témoin" et le plus faible dans le traitement "fumure minérale + fumure organique". Les traitements "fumure minérale" et "fumure organique" sont intermédiaires, ils ne diffèrent pas entre eux. L'étude des fractions agrégées (Aga, Age et Agb) ne met pas clairement en évidence l'action des traitements : les différences entre traitements ne sont généralement pas significatives et l'ordre des

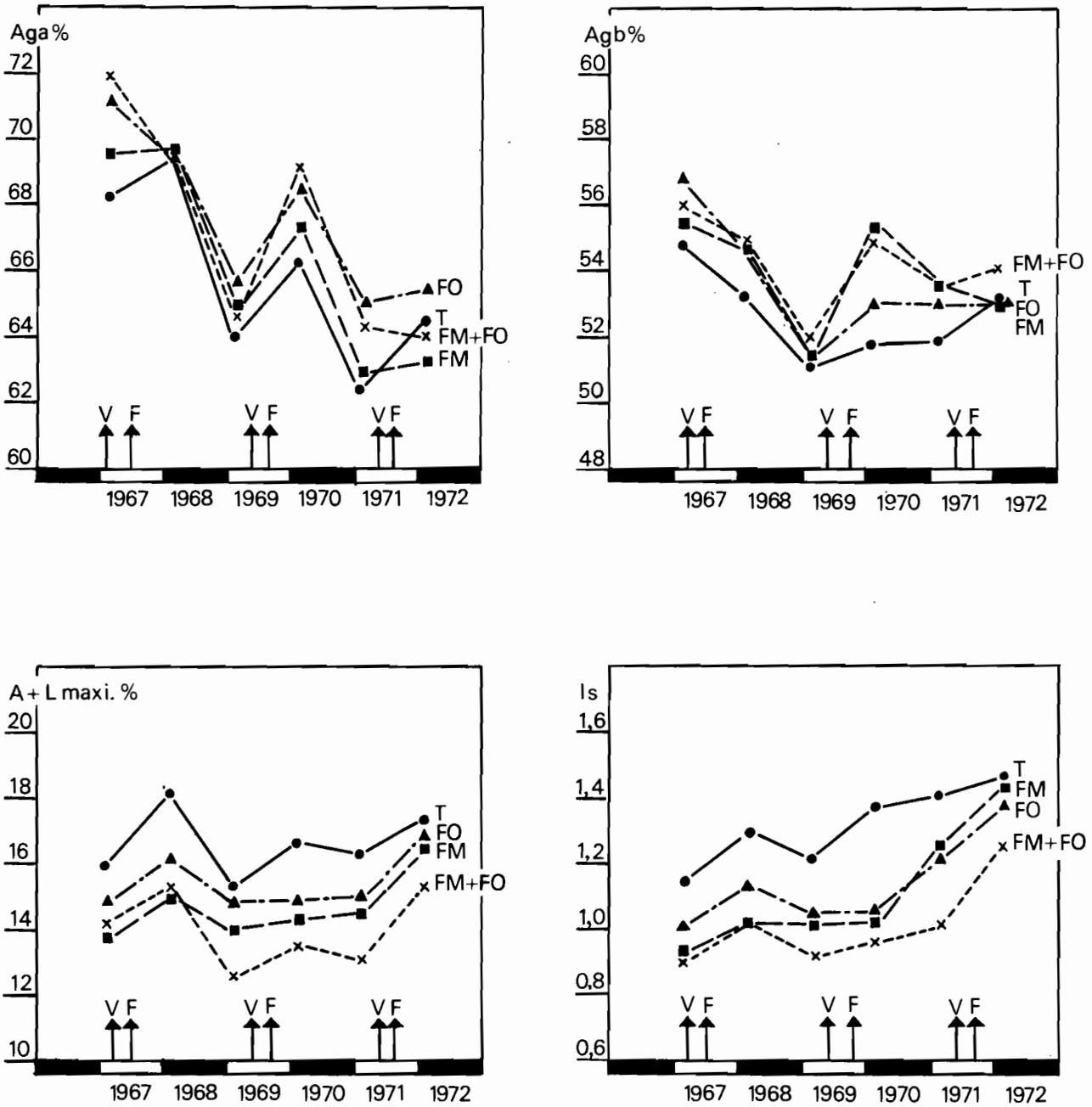


figure 43 • Evolution de la structure, Essai en culture d'ananas Anguédédou.

Les flèches indiquent la date des enrouissements de matière végétale (V) et de fumier (F).

Sables grossiers % = 51 ± 2 .

T = Témoin

FM = Fumure minérale

FO = Fumure organique

traitements assez variable d'une année à l'autre. Le test qui traduit le mieux la différence entre traitements est le taux de dispersion des éléments fins (A + L maxi.). Le traitement "témoin" a le taux de dispersion maximal et le traitement "fumure minérale + fumure organique" le taux minimal ; les deux autres traitements ont des taux intermédiaires.

L'étude des courbes d'évolution de I_s , entre 1967 et 1972, indique une augmentation de l'instabilité au cours des années. Cette dégradation de la structure est sensiblement d'égale importance dans les quatre traitements.

5.2.2. Relation entre la structure et la teneur en matière organique.

Pour une même date de prélèvement, l'étude des corrélations, entre la teneur en carbone total et les différents tests d'estimation de la structure, ne met pas en évidence de relations très étroites (tableau XLV). A l'exception des années 1970 et 1971 pour Aga et de 1970 pour Age, les résultats expérimentaux ne font pas apparaître de relations entre la teneur en matière organique et les différents tests de stabilité d'agrégats : Aga, Age, Agb. Le test de dispersion (A + L maxi.) donne une meilleure représentation de l'action de la matière organique, mais les coefficients "r" sont très variables d'une année à l'autre et généralement faibles. Malgré le peu de liaisons, entre la teneur en matière organique et ces différents tests considérés séparément, leur combinaison exprimée par l'indice d'instabilité : I_s indique, toutefois, une relation entre : matière organique et structure. Bien que significatifs à la probabilité 0,05, les coefficients de corrélation sont généralement faibles : 0,4 à 0,5, à l'exception des années 1970 et 1971 pour lesquelles "r" est de 0,80 et 0,85. Les valeurs de "r" calculées avec le carbone lié sont très voisines de celles du carbone total ; ce résultat est à rapprocher du fait que les proportions de C libre et C lié, par rapport au C total, sont très constantes dans les divers traitements.

Cette absence de corrélations, entre la teneur en matière organique et les taux d'agrégats stables, peut-être attribuée à la texture très sableuse du sol (S = 73 p. 100) et particulièrement à la teneur élevée en sables grossiers (51 p. 100). La proportion d'agrégats "vrais" est très faible par rapport aux agrégats totaux. Pour le test au benzène, les variations des taux d'agrégats "vrais" sont du même ordre de grandeur que celles des sables grossiers. A titre d'exemple, en 1972, la proportion d'agrégats "vrais" ne représente que 20 p. 100 (Aga), 10 p. 100 (Age) et 3,5 p. 100 (Agb) des agrégats totaux. L'indice I_s , faisant intervenir un facteur de correction ($Ag - 0,9 Sg$), permet seul de mettre en évidence une relation avec la matière organique. D'une façon générale, on sait que les tests de stabilité des agrégats donnent une meilleure représentation de l'état structural dans les sols à texture fine, que dans ceux à texture grossière.

Comme dans la bananeraie, l'évolution de la structure dans le temps est différente de celle de la matière organique. La stabilité structurale se dégrade de 1967 à 1972, alors que durant la même période les teneurs en carbone et en azote organique ne varient pratiquement pas.

Les différences, entre traitements, ne font pas apparaître nettement le rôle de la matière organique produite par le fumier sur la structure. Afin de préciser la valeur, comme amendements organiques, du fumier et des résidus de culture d'ananas, nous avons comparé deux à deux, chaque fois que cela a été possible, les indices d'instabilité de parcelles ayant des teneurs en C total identique. Nous avons pu constituer ainsi 18 couples formés par comparaison entre les traitements "témoin" et "fumure organique" d'une part, "fumure minérale" et "fumure minérale + fumure organique" d'autre part. Dans les traitements "témoin" et "fumure minérale", la matière organique a uniquement pour origine les restitutions par la plante, dans les deux traitements avec fumier la matière organique du sol provient de deux sources : fumier et résidus de culture. Dans 72 p. 100 des cas, les parcelles qui ont reçu du fumier ont, pour une même teneur en C total, un indice I_s plus faible que celles dont la matière organique provient uniquement des résidus de récolte. Bien que faible, la différence entre les moyennes (1,24 et 1,12) est significative à une probabilité supérieure à 0,01. Il est, toutefois, peu probable qu'une différence de cet ordre ait une signification agromonomique.

5.2.3. Comparaison avec le sol de forêt

La comparaison, entre le sol en culture et le sol forestier, montre que dans le sol cultivé l'indice d'instabilité est deux à deux fois et demie plus élevé qu'en forêt (tableau 38). L'apport de fumier améliore la structure mais les quantités apportées (40 à 50 t/ha/cycle) ne sont pas suffisantes pour compenser les effets de la culture. La diminution relative des taux d'agrégats stables à l'eau dans le sol cultivé, par rapport au sol forestier, est beaucoup plus élevée pour les Agb que pour les Aga : 70 à 80 p. 100 contre 20 à 30 p. 100. Les Age sont intermédiaires : 35 à 50 p. 100.

Tableau 38 : Comparaison de la structure sous forêt et sous culture d'ananas (moyenne des 4 dernières années).

	FORET	CULTURE D'ANANAS				p. p. d. s.
		Sans fumure	Fumure minérale	Fumure organique	Fumure minérale + orga.	
I_s	0,57 (100)	1,34 (235)	1,23 (216)	1,19 (209)	1,03 (181)	0,10
Aga vrais %	18,8 (100)	14,1 (75)	13,2 (70)	15,3 (76)	15,0 (80)	0,8
Age vrais %	12,7 (100)	7,4 (58)	7,2 (49)	7,8 (62)	8,4 (66)	0,8
Agb vrais %	7,4 (100)	1,7 (22)	2,2 (30)	2,0 (27)	2,8 (31)	0,6

Afin de préciser la part de la baisse de teneur en matière organique dans le sol cultivé, sur la dégradation de la structure, il est nécessaire de comparer des valeurs de I_s , sous culture et sous forêt, pour une même teneur en matière organique. Comme nous l'avons fait pour l'étude de la capacité d'échange, une estimation des valeurs de I_s , pour des teneurs en C total dans le sol en culture équivalentes aux teneurs sous forêt, peut être faite d'après les équations des droites de régression entre C total et I_s , calculées avec les résultats des 24 parcelles de l'essai. La comparaison est faite sur les résultats des années 1970 et 1971, années pour lesquelles les coefficients "r" sont élevés : - 0,80 et - 0,85 ($P < 0,01$).

Tableau 39 : Comparaison de l'indice d'instabilité sous forêt et sous culture culture d'ananas dans des échantillons de même teneur en C total.

	1970			1971		
Forêt : valeur expérimentale	0,52 (100)	0,55 (100)	0,57 (100)	0,56 (100)	0,65 (100)	0,72 (100)
Ananas : valeur calculée	0,66 (127)	0,64 (116)	0,57 (100)	0,60 (107)	0,72 (111)	0,66 (92)
<u>1970</u>						
$I_s = - 0,118 C \text{ ‰}$						
+ 2,42						
<u>1971</u>						
$I_s = - 0,116 C \text{ ‰}$						
+ 2,43						

La comparaison des résultats du tableau 39 indique qu'à teneur égale en C total, l'indice d'instabilité est en moyenne supérieure de 10 p. 100 dans le sol cultivé.

6. ETUDE DE LA PRODUCTIVITE

Les essais de fertilisation organique permettent de juger de l'effet global des amendements sur la production. Ces effets sont divers, l'incorporation de fumier à un sol modifie l'ensemble des caractéristiques du sol : matière organique, structure, propriétés hydriques et chimiques. Il est donc difficile, lorsque des apports d'amendements organiques se traduisent par une augmentation de la production, de dissocier l'action spécifique des divers facteurs responsables de l'amélioration.

6.1. BANANIER

6.1.1. Résultats

L'étude des premiers cycles a porté sur le poids moyen des régimes et sur le rendement à l'hectare. A partir de la replantation de décembre 1964, les observations agronomiques ont été, également, limitées

à la mesure de la circonférence des stipes. On sait qu'il existe une corrélation étroite entre le poids des régimes et la circonférence des stipes mesurée au stade floraison à un mètre au-dessus du sol (LOSSOIS, 1963). Cette corrélation a été vérifiée dans cet essai ; le coefficient "r" calculé est de 0,90 et l'équation de la droite de régression : $y = 0,58 x - 7,16$ (y = poids des régimes en kg, x = circonférence des stipes en cm).

A la première révolution, le poids moyen des fruits et le rendement sont significativement supérieurs dans le traitement "paillis seul" par rapport aux traitements "fumier" et "paillis + fumier". A partir de la deuxième révolution, aucune différence ne se manifeste entre ces trois traitements, les résultats sont extrêmement voisins et homogènes dans les diverses parcelles (tableau 40).

Lors de la première révolution (1958 - 1961), la bananeraie n'était pas irriguée et les apports d'engrais azotés plus faibles (400 kg au lieu de 600 kg/ha/an à partir de la deuxième révolution). Il est vraisemblable qu'en présence d'un déficit hydrique et d'une fumure azotée insuffisante la minéralisation du fumier a été longue et la teneur en azote minéral du sol insuffisante, pour assurer l'alimentation du bananier. A partir de 1961, les deux facteurs limitants : déficit d'alimentation en eau et en azote étant éliminés, les trois traitements donnent des résultats identiques. En revanche, la suppression de tout apport organique, dans certaines parcelles à partir de la quatrième révolution (témoin), entraîne une diminution de la production, mais qui se manifeste uniquement sur le premier cycle.

6.1.2. Discussion des résultats

L'amélioration de la structure dans les traitements "fumier", par rapport au traitement "paillis seul" ou de la teneur en matière organique et de la structure dans le traitement "paillis + fumier", par rapport aux traitements "fumier seul" et "paillis seul", ne se traduit pas par une augmentation de la productivité. L'étude des caractéristiques chimiques, faite conjointement (GODEFROY, 1969), ne fait pas apparaître de différences importantes entre les traitements, à l'exception du phosphore total et assimilable qui est plus élevé dans les traitements "fumier". Les teneurs en cet élément étant supérieures, dans tous les traitements, au niveau critique, cet effet du fumier n'a pas d'incidence sur la production. On observe, également, une tendance à une augmentation des teneurs en calcium et en magnésium échangeables dans les trois traitements avec amendements organiques, par rapport au traitement "témoin", mais les différences sont généralement faibles et non significatives.

L'absence de relation, entre la productivité et l'amélioration extrêmement importante de la stabilité structurale dans le traitement "paillis + fumier", surprend d'autant plus que la structure du sol est médiocre. Doit-on considérer que des rendements de 40 tonnes de régimes à l'hectare par cycle constituent le potentiel maximal de production dans les conditions écologiques où est réalisé l'essai, ou existe-il un facteur limitant qui annule les effets de l'amélioration du sol dûs aux apports élevés d'amendements organiques ? Les rendements obtenus avec la variété Poyo, dans d'autres pays,

Tableau 40 : Etude agronomique. Essai en bananeraie Azaguié.
Les rendements (Rdt.) sont exprimés en t/ha, les poids moyens des régimes (P.M.) en kg, les circonférences des stipes (C.) en cm.

Traitements	Témoin	Paillis	Fumier	Paillis + Fumier	p.p.d.s 5 %	Coef. de va- riation (%)
<u>1^{ère}. révolution (1)</u>						
Rdt. 1 ^{er} . cycle		43,1	39,1	39,6	2,7	
P.M. 1 ^{er} . cycle		17,5	15,7	16,3	1,0	
<u>2^{ème}. révolution</u>						
Rdt. 1 ^{er} . cycle		41,9	41,4	42,8	N.S	5,5
P.M. 1 ^{er} . cycle		17,4	17,8	17,8	N.S	4,2
Rdt. 1 ^{er} . et 2 ^{ème} . cycles cumulés		76,1	77,7	75,9	N.S	8,1
P.M. 1 ^{er} . et 2 ^{ème} . cycles cumulés		18,7	19,3	18,7	N.S	4,1
<u>3^{ème}. révolution</u>						
C. 1 ^{er} . cycle		48,3	49,3	48,6	N.S	4,0
C. 2 ^{ème} . cycle		49,6	49,6	47,7	N.S	5,3
<u>4^{ème}. révolution</u>						
P.M. 1 ^{er} . cycle	21,9	24,9	23,3	23,6	1,6	5,9
C. 1 ^{er} . cycle	50,5	54,3	52,4	53,1	1,8	2,9
C. 2 ^{ème} . cycle	49,1	50,8	48,8	49,8	N.S	4,1
C. 3 ^{ème} . cycle	48,9	49,6	48,9	47,8	N.S	4,6
<u>5^{ème}. révolution</u>						
C. 1 ^{er} . cycle	43,4	47,5	45,6	47,5	2,2	4,1
P.M. 1 ^{er} . cycle	19,1	20,9	21,1	20,2	N.S	10
C. 2 ^{ème} . cycle	46,0	47,4	46,0	45,8	N.S	5,2

(1) Révolution = intervalle de temps entre deux replantations.
1^{er}. à 3^{ème}. révolution densité = 2.500 bananiers/ha, 4^{ème}. et
5^{ème}. = 2.000 bananiers/ha.

prouvent qu'une production de 40 t/ha peut être largement dépassée. On a de fortes raisons de penser qu'il existe un facteur limitant causé par les nématodes des racines, qui réduisent considérablement l'activité du système racinaire des bananiers, les nématicides utilisés, actuellement, ne permettant pas un contrôle suffisamment efficace de ces parasites. L'absence de réponse du bananier à une amélioration des caractéristiques chimiques du sol est, également, observée dans les essais de fertilisation minérale. L'arrivée sur le marché de nouveaux nématicides plus efficaces devrait permettre, en même temps que d'assainir le système racinaire de la plante, de valoriser les améliorations de structure produites par les amendements organiques.

Dans un essai réalisé en Guinée (CHAMPION et DUGAIN, 1958), dans lequel les traitements comparés étaient : (1) témoin ne recevant aucun apport organique autre que les résidus de bananiers laissés sur place, (2) paillis : 120 t/ha/an, (3) compost : 100 t/ha/an, (4) traitement mixte : 100 t de compost + 60 t de paillis, les tonnages obtenus à la deuxième révolution (31 mois), après 5 années d'apports furent les suivants : sol nu 99 t/ha (100), paillis : 101 t/ha (102), compost 109 t/ha (110), compost + paillis : 109 t/ha (110). Dans ce même essai les teneurs en carbone total étaient en valeur indicative après 7 années de traitements de : 100 (T), 116 (P), 125 (C) et 132 (C + P) (p.p.d. s. 5 p. 100 = 11).

6.2. ANANAS

6.2.1. Résultats

Les rendements les plus élevés sont obtenus avec la fumure organo-minérale. Les plus faibles correspondent à la culture sans fertilisation. Les traitements avec fumure minérale seule ou fumure organique seule ont des productions voisines (tableau 41). En absence de toute fertilisation, il est possible d'obtenir une production satisfaisante pendant deux cycles de culture après déforestation, ensuite le rendement baisse très rapidement, les fruits récoltés sont petits et peu intéressants pour l'usinage. L'apport de fumure minérale + fumure organique permet un accroissement de la production de 10 à 15 t/ha par rapport à la fumure minérale ou à la fumure organique seule. La fumure organique diminue la précocité, mais augmente l'acidité des fruits, ce qui est considéré comme une amélioration de la qualité pour la conserverie.

6.2.2. Discussion des résultats

Contrairement à l'essai en bananeraie, on observe dans cette expérimentation une bonne relation entre la productivité et les caractéristiques structurales et organiques du sol. L'action des traitements, sur la composition chimique du sol et sur la nutrition minérale de la plante, intervenant également sur la production, il est difficile d'apprécier le rôle spécifique de la matière organique et de la structure sur les rendements. Il semble, toutefois, que l'amélioration de la qualité (augmentation de l'acidité des fruits) soit en relation avec l'apport de matière organique.

Tableau 41 : Etude agronomique. Essai en culture d'ananas Anguédédou.
Les rendements sont exprimés en t/ha et les poids moyens
des fruits (P.M.) en g.

Traitements	Sans Fumure	Fumure minérale	Fumure organi- que	Fumure miné. + orga.	p.p.d.s 5 %	Coef. de va- riation (%)
<u>1er. cycle</u>						
P.M. des fruits	1.723	1.904	2.031	2.019	-	-
Rendement	88,4	97,6	104,2	103,5	-	-
<u>2è. cycle</u>						
P.M. des fruits	1.627	1.791	1.783	1.765	-	-
Rendement	83,4	91,8	91,4	90,5	-	-
<u>3è. cycle</u>						
P.M. des fruits	906	1.569	1.247	1.550	-	-
Rendement	45,6	78,0	63,2	77,8	-	-
<u>4è. cycle</u>						
P.M. des fruits	885	1.946	1.518	2.061	109	5,5
Rendement	45,1	99,8	77,9	105,5	5,6	5,5
<u>5è. cycle</u>						
P.M. des fruits	887	1.671	1.695	1.938	113	5,9
Rendement	45,3	85,2	85,7	97,9	6,2	15
<u>6è. cycle</u>						
P.M. des fruits	590	1.239	1.181	1.521	86	6,2
Rendement	29,3	61,5	60,5	75,3	4,5	6,5

L'étude de l'évolution des propriétés chimiques du sol, depuis la déforestation (GODEFROY et al, 1972), a montré l'intérêt qu'il y aurait, pour maintenir le potentiel de fertilité chimique du sol au niveau où il se trouve immédiatement après la déforestation, à pratiquer une fertilisation organique à partir du troisième ou quatrième cycle. La fumure minérale seule (N - K - Mg) donne des rendements identiques à la fumure organique seule mais elle appauvrit davantage le sol.

