

Bilan de l'évolution à long terme de la fertilité d'un sol ferrallitique cultivé en ananas. Relation avec la production.

J. GODEFROY et J.P. PENEL*

BILAN DE L'EVOLUTION A LONG TERME DE LA FERTILITE
D'UN SOL FERRALLITIQUE CULTIVE EN ANANAS.
RELATION AVEC LA PRODUCTION.

J. GODEFROY et J.P. PENEL

Fruits, Avril 1986, vol. 41, n° 4, p. 251-260.

RESUME - L'évolution physico-chimique d'un sol ferrallitique de la zone tropicale humide, sous monoculture d'ananas, a été suivie pendant 24 années depuis la déforestation avec différents modes de fertilisation (fumure minérale, organique, mixte et sans fertilisation). La mise en valeur d'un sol forestier entraîne, inévitablement, un appauvrissement des terres en matière organique et une dégradation de leur structure. En revanche, une fertilisation minérale ou organique bien raisonnée permet d'améliorer la richesse chimique du sol. Globalement, il est possible, sous culture d'ananas, de conserver voire d'améliorer la fertilité d'un sol ferrallitique fortement désaturé en cations et acide, ainsi que de maintenir une productivité élevée pendant deux décennies.

L'évolution de la fertilité des sols dans les cultures fruitières tropicales et méditerranéennes constitue un des thèmes de recherches du laboratoire d'agropédologie du département fruitier (IRFA) du CIRAD (Centre de Coopération internationale en Recherche agronomique pour le Développement). La première étude a débuté en 1960 en Côte d'Ivoire, à la station de recherches sur l'ananas de l'Anguédédou où elle se poursuit. Plusieurs articles ont déjà été publiés dans cette revue sur cette expérimentation que le promoteur (A. SILVY) avait intitulé «Conservation et amélioration de la fertilité du sol en culture d'ananas» (1962) ; J. GODEFROY et M.-A. TISSEAU (1972), J. GODEFROY (1975 a et b) ; J.J. LACOEUILHE (1978) (la lecture préalable de cet article est conseillée pour une meilleure compréhension de celui-ci).

Dans le présent article, nous nous proposons de faire une synthèse de l'évolution de quelques composantes («sol») de la fertilité (matière organique, structure, eau utile, cations, pH, phosphore) depuis la déforestation (1959) jusqu'à 1983. Dans un deuxième article (X. PERRIER, J. GODEFROY) sera étudiée l'évolution «globale» des composantes de la fertilité par différentes méthodes de statistique descriptive.

Le suivi agronomique de cette expérimentation a été assuré par les agronomes qui se sont succédés de 1960 à 1983 sur la station de recherches de l'Anguédédou : A. SILVY, M.-A. TISSEAU, J.J. LACOEUILHE, A. PINON et B. OSSENI.

CARACTERISTIQUES DU MILIEU

Cette station est située dans le sud de la Côte d'Ivoire à 25 km d'Abidjan. Les coordonnées géographiques sont les suivantes :

Latitude : 5° 25' N
Longitude : 4° 08' O
Altitude : 20 mètres

Le climat est de type tropical humide. La température moyenne annuelle est de 25,5°C avec des variations de faible amplitude : moyennes des minima et des maxima mensuels : 21 et 30°C. La pluviosité annuelle moyenne pour la période considérée (1959-1982) est de 2 003 mm ; la moyenne des précipitations a diminué au cours de la dernière décennie : 1 928 mm de 1973 à 1982 avec des extrêmes de 1 370 à 2 485 mm. Soixante p. 100 des pluies tombent en mai, juin et juillet.

Le sol développé sur des sables argilo-ferrugineux est un sol ferrallitique fortement désaturé (classification française CPCS) ou orthic ferralsol (classification FAO). La texture est à dominance sableuse avec une forte proportion de sables grossiers (sables : 70 p. 100 dont 50 à 55 p. 100 de grossiers, argile : 20 p. 100). Une description du profil pédologique et des caractéristiques physiques est donnée en annexe.

CONDITIONS EXPERIMENTALES

La première plantation d'ananas a été faite en avril 1960 sur un terrain de déforestation récente (premier trimestre 1959). Lors du défrichement les troncs et les grosses branches ($\varnothing > 15$ cm) ont été débardés sur les chemins ; le reste de la végétation a été brûlé sur place.

Dix cycles consécutifs de culture d'ananas ont été produits sur ce terrain. Le dernier replanté en août 1977 a été récolté fin 1978.

Ensuite la parcelle a été laissée en jachère jusqu'en 1983. On précisera que dans cette expérimentation, les techniques culturales (fumure, densité, etc.) sont appliquées avec l'objectif de produire des ananas destinés à la conserverie (fruits de 1,7 à 2,0 kg).

Quatre traitements répétés 6 fois (blocs de Fischer) sont comparés : fertilisation minérale (FM), fertilisation organique (FO), fertilisation minérale et organique (FM + FO) et sans fertilisation (SF). De ces 4 traitements, seul «fumure minérale» correspond à la fertilisation qui est pratiquée dans les plantations de Côte d'Ivoire produisant des fruits destinés à la commercialisation (exportations de fruits frais ou conserves). Pour cette raison, nous nous intéresserons, particulièrement, à l'évolution de la fertilité du sol dans ce traitement. Comme le prévoyait le protocole expérimental, la fumure a évolué au cours des 19 années de

culture en fonction des besoins (tableau 1). Ceux-ci ont été estimés d'après l'évolution du sol (diagnostic sol), de la nutrition minérale (diagnostic foliaire) et des rendements.

Le traitement «fumure organique» permet d'étudier l'évolution de la fertilité et de la production sans apports d'engrais minéraux. Ce type de fertilisation qui peut se concevoir dans des petites exploitations pratiquant l'élevage est surtout utilisé dans les pays asiatiques. Au Brésil, il est fréquent d'utiliser les ordures ménagères des centres urbains après compostage (C. PY, communication orale).

La quantité de fumure organique fixée au début de l'essai à 100 t/ha à chaque replantation, soit chaque 20 à 24 mois, a été fortement modifiée au cours de l'étude pour des raisons d'approvisionnement (figure 1 b). D'autre part, la nature et la composition a été variable (fumier artificiel fabriqué avec des déchets d'ananas et des herbes, fumier de bovins, compost fabriqué avec des ordures ménagères, fumier de parc d'abattoir).

Le traitement «fumure minérale et organique» cumule les apports minéraux et organiques de «FM» et «FO». Ce traitement qui correspond à une «fertilisation de luxe» est intéressant bien qu'il ne soit pas applicable dans la pratique (problèmes d'approvisionnement en matière organique et de coût). Son intérêt est de donner une estimation de la potentialité maximale de production des ananas dans les conditions du milieu et avec les techniques culturales actuellement pratiquées, lorsque la fumure est optimale (abondante et équilibrée). Du point de vue pédologique, il permet d'apprécier le niveau maximum de fertilité qu'il est possible d'atteindre et de maintenir sous une culture d'ananas dans ce sol ferrallitique et dans les conditions climatiques du site.

Le traitement «sans fertilisation» permet de préciser l'évolution du sol et de la production après la déforestation, en absence de fertilisants. A partir du troisième cycle de culture, ces parcelles n'ont pu être replantées qu'en prélevant du matériel végétal dans celles qui sont fertilisées car la production de cayeux était insuffisante pour assurer les replantations des cycles suivants.

Sans cet «artéfact» expérimental, il aurait été nécessaire d'abandonner la culture sur ce terrain après 2 à 3 récoltes, pratique d'ailleurs utilisée dans les systèmes culturaux traditionnels (MOREAU, 1985).

La superficie des 24 parcelles élémentaires (4 x 6) est de 120 m² dont 70 m² utiles dans lesquels sont effectués les échantillonnages de terre (mélange de 30 «carottes»). Les prélèvements sont réalisés annuellement dans le billon, en période dite de «stabilité climatique» (saison sèche : janvier ou février), entre 0 et 25 cm de profondeur qui correspond à l'horizon où la densité racinaire est maximale. Après 1970 (caractéristiques chimiques) puis 1976 (matière organique et structure) les analyses de sol ne sont faites que tous les deux ans.