7. DISCUSSION ET CONCLUSION DES ETUDES DANS LES CONDITIONS NATURELLES

Dans les conditions naturelles, les teneurs en matière organique des sols en culture d'ananas ou de bananier varient peu, au cours des 12 et 14 années étudiées, à moins qu'interviennent des modifications des techniques culturales, par exemple : l'apport ou la suppression d'un amendement organique. Dans ce cas, un nouvel "équilibre" s'établit dès la deuxième ou la troisième année suivante.

Les teneurs en matière organique des sols en culture peuvent être plus faibles que sous forêt, comme nous l'observons sur sol ferrallitique issu de sables argilo-ferrugineux, mais les écarts ne s'amplifient pas au cours des années. Cette conclusion est confirmée par l'évolution des teneurs en matière organique dans les plantations ivoiriennes d'ananas et de bananier, qui font l'objet d'analyses de sol régulières depuis plus de 10 années.

Le fait que les essais sur bananier et ananas soient situés sur des sols de caractéristiques physiques et chimiques différentes et que les forêts d'Azaguié et d'Anguédedou, prises comme référence, ne soient pas du même type, rend difficile la comparaison entre les deux cultures. Dans les conditions écologiques où ont été réalisées ces études, la matière organique du sol de bananeraie est plus polymérisée que celle du sol en culture d'ananas : taux d'extraction et rapport AF/AH plus faibles, rapport C humine/C total supérieur. Les études sur modèles ont mis en évidence la même tendance, mais dans les sols en culture les différences sont plus accentuées, du fait de l'enrichissement en calcium des sols de bananeraie par la fertilisation minérale.

En relation avec l'évolution de la teneur en matière organique, la capacité d'échange cationique des sols en culture varie peu au cours des années. Cette caractéristique est toujours en corrélation très étroite avec la teneur en matière organique.

Pour chacune des années étudiées, nous avons montré qu'il y avait, dans les sols cultivés, une relation entre la teneur en matière organique et la stabilité structurale, relation matérialisée par les valeurs élevées des coefficients de corrélation. En revanche, l'évolution de la structure, au cours des années de culture, est très différente de celle de la matière organique : la stabilité structurale diminue, alors que la teneur en matière organique reste à un niveau pratiquement constant. Cette action défavorable de la culture apparaît nettement, quand on compare les valeurs de I_s et les taux d'agrégation avec ceux du même sol sous forêt. Pour des teneurs identiques

en matière organique, la structure est beaucoup plus stable sous forêt qu'en sol cultivé. Dans ce cas, l'étude "instantanée" de la répartition des différents composés humiques, dans les sols en culture et sous forêt, ne permet pas d'expliquer la meilleure structure des sols forestiers. Dans le sol ferrallitique sur schistes, la comparaison est plutôt en faveur du sol de bananeraie : teneur plus faible en acides fulviques et plus élevée en acides humiques que sous forêt, d'où un rapport AF/AH moitié plus faible sous bananeraie ; taux d'extraction plus faible et rapport C humine/C total légèrement plus élevé que sous forêt. Une meilleure compréhension des phénomènes nécessite d'aborder le problème sous un aspect dynamique.

Parmi les causes permettant d'interpréter les modifications de l'état structural, dans les sols en culture, nous citerons celles qui nous paraissent les plus importantes. Nous distinguerons : les facteurs liés à l'évolution de la matière organique, les facteurs biologiques et les facteurs extérieurs.

a) Facteurs liés à l'évolution de la matière organique

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 de la structure 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 résidus végétaux laissés par la forêt, est au contraire discontinu et massif. Comme nous l'avons exposé au chapitre I, la totalité des résidus de culture d'ananas, à l'exception des racines, est incorporée au sol tous les 20 ou 24 mois. Pour le bananier, l'apport des résidus est étalé sur une période de 4 mois par an. Dans ces conditions la biodégradation est très irrégulière. A des périodes de très forte activité microbologique 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, la fertilisation minérale, 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 matière organique fraîche dont le stade final est un humus relativement stable, à action plus faible sur la structure que les produits intermédiaires mais 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.

b) Facteurs biologiques

Il s'agit essentiellement de l'effet défavorable de la culture sur la diminution de la densité des vers de terre. Dans les sols forestiers, leur activité intense est un facteur d'amélioration de la structure (BACHELIER, 1963). Cette diminution de l'activité des vers de terre dans les sols cultivés est nettement mise en évidence, lorsque l'on compare les quantités de rejets de surface sous culture et sous forêt. Les évaluations faites par ROOSE à Azaguié (communication orale) sont de 20 t/ha/an sous forêt ; sous bananeraie non paillée il n'y a quasiment pas de turricules. L'utilisation, de plus en plus répandue des pesticides ne fera qu'accentuer la régression des populations de vers. Le paillis, en revanche, favorise leur prolifération.

c) Facteurs extérieurs

Les fortes précipitations ont une action beaucoup plus défavorable en sol cultivé qu'en sol forestier. Sous forêt, le sol est protégé par une couverture végétale dense et permanente et par la litière, les gouttes d'eau arrivent au sol avec une faible énergie cinétique. L'agressivité des pluies est beaucoup plus forte sur les sols cultivés, en particulier aux périodes des replantations où le sol, fraîchement labouré, n'est protégé par aucune végétation. L'ananas dont la fréquence des replantations est plus élevée que celle du bananier est en ce sens plus vulnérable à l'action des précipitations. L'effet d'impact des gouttes d'eau entraîne une destruction des agrégats et une dispersion des éléments fins ; la porosité du sol, en particulier la macroporosité, diminue et la compacité augmente. Lorsque le sol n'est pas parfaitement plat, ce qui est le cas de la bananeraie d'Azaguié, la pente variant entre 4 et 9 p. 100, on observe les phénomènes d'érosion. L'intensité de l'érosion, au cours des 18 années de culture, peut être appréciée par la quantité de graviers et de cailloux dans le sol de la bananeraie. Sous forêt la proportion d'éléments grossiers est de 1 à 2 p. 100 de la masse du sol, dans la bananeraie la proportion moyenne est de 20 p. 100 avec des variations de 6 à 44 p. 100 dans les 36 parcelles de l'essai. De 1964 à 1972 la proportion de graviers est passée de 13 à 20 p. 100.

A l'action des précipitations s'ajoute, en culture bananière, celle de l'irrigation. La forte densité (2000 plants/ha) et la hauteur des bananiers (3 à 4 m) oblige à irriguer par aspersion au-dessus de la frondaison, avec des irrigateurs fonctionnant à haute pression. Bien que des progrès aient été faits sur le matériel, au cours des dix dernières années, l'hétérogénéité de la répartition et de la taille des gouttes d'eau projetées par le canon d'irrigation est élevée, ainsi que l'énergie cinétique des gouttes arrivant au sol. Nous avons d'ailleurs observé, dans une parcelle expérimentale de la station (ROOSE, GODEFROY, 1967) que le ruissellement et l'érosion provoqués par l'irrigation, sont proportionnellement supérieurs à ceux observés sous pluies naturelles. Les matériaux transportés sont plus grossiers et la turbidité des eaux plus élevée : l'érosion a tendance à prendre la forme d'érosion en rigole.

A l'action défavorable des pluies sur le sol en culture, s'ajoute le tassement du sol dû aux nombreux passages de la main-d'oeuvre, dont les effets sont nets sur la diminution de la porosité. La réalisation des différents travaux culturaux : épandages fractionnés des engrais, désherbages, traitements anti-parasitaires, et pour le bananier : oeilletonnage, tuteurage, ensachage des régimes etc ... nécessite une trentaine de passages par an dans la bananeraie et une quinzaine en plantation d'ananas. Dans le cas de culture d'ananas mécanisée, le nombre de passages est réduit du fait qu'un passage de tracteur enjambeur permet de traiter cinq ou sept rangs à la fois.

Le paillis exerce une action protectrice entre le tassement provoqué par les précipitations, l'irrigation et le passage des ouvriers, mais compte tenu de la minéralisation très active de la matière organique en région tropicale humide, son action est limitée à une période de 6 mois.

L'action des labours n'a pas été étudié sur le plan de la structure du sol, on sait seulement que leur action est bénéfique sur le développement de la végétation et les rendements. ROOSE (1973), expérimentant sur sol ferrallitique issu de sables argilo-ferrugineux, observe qu'un bon travail du sol augmente sa macroporosité mais réduit sa cohésion. Il diminue durant 3 à 4 semaines les phénomènes d'érosion mais les augmente à long terme, à moins que l'accroissement du couvert végétal qui en découle, ne vienne compenser l'augmentation de la détachabilité du sol. Cet effet du labour peut être attribué à une minéralisation secondaire de la matière organique.

La fumure organique peut pallier aux effets défavorables de la culture sur la structure mais son prix de revient, dans les régions qui ne sont pas traditionnellement orientées vers l'élevage, en limite dans certains cas la rentabilité. L'action du fumier sur la teneur en matière organique et sur la structure est maximale quand on y associe le paillis. L'interaction des deux est supérieure à la somme : effet paillis + effet fumier. Il est donc préférable de faire des apports de fumier moins importants avec du paillis, que des apports élevés sans paillis.

CONCLUSION GENERALE

Le but essentiel de ce travail est d'étudier l'évolution quantitative et qualitative de la matière organique et celle de la structure du sol, sous culture continue du bananier et de l'ananas. Conjointement nous avons étudié l'action des amendements organiques : pailis et fumier sur ces caractéristiques et sur la productivité.

Les études ont porté sur des sols ferrallitiques en culture depuis 18 (bananier) et 12 années (ananas). Ces sols étant situés en lisière de forêt il nous a été possible, en comparant leurs caractéristiques actuelles à celles du même sol forestier, de mieux comprendre le sens de l'évolution de la matière organique.

A partir d'un certain nombre d'études sur modèles réalisées in situ et in vitro, nous avons cherché à dégager des règles d'action difficiles à mettre en évidence dans les études de plein champ, en raison de l'interférences de nombreux facteurs.

Après obtention d'un nouvel "équilibre" succédant au défrichement de la forêt, la culture industrielle du bananier et de l'ananas, n'abaisse pas le taux de matière organique du sol. Ce nouvel équilibre, qui est fonction de nombreux facteurs tels que : nature des résidus de culture et mode de restitution, texture et type d'argile du sol, techniques culturales : fertilisation minérale ou organique, irrigation, labour etc..., s'établit dans les deux ou trois années qui suivent la destruction de la forêt. Ce fait est important à souligner, car il montre qu'en culture bien conduite, le sol ne s'appauvrit pas en matière organique au cours des années de culture. Il faut remarquer que les deux plantes mentionnées ont pour caractéristique commune, lorsqu'elles sont cultivées intensivement, de laisser 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.). On observe, en revanche, que dans les conditions écologiques tropicales la cinétique de la biodégradation des résidus végétaux est très rapide et que les stades "transitoires" de l'humification, les plus favorables à la formation d'agrégats stables, sont très courts.

Après un enrichissement du sol en matière végétale de bananier ou d'ananas, une fraction importante de la matière organique résiduelle est constituée de composés non extractibles aux réactifs alcalins (humine au sens large). Les travaux de PERRAUD, JACQUIN et NGUYEN KHA (1971) ont montré qu'une proportion relativement importante de l'humine des sols ferrallitiques était constituée de matière organique fraîche ou peu évoluée "sequestrée" par les sesquioxides. Cet état de la matière organique peut expliquer la "stabilité" de la teneur dans les sols en culture, malgré une cinétique rapide des processus d'évolution.

Contrairement à la teneur en matière organique, la structure des sols cultivés se dégrade au cours des années. Les modalités d'évolution de la matière organique, et les conditions agressives du climat (pluies de

forte intensité) permettent de mieux comprendre les causes de la faible stabilité structurale des sols cultivés tropicaux et particulièrement des sols ferrallitiques. Une exception concerne les sols bruns eutrophes tropicaux dont un exemple nous est donné à la station IFAC du Cameroun. Après plus de 15 années de culture, le sol a une belle structure grumeleuse très stable ($0,2 \leq I_s \leq 0,4$). Dans ce sol, à texture argilo-limono-sableuse et à argile kaolinitique associée à une substance amorphe du type allophane, la teneur en matière organique est élevée : 25 à 30 p. 100 de C. (composés "allophane-humus" relativement stables). Malgré une forte capacité d'échange : 35 mé/100 g, le complexe absorbant est bien saturé : 70 à 80 p. 100, dont 60 à 70 p. 100 par l'ion Ca^{++} , et le pH est faiblement acide : 6,0 à 6,5. Les caractéristiques biochimiques et physico-chimiques sont donc favorables à une bonne agrégation et au maintien de la stabilité structurale.

La meilleure structure des sols forestiers nous semble due, davantage au mode de restitution des résidus végétaux et à une cinétique différente de la biodégradation, qu'à une évolution de la matière organique fondamentalement différente de celle des sols cultivés. Sous forêt, l'apport quasi continu de litière permet une biodégradation progressive et la production quasi permanente de composés transitoires de l'humification favorables à la formation et au maintien d'une bonne agrégation. Les faibles amplitudes journalières et saisonnières de la température du sol, favorisent cette biodégradation "régulière". En culture d'ananas et bananière la restitution des résidus de culture est massive et discontinue. Pour l'ananas et pour le bananier, lorsqu'il s'agit d'une replantation, cet apport végétal se fait lorsque le sol n'est plus ombragé. C'est à cette période et dans les premiers mois qui suivent la replantation que l'on enregistre les écarts maximaux de température avec le sol forestier ; lors d'une journée très ensoleillée, la température maximum peut être supérieure de $14^{\circ}C$ en sol nu, par rapport au sol sous forêt. Les conditions optimales sont donc réunies pour que la biodégradation soit très rapide et irrégulière dans le temps.

Un second facteur favorable au maintien d'une bonne structure des sols forestiers est l'effet protecteur du couvert végétal et de la litière contre l'action dégradante des précipitations de forte intensité. En culture, le sol est à certaines périodes sans aucune protection végétale. Celles-ci correspondent aux époques d'enfouissement des résidus de récolte et de replantation, qui sont celles où la biodégradation et la production de produits transitoires sont les plus intenses. La période la plus favorable à la formation des agrégats est donc aussi celle où les effets dégradants des pluies sont maximaux.

Les différences entre les sols ferrallitiques issus de schistes (Azaguié) et ceux issus de sables argilo-ferrugineux (Anguédédou), ainsi qu'entre les deux types de forêt pris comme référence, ne permettent pas de comparer l'évolution du sol sous culture du bananier et de l'ananas. Sous forêt du type à Diospyros et Mapania (Azaguié), la teneur en matière organique de l'horizon 0 - 25 cm est de 25 p. 100 inférieure à celle sous forêt du type à Turreaanthus africanus et Heisteria parvifolia (Anguédédou). A Azaguié, après, 18 années de culture bananière, suivant les techniques prati-

quées dans les exploitations de type industriel, c'est-à-dire avec fertilisation minérale et irrigation, la teneur en matière organique est identique à celle sous forêt. A Anguédédou, après 12 années de culture avec fertilisation minérale seule, la teneur en matière organique est 35 p. 100 plus faible que sous forêt. Sur le même sol, dans une parcelle cultivée en bananier depuis 5 ans, après culture d'ananas de 6 ans, la diminution, par rapport au sol forestier est de 30 p. 100.

Les études sur modèles nous ont permis de comparer l'évolution des résidus de culture de bananier et d'ananas dans des conditions identiques.

Bien que biochimiquement, la composition de la matière végétale d'ananas ne soit pas très différente de celle du bananier (en particulier composition en lignine et cellulose voisine), leur différence de comportement lors de la biodégradation indique une différence de répartition entre les fractions facilement et peu biodégradables. La biodégradation des résidus de culture d'ananas est plus progressive et le rendement de transformation en humus est supérieur à celui du bananier. La matière végétale d'ananas libérant à la fois plus progressivement les produits transitoires, produisant plus de composés humifiés et de polysaccharides résiduels a une action plus durable sur la structure du sol que celle du bananier.

Dans les conditions de plein champ de nombreux facteurs interfèrent sur la biodégradation des résidus végétaux et sur la structure.

En bananeraie, le mode de restitution plus progressif des résidus de culture, qu'en plantation d'ananas, favorise une biodégradation plus régulière. D'autre part, les replantations moins fréquentes qu'en culture d'ananas maintiennent un couvert végétal quasi permanent, donc une température moyenne du sol plus faible ; ces conditions sont favorables à une biodégradation moins rapide de la matière organique. En revanche, l'irrigation, nécessaire 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'humidification 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. Ce rôle de la dessiccation est également mis en évidence dans notre expérience d'incubation in situ. En 1971, qui correspond à une année où la saison sèche a été particulièrement marquée, les teneurs en humine augmentent par rapport à 1970, puis on observe l'année suivante une biodégradation partielle. Les phases de dessiccation sont également favorables à la formation et à la stabilité des agrégats (COMBEAU et QUANTIN 1963, MONNIER 1965, GUCKERT 1973).

L'action dégradante des précipitations sur la structure, est plus importante en culture d'ananas, en raison des replantations plus fréquentes et du développement moins rapide de la couverture végétale après plantation

(ananas 5 à 6 mois, bananier 3 à 4 mois). En revanche, la pratique de l'irrigation, en bananeraie, est un facteur de dégradation de la structure, au même titre que les pluies.

Les fertilisants minéraux agissent différemment suivant leur composition. L'engrais azoté active la biodégradation des résidus végétaux et diminue le taux de matière organique résiduelle et la stabilité de la structure. Les engrais apportant des cations et particulièrement du calcium favorisent l'humification et la formation de composés carbonés polymérisés. Leur action sur la stabilité structurale est également positive, particulièrement sur la cohésion.

En culture, l'augmentation de la masse des résidus végétaux, due à la fumure azotée compense très largement son action défavorable. La fertilisation minérale du bananier qui apporte des amendements calcaires est plus favorable à l'humification et au maintien de la cohésion des agrégats que celle d'ananas.

Les études de la minéralisation de l'azote sur modèles, bien que réalisées dans des conditions différentes de celles de plein champ : sol différent (au moins dans le cas du sol de forêt choisi pour sa faible teneur en matière organique et très pauvre en germes nitrificateurs), enrichissement en matière végétale beaucoup plus élevé et incorporation très homogène avec le sol, enrichissement uniquement avec les parties aériennes, absence de plante, nous apportent des renseignements précieux. Elles confirment les observations faites en bananeraie : nitrification très active dans l'horizon humifère même à pH fortement acide et importance des pertes d'azote par lixiviation. Elles nous suggèrent les méthodes que l'on pourrait utiliser pour ralentir la nitrification : a) accroître la teneur du sol en azote ammoniacal, par placement localisé des engrais (technique utilisée en bananeraie), b) utiliser les phénomènes d'immobilisation dus à l'incorporation au sol des résidus végétaux, en localisant les enfouissements dans la zone d'application des engrais.

Nous retiendrons essentiellement que les sols étudiés nitrifient exagérément. Cette nitrification est à l'origine de pertes par lixiviation importante. Des techniques doivent être recherchées pour ralentir la nitrification et de nouveaux engrais azotés du type "urée polymérisée" de prix moins élevés que ceux du type "urée formol" doivent être expérimentés. Ces engrais azotés à "action lente" font actuellement l'objet d'études sur différentes stations de l'IFAC. Le fractionnement des apports d'engrais du type urée ou sulfate d'ammoniaque, largement pratiqué en culture d'ananas et de bananier (8 à 12 épandages/an) permet de réduire les pertes par lixiviation, mais insuffisamment.

Si on veut augmenter la productivité, une fertilisation minérale bien adaptée et des techniques culturales qui ne soient pas trop dégradantes permettront une rentabilité maximale. Néanmoins dans certains cas, cette fertilité passera par l'interaction avec la structure du sol. Dans ce cas, il nous faut retenir que ce n'est pas uniquement la quantité de matière organique apportée qui sera prépondérante mais également son comportement vis-à-vis de la biodégradation.

Il serait souhaitable d'apporter une matière organique libérant progressivement les composés transitoires, qui jouent un rôle essentiel : éphémère mais efficace sur la stabilité structurale. Nous aurons donc dans un ordre croissant d'activité sur la structure : résidus de culture de bananier, résidus de culture d'ananas, fumier.