TABLEAU 1 - Fumure minérale appliquée en kg/ha/cycle (densité : 51 300 plants/ha).

Cycles	N	K ₂ O	MgO	CaO	P ₂ O ₅	Engrais
Premier (1960-1961)	50	100				sulfate d'ammonium et de potassium
Deuxième et troisième (1962-1965)	205	310				idem
Quatrième à sixième (1966 à 1970)	255	515	165			idem N et K
Septième à dixième (1971 à 1978)	410	1 025	255	385	205	urée, sulfate de potassium, dolomie, phosphal

L'évolution des cations (Ca, Mg, K) concerne la fraction échangeable à l'acétate d'ammonium N à pH = 7,0 ; le pH est déterminé sur pâte de terre saturée d'eau.

La matière organique n'est étudiée que sous l'aspect quantitatif ; l'étude qualitative a fait l'objet de publications antérieures (GODEFROY, 1974 ; GODEFROY, JACQUIN, 1975 b).

Une parcelle de forêt ayant été conservée à proximité du site expérimental sur le même sol, nous avons, à partir de 1970, prélevé aux mêmes dates trois échantillons sous forêt (placettes de 100 m² ; 30 carottes par placette). Le sol sous forêt étant en équilibre climacique, nous avons considéré que les caractéristiques actuelles étaient identiques à celles avant la déforestation en 1959. Celles-ci n'ont pas été déterminées, les premières analyses ayant débuté en 1960 à la plantation des ananas, un an après le défrichement de la forêt.

EVOLUTION DU SOL DANS LES DIVERS TRAITEMENTS

Fertilisation minérale (FM).

Immédiatement après la déforestation (1959) la teneur en matière organique du sol (C et N) diminue fortement puis le niveau se «stabilise» à partir de 1962 durant toute la durée de la culture d'ananas (1978) ; on observe ensuite un appauvrissement en azote au cours de la jachère (figure 1 a) mais pas en C (tableau 4). Entre 1962 et 1978, les

teneurs en N total varient entre 0,65 et 0,70 p. 1000 et celles en C entre 10,0 et 10,5 p. 1000 ; ces teneurs représentent 60 à 65 p. 100 de celles du sol forestier (N p. 1000 = 1,12 ± 0,08 ; C p. 1000 = 16,4 ± 0,8). L'enfouissement des résidus de culture à la fin de chaque cycle (moyenne : 23,9 ± 3,8 t/ha de MS) permet d'avoir un bilan humique «équilibré». Les évolutions de N et C sont parallèles, ces 2 éléments étant étroitement corrélés (coefficient de corrélation «r» = 0,91 tous traitements et toutes années confondus).

En relation avec l'appauvrissement du sol en matière organique, la structure du sol se dégrade sous culture par rapport à la forêt (tableau 2). L'étude de la stabilité de la structure appréciée par les tests de HENIN (HENIN *et al.*, 1969) n'a débuté qu'en 1967. Durant la période concernée (1967 à 1983) on n'observe pas d'évolution notable ; la dégradation déjà appréciable en 1967, ne s'est pas amplifiée au cours de la décennie suivante sous culture d'ananas ni pendant la jachère.

La mise en culture ne semble pas modifier les caractéristiques hydriques du sol qui ont été déterminées en 1982. Les teneurs en eau utile (pF 1,8 - pF 4,2) et en eau facilement utilisable (pF 1,8 - 2,5) sont de 8,8 ± 1,1 et 5,9 ± 1,1 p. 100 pondéral sous culture et de 8,1 ± 0,5 et 5,3 ± 0,5 p. 100 sous forêt (l'humidité à la capacité au champ correspond dans ce sol au pF 1,8).

TABLEAU 2 - Tests d'appréciation de la stabilité structurale ; moyennes des années 1967 à 1983 ; horizon : 0-25 cm.

	FORET	ANANAS (fumure minérale)	Valeur indiciaire par rapport à la forêt (100)
Agrégats alcool (p. 100)*	20,2 ± 1,4	15,4 ± 1,2	76
Agrégats benzène (p. 100) *	9,2 ± 1,4	2,7 ± 0,6	29
Indice de percolation (kcm/h)	7,7 ± 1,7	2,8 ± 0,9	36

* - Agrégats «vrais» = fraction agrégée de 0,2 à 2 mm moins les sables grossiers (0,2 à 2 mm). Les agrégats alcool sont en relation avec la cohésion et le test «benzène» est un indicateur de la stabilité liée à la nature et à la teneur des matières organiques du sol.

Contrairement à ce que l'on observe pour la matière organique la destruction de la forêt entraîne un enrichissement du sol en éléments minéraux fertilisants qui proviennent de la végétation qui a été brûlée ou biodégradée sur le terrain. Les travaux de F. BERNHART - REVERSAT (1975) montrent qu'en forêt tropicale humide de Côte d'Ivoire 90 p. 100 des éléments d'origine tellurique (P, Ca, Mg, K : minéralo-masse + formes assimilables du sol de 0 à 50 cm) sont «stockés» dans la végétation forestière.

La teneur en calcium de 0,3 mé/100 g sous forêt s'accroît après le défrichement : 1,3 mé/100 g en 1960 et 1,4 en 1962 quand toute la biomasse forestière est décomposée (figure 2 a). Ensuite Ca diminue très rapidement (20 p. 100 par an). A la fin de la première décennie (1969-1970, 5e et 6e cycle), les teneurs en calcium deviennent inférieures à 0,1 mé/100 g, le complexe absorbant est totalement désaturé (taux de saturation en cations < 2 p. 100) et le pH est très fortement acide ($\leq 4,0$). Pour pallier à cette acidification un amendement calcique (dolomie) est introduit dans le programme de fertilisation à partir de 1971, à la replantation du septième cycle et des suivants (385 kg/ha/cycle de CaO), ce qui a pour effet d'accroître les teneurs en calcium (1,0 mé/100 g au dixième cycle en 1978). Au cours de la jachère le sol s'appauvrit (6,5 p. 100 par an).

L'évolution du pH est très comparable à celle du calcium, ces deux caractères étant étroitement corrélés (toutes années confondues, «r» = 0,88 pour le traitement fumure minérale seule et 0,74 pour les quatre traitements confondus). La seule différence concerne la jachère au cours de laquelle le pH augmente de 0,2 unités (4,5 à 4,7), tandis que Ca diminue (1,0 à 0,65 mé/100 g) (figure 3 a). Ce léger accroissement du pH peut s'expliquer par le lessivage des sulfates et des nitrates dans le sol en jachère, anions qui étaient apportés par la fumure minérale pendant la culture de l'ananas.

En relation avec la plus faible acidité du sol cultivé par rapport à la terre de forêt, le premier a 3 fois moins d'aluminium échangeable (extraction KCl N) : 0,6 mé/100 g contre 1,8 et le taux de saturation en cations du complexe absorbant (Ca + Mg + K/CEC) est plus élevé : 20 et 5 p. 100 en 1982 et 1983.

Après l'enrichissement en magnésium consécutif au défrichement (0,6 mé/100 g contre 0,15 mé sous forêt), le sol s'épuise rapidement aussi la fertilisation magnésienne est-elle débutée en 1965 (quatrième cycle). L'engrais (patenkali) étant mis à l'aiselle des vieilles feuilles n'enrichit pas le sol qui continue à s'appauvrir et la fraction échangeable n'est plus qu'à l'état de traces dès 1967.

A partir de 1971, les teneurs augmentent à la suite des apports de dolomie (carbonate de Ca et Mg), amendement qui est enfoui (1976 : 0,75 mé/100 g ; 1978 : 0,60 mé). Durant la jachère, les pertes sont de 5 p. 100 par an.