Il y aurait intérêt, également, à fractionner davantage les apports de fumier de façon à "régulariser" la biodégradation et la libération des produits transitoires de l'humification. La technique d'apport utilisée dans nos essais, qui s'inspire de celle pratiquée dans les cultures des pays de climat tempéré, ne semble pas la meilleure. L'apport de fumier coïncide avec l'enfouissement des résidus de culture qui sont déjà très élevés pour le bananier (150 à 200 t/ha de M.F.) et pour l'ananas (100 à 120 t/ha). On apporte donc cet amendement organique, au moment où la biodégradation et la production de produits transitoires sont les plus intenses.

Pour le bananier, il serait techniquement possible de faire des enfouissements de fumier en cours de végétation de la même façon que pour les amendements minéraux : dolomie et scories. L'effet positif des amendements organiques : paillis ou fumier, par rapport au témoin, limité à la production de la première récolte montre bien leur action éphémère, même si celle-ci se traduit par une amélioration notable des tests d'agrégation. En revanche, l'apport de paillis 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, du fait de l'absence de couvert végétal. Cette technique, qui devrait être renouvelée annuellement, permet en outre une efficacité maximale des apports de fumier.

Pour l'ananas, il est techniquement beaucoup plus difficile de faire des apports de fumier en cours de végétation. Cette pratique se justifierait d'ailleurs beaucoup moins, puisqu'on replante tous les 20 à 24 mois, après récolte d'un fruit et d'un rejet et non après la récolte de trois ou quatre fruits comme en bananeraie. L'intervalle : plantation - récolte du fruit étant d'un an, il est plus important que l'amendement organique profite à la production du fruit qu'à celle du rejet. On observe, d'ailleurs, qu'en culture d'ananas les effets positifs du fumier sur la production sont beaucoup plus nets qu'en bananeraie, malgré des quantités apportées moins importantes.

La connaissance de l'évolution de la structure du sol, après un enfouissement de matière végétale, nous a conduit à préconiser une modification dans la technique des replantations d'ananas ; cette nouvelle technique est quasi généralisée actuellement. Jusqu'à une date récente, les replantations étaient faites deux à trois mois après l'enfouissement des résidus de la culture précédente. La justification de cette pratique était fondée sur la crainte d'un "blocage de l'azote" durant les quelques mois qui suivent l'enfouissement. Cette technique présentait l'inconvénient majeur de ne faire bénéficier la plante, que partiellement, de l'amélioration de la structure consécutive à l'apport végétal, le taux d'agrégats stables étant maximal durant les deux premiers mois de la biodégradation. A condition d'apporter une fumure azotée fractionnée dès le premier mois, il est donc préférable de replanter immédiatement après l'enfouissement des résidus du cycle précédent. La plante profite,

ainsi, au maximum des effets favorables sur la structure des produits transitoires de l'humification pour développer son système racinaire. Cette technique permet, également, de diminuer la période pendant laquelle le sol est sans protection végétale et de réduire l'intervalle entre deux récoltes, donc d'augmenter la productivité.

BIBLIOGRAPHIE

- AMBERGER (A.), 1971 - Decomposition of organic matter in maize straw. Internation. Symp. on soil fertility evaluation. Proc. New Delhi Indian Soc. Soil Sci. I, 773-780 Cg.
- AUBERT (G.) et SEGALÉN (P.), 1966 - Projet de classification des sols ferrallitiques. Cah. ORSTOM, sér. pédol., IV, 4, 97-112.
- BACHELIER (G.), 1963 - La vie animale dans les sols. ORSTOM - PARIS., 279 p.
- BACHELIER (G.), 1966 - Les sucres dans le sol et leur dosage global. Cah. ORSTOM, sér. pédol., IV, 1, 9-22.
- BACHELIER (G.) et GAVINELLI (R.), 1966 - Dosage global des glucides du sol par les méthodes colorimétriques à l'anthrone et à l'orcinol. Cah. ORSTOM, sér. pédol., IV, 3, 97-103.
- BACHELIER (G.), 1968 - Problèmes relatifs à l'atmosphère du sol et utilisation possible d'un détecteur de gaz pour la mesure de sa teneur en CO₂. Cah. ORSTOM, sér. pédol. VI, 1, 95-104.
- BACHELIER (G.), 1968 - Contribution à l'étude de la minéralisation du carbone des sols. Mémoires ORSTOM, 30 Paris, 142 p.
- BAUZON (D.), 1969 - Méthodes de mesure de l'activité respiratoire et de l'activité enzymatique dans les sols. C.N.R.S. doc. 8. B.P. 5 VANDOEUVRE-LES-NANCY-54.
- 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 - REVERSAT (F.), 1972 - Décomposition de la litière de feuilles en forêt ombrophile de Basse Côte d'Ivoire. Oecol. Plant., 73, 279-300.
- BISWAS (T.D.), KHOSLA (B.K.), 1971 - Building up of organic matter status of the soil and its relations to the soil physical properties. Internation. Symp. on soil fertility evaluation; Proc. New Delhi Indian. Soc. Soil Sci. I, 831-842 Cg 551.
- BLANCHET (R.), 1958 - Actions directes et indirectes de la matière organique humifiée sur la nutrition des végétaux vasculaires. Ann. Agron. 9, 4, 499-532.
- BLONDEL (D.), 1971 - Contribution à la connaissance de la dynamique de l'azote minéral en sol sableux (dior) au Sénégal. Agron. Tropicale XXVI, 12, 1303-1333.
- BLONDEL (D.), 1971 - Contribution à la connaissance de la dynamique de l'azote en sol ferrugineux tropical à SEFA (Sénégal). Agron. Tropicale XXVI, 12, 1334-1353.

- BLONDEL (D.), 1971 - Contribution à la connaissance de la dynamique de l'azote minéral en sol ferrugineux tropical à NIORO-du-Rip. (Sénégal). Agron. Tropicale XXVI, 12, 1354-1361.
- BLONDEL (D.), 1971 - Rôle de la plante dans l'orientation de la dynamique de l'azote en sol sableux. Agron. Tropicale XXVI, 12, 1362-1371.
- BLONDEL (D.), 1971 - Rôle de la matière organique libre dans la minéralisation en sol sableux, relation avec l'alimentation azotée du mil. Agron. Tropicale XXVI, 12, 1372-1377.
- BLONDEL (D.), 1971 - Recherche des acides aminés libres dans deux sols sableux. Evolution de la teneur en acides aminés et en azote minéral au cours d'épreuves d'incubation. Agron. Tropicale XXVI, 12, 1378-1388.
- BOISCHOT (P.) et SYLVESTRE (G.), 1951 - Fixation de l'azote nitrique par les micro-organismes décomposant les pailles de céréales dans le sol. C.R. Acad. Sc. 232, 2253-2255.
- BOISCHOT (P.), 1960 - Le rôle des micro-organismes dans la fixation de l'azote du sol. Bull. A.F.E.S., 10, 492-496.
- BOISCHOT (P.), 1964 - Qu'est-ce que l'humus ? Bull. A.F.E.S. 9, 371-380.
- BOISCHOT (P.), 1966 - L'humus du sol - sa disparition, son remplacement. Bull. A.F.E.S. 2, 74-97.
- BOISSEZON (P. de), 1970 - Etude du complexe absorbant des sols ferrallitiques forestiers de Côte d'Ivoire. Cah. ORSTOM, sér. pédol., Vol VIII, N°4, 391-418.
- BONNEAU (M.), DUCHAUFOR (Ph.), MANGENOT (F.), 1964 - Etude de l'humification de compost de sciure. Ann. Inst. Pasteur, 107 supp. 3, 109-122.
- BONNEAU (M.), 1967 - Minéralisation de l'azote de deux sols des Hautes-Vosges : allures du phénomène et tentatives d'amélioration. Sciences du sol, 1, 19-48.
- BONNEAU (M.), 1971 - Nouvelles observations sur la minéralisation de l'azote dans 2 sols des Hautes-Vosges. Sciences du sol, 1, 31-46.
- BORGER (De R.), 1969 - Note sur la détermination du caractère aromatique des acides fulviques et humiques. C.R. Acad. Sci. (Paris) 269, D, 1964-1966.
- BORGER (R.), 1972 - Etat actuel de nos connaissances concernant la structure des matières humiques. Rev. Agric. Bruxelles, t 25, 1, 37-51.
- BOTTNER (P.), 1968 - Fractionnement des acides humiques du sol par électrophorèse continue sur papier de fibres de verre. Sciences du sol, 2, 21-32.
- BOTTNER (P.), 1970 - La matière organique des principaux types de sols sous l'étage bioclimatique du chêne vert dans le midi de la France. Sciences du sol, 1, 3-18.
- BOUCHARD (L.) et RAKOTOARIMANANA, 1970 - Etude de l'évolution de la structure d'un sol ferrallitique sous diverses cultures en liaison avec l'enfouissement de matières organiques résiduelles. Agron. Tropicale 25, 6, 7, 574-588.

BRUCKERT (S.), 1970 - Influence des composés organiques solubles sur la pédogénèse en milieu acide.

I. Etude de terrain. Ann. Agron. 21, 4, 421-452.

BURGEVIN (H.) et HENIN (S.), 1939 - Dix années d'expérience sur l'action des engrais sur la composition et les propriétés d'un sol de limon. Ann.

Agron. Nov. - Déc.

BURRIS (G. H.), 1959 - Nitrogen nutrition. An. Rev. Plant. Physiol, 10, 301-328.

CARBALLAS (T.) et al., 1971 - Répartition des principaux constituants d'un végétal marqué au ^{14}C dans les composés humiques d'un sol à mull. Bull.

A.F.E.S., 3, 29-38.

CARLES (J.) et DECAU (J.), 1960 - De quelques conditions susceptibles de modifier les proportions des acides aminés du sol. Ann. Agron. 11, 5, 557-575.

CHAMINADE (R.), 1944 - Les formes de phosphore dans le sol. Nature et rôle des complexes phospho-humiques. Ann. Agron., XIV, 1-52.

CHAMINADE (R.), 1958 - Influence de la matière organique humifiée sur l'efficacité de l'azote. Ann. Agron. 2, 167-192.

CHAMINADE (R.), 1963 - Influence de la paille à différents états de fermentation sur la fertilité d'un sol. Ann. Agron. 14, 1, 5-12.

CHAMINADE (R.), 1971 - Recherches sur la rétrogradation de l'ion ammonium. Ann. Agron. 22, 3, 343-361.

CHAMPION (J.) et al., 1958 - Les sols de bananeraies et leur amélioration en Guinée. FRUITS 13, 9-10, 415-462.

CHARLES (G.), 1963 - Influence de la matière organique humifiée ou non sur l'évaporation. Etude expérimentale sous climat méditerranéen. Ann. Agron. 14, 5, 849-857.

CHARPENTIER (J.M.) GODEFROY (J.), 1963 - La culture bananière en Côte d'Ivoire. Editeur Institut Français de Recherches Fruitières, 182 p.

CHAREAU (C.), FAUCK (R.), 1970 - Mise au point de l'utilisation agricole des sols de la région de SEFA (Casamance). Agron. Tropicale XXV, 2, 151-191.

CHAREAU (C.), 1972 - Problèmes posés par l'utilisation agricole des sols tropicaux par des cultures annuelles. Agron. Tropicale XXVII, 9, 905-929.

CHASE (F.E.), 1958 - Manometric studies in agricultural and forest soils. Forest soils. Conference.

COCHARD (B.) et FLEURY (A.), 1968 - Essai d'application de la formule de Jenny à l'étude de la teneur des matières organiques des sols de France. Bull. A.F.E.S. 21-29.

COMBEAU (A.) et QUANTIN (P.), 1963 - Observations sur les variations dans le temps de la stabilité structurale des sols, en région tropicale. Cah. ORSTOM sér. pédol. 3, 17-28.

- 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. II, I, 3-9.
- COMBEAU (A.), 1965 - Variations saisonnières de la stabilité structurale du sol en région tempérée (comparaison avec la zone tropicale). Cah. ORSTOM, sér. pédol. Vol III, 2, 123-135.
- DABIN (B.) et LENEUF (N.), 1960 - Les sols de bananeraie de Côte d'Ivoire. FRUITS, 15, 2, 77-116.
- DABIN (B.), 1971 - Etude d'une méthode d'extraction de matière humique du sol. Sciences du sol. 1, 47-63.
- DECAU (J.), 1968 - Les polysaccharides du sol : origine, évolution et rôle. Ann. Agron. 19, 1, 65-82.
- DECAU (J.), 1968-1969 - Contribution à l'étude de l'influence des conditions du milieu sur la répartition de l'azote dans le sol. Ann. Agron.
I. Principales formes d'azote obtenu par hydrolyse, 19, 6, 653-683.
II. Acides aminés extraits par hydrolyse, 20, 1, 35-59.
III. Acides aminés et conditions d'aération. 20, 3, 277-303.
- DELAS (J.), 1967 - Utilisation des marcs de raisin comme amendement organique dans les sols de Vignoble. Vignes et vins, 164, 19-27.
- DELAS (J.), 1967 - Liaisons entre cuivre et matière organique dans un podzol développé sur sable des Landes, et accidentellement enrichi en cuivre. Ann. Agron., 18, 17-29.
- DELAS (J.), JUSTE (C.) et al., 1967 - Evolution de l'azote minéral, du carbone, de l'aluminium échangeable et du pH dans un sol de Touyas non cultivé récemment défriché. C.R. Acad. Sci. 1130-1138.
- DELAS (J.), 1971 - Evolution des propriétés d'un sol sableux sous l'influence d'apports massifs et répétés de matières organiques de différentes origines. Ann. Agron. 22, 5, 585-610.
- DIDIER de SAINT-AMAND (R.), 1967 - Dynamique des sols hydromorphes organiques malgaches en relation avec la riziculture. Thèse d'Etat. Fac. Sci. NANCY, 193 p.
- DIDIER de SAINT-AMAND (R.), 1968 - Dynamique des sols hydromorphes organiques de Madagascar en relation avec la riziculture. Agron. Tropicale, XXIII, 3, 265-321.
- DOMMERGUES (Y.), 1960 - Précision des techniques d'analyse et d'échantillonnage en biologie des sols. Ann. Agron. 11, 4, 469-479.
- DOMMERGUES (Y.), 1962 - Contribution à l'étude de la dynamique microbienne des sols en zone semi-arides et en zone tropicale sèche (2è. partie). Ann. Agron. 13, 5, 391-468.
- DOMMERGUES (Y.), 1968 - Dégagement tellurique de CO₂. Mesure et signification. Rapport général. Ann. Inst. Pasteur (Paris), 115, 4, 627-656.
- DOMMERGUES (Y.), 1968 - La biologie des sols. Coll. Que sais-je ? 399 p.

DOMMERGUES (Y.), MANGENOT (F.), 1970 - Ecologie microbienne du sol. Masson Editeurs. 786 p.

DROUINEAU (G.), 1963 - Fumures minérales et fumures organiques. Cas des exploitations sans bétail. Bull. A.F.E.S., 2, 85-108.

DUCHAUFOR (Ph.), 1953 - Humus actif et humus inerte. Recherches expérimentales sur la minéralisation de l'humus forestier. Ann. de l'école nationale des eaux et forêts. NANCY, XIII, 2, 402-453.

DUCHAUFOR (Ph.), 1954 - Note sur l'influence de l'incinération sur l'évolution de l'humus. Revue Forestière Française, 5, 316-319.

DUCHAUFOR (Ph.), 1960 - Précis de pédologie. Masson et Cie. Editeurs. 438 p.

DUCHAUFOR (Ph.), JACQUIN (F.), 1963 - Recherche d'une méthode d'extraction et de fractionnement des composés humiques contrôlée par l'électrophorèse. Ann. Agron., 14 (6), 885-918.

DUCHAUFOR (Ph.) et JACQUIN (F.), 1966 - Nouvelles recherches sur l'extraction et le fractionnement des composés humiques. Bull. E.N.S.A.N. VIII (1), 3-25.

DUCHAUFOR (Ph.), 1970 - Humification et écologie. Cah. ORSTOM, sér. pédol., VIII, 4, 379-390.

DUGAIN (F.), 1960 - Etude sur la fertilité des sols de la plaine bananière du Cameroun. FRUITS, 15, 4, 153-168.

DUPUIS (Th.) et JAMBU (P.), 1968 - Etude par spectrographie infra rouge des produits de l'humification en milieu hydromorphe calcique. Sciences du sol. 1, 23-35.

ELDOR (A. PAUL), 1970 - Plant components and soil organic matter. Recent advances in phytochemistry 3, 59-104.

ESPIAU (P.), LARGUIER (M.), 1970 - Utilisation du carmograph 8 dans le dosage du carbone organique et du carbone minéral des sols. Bull. A.F.E.S. 4, 5-15.

ESPIAU (P.), LARGUIER (M.), 1970 - Utilisation du carmograph 8 dans le dosage du carbone des composés humiques des sols. Bull. A.F.E.S. 4, 17-26.

FEODOROFF (A.), 1958 - Un appareil pour le tamisage de la terre sous l'eau. Ann. Agron., 9, 4, 533-545.

FEODOROFF (A.), 1960 - Evolution de la stabilité structurale d'un sol. (Indice S). Nouvelles normes d'emploi pour l'appareil à tamiser. Ann. Agron. 11, 6, 651-659.

FERNANDEZ CALDAS (E.) et GARCIA (V.), 1970 - Contribution à l'étude de la fertilité des sols de bananeraies de l'île de Ténérife. FRUITS 25, 3, 175-185.

FIORAMONTI (S.) et MARTY (J.R.), 1966 - Contribution à l'étude du compost obtenu par fermentation des ordures ménagères de la ville de Toulouse. Bull. A.F.E.S. 1, 18-43.

- FLAIG (W.), 1970 - Contribution à la connaissance de la constitution et de la synthèse des acides humiques. *Sciences du sol*. 2, 39-72.
- FLAIG (W.), 1971 - Organic compounds in soil. *Soil. Sci.* 111, 1, 19-33.
- FROMENT (A.), 1971 - Dynamique de la matière organique dans les sols calcimorphes du plateau. *Bull. Soc. r. Bot. Belg*, 104, 2, 271-280.
- GADET (R.), SOUBIES (L.) et FOURCASSIE (F.), 1959 - Recherches sur les effets toxiques du Biuret et sur l'évolution de ce composé dans les sols. *Ann. Agron.*, 10, 6 - 609-660.
- GAUR (A.C.), 1964 - Influence de l'acide humique sur la croissance et la nutrition minérale des végétaux. *Bull. A.F.E.S.* 5, 207-219.
- GAUR (A.C.), 1971 - A study of the decomposition of organic matter in an alluvial soil : CO₂ evolution microbiological and chemical transformations. *Plant and soil*. 35, I, 17-28.
- GEORGE (T.), FELBECK (J.R.), 1971 - Structural hypotheses of soil humic acids. *Soil sci.* 111, 1, 42-48.
- GODEFROY (J.), 1966 - Variations saisonnières des caractéristiques physico-chimiques d'un sol volcanique du Cameroun. *FRUITS*, 21, 10, 535-542.
- GODEFROY (J.), 1967 - Etude des sols de bananeraies de la station IFAC de Tamatave (Madagascar). *Doc. IFAC*, nov. 1967, 36 p.
- GODEFROY (J.) et al., 1969 - Action de la fumure organique sur les caractéristiques chimiques et structurales d'un sol de bananeraie. *FRUITS*, 24, I, 21-42.
- GODEFROY (J.), MARTIN (Ph.), 1969 - Evolution des éléments minéraux du sol dans un essai de fumure minérale en bananeraie de Basse Côte d'Ivoire. *FRUITS*, 24, 9-10, 425-435.
- GODEFROY (J.), ROOSE (E.), 1970 - Estimation des pertes par lixiviation des éléments fertilisants dans un sol de bananeraie de Basse Côte d'Ivoire. *FRUITS*, 25, 6, 403-420.
- GODEFROY (J.), POIGNANT (A.), 1971 - Premiers résultats d'un essai de chaulage en culture d'ananas sur un sol de Basse Côte d'Ivoire. *FRUITS*, 26, 2, 103-113.
- GODEFROY (J.), PY (C.), 1971 - Action de la fumure phosphatée en culture d'ananas en Côte d'Ivoire et en Guadeloupe. *FRUITS*, 26, 3, 207-210.
- GODEFROY (J.) et al., 1972 - Evolution des propriétés agrochimiques d'un sol ferrallitique de Basse Côte d'Ivoire sous culture d'ananas. Comparaison avec une jachère. *FRUITS*, 27, 4, 255-267.
- GRAFFIN (Ph.), MONNIER (G.), JEANDET (Cl.), 1970 - Comparaison de deux méthodes de dosage du carbone organique, appliquées à l'étude de la matière organique totale des sols ou de ses différentes fractions. *Ann. Agron.* 21, 3, 315-323.
- GRAFFIN (Ph.), 1971 - Etude intégrée de la décomposition d'apports organiques dans le sol. Evolution du carbone et de l'azote, liaison à la fraction minérale, modification des propriétés physiques. *Ann. Agron.* 22, 2, 213-239.