L'évolution du potassium est comparable à celle du magnésium : enrichissement après défrichement (0,28 contre 0,09 mé/100 g sous forêt) puis appauvrissement très rapidement (0,02 mé/100 g en 1962) bien qu'une fumure potassique soit pratiquée dès le premier cycle (tableau 1). Au cours de la première décennie l'engrais (sulfate de potassium) est mis à l'aiselle des vieilles feuilles aussi une très faible fraction parvient-elle au sol qui reste très pauvre (0,05 mé/100 g en 1970). A partir de 1971 (septième cycle), la dose est doublée et les applications sont faites par pulvérisations sur le feuillage (10 par cycle) ; une partie tombe sur le sol qui s'enrichit : 0,3 mé/100 g en 1976 et 1978). Ce niveau se maintient pendant la jachère.

L'évolution de la capacité d'échange cationique (CEC) est en relation avec celle de la matière organique ; toutes années confondues, le coefficient «r» est de 0,75 pour le traitement fumure minérale seule et de 0,88 pour les quatre traitements confondus.

L'étude de l'évolution du phosphore est complexe en raison des changements de méthodes de détermination au cours des premières années car les analyses ont été réalisées par des laboratoires différents. Après déforestation, la teneur en P assimilable «TRUOG» passe de 9 à 45 ppm et de 1967 à 1970 la fraction assimilable «DYER» varie entre 9 et 11 ppm. Au sixième cycle, les taux de P dans la plante (diagnostic foliaire) se rapprochent du seuil critique : 0,08 p. 100 de M.S. (deuxième cycle : 0,14 ; troisième : 0,12 ; sixième : 0,10) aussi la fertilisation phosphorée est-elle commencée en 1971 (200 kg/ha/cycle de P₂O₅). A partir de cette date le sol s'enrichit (44 ± 8 ppm en 1978). Au cours de la jachère, les niveaux moyens sont de 30 à 35 ppm de P «DYER».

En conclusion cette étude montre qu'après plus de 20 ans de mise en valeur dont 19 années de culture d'ananas fertilisée rationnellement, les principales caractéristiques agrochimiques du sol se sont améliorées à l'exception de la matière organique. Des analyses plus complètes effectuées en 1982 (éléments totaux) montrent d'autre part que l'amélioration de la fertilité porte non seulement sur les fractions assimilables (ou échangeables) mais, également, sur les réserves (tableau 3).

Fertilisation organique seule (FO) ou avec fumure minérale (FM + FO).

Comme il a été déjà mentionné la fumure organique a varié quantitativement (figure 1 b) et qualitativement au cours des dix cycles de production (GODEFROY, 1972).

Après une diminution des taux de matière organique (N et C) au cours des trois premières années qui suivent la mise en valeur, malgré des fumures organiques de 100 t/ha en 1960 (10 tonnes de MO ; MO = C x 1,73) et de 60 tonnes en 1962 (11 tonnes de MO) qui représentent un enrichissement de la terre de 3,7 p. 1000 en C et de