- GREENLAND (D.J.), 1962 - Organic materials with stabilize natural soil aggregates. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 28, 529-532.
- GREENLAND (D.J.), 1965 - Interaction between clay and organic compounds in soils. *Soils and Fertil.* 28, 415-426 ; 521-532.
- GUCKERT (A.), 1967 - Influence de la matière organique du sol sur la stabilité structurale. *Bull. E.N.S.A., NANCY*, t. IX, II, 58-68.
- GUCKERT (A.) et al., 1969 - Effet du tassement sur l'évolution de la stabilité structurale d'un sol limoneux additionné de matière organique. *Bull. E.N.S.A., NANCY*, XI, I-II, 26-35.
- GUCKERT (A.), NUSSBAUMER (E.) et JACQUIN (F.), 1970 - Etude comparée de l'action du glucose ^{14}C et de la paille ^{14}C sur la stabilité structurale d'un sol limoneux acide. *Bull. E.N.S.A. NANCY*, XII, I-II, 26-49.
- GUCKERT (A.), 1973 - Contribution à l'étude des polysaccharides dans les sols et de leur rôle dans les mécanismes d'agrégation, Thèse d'Etat. *Fac. Sci. NANCY*. 124 p.
- GUNNAR OGNER, 1972 - The composition of a forest raw humus after fertilization with urea. *Soil Sci.* 113, 6, 440-447.
- HARRIS (R.F.), ALLEN (O.N.), CHESTER (G.), 1964 - Mechanismes involved in soil aggregate stabilization by fungi and bacteria. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 28, 529-532.
- HELLING (C.S.), 1964 - Contribution of organic matter and clay to soil cation exchange capacity as affected by the pH of the saturating solutions. *Soil Sci. Amer. Proc.*, 28, 4, 517-520.
- HENIN (S.), 1938 - Etude physico-chimique de la stabilité structurale des terres. Thèse. Paris.
- HENIN (S.), 1939 - Influence des facteurs climatiques sur la stabilité structurale d'un sol de limon. *Ann. Agron.* p. 301.
- HENIN (S.) et DUPUIS (M.), 1945 - Essai de bilan de la matière organique du sol. *Ann. Agron.*, 15, 17-29.
- HENIN (S.) et TURC (L.), 1957 - Quelques données nouvelles concernant le bilan de la matière organique des sols. *C.R. Acad. d'Agriculture.* 43, 88-93.
- HENIN (S.), MONNIER (G.) et COMBEAU (A.), 1958 - Méthode pour l'étude de la stabilité structurale des sols. *Ann. Agron.*, 9, 73-92.
- HENIN (S.), MONNIER (G.) et TURC (L.), 1959 - Un aspect de la dynamique des matières organiques du sol. *C.R. Acad. des Sciences.* 248, 139-141.
- HENIN (S.), GRAS (R.) et MONNIER (G.), 1969 - Le profil cultural : l'état physique du sol et ses conséquences agronomiques. *Masson et Cie. Editeurs*, 332 p.
- JACQUARD (P.), MONNIER (G.) et CROISIER (L.), 1969-1970 - Etude des effets résiduels des cultures fourragères sur les cultures arables. *Ann. Agron.*
 I. Effets résiduels de la luzerne sur le blé et le maïs. 20, 4, 371-433.
 II. Effets résiduels des différents précédents sur les séquences de cultures arables. 21, I, 5-56.

- JACQUARD (P.), MONNIER (G.), 1970 - Etude des effets résiduels des cultures fourragères sur les cultures arables.
III. Bilan de six années d'essais sur l'étude globale des effets résiduels et de leur durée. Ann. Agron. 21, 3, 247-268.
- JACQUIN (F.), 1963 - Notions récentes concernant le bilan humique d'un sol cultivé. Bull. A.F.E.S. 10, 442-468.
- JACQUIN (F.) et al., 1970 - Contribution à l'étude des processus d'extraction et de caractérisation des composés humiques. Bull. A.F.E.S. 4, 27-38.
- JACQUIN (F.) et al., 1971 - Mise au point sur l'utilisation des gels sephadex pour le fractionnement de composés humiques. Bull. A.F.E.S. 2, 9-15.
- JAMBU (P.) et DUPUIS (J.), 1969 - Contribution aux recherches sur le fractionnement des constituants organiques des sols humifères hydromorphes calciques. Bull. A.F.E.S. 6, 29-36.
- JAMBU (P.) et DUPUIS (J.), 1971 - Etude par électrophorèse et d'absorption infrarouge des acides hymatomélaniques de sols calciques hydromorphes. Sciences du sol. 1, 111-120.
- JEANSON-LUUSINANG (C.), 1960 - Fractionnement par densité de la matière organique des sols. Ann. Agron. 11, 4, 481-497.
- JENKINSON (D.S.), 1965 - Studies of the decomposition of plant material in soil. I. Losses of carbon from ^{14}C labelled ryegrass incubated with soil in the field. Journal of Soil Sci. 16, 1, 104-115.
- JENKINSON (D.S.), 1966 - Studies of the decomposition of plant material in soil. II. Partial sterilization of soil an the soil biomass. Journal of Soil Sci. 17, 2, 280-302.
- JENKINSON (D.S.), 1968 - Studies of the decomposition of plant material in soil. III. The distribution of labelled and unlabelled carbon in soil incubated with ^{14}C labelled ryegrass. Journal of Soil Sci. 19, 1, 25-39.
- JENKINSON (D.S.), 1971 - Studies on the decomposition of ^{14}C labelled organic matter in soil. Soil Sci. 111, 1, 64-70.
- JENNY H, GESSEL (S.P.), 1949 - Comparative studies of decomposition rates of organic matter in temperate and tropical regions. Soil Sci. 68, 419-432.
- KAUFFMANN (J.), 1962 - Travaux pratiques de microbiologie du sol. Doc. ORSTOM.
- KERMIT (S.) LAFLEUR, 1969 - Temperature dependence of soil organic matter extraction. Soil Sci. 107, 4, 307-308.
- KODAMA (H.) et SCHNITZER (M.), 1970 - Kinetics and mechanism of the thermal decomposition of fulvic acid. Soil Sci. 109, 5, 265-271.
- KONG KIN-TCHEN, 1970 - Limitation de la cellulolyse dans les sols organiques. Thèse de doctorat. Fac. Sci. NANCY.
- LADD (J.N.), 1969 - The extinction coefficients of soil humic acids fractionated by "Sephadex" Gel filtration. Soil Sci. 107, 4, 303-306.

- LAUDELOUT (H.) et MEYER (J.), 1954 - Les cycles d'éléments minéraux et de la matière organique en forêt équatoriale congolaise. 5è. Congrès. Int. Sci. Sol, 2, 267-272.
- LAUDELOUT (H.) et al., 1960 - Les relations quantitatives entre la teneur en matière organique du sol et le climat. Extrait de agricultura VIII, 2è. série, 1, 103-140.
- LEFEVRE (G.) et HIROUX (G.), 1959 - Rendement et composition de quelques espèces de graminées au cours de leur premier cycle de végétation. Influence de la fumure azotée en 1958. Ann. Agron. 10, 3, 327-342.
- LEFEVRE (G.) et HIROUX (G.), 1961 - Résultats comparés de 2 années d'expérience de fumure azotée sur Fétuque. Ann. Agron. 12, 3, 365-382.
- LEFEVRE (G.) et HIROUX (G.), 1969 - Effets et arrière-effets sur blé d'une fumure azotée sur Ray-grass d'Italie. Ann. Agron. 20, 1, 15-34.
- LEFEBVRE - DROUET (E.), 1963 - Application de la méthode de fractionnement densimétrique par centrifugation des matières organiques à quelques sols de Bourgogne. Bull. A.F.E.S. 12, 542-555.
- LEMAIRE (F.), 1972 - Etude des différents facteurs influençant la manifestation de l'effet spécifique de la matière organique sur les végétaux. Ann. Agron. 23 (I), 77-100.
- LEMEE (G.), 1967 - Investigations sur la minéralisation de l'azote et son évolution annuelle dans les humus forestiers in situ. Oecol. Plant., 2, 4, 285-324.
- LEWIS (J.A.), STARKEY (R.L.), 1968 - Vegetable tannins, their decomposition and effects on decomposition of some organic compounds. Soil Sci. 106, 4, 241-247.
- LEWIS (J.A.) et STARKEY (R.L.), 1969 - Decomposition of plant tannins by some soil microorganism. Soil Sci. 107, 4, 235-241.
- LIBOIS (A.), 1968 - Dynamique de l'azote minéral en sol nu. 19, 2, 103-128.
- LINGONG (H.) et RAMON (E.) BISQUE, 1968 - Coagulation of humic colloids by metal ions. Soil Sci. 106, 3, 220-224.
- LIVINGSTON (S.D.) et MOE (P.G.), 1969 - The effect of temperature and pH on the nitrogen composition of soil organic matter extracts. Soil Sci. 107, 2, 108-113.
- LOSSOIS (P.), 1963 - Recherche d'une méthode de prévision des récoltes en culture bananière. FRUITS, 18, 6, .
- LYDA (S.D.), ROBINSON (G.D.), 1969 - Soil respiratory activity and organic matter depletion in an arid Nevada soil. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 33, 1, 92-94.
- MANGENOT (G.), 1955 - Etude sur les forêts des plaines et des plateaux de la Côte d'Ivoire. Etudes Eburnéennes IFAN. IV, 5-61.
- MARTIN (G.), 1963 - Dégénération de la structure des sols sous culture mécanisée dans la vallée du Niari. Cah. ORSTOM, sér. pédol., 2, 8-14.

- MARTIN (G.), 1970 - Synthèse agro-pédologique des études ORSTOM dans la vallée du Niari en République Congo-Brazaville. Cah. ORSTOM, sér. pédol. VIII, 1, 63-79.
- MARTIN (J.P.), 1945 - Microorganisms and soil aggregation. Origin and nature of some of the aggregating substances. Soil Sci. 59, 163-174.
- MARTIN (J.P.), 1946 - Microorganisms and soil aggregation. II. Influence of bacterial polysaccharides on soil structure. Soil Sci. 61, 157-166.
- MARTIN (J.P.) et HAIDER (K.), 1969 - Phenolic Polymers of stachybotrys atra Stachybotrys chartarum and Epicoccum nigrum in relation to humic acid formation. Soil Sci. 107, 4, 260-270.
- MARTIN (J.P.), HAIDER (K.), 1971 - Microbial activity in relation to soil humus formation. Soil Sci. 111, 1, 54-63.
- MARTIN (J.P.), 1971 - Decomposition and binding action of polysaccharides in soil. Soil Biol. Biochem. 3, 33-41.
- MARTIN-PREVEL (P.) et al., 1968 - Les éléments minéraux dans le bananier "Gros Michel" au Cameroun. FRUITS, 23, 5, 259-269.
- MARTY (J.R.), FIORAMONTI (S.), 1970 - Comparaison de diverses rotations sur sol limoneux mal structuré ; effet améliorant des cultures fourragères. Ann. Agron. 21, 3, 269-286.
- MATHUR (S.P.), 1971 - Characterization of soil humus through enzymatic degradation. Soil Sci. 111, 3, 147-157.
- MAYAUDON (J.), BALISTIC (L.), 1970 - Dégradation biologique de la lignine ¹⁴C dans le sol. Ann. Inst. Pasteur, 118, 191-198.
- MEREDITH (H.L.), KOHNKE (H.), 1965 - The significance of the rate of organic matter decomposition on the aggregation of soil. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 29, 547-550.
- MERIAUX (S.) et LEFEBVRE-DROUET (E.), 1968 - Interprétation des courbes de fractionnement densimétrique de différents types du sol. Sciences du sol. 1, 91-104.
- MILOS (V.), GUCKERT (A.), 1972 - Utilisation du carbone 14 pour déterminer les mécanismes d'absorption des acides humiques sur une montmorillonite. C.R. Acad. Sci. Paris, 274, 671-674.
- MOLINA (J.S.), 1968 - La décomposition aérobie de la cellulose et la structure active des sols. Ann. Inst. Pasteur (Paris) 115, 4, 604-609.
- MONNIER (G.) et GRAS (R.), 1965 - Action d'une culture d'engrais vert sur les propriétés physiques d'un sol de verger. Ann. Agron. 16, 5, 553-577.
- MONNIER (G.), 1965 - Action des matières organiques sur la stabilité structurale des sols. Thèse d'Etat. Fac. Sci. Paris. 138 p.
- MONNIER (G.), 1965 - Action des matières organiques sur la stabilité structurale du sol. African soils, X, 1, 5-42.
- MONNIER (G.) et KONAN (L.), 1968 - Influence des conditions de séchage des terres sur leur stabilité structurale. Ann. Agron. 19, 5, 541-551.

- MONNIER (G.) et BUI HUU TRI, 1971 - Une méthode d'évaluation de la taille des éléments structuraux du sol. Bull. A.F.E.S. 2, 17-27.
- 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.
- MOREL (R.), 1969 - Essai de détermination quantitative relative à l'évolution de l'azote dans un sol cultivé en équilibre azoté. Ann. Agron. 20, 2, 161-181.
- MOREL (R.), 1970 - Propositions nouvelles relatives au problème de l'azote organique dans un sol en équilibre azoté. Ann. Agron. 21, 2, 197-210.
- MOREL (R.), 1971 - Evolution dans le temps de la quantité d'azote organique du sol. Sciences du sol, 1, 121 - 129.
- MOULINIER (H.), 1969 - La minéralisation de l'azote dans un sol stérilisé par la vapeur et ses conséquences sur la fertilité. Bull. A.F.E.S. 6, 21-27.
- MOURARET (M.), 1965 - Contribution à l'étude de l'activité des enzymes du sol : l'Asparaginase. Mémoires ORSTOM, 9,
- MOUREAUX (C.), 1967 - Influence de la température et de l'humidité sur les activités biologiques de quelques sols ouest-africains. Cah. ORSTOM, sér. pédol., V, 4,
- MULLER (J.), 1965 - Observations sur les effets à long terme des fumures organiques et minérales sous climat méditerranéen. I. Action sur les rendements. Ann. Agron. 16, 3, 301-321.
- 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.
- MULLER (J.), 1971 - Effets des amendements organiques, tourbes, écorces de résineux et de feuilles sur l'évolution de l'azote minéral. C.R. Acad. Agric. Fr, 57, 13, 1123-1134.
- MYSKOW (W.) et MORRISON (R.), 1963 - Decomposition of leguminous plant roots in sand. I. Transformation of nitrogen compounds. J. Sci. Fd. Agric. 14, 813-821.
- MYSKOW (W.) et MORRISON (R.), 1965 - Decomposition of leguminous plant roots in sand. II. Humus formation. J. Sci. Fd. Agric. 15, 162-168.
- NELSON (N.), 1944 - A photometric adaptation of the Somogi method for the determination of glucose. J. Biol. Chem, 153, 375-380.
- 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.
- NGUYEN KHA, DOMMERGUES (Y.), 1970 - Influence de l'hygrothermopériodisme sur la stabilité de la matière organique du sol mesurée par respirométrie. Sciences du sol. 1, 53-62.

- NGUYEN KHA, 1972 - Note sur les formes de liaison entre le fer et les composés organiques du sol. *Sciences du sol*, 2, 61-70.
- NOMMIK (H.), 1971 - A technique for determining mineralisation of carbon in soils during incubation. *Soil Sci.* 112, 2, 131-136.
- NUSSBAUMER (E.) et al., 1969 - Etude de l'évolution du glucose radioactif et de son influence sur la stabilité structurale. *C.R. Acad. Sc. Paris*, 269, 1744-1747.
- NUSSBAUMER (E.), et al., 1970 - Nature et répartition de la matière organique cimentant les agrégats d'un sol après incubation de glucose radioactif. *C.R. Acad. Sc. Paris*, 270, 3235-3238.
- NYE (P.H.), 1961 - Organic matter and nutrient cycles under moist tropical forest. *Plant and soil*, 13, 333-346.
- PATRICK (Z.A.), 1971 - Phytotoxic substances associated with the decomposition in soil of plant residues. *Soil Sci.* III, 1, 13-18.
- 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 d'Etat. Fac. Sci. NANCY.*, 87 p.
- PERRIGAUD (S.), 1963 - La dynamique de l'azote dans les sols hydromorphes. *Bull. A.F.E.S.*, 1, 1-56.
- PLEVEN (J.), SCHMELZ (H.) et RIGHI (D.), 1967 - La méthode d'extraction et de fractionnement des composés humiques de P. DUCHAUFOR et J. JACQUIN. *Bull. A.F.E.S.*, 6, 15-26.
- POCHON (J.), DE BARJAC (H.), 1958 - *Traité de microbiologie des sols.* Dunod Editeurs. 685 p.
- RAGHUNATHAN (R.) et al, 1966 - A comparative study of the resistant and susceptible Banana varieties to fungal diseases. *Indian phytopathology.* XIX, 141-149.
- RANGASWAMI (G.), 1966 - Changes in the free amino acids and C/N ratios of banana leaves infected with fungal pathogens. *Indian phytopathology.* XIX, 59-64.
- RHODES (D.W.), 1957 - The effect of pH, on the uptake of radioactive isotopus, from solution, by a soil. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 21, 4, 389-392.
- RIVIERE (J.), FROUARD (Y.), CATROUX (G.), 1970 - Influence d'enfouissements répétés de tiges de maïs sur la microflore bactérienne des sols. *Ann. Agron.* 21, 4, 403-420.
- ROBERT (E.B.) et al., 1968 - Effects of purified plant tannin on decomposition of some organic compounds and plant materials. *Soil Sci.* 105, 3, 153-158.
- ROBERT (E.B.) et al., 1968 - Enzyme inactivation as a factor in the inhibition of decomposition of organic matter by tannins. *Soil Sci.* 105, 4, 203-208.
- ROBERT (E.B.) et al., 1968 - Inhibition of decomposition of cellulose and some other carbohydrates by tannin. *Soil Sci.* 105, 5, 291-296.

- ROOSE (E.J.), GODEFROY (J.), 1967 - Erosion, ruissellement et drainage oblique sous une bananeraie de Basse Côte d'Ivoire. I. Milieu, dispositif et résultats en 1966. Publi. ORSTOM-IFAC. déc. 1967.
- ROOSE (E.), 1973 - Dix sept années de mesures expérimentales de l'érosion et du ruissellement sur un sol ferrallitique sableux de Basse Côte d'Ivoire. Thèse, Université d'Abidjan, juin 1973. 124 p.
- ROSS (D.J.), 1965 - A seasonal study of oxygen uptake of some pasture soil and activities of enzymes hydrolysing sucrose and starch. *Journal of soil sci.* 16, 1, 74-85.
- ROSS (D.J.), 1966 - A survey of activities of enzymes hydrolysing sucrose and starch in soil under pasture. *Journal of soil sci.* 17, 1, 1-15.
- ROSS (D.J.), ROBERTS (H.S.), 1970 - Enzyme activities and oxygen uptakes of soils under pasture in temperature and rainfall sequences. *Journal of soil sci.* 21, 2, 368-381.
- RUELLAN (A.), 1967 - Les phénomènes d'échange de cations et d'anions dans les sols. Initiations, documentations techniques 5. ORSTOM-PARIS, 123 p.
- SABEY (B.R.), 1969 - Influence of soil moisture tension on nitrate accumulation in soils. *Soil Sci. Amer. Proc.* 33, 2, 263-266.
- SAKAI (H.), - Determinative method for nitrification depressing power of chemicals in soil. *Technical papers.*
- SCHAEFER (R.), 1964 - Influence de régime thermique d'incubation en particulier d'un gel répété sur la réduction dissimilative des nitrates dans un mull et un hydromull calciques. *Ann. Inst. Pasteur, suppl.* 3, 107, 282-292.
- SIMON (G.), 1960 - L'enfouissement des pailles dans le sol. Etude générale et répercussion sur la microflore du sol. *Ann. Agron.* I, 5-53 et II, 177-219.
- SIMS (J.L.), FREDERICK (L.R.), 1970 - Nitrogen immobilisation and decomposition of corn residue in soil and sand as affected by residue particle size. *Soil Sci.* 109, 6, 355-361.
- STANFORD (G.), 1968 - Extractable organic nitrogen and nitrogen mineralization in soils. *Soil Sci.* 106, 5, 345-351.
- TEISSON (C.), 1969 - Croissance des bananiers de première génération et leur alimentation à partir de matériel de plantation. *Doc. IFAC. R. A.*
- 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 des profils ferrallitiques et podzoliques sous savane en Guyane Française. *Cah. ORSTOM, sér. pédol.* VIII, 4, 419-449.
- VAN CLEEMPUT (O.), 1971 - Etude de la dénitrification dans le sol. *Pédol.* XXI, 3, 367-376, Gand.
- VEDY (J. Cl.) et JACQUIN (F.), 1972 - Formation "in situ" d'horizons humifères sur matériau acide en présence de litières améliorantes ou acidifiantes. *Sciences du sol*, 2, 103-113.

VIMAL (O.P.), JOLIVET (E.), 1970 - Dégradation comparée d'un jeune ray-grass enfoui dans un sol aéré ou dans un sol saturé d'eau. Ann. Agron. 21, 3, 287-304.

VISSER (S.A.), 1968 - Stability of different types of carbohydrates in various tropical soils. Ann. Inst. Pasteur (Paris) 115, 4, 766-786.

WAYNE UMBREIT (W.), 1965 - Advances in applied microbiology. Acad. Press. New York and London, 7,

TABLEAU I. Températures maximales et minimales (°C) du sol à 10 cm. Etude in situ.

	Année	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	Moyenne	
Moyenne des maximums	1969-1970		30,0	29,8	30,5	30,7	31,6	32,0	32,6	32,3	33,0	30,1	27,9	31,0	
Maximums absolus			31,5	31,0	33,0	32,0	33,0	34,5	36,0	35,0	36,0	33,0	30,0	33,2	
Moyenne des minimums			25,4	25,2	25,3	25,8	26,1	26,3	26,5	26,5	26,7	25,7	24,7	25,8	
Minimums absolus			24,0	24,2	24,0	24,8	24,5	24,5	24,8	25,0	25,0	25,0	24,0	24,5	
Température moyenne			27,6	27,5	27,9	28,3	28,8	29,2	29,6	29,4	29,8	27,9	26,3	28,4	
Moyenne des maximums	1970-1971		28,6	29,0	30,3	29,7	30,1	32,1	34,0	32,1	32,9	31,9	29,6	29,2	30,8
Maximums absolus			32,0	31,0	32,0	31,0	32,0	35,0	38,0	34,6	36,0	33,0	31,0	31,5	33,1
Moyenne des minimums			24,5	24,9	25,7	25,6	25,7	25,0	26,7	26,3	27,0	26,1	25,3	24,8	25,6
Minimums absolus			23,0	24,0	25,0	24,0	24,0	22,0	25,0	25,0	25,0	25,0	24,0	24,0	24,2
Température moyenne			26,5	27,0	28,1	27,7	27,9	28,5	30,5	29,2	29,6	29,0	27,5	27,1	28,2
Moyenne des maximums	1971-1972		28,6	29,8	30,4	30,9	29,6	32,0	33,1	32,8	31,5	32,7	31,4	29,4	31,0
Maximums absolus			30,5	32,0	32,3	32,5	30,8	36,0	35,0	36,0	34,0	36,0	34,5	30,5	33,3
Moyenne des minimums			24,0	24,8	25,0	25,2	24,8	25,8	26,9	26,4	26,0	27,0	27,0	26,4	25,8
Minimums absolus			23,0	23,5	24,0	22,5	23,0	25,0	25,5	25,0	25,0	25,0	26,0	25,0	24,4
Température moyenne			26,3	27,3	27,7	28,0	27,2	28,9	30,0	29,6	28,8	29,9	29,2	27,9	28,4

TABLEAU II. Teneurs en carbone et en azote total. Etude in situ.

		C total ‰			N total ‰			C/N		
		1970	1971	1972	1970	1971	1972	1970	1971	1972
1	R ₀ F ₀									
	Témoin	3,5	3,6	3,6	0,30	0,29	0,29	11,9	12,3	12,4
	Ananas	8,9	6,9	6,1	0,53	0,51	0,48	16,7	13,6	12,8
	Bananier	5,3	4,7	4,2	0,44	0,42	0,38	12,1	11,0	11,1
	p.p.d.s. 5 %	0,4	0,3	0,3	0,02	0,02	0,03	0,8	0,7	0,6
	p.p.d.s. 1 %	0,6	0,5	0,4	0,03	0,03	0,05	1,2	1,1	0,9
2	R ₀ F ₁									
	Témoin	3,5	3,4	3,6	0,35	0,29	0,29	10,1	12,0	12,2
	Ananas	9,0	7,9	7,9	0,57	0,51	0,51	15,7	15,4	15,5
	Bananier	5,5	5,0	5,1	0,51	0,43	0,45	11,0	11,6	11,4
	p.p.d.s. 5 %	0,9	0,3	0,8	0,09	0,03	0,05	1,9	1,0	1,1
	p.p.d.s. 1 %	1,4	0,4	1,2	0,13	0,04	0,07	2,7	1,4	1,7
3	R ₁ F ₀									
	Témoin		3,6	3,5		0,28	0,29		12,6	12,1
	Ananas		9,9	11,1		0,72	0,89		13,2	12,4
	Bananier		6,1	6,9		0,60	0,68		10,1	10,1
	p.p.d.s. 5 %		0,6	0,4		0,05	0,03		0,7	0,5
	p.p.d.s. 1 %		0,8	0,6		0,07	0,05		1,1	0,7
4	R ₁ F ₁									
	Témoin		3,5	3,6		0,28	0,28		12,4	12,8
	Ananas		9,8	11,1		0,72	0,84		13,4	13,0
	Bananier		7,3	7,8		0,68	0,76		10,6	10,3
	p.p.d.s. 5 %		1,2	4,1		0,08	0,08		1,1	1,5
	p.p.d.s. 1 %		1,7	3,1		0,11	0,12		1,6	2,1
Comparaison entre R ₀ F ₀ -R ₀ F ₁ - R ₁ F ₀ et R ₁ F ₁ .										
	p.p.d.s. 5 %									
	Témoin	N.S	N.S	N.S	0,04	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S
	Ananas	N.S	1,2	1,7	N.S	0,07	0,06	N.S	N.S	1,5
	Bananier	N.S	0,6	0,7	N.S	0,06	0,06	0,9	0,8	0,7

TABLEAU III. Teneurs en carbone et en azote libre. Etude in situ.

		C libre ‰			C libre ‰ de C total			N libre ‰			N libre ‰ de N total		
		1970	1971	1972	1970	1971	1972	1970	1971	1972	1970	1971	1972
1	R ₀ F ₀												
	Témoin	0,4	0,3	0,4	9,9	7,8	10,2	0,01	0,01	0,01	2,8	2,1	2,1
	Ananas	3,0	1,3	0,8	33,3	19,2	12,5	0,06	0,04	0,02	12,4	7,4	4,2
	Bananier	0,5	0,4	0,3	8,7	7,5	7,7	0,01	0,01	0,01	3,2	2,8	2,1
	p.p.d.s.5 ‰	0,3	0,2	0,1	2,5	2,8	1,8	0,01	0,01	N.S	1,2	1,3	0,4
	p.p.d.s.1 ‰	0,4	0,3	0,1	3,6	4,1	2,6	0,01	0,01	N.S	1,8	1,9	0,6
2	R ₀ F ₁												
	Témoin	0,4	0,3	0,5	11,3	8,3	12,5	0,01	0,01	0,02	3,3	2,3	5,1
	Ananas	3,4	2,2	2,3	37,9	28,5	29,0	0,07	0,06	0,06	13,0	11,8	11,4
	Bananier	0,7	0,5	0,5	12,3	10,2	9,9	0,04	0,02	0,03	6,6	4,7	5,7
	p.p.d.s.5 ‰	0,3	0,5	0,8	2,9	5,2	8,4	0,01	0,01	0,02	1,7	2,7	3,6
	p.p.d.s.1 ‰	0,4	0,6	1,1	4,2	7,6	12,2	0,01	0,02	0,03	2,4	3,9	5,2
3	R ₁ F ₀												
	Témoin		0,3	0,4		7,9	10,4		0,01	0,01		2,0	2,1
	Ananas		2,3	1,7		23,0	15,0		0,08	0,07		10,1	8,2
	Bananier		0,5	0,4		7,4	6,4		0,02	0,02		3,1	2,6
	p.p.d.s.5 ‰		0,3	0,3		2,6	2,7		0,01	0,01		1,2	1,4
	p.p.d.s.1 ‰		0,5	0,4		3,7	3,9		0,02	0,02		1,7	2,0
4	R ₁ F ₁												
	Témoin		0,3	0,4		9,1	11,2		0,01	0,01		2,9	5,8
	Ananas		1,8	1,7		17,4	14,0		0,07	0,06		9,1	7,0
	Bananier		0,7	0,7		9,9	9,4		0,04	0,05		6,1	5,8
	p.p.d.s.5 ‰		0,9	N.S		6,7	N.S		0,03	N.S		3,8	N.S
	p.p.d.s.1 ‰		1,3	N.S		N.S	N.S		0,05	N.S		5,5	N.S
Comparaison entre													
R ₀ F ₀ -R ₀ F ₁ -R ₁ F ₀ et R ₁ F ₁													
p.p.d.s.5 ‰													
	Témoin	N.S	N.S	N.S	N.S	1,0	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S	0,3	1,0
	Ananas	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S	11,2	0,01	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S
	Bananier	N.S	0,2	0,2	2,6	N.S	2,2	0,01	0,01	0,01	1,2	1,8	1,4

TABLEAU IV. Teneurs en carbone et en azote lié. Etude in situ.

	C lié %			C lié % de C total			N lié %			N lié % de N total			
	1970	1971	1972	1970	1971	1972	1970	1971	1972	1970	1971	1972	
1 R ₀ F ₀	Témoin	2,8	3,0	2,9	80,7	84,0	80,6	0,27	0,28	0,28	92,0	95,2	95,2
	Ananas	5,1	5,1	4,8	57,6	74,1	78,8	0,45	0,45	0,45	84,2	87,8	93,5
	Bananier	4,4	4,0	3,5	83,7	85,6	83,3	0,42	0,39	0,37	94,1	92,0	96,3
	p.p.d.s. 5 %	0,2	0,2	0,2	5,6	3,9	N.S	0,03	0,02	0,02	3,2	2,7	N.S
	p.p.d.s. 1 %	0,3	0,4	0,3	8,1	5,7	N.S	0,04	0,03	0,03	4,6	3,9	N.S
2 R ₀ F ₁	Témoin	2,8	2,8	2,8	80,6	82,2	77,9	0,30	0,27	0,27	86,6	93,2	93,2
	Ananas	5,0	4,9	4,9	55,9	62,7	62,8	0,44	0,44	0,42	76,8	86,3	82,9
	Bananier	4,5	4,2	4,2	81,3	84,0	82,5	0,45	0,40	0,42	89,0	93,0	93,1
	p.p.d.s. 5 %	0,8	0,1	0,4	3,4	5,2	8,5	0,06	0,02	0,02	8,1	6,7	8,1
	p.p.d.s. 1 %	1,1	0,2	0,5	5,0	7,6	12,4	0,09	0,03	0,03	11,8	N.S	11,8
3 R ₁ F ₀	Témoin		3,0	2,8		82,9	79,2		0,28	0,28		96,3	95,9
	Ananas		7,0	8,5		70,5	76,6		0,64	0,78		85,9	87,4
	Bananier		5,3	6,0		86,6	86,3		0,55	0,65		91,7	95,6
	p.p.d.s. 5 %		0,3	0,5		3,0	3,3		0,03	0,04		6,1	3,9
	p.p.d.s. 1 %		0,5	0,7		4,4	4,8		0,05	0,06		N.S	5,7
4 R ₁ F ₁	Témoin		2,9	3,0		81,3	82,0		0,26	0,27		92,3	95,7
	Ananas		7,3	8,5		75,4	78,7		0,65	0,75		88,6	90,1
	Bananier		6,0	6,8		82,8	86,4		0,61	0,72		88,7	94,8
	p.p.d.s. 5 %		0,6	0,6		N.S	N.S		0,05	0,06		N.S	N.S
	p.p.d.s. 1 %		0,9	0,8		N.S	N.S		0,07	0,08		N.S	N.S
Comparaison entre R ₀ F ₀ -R ₀ F ₁ -R ₁ F ₀ et R ₁ F ₁ .													
	p.p.d.s. 5 %												
	Témoin	N.S	N.S	N.S	N.S	1,8	N.S	N.S	0,01	N.S	N.S	N.S	N.S
	Ananas	N.S	0,5	0,3	N.S	N.S	11,2	N.S	0,04	0,05	N.S	N.S	N.S
	Bananier	N.S	0,4	0,6	N.S	N.S	N.S	N.S	0,04	0,05	N.S	N.S	1,4

TABLEAU V. Acides hymatomélaniques, rapports C/N des fractions libres et liées. Etude in situ.

	Ac. hymato. ‰			Ac. hymato. ‰ de C total			C/N libre			C/N lié			
	1970	1971	1972	1970	1971	1972	1970	1971	1972	1970	1971	1972	
1 R ₀ F ₀	Témoin	0,3	0,3	0,3	9,4	8,2	9,2	43,3	45,5	61,0	10,4	10,9	10,5
	Ananas	0,8	0,5	0,5	9,0	8,8	7,2	47,5	36,3	38,4	11,5	11,5	10,8
	Bananier	0,4	0,3	0,4	7,7	5,8	9,0	32,9	30,6	41,9	10,8	10,3	9,6
	p.p.d.s. 5 ‰	0,3	0,2	0,1	N.S	N.S	N.S	6,1	2,0	3,3	0,5	0,8	0,5
	p.p.d.s. 1 ‰	0,4	N.S	0,2	N.S	N.S	N.S	8,9	2,9	4,8	0,7	N.S	0,7
2 R ₀ F ₁	Témoin	0,3	0,3	0,3	8,1	9,5	9,6	34,9	42,3	29,6	9,3	10,5	10,2
	Ananas	0,6	0,7	0,6	6,2	9,0	6,9	46,3	37,3	39,7	11,5	11,2	11,7
	Bananier	0,3	0,3	0,4	6,4	7,1	7,6	19,7	25,5	20,1	10,0	10,5	10,1
	p.p.d.s. 5 ‰	0,3	0,2	0,2	N.S	N.S	N.S	2,0	5,0	0,5	1,0	N.S	0,8
	p.p.d.s. 1 ‰	N.S	0,2	0,2	N.S	N.S	N.S	3,0	7,2	0,8	1,5	N.S	1,1
3 R ₁ F ₀	Témoin		0,3	0,4		9,2	10,3		49,1	61,3		10,9	10,0
	Ananas		0,7	0,9		6,5	8,4		30,0	22,6		10,9	10,9
	Bananier		0,4	0,5		6,0	7,2		24,7	25,5		9,5	9,1
	p.p.d.s. 5 ‰		0,1	0,3		1,6	N.S		2,4	3,1		0,7	0,6
	p.p.d.s. 1 ‰		0,1	0,4		2,3	N.S		3,5	4,5		1,0	0,9
4 R ₁ F ₁	Témoin		0,4	0,2		9,6	6,8		37,9	29,5		11,0	11,0
	Ananas		0,7	0,8		7,2	7,3		25,9	27,9		11,3	11,3
	Bananier		0,5	0,3		7,3	4,4		17,6	16,6		9,9	9,3
	p.p.d.s. 5 ‰		0,2	0,4		N.S	N.S		1,3	0,5		0,8	1,3
	p.p.d.s. 1 ‰		0,4	0,6		N.S	N.S		1,9	0,7		1,2	1,9
Comparaison entre R ₀ F ₀ -R ₀ F ₁ -R ₁ F ₀ et R ₁ F ₁ .													
p.p.d.s. 5 ‰													
Témoin	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S	3,0	4,8	3,1	1,1	N.S	0,6	
Ananas	N.S	N.S	N.S	2,7	N.S	N.S	N.S	1,2	0,5	N.S	N.S	N.S	
Bananier	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S	2,3	9,3	1,0	2,0	0,4	0,5	0,6	

TABLEAU VI. Répartition des différentes catégories de composés humiques*. Extractions faites directement sur le sol tamisé. Etude in situ.

Prélèvement août 1970

	C total Ct	Ext. pyro pH 10		Ext. NaOH N pH12 10		AF totaux (a)	AH totaux (b)	Humine	Taux d'extrac- tion % $\frac{a+b}{Ct}$	$\frac{AF}{AH}$	C humine C total
		AF ₁	AH ₁	AF ₂	AH ₂						
<u>R₀F₀</u>											
Témoin	3,0	0,48	0,70	0,30	0,48	0,78	1,18	1,04	65,3	0,66	0,34
Ananas	7,0	0,55	1,00	0,60	0,78	1,15	1,78	4,07	41,9	0,64	0,58
Bananier	4,2	0,34	0,59	0,30	0,46	0,64	1,05	2,51	40,2	0,60	0,59
<u>R₀F₁</u>											
Témoin	3,1	0,50	0,63	0,29	0,44	0,79	1,07	1,24	60,0	0,73	0,40
Ananas	7,7	0,66	0,93	0,50	0,86	1,16	1,79	4,75	38,3	0,64	0,61
Bananier	5,2	0,40	0,58	0,24	0,36	0,64	0,94	3,62	30,4	0,68	0,69

* Résultats exprimés en p. 1000 du poids de terre.

TABLEAU VII. Répartition des différentes catégories de composés humiques*. Extractions faites directement sur le sol tamisé. Etude in situ.

Prélèvement août 1971

		C total Ct	Ext. pyro. pH 10		Ext. Na OH N pH 12 10		AF totaux (a)	AH totaux (b)	Humine	Taux d'extraction % $\frac{a+b}{Ct}$	AF/AH	C humine C total
			AF ₁	AH ₁	AF ₂	AH ₂						
<u>R₀F₀</u>	Témoin	3,7	0,44	0,16	0,29	0,11	0,73	0,27	2,70	27,0	2,71	0,73
	Ananas	6,0	0,57	0,23	0,71	0,19	1,28	0,42	4,30	28,3	3,0	0,72
	Bananier	4,7	0,21	0,19	0,50	-	0,71	0,19	3,80	19,2	3,7	0,81
<u>R₀F₁</u>	Témoin	3,0	0,58	0,02	0,37	0,03	0,95	0,05	2,00	33,3	19,0	0,67
	Ananas	8,0	0,46	0,34	0,62	0,18	1,08	0,52	6,40	20,0	2,1	0,80
	Bananier	4,7	0,24	0,16	0,42	0,18	0,66	0,34	3,70	21,3	1,9	0,79
<u>R₁F₀</u>	Témoin	3,3	0,46	0,14	0,42	0,08	0,88	0,22	2,20	33,3	4,0	0,67
	Ananas	9,1	0,40	0,40	0,95	0,25	1,35	0,65	7,10	22,0	2,1	0,78
	Bananier	6,7	0,29	0,21	0,32	0,08	0,61	0,29	5,80	13,4	2,1	0,84
<u>R₁F₁</u>	Témoin	3,1	0,48	0,12	0,50	-	0,98	0,12	2,00	35,5	8,2	0,64
	Ananas	10,0	0,29	0,31	0,72	0,28	1,01	0,59	8,40	16,0	1,7	0,86
	Bananier	6,6	0,22	0,18	0,07	0,13	0,29	0,31	6,00	9,1	0,9	0,90

* Résultats exprimés en p. 1000 du poids de terre.

TABLEAU VIII. Répartition des différentes catégories de composés humiques*. Extractions faites directement sur le sol tamisé. Etude in situ.

Prélèvement août 1972

	C total Ct	Ext. pyro. pH 10		Ext. Na OH N pH 12 10		AF totaux (a)	AH totaux (b)	Humine	Taux d'extrac- tion % a + b Ct	AF/AH	C humine C total
		AF ₁	AH ₁	AF ₂	AH ₂						
<u>R₀F₀</u>											
Témoin	3,1	0,70	0,30	0,50	0,20	1,20	0,50	1,40	54,84	2,40	0,45
Ananas	5,8	0,80	0,50	0,90	0,50	1,70	1,00	3,10	46,55	1,70	0,52
Bananier	3,7	0,30	0,30	0,50	0,20	0,80	0,50	2,40	35,14	1,60	0,65
<u>R₀F₁</u>											
Témoin	3,3	0,60	0,30	0,50	0,20	1,10	0,50	1,70	48,48	2,20	0,51
Ananas	7,5	0,90	0,50	0,80	0,60	1,70	1,10	4,70	37,34	1,54	0,63
Bananier	5,1	0,40	0,30	0,50	0,30	0,90	0,60	3,60	29,41	1,50	0,70
<u>R₁F₀</u>											
Témoin	3,2	0,60	0,30	0,40	0,30	1,00	0,60	1,60	49,99	1,67	0,50
Ananas	10,9	0,80	0,70	1,00	1,00	1,80	1,70	7,40	32,11	1,06	0,68
Bananier	6,3	0,50	0,30	0,40	0,30	0,90	0,60	4,80	23,81	1,50	0,76
<u>R₁F₁</u>											
Témoin	3,1	0,60	0,30	0,50	0,20	1,10	0,50	1,50	51,61	2,20	0,48
Ananas	11,1	0,50	0,60	0,70	0,90	1,20	1,50	8,40	24,32	0,80	0,76
Bananier	8,2	0,40	0,40	0,40	0,40	0,80	0,80	6,60	19,52	1,00	0,80

* Résultats exprimés en p. 1000 du poids de terre.

TABLEAU IX. Teneur en carbone facilement biodégradable. Etude in situ.

	mg de CO ₂ pour 100 g sol			Coefficient de minéralisation p. 100		
	1970	1971	1972	1970	1971	1972
1. R₀F₀						
Témoin	13,4	5,8	17,7	1,04	0,44	1,33
Ananas	59,3	40,7	33,5	1,80	1,59	1,47
Bananier	53,8	39,5	37,6	2,73	2,29	2,41
p.p.d.s. 5 %	7,5	5,3	6,3	0,39	0,29	0,42
p.p.d.s. 1 %	10,9	7,7	9,2	0,57	0,43	0,61
CV %	12	13	15	14	14	17
2. R₀F₁						
Témoin	22,9	18,5	23,3	2,09	1,45	1,77
Ananas	70,8	61,1	51,4	2,13	2,23	1,77
Bananier	61,8	39,0	44,1	3,00	2,14	2,33
p.p.d.s. 5 %	22,5	15,9	12,0	N.S	0,63	N.S
p.p.d.s. 1 %	32,7	23,1	17,3	N.S	0,92	N.S
CV %	29	28	21	26	22	22
3. R₁F₀						
Témoin		7,1	17,5		0,54	1,33
Ananas		103,0	117,4		2,82	2,86
Bananier		70,8	82,6		3,14	3,23
p.p.d.s. 5 %		7,9	22,0		0,22	0,53
p.p.d.s. 1 %		11,5	32,0		0,32	0,77
CV %		9	21		7	14
4. R₁F₁						
Témoin		9,0	16,8		0,68	1,26
Ananas		95,5	98,8		2,64	2,47
Bananier		69,3	90,5		2,58	3,12
p.p.d.s. 5 %		11,3	14,2		0,30	0,56
p.p.d.s. 1 %		16,4	20,7		0,44	0,81
CV %		13	14		10	17
Comparaison entre R₀F₀-R₀F₁-R₁F₀-R₁F₁.						
p.p.d.s. 5 %						
Témoin	13,4	6,4	N.S	0,91	0,48	N.S
Ananas	11,6	18,0	22,1	N.S	0,62	0,49
Bananier	N.S	4,6	9,2	N.S	0,34	0,42

TABLEAU X. Répartition des différentes fractions de carbone*. Etude in vitro.