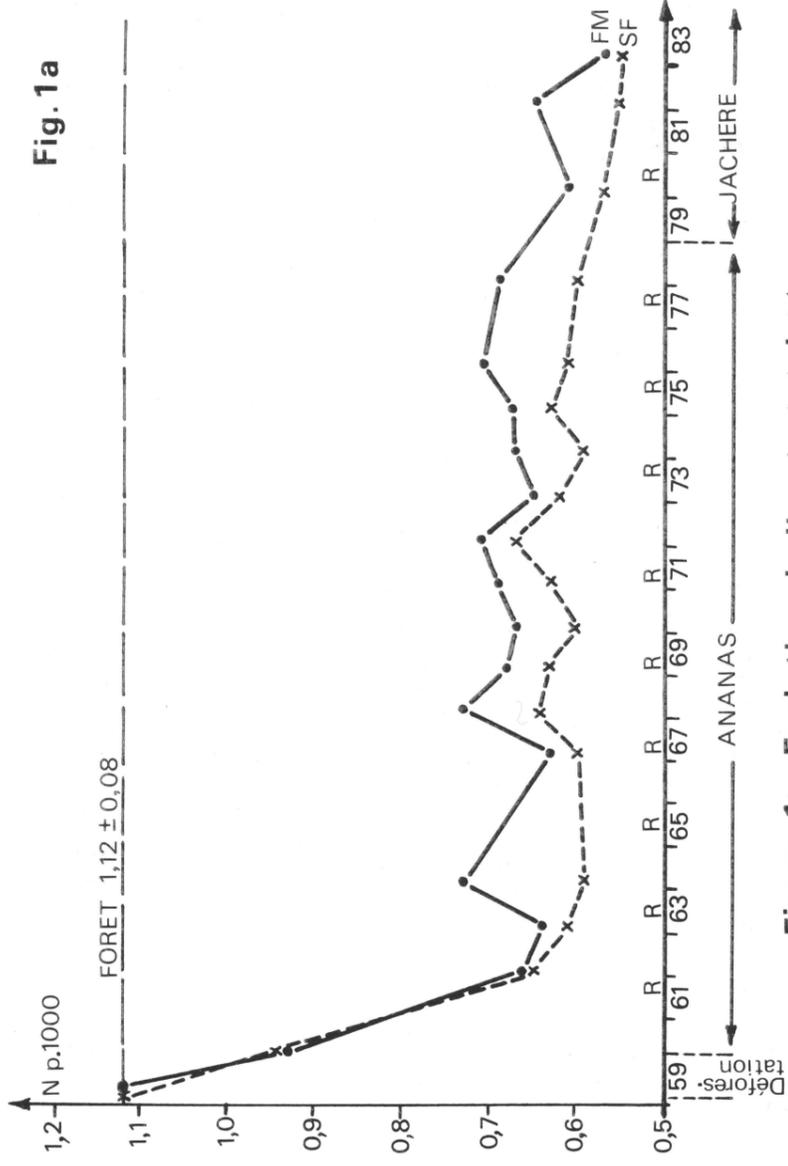


Figure 1 • Evolution de l'azote total. (R = dates d'enfouissement des résidus de culture.)