	Acides hymatomélaniques				C libre				C lié				C total						
	Ana.	Bana.	p.p.d.s.		Tém.	Ana.	Bana.	p.p.d.s.		Tém.	Ana.	Bana.	p.p.d.s.		Tém.	Ana.	Bana.	p.p.d.s.	
			5 %	1 %				5 %	1 %				5 %	1 %				5 %	1 %
Début d'incuba- tion					10,5 (14,3)	18,7 (86,2)	15,9 (84,1)			3,0 (85,7)	3,0 (13,8)	3,0 (15,0)			3,5	21,7	18,9		
10 jours	1,8 (12,2)	0,7 (5,4)	0,9 (5,4)	NS (NS)	0,5 (14,1)	5,4 (37,5)	4,9 (34,0)	0,5 (NS)	0,8 (NS)	3,1 (79,7)	7,3 (50,4)	8,7 (60,7)	0,7 (5,1)	1,0 (7,4)	3,8	14,5	14,3	NS	NS
20 jours	1,5 (11,6)	0,5 (4,1)	1,0 (6,2)	1,5 (NS)	0,4 (10,2)	4,7 (35,6)	3,9 (31,4)	0,4 (3,8)	0,5 (5,5)	2,8 (79,3)	6,9 (52,8)	8,0 (64,5)	0,4 (4,6)	0,6 (6,7)	3,5	13,1	12,3	NS	NS
30 jours	1,4 (11,5)	0,4 (4,2)	0,3 (2,5)	0,5 (3,7)	0,4 (10,6)	4,0 (33,3)	3,0 (27,5)	1,0 (2,2)	1,0 (3,1)	2,8 (78,5)	6,7 (55,3)	7,2 (68,3)	NS (3,3)	NS (4,9)	3,6	12,3	10,9	0,8	1,2
60 jours	0,9 (6,9)	0,6 (6,4)	NS (NS)	NS (NS)	0,4 (10,3)	3,4 (31,7)	2,0 (22,4)	0,5 (3,9)	0,7 (5,7)	2,9 (73,4)	6,6 (61,4)	6,4 (71,2)	0,2 (5,7)	NS (8,4)	3,9	10,8	9,1	0,7	1,0
120 jours	0,6 (7,7)	0,5 (6,4)	NS (NS)	NS (NS)	0,3 (8,6)	2,8 (29,2)	1,4 (18,7)	0,1 (2,3)	0,2 (3,3)	2,8 (77,5)	6,1 (62,4)	5,6 (74,9)	NS (5,1)	NS (7,5)	3,6	9,7	7,5	0,8	1,2

* Résultats exprimés en p. 1000 du poids de terre. Entre parenthèse résultats en p. 100 du C total.

TABLEAU XI. Répartition des différentes fractions d'azote organique* Etude in vitro.

	N libre				N lié				N total						
	Témoin	Ananas	Banan.	p.p.d.s.		Témoin	Ananas	Banan.	p.p.d.s.		Témoin	Ananas	Banan.	p.p.d.s.	
				5 %	1 %				5 %	1 %				5 %	1 %
Début d'incubation	0,01 (6,5)	0,43 (59,7)	0,36 (55,4)			0,29 (93,5)	0,29 (40,3)	0,29 (44,6)			0,31	0,72	0,65		
10 jours	0,01 (6,5)	0,08 (11,4)	0,12 (19,3)	0,01 (1,1)	0,01 (1,6)	0,29 (93,5)	0,58 (85,4)	0,49 (80,1)	0,02 (2,4)	0,03 (3,4)	0,31	0,68	0,61	0,02	0,04
20 jours	0,01 (6,5)	0,08 (11,0)	0,09 (13,5)	NS (1,2)	NS (1,8)	0,29 (93,5)	0,60 (85,1)	0,52 (81,8)	0,01 (2,1)	0,02 (3,0)	0,31	0,71	0,64	0,02	0,02
30 jours	0,01 (6,5)	0,08 (11,5)	0,09 (13,4)	NS (NS)	NS (NS)	0,29 (93,5)	0,61 (82,8)	0,56 (86,3)	0,02 (NS)	0,04 (NS)	0,31	0,73	0,64	0,04	0,05
60 jours	0,01 (3,0)	0,07 (9,5)	0,07 (11,2)	NS (0,5)	NS (0,8)	0,30 (90,5)	0,64 (87,5)	0,57 (88,2)	0,02 (NS)	0,03 (NS)	0,33	0,74	0,64	0,02	0,02
120 jours	0,01 (3,1)	0,08 (10,4)	0,05 (8,6)	0,01 (1,2)	0,01 (1,8)	0,30 (93,7)	0,62 (85,0)	0,56 (89,2)	0,02 (3,5)	0,03 (NS)	0,32	0,73	0,63	0,02	0,03

* Résultats en p. 1000 du poids de terre. Entre parenthèse résultats en p. 100 de N total.

TABLEAU XII. Valeur des rapports C/N des différentes fractions. Etude in vitro.

	Fraction libre				Fraction liée				Matière organique totale						
	Témoin	Ananas	Banan.	p.p.d.s.		Témoin	Ananas	Banan.	p.p.d.s.		Témoin	Ananas	Banan.	p.p.d.s.	
				5 %	1 %				5 %	1 %				5 %	1 %
Début d'in- cubation.	50,0	45,0	45,0			10,3	10,3	10,3			11,3	30	30		
10 jours	45,5	71,2	42,2	3,6	5,2	10,6	12,2	17,6	1,2	1,8	12,4	21,2	23,4	1,3	1,9
20 jours	33,2	61,8	42,8	3,6	5,3	9,4	11,5	15,2	0,8	1,1	11,2	18,5	19,4	NS	NS
30 jours	38,4	56,1	34,0	9,1	13,2	9,9	11,1	12,8	0,9	1,3	11,7	16,6	16,3	NS	NS
60 jours	32,6	51,3	30,7	3,5	5,1	9,5	10,5	11,4	0,7	1,0	11,7	14,7	14,1	NS	NS
120 jours	37,6	36,4	24,0	2,5	3,6	9,4	9,7	10,1	NS	NS	11,0	13,3	12,0	NS	NS

TABLEAU XIII. Répartition du carbone de la fraction liée après fractionnement chimique dans les essais au champ*.

Prélèvement janvier 1970

Traitements		C total (Ct)	AF ₁	AH ₁	AF ₂	AH ₂	AF ₃	AH ₃	Humine	AF totaux (a)	AH totaux (b)	AF/AH	Taux d'extrac. a + b Ct %	Humine Ct
Azaguié	(Forêt	12,2	1,2	1,7	0,8	0,6	0,6	0,4	5,7	2,6	2,7	0,96	43,4	0,47
	(Bananier { Paillis + fumure miné- rale.	14,7	0,6	1,4	0,4	0,8	0,6	1,2	7,6	1,6	3,4	0,47	34,0	0,52
	({ Paillis + fumure miné. + orga.	19,4	0,8	2,0	0,5	1,2	0,7	0,7	10,6	2,0	3,9	0,51	30,4	0,55
Anguédédou	(Forêt	15,0	1,8	1,6	0,6	2,4	0,6	0,4	6,2	3,0	4,4	0,68	49,3	0,41
	({ Fumure minérale	10,9	1,1	1,6	0,4	1,6	0,5	0,4	3,1	2,0	3,6	0,56	51,4	0,28
	(Ananas { Fumure miné. + orga.	12,4	1,0	1,6	0,4	1,6	0,6	0,4	4,0	2,0	3,6	0,56	45,2	0,32

TABLEAU XIV. Répartition du carbone de la fraction liée après fractionnement chimique dans les échantillons enrichis avec 4 % de matière végétale après 120 jours d'incubation à 27°C*. Etude in vitro.

Témoin	3,2	0,4	0,5	0,4	0,6	0,4	0,1	0,8	1,2	1,2	1,00	75,0	0,25
Ananas	11,3	0,6	0,7	0,5	0,5	0,8	0,2	5,1	1,9	1,4	1,36	29,2	0,45
Bananier	8,6	0,6	0,7	0,3	0,7	0,5	0,4	4,9	1,4	1,8	0,77	37,2	0,57

* Résultats exprimés en p. 1000 du poids de terre.

TABLEAU XV. Minéralisation de l'azote dans les échantillons enrichis avec 4 % de matière végétale*. Etude in vitro avec sol de forêt : horizon 30-60 cm.

Jours		0	10	20	30	60	120	260
N-minéral total	Témoin	11	11	11	12	15	17	30
	Ananas	15	2	3	2	5	13	72
	Bananier	62	2	4	3	4	4	2
	p.p.d.s. 5 %	4	2	1	1	3	3	4
	p.p.d.s. 1 %	5	3	2	2	5	4	6
	CV %	9	35	9	17	30	20	9
N-NH ₄	Témoin	8	10	10	11	13	14	24
	Ananas	12	2	3	2	5	13	65
	Bananier	9	2	4	3	4	4	2
N-NO ₃	Témoin	3	1	1	1	2	3	6
	Ananas	3	0	0	0	0	0	7
	Bananier	53	0	0	0	0	0	0

* Résultats exprimés en mg par kg de terre.

TABLEAU XVI. Minéralisation de l'azote dans les échantillons enrichis avec 4 % de matière végétale*.
Etude in vitro avec sol prélevé sous couverture de stylosanthes : horizon 0-10 cm.

Jours		Sans enrichissement en azote minéral (N ₀)						Enrichissement avec 400 p.p.m. d'azote minéral (N ₁)							
		0	10	20	30	60	120	240	0	10	20	30	60	120	240
N-NH ₄	Témoin	22	70	36	21	11	10	16	422	496	490	482	465	424	438
	Ananas	24	9	8	16	8	3	26	424	149	297	357	412	333	300
	Bananier	23	19	37	37	6	4	10	423	146	199	202	201	133	99
	p.p.d.s. 5%	1,0	3	6	7	2	N.S	N.S	1,0	5	5	12	7	21	42
	p.p.d.s. 1%	1,3	5	9	10	3	-	-	1,3	7	7	17	9	30	58
CV %	3,0	7,2	17	22	19	51	59	0,2	1,3	1,1	2,5	1,3	4,6	11	
N-NO ₃	Témoin	22	50	93	114	155	184	232	22	33	55	73	113	150	203
	Ananas	23	0	0	3	105	218	361	23	0	3	11	31	167	299
	Bananier	228	71	76	86	132	161	247	228	188	187	200	226	283	430
	p.p.d.s. 5%	2	9	6	8	14	11	25	2	13	14	7	9	32	12
	p.p.d.s. 1%	3	13	9	11	19	16	35	3	19	20	10	13	46	17
CV %	1,4	10	5,0	5,2	8,1	4,3	6,4	1,4	8,2	7,7	3,5	5,4	12	2,8	
N-Miné- ral total	Témoin	44	120	129	135	166	194	248	444	529	545	555	578	574	641
	Ananas	47	9	8	19	113	221	387	447	149	300	368	443	500	600
	Bananier	251	90	113	123	138	165	257	651	334	386	402	427	416	529
	p.p.d.s. 5%	2	8	3	10	15	11	21	2	12	3	14	10	32	36
	p.p.d.s. 1%	3	12	4	14	20	16	30	3	17	4	20	15	47	51
CV %	1,1	8,2	2,7	8,0	7,6	4,3	5,2	1,1	2,6	2,7	2,3	1,6	12	4,5	

* Résultats exprimés en mg par kg de terre.

TABLEAU XVII. Capacité d'échange cationique (mé/100 g de terre). Etude in situ.

Traitements	R ₀ F ₀			R ₀ F ₁			R ₁ F ₀		R ₁ F ₁		Comparaison entre R ₀ F ₀ -R ₀ F ₁ -R ₁ F ₀ et R ₁ F ₁ . p.p.d.s. 5 %		
	1970	1971	1972	1970	1971	1972	1971	1972	1971	1972	1970	1971	1972
Témoin	3,7	3,7	3,7	3,8	3,8	3,9	3,6	3,6	3,7	3,7	N.S	N.S	N.S
Ananas	4,3	4,3	4,3	4,3	4,4	4,3	4,9	5,2	5,1	5,5	N.S	0,2	0,2
Bananier	4,7	4,5	4,4	4,8	4,6	4,6	5,2	5,7	5,4	5,8	N.S	0,4	0,4
p.p.d.s. 5 %	0,2	0,3	0,3	0,5	0,5	0,3	0,6	0,4	0,6	0,5			
p.p.d.s. 1 %	0,4	0,5	0,5	0,7	0,7	0,4	0,9	0,6	0,9	0,7			

TABLEAU XVIII. Valeurs des coefficients de corrélation "r" entre les teneurs en carbone total ou carbone lié et la capacité d'échange cationique. Etude in situ.

Traitements				C total × T		C lié × T	
				1971	1972	1971	1972
R ₀ F ₀	-	R ₁ F ₀	} Ananas	0,94	0,95	0,92	0,98
R ₀ F ₁	-	R ₁ F ₁		0,88	0,71	0,90	0,95
R ₀ F ₀	-	R ₁ F ₀	} Bananier	0,94	0,98	0,94	0,97
R ₀ F ₁	-	R ₁ F ₁		0,88	0,87	0,85	0,86

TABEAU XX. Valeurs des coefficients de corrélation "r" entre les teneurs en carbone total ou carbone lié et les taux d'agrégats "vrais" stables après pré-traitement à l'alcool. Etude in situ.

Traitements	C total x agrégats vrais alcool			C lié x agrégats vrais alcool		
	1970	1971	1972	1970	1971	1972
R ₀ F ₀ (1) (T - A - B)	0,48	0,70	0,90	0,64	0,92	0,89
R ₀ F ₁ (1) (T - A - B)	0,34	0,81	0,88	0,71	0,91	0,82
R ₁ F ₀ (1) (T - A - B)		0,93	0,92		0,87	0,87
R ₁ F ₁ (1) (T - A - B)		0,96	0,87		0,97	0,85
R ₀ F ₀ - R ₁ F ₀ (2) ananas seul		0,89	0,97		0,96	0,96
R ₀ F ₁ - R ₁ F ₁ (2) ananas seul		0,82	0,72		0,85	0,88
R ₀ F ₀ - R ₁ F ₀ (2) bananier seul		0,65	0,68		0,67	0,69
R ₀ F ₁ - R ₁ F ₁ (2) bananier seul		0,61	0,36		0,66	0,35

(1) P = 0,05

r = 0,51

P = 0,01

r = 0,64

(2) P = 0,05

r = 0,63

P = 0,01

r = 0,77

TABLEAU XXI. Valeurs des coefficients de corrélation "r" entre les teneurs en carbone total ou carbone lié et les taux d'agrégats "vrais" stables sans prétraitement. Etude in situ.

Traitements	C total x agrégats vrais air			C lié x agrégats vrais air		
	1970	1971	1972	1970	1971	1972
R ₀ F ₀ (1) (T - A - B)	0,67	0,62	0,84	0,88	0,87	0,86
R ₀ F ₁ (1) (T - A - B)	0,43	0,82	0,70	0,76	0,83	0,67
R ₁ F ₀ (1) (T - A - B)		0,93	0,95		0,93	0,92
R ₁ F ₁ (1) (T - A - B)		0,89	0,84		0,78	0,77
R ₀ F ₀ - R ₁ F ₀ (2) ananas seul		0,83	0,98		0,86	0,99
R ₀ F ₁ - R ₁ F ₁ (2) ananas seul		0,80	0,72		0,51	0,73
R ₀ F ₀ - R ₁ F ₀ (2) bananier seul		0,70	0,86		0,69	0,85
R ₀ F ₁ - R ₁ F ₁ (2) bananier seul		0,52	-0,05		0,48	-0,04

(1) P = 0,05

r = 0,51

P = 0,01

r = 0,64

(2) P = 0,05

r = 0,63

P = 0,01

r = 0,77

TABLEAU XXII. Valeur des coefficients de corrélation "r" entre les teneurs en carbone total ou carbone lié et les taux d'agrégats "vrais" stables après pré-traitement au benzène. Etude in situ.

Traitements	C total × agrégats vrais benzène			C lié × agrégats vrais benzène		
	1970	1971	1972	1970	1971	1972
R ₀ F ₀ (1) (T - A - B)	0,82	0,68	0,96	0,71	0,92	0,94
R ₀ F ₁ (1) (T - A - B)	0,66	0,85	0,88	0,74	0,72	0,78
R ₁ F ₀ (1) (T - A - B)		0,88	0,96		0,86	0,94
R ₁ F ₁ (1) (T - A - B)		0,83	0,78		0,67	0,63
R ₀ F ₀ - R ₁ F ₀ (2) ananas seul		0,64	0,98		0,65	0,98
R ₀ F ₁ - R ₁ F ₁ (2) ananas seul		-0,14	0,74		0,28	0,52
R ₀ F ₀ - R ₁ F ₀ (2) bananier seul		0,87	0,91		0,85	0,88
R ₀ F ₁ - R ₁ F ₁ (2) bananier seul		0,90	-0,47		0,88	-0,44

(1) P = 0,05

r = 0,51

P = 0,01

r = 0,64

(2) P = 0,05

r = 0,63

P = 0,01

r = 0,77

TABLEAU XXIII. Valeur des coefficients de corrélation "r" entre les teneurs en carbone total ou carbone lié et l'indice d'instabilité Is. Etude in situ.

Traitements	C total × Is			C lié × Is		
	1970	1971	1972	1970	1971	1972
R ₀ F ₀ (1) (T - A - B)	- 0,73	- 0,71	- 0,94	- 0,89	- 0,97	- 0,95
R ₀ F ₁ (1) (T - A - B)	- 0,63	- 0,87	- 0,86	- 0,90	- 0,94	- 0,89
R ₁ F ₀ (1) (T - A - B)		- 0,96	- 0,97		- 0,96	- 0,96
R ₁ F ₁ (1) (T - A - B)		- 0,97	- 0,93		- 0,98	- 0,97
R ₀ F ₀ - R ₁ F ₀ (2) ananas seul		- 0,86	- 0,96		- 0,92	- 0,97
R ₀ F ₁ - R ₁ F ₁ (2) ananas seul		- 0,62	- 0,97		- 0,73	- 0,89
R ₀ F ₀ - R ₁ F ₀ (2) bananier seul		- 0,72	- 0,89		- 0,75	- 0,90
R ₀ F ₁ - R ₁ F ₁ (2) bananier seul		- 0,58	- 0,31		- 0,61	- 0,29

(1) P = 0,05

r = 0,51

P = 0,01

r = 0,64

(2) P = 0,05

r = 0,63

P = 0,01

r = 0,77

TABLEAU XXIV. Variation des taux d'agrégats "vrais" stables à l'eau après prétraitement à l'alcool (Aga) et au benzène (Agb) dans les échantillons enrichis avec 4 % de matière végétale. Entre parenthèse valeurs indiciaires par rapport au témoin. Etude in vitro.

Jours		0	10	20	30	60	120	280
Aga %	Témoin	4,5 (100)	4,8 (100)	4,7 (100)	4,6 (100)	4,4 (100)	3,7 (100)	1,0 (100)
	Ananas	3,9 (87)	16,3 (340)	22,8 (485)	24,8 (539)	23,9 (543)	21,4 (578)	12,3 (1230)
	Bananier	2,9 (65)	13,0 (271)	19,5 (415)	26,2 (570)	25,1 (570)	17,2 (465)	11,1 (1110)
	p.p.d.s. 5 %	N.S	1,5	2,0	N.S	N.S	2,2	N.S
	p.p.d.s. 1 %	N.S	2,2	3,0	N.S	N.S	3,2	N.S
	CV %	21	7,1	6,7	4,5	5,7	7,9	11
Agb %	Témoin	0,2 (100)	0,4 (100)	0,4 (100)	0,4 (100)	0,3 (100)	0,4 (100)	0,5 (100)
	Ananas	1,1 (550)	17,7 (4425)	21,0 (5250)	21,1 (5275)	21,0 (7000)	12,4 (3100)	4,5 (900)
	Bananier	1,7 (850)	6,8 (1700)	11,4 (2850)	14,8 (3700)	9,0 (3000)	5,0 (1250)	2,0 (400)
	p.p.d.s. 5 %	N.S	1,3	1,7	1,5	2,8	1,2	1,6
	p.p.d.s. 1 %	N.S	2,0	2,5	2,2	4,1	1,7	2,3
	CV %	38	7,5	7,2	5,5	12,8	9,2	32

L'analyse statistique ne porte que sur la comparaison entre traitements "ananas" et "bananier". Le témoin est évidemment significativement différent de deux autres traitements.

TABLEAU XXV. Caractéristiques des sols cultivés et des mêmes sols sous forêt. (terre fine horizon 0-25 cm)
AZAGUIE et ANGUÉDEDOU 1970.

	B A N A N E R A I E				FORET	A N A N A S				FORET
	Témoin	Paillis	Fumier	Paillis + Fumier		Témoin	Fumure miné- rale	Fumure orga- nique	Fumure miné. + orga	
GRANULOMETRIE (p. 100)										
Argile inférieure à 2 microns	16,3	19,3	15,5	17,2	15,5	19,9	18,9	18,2	18,5	19,7
Limon fin 2-20 microns	9,7	9,7	10,0	9,1	8,2	3,1	3,4	2,7	3,1	3,0
Limon grossier, 20-50 microns	18,4	18,3	18,4	18,3	17,1	2,3	2,0	2,0	2,1	1,7
Sable fin, 50-200 microns	24,2	24,1	25,2	23,6	24,1	23,9	23,3	22,5	22,2	20,8
Sable grossier 200-2000 microns	30,1	26,9	29,2	29,0	33,3	48,6	50,2	51,7	51,1	51,5
CARACTERISTIQUES CHIMIQUES										
C total (p. 1000)	12,0	12,5	13,0	17,4	12,7	9,4	10,5	11,3	11,8	15,2
N total (p. 1000)	1,0	1,1	1,2	1,5	1,0	0,6	0,7	0,8	0,8	1,0
C/N	12	11	11	12	13	16	15	14	15	15
Cations échangeables (mé/100 g)										
Ca	4,0	4,0	4,5	4,2	0,6	0,3	0,05	1,6	0,6	0,2
Mg	1,1	1,3	1,4	1,3	0,1	0,05	0,03	0,5	0,3	0,2
K	0,3	0,3	0,3	0,3	0,03	0,01	0,05	0,2	0,2	0,07
Capacité d'échange (mé/100 g)	7,1	7,5	7,7	9,1	6,2	6,4	6,8	7,2	7,3	8,9
Coef. de saturation (p. 100)	75	75	79	63	10	6	2	32	14	4
pH (pâte saturée)	6,0	5,9	6,1	5,8	4,5	4,6	4,1	5,1	4,3	4,3
P ₂₀₅ assimilable (DYER) (p. 1000)	0,17	0,11	0,21	0,26	0	0,02	0,03	0,08	0,09	0,02

TABLEAU XXVI. Exemple de composition du fumier et du paillis utilisés dans les essais "au champ".

	p. 100	p. 100 de M.S							p.p.m. de M.S				pH
	MS/MF	C	N	C/N	P	K	Ca	Mg	Zn	Cu	Mn	Fe	
a) <u>bananier</u>													
Fumier apport 1970	25,6	34,8	2,46	14,1	0,35	2,89	1,85	0,95	124	16	628	1699	8,5
Fumier apport 1972	25,1	38,7	2,62	14,8	0,56	4,68	1,95	1,26	125	-	605	2420	8,8
Guatemala grass	21,2	46,3	1,23	37,6	0,15	0,76	0,28	0,33					
b) <u>ananas</u>													
1er cycle (3) et (4)	69	8,3	0,6	14	1,0	3,5							-
2e cycle (3)	56	25,9	1,2	23	2,9								8,5
(4)		21,2	1,3	16	2,5								9,0
3e cycle (Humuci)	84	7,9	0,5	16		0,7	0,3	0,1					9,5
4e cycle (3)	29	21,1	1,8	12	0,7	3,4	1,6	1,3					
(4)	86	32,9	2,3	14	0,6	3,3	1,0	1,0					
6e cycle (3) et (4)	27	33,5	2,5	13	1,3	4,6	2,3	0,6	129	27	634	3123	8,0

* MS = matière sèche ,

MF = matière fraîche.

TABLEAU XXVII. Carbone total. Essai en bananeraie Azaguié. (résultats exprimés en p. 1000 du poids de terre).
En 1958 C = 15,0 ± 2,8.

Méthode	W A L K L E Y et			B L A C K			A N N E				
	1961	1963	1964	1966	1967	1968	1968	1969	1970	1971	1972
1) TRAITEMENTS PRINCIPAUX											
<u>ss/traitements "a"</u>											
1 paillis	17,3	16,8	21,4	16,4	18,2	15,3	12,9	12,6	11,8	13,6	12,7
2 fumier	18,4	15,3	19,0	16,3	17,4	15,0	12,9	12,9	11,4	13,4	12,1
3 paillis + fumier	22,0	19,3	23,4	18,7	18,8	16,6	14,1	13,2	12,7	13,2	11,5
p.p.d.s. 5 %	1,9	2,7	1,7	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S
p.p.d.s. 1 %	2,7	3,8	2,5	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S
Coef. de variation %	7,8	12	6,4	13	12	11	11	13	9,6	12	10
<u>ss/traitements "b"</u>											
1 paillis			19,2	15,2	15,4	16,7	13,9	12,7	12,5	15,5	12,9
2 fumier			18,7	16,4	16,9	17,7	15,0	13,0	13,0	19,1	15,9
3 paillis + fumier		21,7	24,4	23,2	24,9	23,5	19,7	17,1	17,4	24,7	19,5
p.p.d.s. 5 %			2,2	2,5	3,1	2,8	2,5	3,3	2,3	4,4	2,5
p.p.d.s. 1 %			3,2	3,6	4,4	4,0	3,6	4,6	3,3	6,2	8,5
Coef. de variation %			8,3	11	13	11	12	15	12	17	12
<u>Moy. ss/traitements "a" et "b"</u>											
1 paillis			20,3	15,8	16,8						
2 fumier			18,9	16,3	17,1						
3 paillis + fumier			23,9	21,0	21,8						
p.p.d.s. 5 %			1,2	2,0	1,9						
p.p.d.s. 1 %			1,7	2,9	2,7						
2) SOUS-TRAITEMENTS											
Moy. 1a et Moy. 1b			N.S	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S
Moy. 2a et Moy. 2b			N.S	N.S	N.S	+	+	N.S	N.S	+	+
Moy. 3a et Moy. 3b		N.S	N.S	+	+	+	+	+	+	+	+

A partir de la replantation de 1967 les 3 ss/traitements "a" sont devenus traitements "témoin".

N.S = non significatif, + significatif à P = 0,05, ++ significatif à P = 0,01. Coefficient de variation :
CV = $\frac{\text{écart type}}{\text{moyenne}} \times 100$

moyenne

TABLEAU XXVIII. Azote total* Essai en bananeraie Azaguié.
En 1958 N = 1,1 ± 0,2

A n n é e	1961	1963	1964	1966	1967	1968	1969	1970	1971	1972
1) TRAITEMENTS PRINCIPAUX										
<u>ss/traitements "a"</u>										
1 paillis	1,29	1,19	1,34	1,20	1,34	1,08	1,05	0,98	1,08	1,03
2 fumier	1,35	1,14	1,21	1,16	1,35	1,06	1,04	0,96	1,09	0,98
3 paillis + fumier	1,53	1,32	1,42	1,34	1,37	1,24	1,12	1,06	1,08	0,99
p.p.d.s. 5 %	0,19	0,19	N.S	0,13	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S
p.p.d.s. 1 %	N.S									
Coef. de variation %	11	12	11	8,4	13	11	14	10	9	7
<u>ss/traitements "b"</u>										
1 paillis			1,17	1,05	1,14	1,15	1,07	1,07	1,21	1,05
2 fumier			1,25	1,19	1,32	1,27	1,18	1,16	1,62	1,33
3 paillis + fumier		1,40	1,58	1,61	1,77	1,64	1,53	1,50	2,02	1,66
p.p.d.s. 5 %			0,14	0,19	0,20	0,20	0,21	0,20	0,37	0,17
p.p.d.s. 1 %			0,20	0,27	0,29	0,29	0,30	0,29	0,52	0,25
Coef. de variation %			8,3	11	11	11	14	13	18	10
<u>Moy. ss/traitements "a" et "b"</u>										
1 paillis			1,27	1,13	1,24					
2 fumier			1,23	1,18	1,33					
3 paillis + fumier			1,50	1,48	1,57					
p.p.d.s. 5 %			0,10	0,09	0,12					
p.p.d.s. 1 %			0,14	0,13	0,18					
2) SOUS-TRAITEMENTS										
Moy. 1a et Moy. 1b			+	N.S						
Moy. 2a et Moy. 2b			N.S	N.S	N.S	+	N.S	+	+	+
Moy. 3a et Moy. 3b		N.S	+	+	+	+	+	+	+	+

* Résultats exprimés en p. 1000 du poids de terre.

TABLEAU XXX. Carbone et azote total. Essai ananas Anguédédou. (résultats exprimés en p. 1000 du poids de terre).

A n n é e		1960	1962	1963	1964	1967 (1)	1967 (2)	1968	1969	1970	1971	1972
C total	1. Sans fumure	9,8	9,0	9,6	11,7	9,3	8,9	8,0	8,8	9,4	9,0	9,8
	2. Fumure minérale	10,6	9,6	8,1	11,9	10,3	9,7	9,6	9,7	10,5	10,1	10,1
	3. Fumure organique	8,8	10,6	10,3	12,6	11,0	10,1	10,5	10,5	11,3	10,9	10,4
	4. Fumure miné. + orga.	10,1	10,6	9,3	12,8	11,0	10,7	10,4	10,7	11,8	11,5	10,7
	p.p.d.s. 5 %	N.S	N.S	N.S	N.S	0,7	0,8	0,6	0,6	0,6	0,6	N.S
	p.p.d.s. 1 %	N.S	N.S	N.S	N.S	1,0	1,1	0,8	0,8	0,8	0,8	N.S
	Coef. de variation %	7,2	12	15	13	5,5	6,4	4,9	4,8	4,5	4,8	11
N total	1. Sans fumure	0,94	0,65	0,61	0,59		0,60	0,64	0,63	0,60	0,63	0,67
	2. Fumure minérale	0,93	0,66	0,64	0,73		0,63	0,73	0,68	0,67	0,69	0,71
	3. Fumure organique	0,99	0,73	0,64	0,88		0,73	0,87	0,79	0,76	0,78	0,78
	4. Fumure miné. + orga.	0,94	0,71	0,64	0,84		0,75	0,89	0,80	0,83	0,85	0,81
	p.p.d.s. 5 %	N.S	0,05	N.S	N.S		0,05	0,09	0,05	0,04	0,04	N.S
	p.p.d.s. 1 %	N.S	N.S	N.S	N.S		0,06	0,13	0,07	0,06	0,05	N.S
	Coef. de variation %	5,7	6,1	13	24		5,5	9,7	5,4	4,5	4,0	15
C/N	1. Sans fumure	10,2	13,8	15,9	19,7	15,5	14,9	12,5	14,0	15,5	14,2	14,9
	2. Fumure minérale	10,9	14,5	13,0	17,7	16,3	15,3	13,2	14,3	15,8	14,7	14,2
	3. Fumure organique	8,8	14,5	16,3	15,3	15,1	13,9	12,3	13,3	14,9	14,0	13,4
	4. Fumure miné. + orga.	10,9	14,9	14,6	15,3	14,8	14,3	11,7	13,2	14,4	13,5	13,2
	p.p.d.s. 5 %	N.S	N.S	2,4	N.S	1,1	1,0	N.S	N.S	0,6	0,7	N.S
	p.p.d.s. 1 %	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S	0,8	N.S	N.S
	Coef. de variation %	8,3	10	13	21	5,6	5,7	8,7	5,4	3,1	3,8	8,1

(1) de 1960 à 1967 dosage du carbone par la méthode de WALKLEY et BLACK.

(2) de 1967 à 1972 dosage du carbone par la méthode de ANNE.

TABLEAU XXXI. Acides hymatomélaniques, carbone libre, carbone lié. Essai en bananeraie Azaguié*.

	Acides hymatomélaniques			Carbone libre			Carbone lié		
	1969	1970	1971	1969	1970	1971	1969	1970	1971
1) TRAITEMENTS PRINCIPAUX									
<u>ss/traitements "a"</u>									
1. Sol nu (ancien paillis)	0,4 (3,9)	0,4 (3,2)	0,5 (3,5)	2,1(16,3)	2,0(16,6)	2,7(19,1)	10,2(80,2)	9,7(80,3)	10,5(77,5)
2. Sol nu (ancien fumier)	0,3 (3,1)	0,6 (5,6)	0,7 (5,1)	2,2(16,9)	2,0(16,7)	2,8(20,4)	9,8(80,2)	9,0(77,7)	10,1(74,5)
3. Sol nu (ancien P+F)	0,3 (2,1)	0,5 (4,3)	0,4 (3,2)	2,3(16,8)	2,3(17,3)	2,6(19,5)	10,8(81,6)	10,1(78,4)	10,2(77,4)
p.p.d.s. 5 %	N.S N.S	N.S N.S	2,6 3,2	N.S N.S	N.S N.S	N.S N.S	N.S N.S	N.S N.S	N.S N.S
p.p.d.s. 1 %	N.S N.S	N.S N.S	N.S N.S	N.S N.S	N.S N.S	N.S N.S	N.S N.S	N.S N.S	N.S N.S
Coef. de variation	87 85	43 39	40 36	29 15	17 11	23 12	13 3	9 3	10 4
<u>ss/traitements "b"</u>									
1. Paillis	0,4 (2,8)	0,3 (2,4)	0,4 (2,2)	2,1(16,1)	2,1(16,4)	3,6(22,9)	10,4(82,0)	10,3(81,2)	11,7(74,9)
2. Fumier	0,4 (2,9)	0,4 (3,2)	0,4 (2,7)	2,4(17,9)	2,4(17,7)	5,8(29,8)	10,4(80,3)	10,4(79,1)	12,9(67,5)
3. Paillis + Fumier	0,5 (3,0)	0,8 (4,6)	0,4 (1,6)	3,2(18,7)	3,4(18,9)	9,0(35,2)	13,4(78,7)	13,5(76,5)	15,5(63,3)
p.p.d.s. 5 %	N.S N.S	N.S N.S	N.S N.S	0,6 N.S	0,7 N.S	2,5 4,7	1,7 N.S	1,7 N.S	2,0 7,6
p.p.d.s. 1 %	N.S N.S	N.S N.S	N.S N.S	0,9 N.S	1,0 N.S	3,6 6,7	2,5 N.S	2,4 N.S	2,9 10,8
Coef. de variation %	78 65	60 59	91 65	19 11	21 9	32 13	12 4	11 4	12 6
2) SOUS-TRAITEMENTS									
Moy. 1a et Moy. 1b	N.S N.S	N.S N.S	N.S N.S	N.S N.S	N.S N.S	N.S N.S	N.S N.S	N.S N.S	N.S N.S
Moy. 2a et Moy. 2b	N.S N.S	N.S N.S	N.S N.S	N.S N.S	N.S N.S	++ ++	N.S N.S	N.S N.S	++ ++
Moy. 3a et Moy. 3b	N.S N.S	+ N.S	N.S N.S	N.S N.S	N.S N.S	++ ++	N.S N.S	N.S N.S	++ ++
Sol de forêt		1,0 (7,9)	0,5 (5,2)		2,1(15,7)	1,2(11,5)		9,7(76,3)	8,2(83,3)

* Résultats exprimés en p. 1000 du poids de terre. Entre parenthèse résultats en p. 100 de C total.

TABLEAU XXXII. Azote libre, azote lié, rapports C/N libre et C/N lié* Essai en bananeraie Azaguié.

	Azote libre			Azote lié			C/N libre			C/N lié		
	1969	1970	1971	1969	1970	1971	1969	1970	1971	1969	1970	1971
1) TRAITEMENTS PRINCIPAUX												
ss/traitements "a"												
1. Sol nu (ancien paillis)	0,09(8,5)	0,09(9,8)	0,12(10,9)	0,94(89,9)	0,88(89,9)	0,97(90,0)	22,8	22,2	22,4	10,7	11,0	10,9
2. Sol nu (ancien fumier)	0,11(9,9)	0,10(10,1)	0,14(12,7)	0,91(87,5)	0,83(86,7)	0,92(84,6)	20,1	20,0	19,9	10,7	10,8	10,9
3. Sol nu (ancien P + F)	0,12(10,9)	0,12(10,8)	0,13(11,6)	1,01(90,4)	0,93(87,9)	0,93(86,2)	18,4	19,6	20,7	10,6	10,8	11,0
p.p.d.s. 5 %	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S	3,0	1,9	2,1	3,3	N.S	N.S
p.p.d.s. 1 %	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S	4,2	2,7	N.S	N.S	N.S	N.S
Coef. de variation %	34	22	18	17	21	14	37	2	11	6	8	3
ss/traitements "b"												
1. paillis	0,10(9,4)	0,11(9,8)	0,17(14,0)	0,96(89,7)	0,97(90,3)	1,02(84,5)	20,2	20,0	21,1	10,8	10,7	11,4
2. fumier	0,13(11,2)	0,13(10,9)	0,38(22,8)	1,01(86,2)	1,00(85,6)	1,18(73,6)	17,9	18,6	15,7	10,3	10,4	11,0
3. paillis + fumier	0,19(12,5)	0,17(11,6)	0,55(26,2)	1,29(84,4)	1,26(83,8)	1,38(68,7)	16,9	19,5	16,9	10,4	10,7	11,4
p.p.d.s. 5 %	0,04	1,7	0,04	N.S	0,18	5,2	0,15	2,6	0,16	3,8	0,17	5,0
p.p.d.s. 1 %	0,05	2,4	0,05	N.S	0,26	7,4	0,21	3,7	0,22	5,4	0,24	7,1
Coef. de variation %	20	12	22	15	39	19	11	2	11	3	11	5
2) SOUS-TRAITEMENTS												
Moy. 1a et Moy. 1b	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S
Moy. 2a et Moy. 2b	N.S	N.S	N.S	N.S	+	+	N.S	N.S	N.S	+	+	+
Moy. 3a et Moy. 3b	N.S	N.S	N.S	N.S	+	+	N.S	+	N.S	N.S	+	+
Sol de forêt		0,11(10,4)	0,05(6,2)					0,87(85,9)	0,72(88,4)		19,2	23,9
											11,1	11,3

* Résultats exprimés en p. 1000 du poids de terre. Entre parenthèse résultats en p. 100 de N total.

TABLEAU XXXIII. Acides humatomélaniques, carbone libre, carbone lié*. Essai ananas.

	Acides humatomélaniques						Carbone libre						Carbone lié					
	1969		1970		1971		1969		1970		1971		1969		1970		1971	
1. Sans fumure	0,6 (6,8)	0,7 (7,7)	0,8 (8,6)	0,7 (8,3)	0,8 (8,1)	0,7 (7,5)	7,5 (84,9)	7,9 (84,5)	7,6 (85,2)									
2. Fumure minérale	0,6 (6,0)	0,8 (8,0)	0,6 (5,4)	0,9 (8,8)	1,0 (9,8)	0,9 (8,5)	8,3 (85,2)	8,6 (82,2)	8,6 (84,4)									
3. Fumure organique	0,6 (5,6)	0,8 (7,0)	0,8 (7,3)	1,0 (9,9)	1,2 (10,9)	1,0 (9,2)	8,9 (84,6)	9,3 (82,0)	9,1 (83,5)									
4. Fumure miné. + orga	0,4 (3,7)	0,7 (5,9)	0,8 (6,5)	1,1 (10,6)	1,3 (11,1)	1,1 (9,2)	9,1 (85,8)	9,8 (83,2)	9,7 (84,1)									
p.p.d.s. 5 %	N.S	N.S	N.S	N.S	0,1	1,6	0,2	1,5	0,1	0,9	0,1	0,9	0,5	N.S	0,4	N.S	0,5	N.S
p.p.d.s. 1 %	N.S	N.S	N.S	N.S	0,2	2,2	0,3	2,1	0,2	1,2	0,2	1,2	0,7	N.S	0,5	N.S	0,7	N.S
Coef. de variation %	45	43	25	20	17	18	16	9	10	7	10	8	5	3	3	2	5	3
Sol de forêt			0,9 (6,2)	1,1 (7,4)					1,7 (11,0)	1,7 (11,0)					12,6 (82,8)	12,4 (81,6)		

* Résultats exprimés en p. 1000 du poids de terre. Entre parenthèse résultats en p. 100 du C total.

TABLEAU XXXIV. Azote libre, azote lié, rapports C/N libre et C/N lié.* Essai ananas Anguédédou.

	Azote libre			Azote lié			C/N libre			C/N lié		
	1969	1970	1971	1969	1970	1971	1969	1970	1971	1969	1970	1971
1. Sans fumure	0,03(4,2)	0,02(3,7)	0,02(3,1)	0,60(94,8)	0,57(95,4)	0,59(93,9)	29,1	34,5	34,6	12,5	13,7	12,9
2. Fumure minérale	0,03(4,4)	0,03(5,0)	0,03(4,1)	0,64(93,9)	0,62(93,6)	0,64(93,5)	28,2	31,3	30,6	13,0	13,9	13,2
3. Fumure organique	0,05(6,5)	0,05(7,3)	0,04(5,0)	0,71(89,0)	0,69(90,6)	0,74(95,0)	20,7	22,7	26,2	12,6	13,5	12,3
4. Fumure minérale + organique	0,06(7,6)	0,06(7,5)	0,05(5,7)	0,76(94,2)	0,76(92,2)	0,78(91,9)	18,6	21,4	22,2	12,1	12,9	12,3
p.p.d.s. 5 %	0,01 1,7	0,01 1,0	0,01 0,8	0,04 3,9	0,04 N.S	0,03 N.S	5,2	2,5	3,4	0,6	0,6	0,7
p.p.d.s. 1 %	0,02 2,4	0,01 1,3	0,01 1,0	0,05 5,3	0,05 N.S	0,04 N.S	7,2	3,5	4,6	N.S	N.S	N.S
Coef. de variation %	30 25	17 13	16 14	5 3	5 4	3 3	17	7	10	4	4	4
Sol de forêt		0,08(7,9)	0,08(7,4)		0,93(93,6)	0,94(90,4)		21,6	21,7		13,6	13,2

* Résultats exprimés en p. 1000 du poids de terre. Entre parenthèse résultats en p. 100 de N total.

TABLEAU XXXV. Capacité d'échange cationique (mé/100 g de terre).
Essai en bananeraie Azaguié.

	1964	1966	1967	1968	1969	1970	1972
1) TRAITEMENTS PRINCIPAUX							
<u>ss/traitements "a"</u>							
1 paillis	9,4	8,5	7,3	7,6	7,3	6,9	7,1
2 fumier	8,8	7,9	6,7	7,3	6,9	6,7	6,8
3 paillis + fumier	9,4	8,9	7,1	8,0	7,2	7,7	6,6
p.p.d.s. 5 %	N.S	0,6	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S
p.p.d.s. 1 %	N.S	0,8	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S
Coef. de variation %	7,0	5,2	7,3	11	7,2	10	17
<u>ss/traitements "b"</u>							
1 paillis	8,5	7,6	6,9	7,8	6,9	7,5	7,1
2 fumier	8,0	7,6	6,8	8,2	7,5	7,7	7,8
3 paillis + fumier	10,3	10,2	8,8	10,0	8,9	9,1	9,7
p.p.d.s. 5 %	0,9	1,0	1,1	1,2	1,2	1,2	0,9
p.p.d.s. 1 %	1,3	1,4	1,6	1,8	1,7	N.S	1,3
Coef. de variation %	7,7	8,9	12	7,8	12	5,4	8,9
2) SOUS-TRAITEMENTS							
Moy. 1a et Moy. 1b	N.S	+	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S
Moy. 2a et Moy. 2b	N.S	N.S	N.S	+	N.S	N.S	+
Moy. 3a et Moy. 3b	N.S	++	+	++	++	N.S	++
Sol de forêt						6,2	5,2

TABLEAU XXXVI. Capacité d'échange cationique (mé/100 g de terre).
Essai en culture d'ananas Anguédédou.

	1967	1968	1969	1970	1972
1 sans fumure	6,2	6,3	6,2	6,4	6,4
2 fumure minérale	6,4	6,6	6,4	6,8	6,5
3 fumure organique	6,7	7,1	6,9	7,2	6,7
4 fumure miné. + orga.	6,9	7,3	7,0	7,3	6,6
p.p.d.s. 5 %	0,4	0,5	0,3	0,4	N.S
p.p.d.s. 1 %	0,5	0,7	0,4	0,5	N.S
Coef. de variation %	4,6	6,1	3,9	4,4	7,9
Sol de forêt				8,9	9,2

TABLEAU XXXVII. Indice d'instabilité : Is. Essai en bananeraie Azaguié.

	1964	1966	1967	1968	1969	1970	1971	1972
1) <u>TRAITEMENTS PRINCIPAUX</u>								
<u>ss/traitements "a"</u>								
1 paillis	1,05	1,49	1,33	1,96	2,59	2,64	2,65	2,92
2 fumier	0,89	1,24	1,22	1,59	2,03	2,27	2,41	2,55
3 paillis + fumier	0,69	0,85	1,06	1,32	1,92	1,95	2,40	2,74
p.p.d.s. 5 %	N.S	0,35	N.S	0,43	N.S	N.S	N.S	N.S
p.p.d.s. 1 %	N.S	0,50	N.S	0,61	N.S	N.S	N.S	N.S
Coef. de variation %	30	23	25	20	32	22	23	17
<u>ss/traitements "b"</u>								
1 paillis	1,41	1,64	1,69	1,76	2,78	2,46	2,43	2,99
2 fumier	0,95	1,21	1,38	1,34	2,02	1,84	1,45	1,94
3 paillis + fumier	0,78	0,67	0,71	0,83	1,35	1,17	0,94	1,16
p.p.d.s. 5 %	0,35	0,30	0,36	0,43	0,76	0,47	0,54	0,39
p.p.d.s. 1 %	0,49	0,42	0,52	0,61	1,07	0,67	0,76	0,56
Coef. de variation %	26	20	23	25	29	20	26	15
2) <u>SOUS-TRAITEMENTS</u>								
Moy. 1a et Moy. 1b	N.S							
Moy. 2a et Moy. 2b	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S	+ +	+
Moy. 3a et Moy. 3b	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S	+ +	+ +
Sol de forêt						1,06	1,27	1,34

TABLEAU XXXVIII. Agrégats alcool p. 100. Essai en bananeraie Azaguié.

	1964	1966	1967	1968	1969	1970	1971	1972
1) TRAITEMENTS PRINCIPAUX								
<u>ss/traitements "a"</u>								
1 paillis	48,7	48,8	52,5	45,1	39,4	41,9	39,3	38,2
2 fumier	48,3	49,7	52,2	47,6	41,2	41,7	39,8	39,2
3 paillis + fumier	51,2	55,0	53,8	50,0	42,9	45,0	40,7	38,5
p.p.d.s. 5 %	N.S	N.S	N.S	3,4	N.S	N.S	N.S	N.S
p.p.d.s. 1 %	N.S	N.S	N.S	4,9	N.S	N.S	N.S	N.S
Coef. de variation %	8,1	9,2	7,7	5,6	14	8,0	7,5	5,8
<u>ss/traitements "b"</u>								
1 paillis	44,7	47,2	46,0	46,2	37,2	41,3	38,9	36,2
2 fumier	48,3	50,0	49,7	48,3	42,1	44,3	44,3	39,3
3 paillis + fumier	50,8	55,7	58,3	51,0	46,7	49,0	48,2	46,5
p.p.d.s. 5 %	3,8	5,9	3,1	N.S	6,2	4,5	5,0	3,7
p.p.d.s. 1 %	5,4	N.S	4,5	N.S	8,8	6,4	7,1	5,3
Coef. de variation %	5,4	9,0	4,8	8,0	11	7,7	8,9	7,1
2) SOUS-TRAITEMENTS								
Moy. 1a et Moy. 1b	N.S	N.S	+	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S
Moy. 2a et Moy. 2b	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S	+	N.S
Moy. 3a et Moy. 3b	N.S	N.S	+	N.S	N.S	N.S	++	++
Sol de forêt						44,3	42,4	42,1

TABLEAU XXXIX. Agrégats eau p. 100. Essai en bananeraie Azaguié.

	1964	1966	1967	1968	1969	1970	1971	1972
1) TRAITEMENTS PRINCIPAUX								
<u>ss/traitements "a"</u>								
1 paillis	40,0	36,3	37,5	33,8	30,6	32,1	31,5	30,8
2 fumier	40,7	39,3	38,0	37,7	32,2	34,1	34,0	33,0
3 paillis + fumier	43,5	41,8	38,3	38,5	34,2	34,5	33,8	31,9
p.p.d.s. 5 %	N.S	N.S	N.S	3,3	N.S	N.S	N.S	N.S
p.p.d.s. 1 %	N.S	N.S	N.S	4,7	N.S	N.S	N.S	N.S
Coef. de variation %	8,2	9,9	11	7,1	12,0	8,1	7,6	8,3
<u>ss/traitements "b"</u>								
1 paillis	37,7	34,2	33,5	35,2	28,5	31,2	31,2	28,7
2 fumier	41,0	39,5	36,5	38,2	32,7	34,1	35,9	32,3
3 paillis + fumier	43,5	44,2	41,7	40,3	36,8	37,6	38,2	35,7
p.p.d.s. 5 %	3,0	4,1	3,6	3,2	4,2	3,3	3,5	3,1
p.p.d.s. 1 %	4,3	5,9	3,6	4,5	6,0	4,7	5,0	4,5
Coef. de variation %	5,8	8,1	5,4	6,5	10	7,4	7,8	7,6
2) SOUS-TRAITEMENTS								
Moy. 1a et Moy. 1b	N.S	N.S	+	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S
Moy. 2a et Moy. 2b	N.S							
Moy. 3a et Moy. 3b	N.S	N.S	+	N.S	N.S	N.S	N.S	+
Sol de forêt						39,0	37,5	36,0

TABLEAU XL. Agrégats benzène p. 100. Essai en bananeraie Azaguié.

	1964	1966	1967	1968	1969	1970	1971	1972
1) <u>TRAITEMENTS PRINCIPAUX</u>								
<u>ss/traitements "a"</u>								
1 paillis	38,5	36,0	36,8	32,2	29,6	31,3	30,3	29,6
2 fumier	39,3	37,7	38,3	35,5	31,1	33,0	33,0	31,8
3 paillis + fumier	41,2	41,2	38,8	36,6	32,3	32,9	32,9	30,9
p.p.d.s. 5 %	N.S							
p.p.d.s. 1 %	N.S							
Coef. de variation %	9,6	11	11	9,1	11	7,9	7,5	8,3
<u>ss/traitements "b"</u>								
1 paillis	36,2	32,8	33,2	32,9	27,9	30,0	30,1	27,8
2 fumier	40,0	37,5	37,0	35,6	31,5	32,2	34,7	31,4
3 paillis + fumier	42,7	44,7	42,3	40,0	33,7	35,2	37,2	34,5
p.p.d.s. 5 %	3,6	3,5	3,9	3,5	3,4	3,6	3,5	3,2
p.p.d.s. 1 %	5,1	5,0	5,6	5,1	4,9	5,1	4,9	4,6
Coef. de variation %	8,2	7,1	8,1	7,6	8,6	8,5	8,0	8,1
2) <u>SOUS-TRAITEMENTS</u>								
Moy. 1a et Moy. 1b	N.S	N.S	+	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S
Moy. 2a et Moy. 2b	N.S							
Moy. 3a et Moy. 3b	N.S	N.S	+	N.S	N.S	N.S	N.S	++
Sol de forêt						38,8	37,2	35,2

TABLEAU XLI. A + L maximum p. 100. Essai en bananeraie Azaguié

	1964	1966	1967	1968	1969	1970	1971	1972
1) <u>TRAITEMENTS PRINCIPAUX</u>								
<u>ss/traitements "a"</u>								
1 paillis	15,7	19,4	19,6	21,1	20,8	21,8	21,0	21,5
2 fumier	12,9	16,6	16,8	17,6	17,6	17,8	18,0	18,4
3 paillis + fumier	11,9	14,5	15,9	16,4	16,3	17,2	17,5	18,7
p.p.d.s. 5 %	2,8	3,5	N.S	N.S	N.S	3,4	N.S	N.S
p.p.d.s. 1 %	N.S							
Coef. de variation %	16	16	18	18	17	14	15	15
<u>ss/traitements "b"</u>								
1 paillis	17,5	21,3	20,3	21,5	21,9	22,3	20,9	22,4
2 fumier	13,9	16,3	17,4	17,0	17,2	17,4	15,4	16,6
3 paillis + fumier	13,6	13,2	13,4	13,9	15,8	15,0	13,3	14,8
p.p.d.s. 5 %	2,5	2,6	2,3	3,9	2,7	3,1	3,5	2,5
p.p.d.s. 1 %	3,6	3,6	3,2	5,5	3,8	4,4	4,9	3,6
Coef. de variation %	13	12	11	17	11	13	16	11
2) <u>SOUS-TRAITEMENTS</u>								
Moy. 1a et Moy. 1b	N.S							
Moy. 2a et Moy. 2b	N.S							
Moy. 3a et Moy. 3b	N.S							
Sol de forêt						11,8	12,6	14,3

TABLEAU XLII. Sables grossiers p. 100. Essai en bananeraie Azaguié.

	1964	1966	1967	1968	1969	1970	1971	1972
1) <u>TRAITEMENTS PRINCIPAUX</u>								
<u>ss/traitements "a"</u>								
1 paillis	29,8	29,8	29,7	29,2	27,5	29,6	28,5	28,3
2 fumier	31,2	32,0	32,2	32,3	28,8	31,3	31,2	30,4
3 paillis + fumier	29,7	32,0	31,5	32,1	29,7	31,1	31,2	29,6
p.p.d.s. 5 %	N.S							
p.p.d.s. 1 %	N.S							
Coef. de variation %	9	12	11	8	11	9	8	8
<u>ss/traitements "b"</u>								
1 paillis	29,8	27,7	28,0	28,6	25,7	27,8	27,4	25,9
2 fumier	31,3	32,2	31,7	30,8	29,3	30,3	29,9	28,2
3 paillis + fumier	30,8	30,8	32,0	29,9	29,4	30,0	29,3	28,8
p.p.d.s. 5 %	N.S	2,4	2,9	N.S	2,7	N.S	N.S	N.S
p.p.d.s. 1 %	N.S							
Coef. de variation %	6	6	7	7	7	6	3	8
2) <u>SOUS-TRAITEMENTS</u>								
Moy. 1a et Moy. 1b	N.S							
Moy. 2a et Moy. 2b	N.S							
Moy. 3a et Moy. 3b	N.S							
Sol de forêt						32,1	32,0	30,0

TABLEAU XLIII. Coefficient de corrélation " r " entre la teneur en matière organique, la structure et la capacité d'échange cationique* Essai en bananeraie Azaguié.

	1964		1966		1967		1968		1969		1970		1971		1972	
	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b
C total x Aga	0,48	0,72	0,70	0,63	0,83	0,72	0,82	0,59	0,61	0,70	0,69	0,79	0,59	0,78	0,50	0,8
C lié x Aga									0,60	0,62	0,63	0,73	0,49	0,82		
C total x Age	0,44	0,37	0,45	0,68	0,59	0,58	0,53	0,72	0,30	0,79	0,31	0,66	0,04	0,73	0,10	0,7
C lié x Age									0,27	0,72	0,17	0,60	0,22	0,75		
C total x Agb	0,48	0,43	0,49	0,78	0,38	0,65	0,50	0,82	0,13	0,59	0,25	0,63	0,10	0,73	0,09	0,8
C lié x Agb									0,12	0,48	0,13	0,56	0,24	0,76		
C total x A + L maxi.	-0,31	-0,15	-0,53	-0,71	-0,48	-0,52	-0,31	-0,62	-0,19	-0,51	-0,19	-0,55	-0,17	-0,73	-0,07	-0,7
C lié x A + L maxi.									-0,18	-0,49	-0,01	-0,49	-0,02	-0,71		
C total x Is	-0,58	-0,35	-0,70	-0,82	-0,74	-0,67	-0,72	-0,77	-0,68	-0,74	-0,73	-0,83	-0,66	-0,80	-0,52	-0,8
C lié x Is									-0,67	-0,73	-0,62	-0,77	-0,51	-0,80		
C total x T	0,87	0,78	0,74	0,97	0,85	0,71	0,93	0,90	0,82	0,88	0,85	0,94			0,89	0,9
C lié x T									0,87	0,82	0,88	0,94				

* P = 0,05

r = 0,47

P = 0,01

r = 0,59

TABLEAU XLIV. Caractéristiques structurales. Essai ananas Anguédédou.

A N N E E S		1967	1968	1969	1970	1971	1972
Agrégats alcool %	1 sans fumure	68,2	69,3	64,0	66,3	62,4	64,6
	2 fumure minérale	69,5	69,8	64,9	67,3	62,8	63,3
	3 fumure organique	71,2	69,5	65,7	68,5	65,0	65,5
	4 fumure miné. + orga.	71,8	69,6	64,5	69,2	64,4	64,0
	p.p.d.s. 5 %	1,9	N.S	N.S	1,9	1,6	N.S
	p.p.d.s. 1 %	2,7	N.S	N.S	2,6	2,2	N.S
	Coef. de variation %	2,2	2,1	1,2	2,2	2,2	2,2
	Sol de forêt				74,4	69,1	71,1
Agrégats eau %	1 sans fumure	62,9	60,1	58,1	58,0	57,6	57,4
	2 fumure minérale	62,8	60,5	57,5	61,0	58,2	56,7
	3 fumure organique	64,3	61,2	56,7	59,0	58,5	57,8
	4 fumure miné. + orga.	64,7	64,1	57,4	62,1	58,1	57,5
	p.p.d.s. 5 %	N.S	N.S	N.S	1,9	N.S	N.S
	p.p.d.s. 1 %	N.S	N.S	N.S	2,6	N.S	N.S
	Coef. de variation %	2,5	2,1	3,1	2,6	2,0	2,3
	Sol de forêt				68,2	64,0	63,8
Agrégats benzène %	1 sans fumure	54,8	53,3	51,2	51,9	52,0	53,3
	2 fumure minérale	55,6	54,7	51,4	55,5	53,7	53,0
	3 fumure organique	56,9	54,7	51,5	53,2	53,2	53,5
	4 fumure miné. + orga.	56,0	54,9	52,0	54,9	53,7	54,2
	p.p.d.s. 5 %	N.S	N.S	N.S	2,1	N.S	N.S
	p.p.d.s. 1 %	N.S	N.S	N.S	3,0	N.S	N.S
	Coef. de variation %	2,6	2,7	2,6	3,2	2,6	2,6
	Sol de forêt				62,3	58,8	61,0
A + L maxi. %	1 sans fumure	15,8	18,1	15,2	16,6	16,2	17,2
	2 fumure minérale	13,7	14,9	13,9	14,4	14,6	16,5
	3 fumure organique	14,8	16,1	14,7	14,9	15,0	16,8
	4 fumure miné. + orga.	14,0	15,0	12,5	13,5	13,0	15,3
	p.p.d.s. 5 %	N.S	1,7	1,4	1,4	1,5	N.S
	p.p.d.s. 1 %	N.S	2,4	1,9	2,0	2,1	N.S
	Coef. de variation %	8,9	2,4	8,0	7,7	2,5	11
	Sol de forêt				10,0	10,7	10,2
Sables grossiers %	1 sans fumure	53,6	52,1	50,2	51,7	50,7	51,7
	2 fumure minérale	53,4	52,9	50,4	53,9	51,9	51,3
	3 fumure organique	54,7	53,0	49,9	52,2	51,5	51,7
	4 fumure miné. + orga.	53,6	52,7	49,3	53,4	51,3	51,5
	p.p.d.s. 5 %	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S
	p.p.d.s. 1 %	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S
	Coef. de variation %	2,6	1,9	2,1	3,0	2,7	2,0
	Sol de forêt				55,5	52,6	53,1
Indice d'instabilité Is	1 sans fumure	1,15	1,29	1,21	1,37	1,40	1,45
	2 fumure minérale	0,94	1,06	1,10	1,13	1,27	1,44
	3 fumure organique	1,00	1,14	1,13	1,12	1,20	1,38
	4 fumure miné. + orga.	0,89	1,05	0,92	0,96	1,04	1,25
	p.p.d.s. 5 %	0,14	0,14	0,18	0,12	0,11	N.S
	p.p.d.s. 1 %	0,19	0,19	0,24	0,17	0,15	N.S
	Coef. de variation %	11	10	13	8,7	7,3	14
	Sol de forêt				0,55	0,64	0,58

TABLEAU XLV. Coefficient de corrélation " r " entre la teneur en matière organique, la structure et la capacité d'échange cationique* Essai ananas Anguédédou.

	1967	1968	1969	1970	1971	1972
C total × agrégats alcool	0,09	0,08	0,06	0,44	0,53	0,01
C lié × agrégats alcool			0,12	0,44	0,49	
C total × agrégats eau	0,08	0,21	0,19	0,39	0,01	0,13
C lié × agrégats eau			0,26	0,40	0,03	
C total × agrégats benzène	0,01	0,24	0,10	0,18	0,01	0,02
C lié × agrégats benzène			0,08	0,16	0,06	
C total × A + L maxi.	- 0,11	- 0,40	- 0,24	- 0,61	- 0,50	- 0,27
C lié × A + L maxi.			- 0,30	- 0,58	- 0,49	
C total × Is	- 0,38	- 0,53	- 0,42	- 0,80	- 0,85	- 0,52
C lié × Is			- 0,44	- 0,80	- 0,85	
C total × Is* (traitements 1 et 2)	- 0,27	- 0,61	- 0,21	- 0,79	- 0,75	- 0,54
C total × Is* (traitements 3 et 4)	- 0,27	- 0,07	- 0,27	- 0,56	- 0,67	- 0,52
C total × capacité d'échange	0,83	0,67	0,89	0,89	-	0,77
C lié × capacité d'échange			0,87	0,84	-	

P = 0,05

r = 0,42,

P = 0,01

r = 0,52

* P = 0,05

r = 0,58,

P = 0,01

r = 0,71