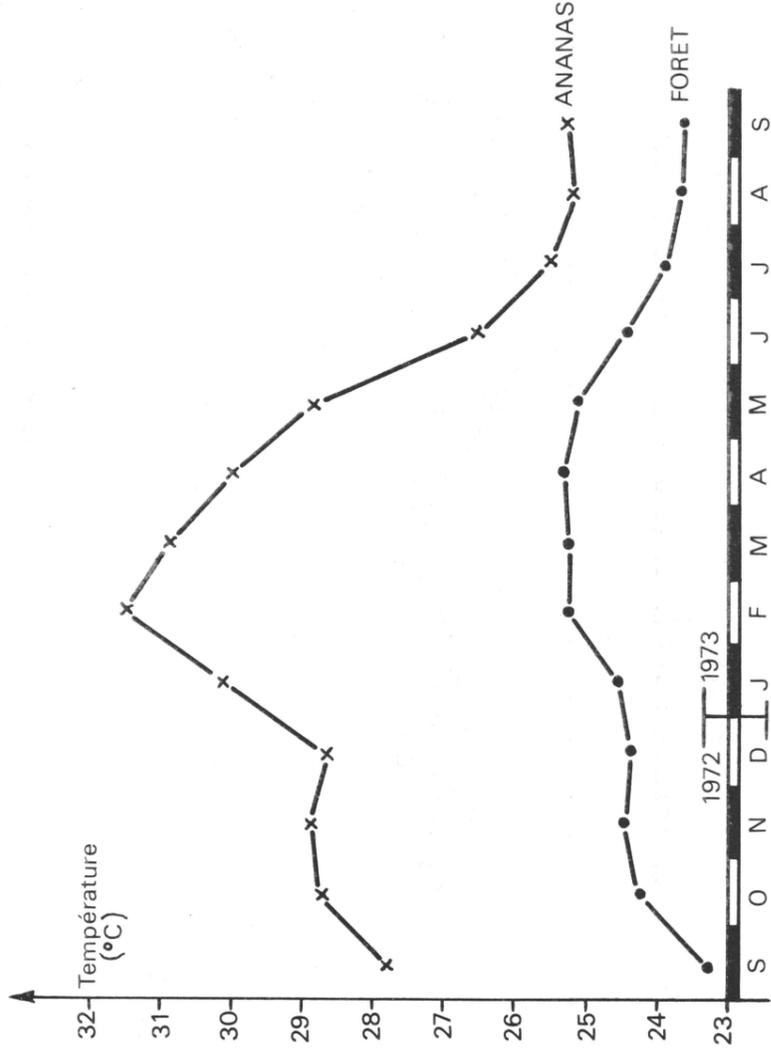
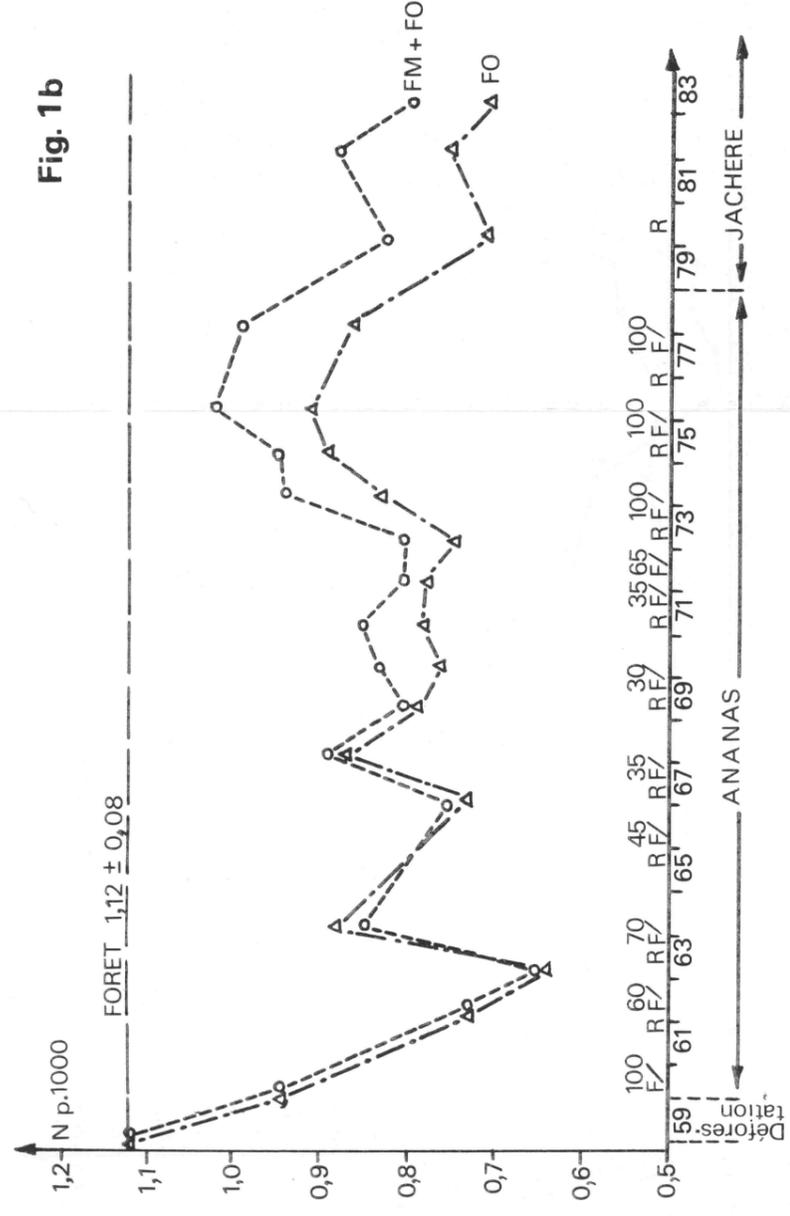


Figure 4 • Température moyenne du sol à 10 cm de profondeur en fonction du couvert végétal.

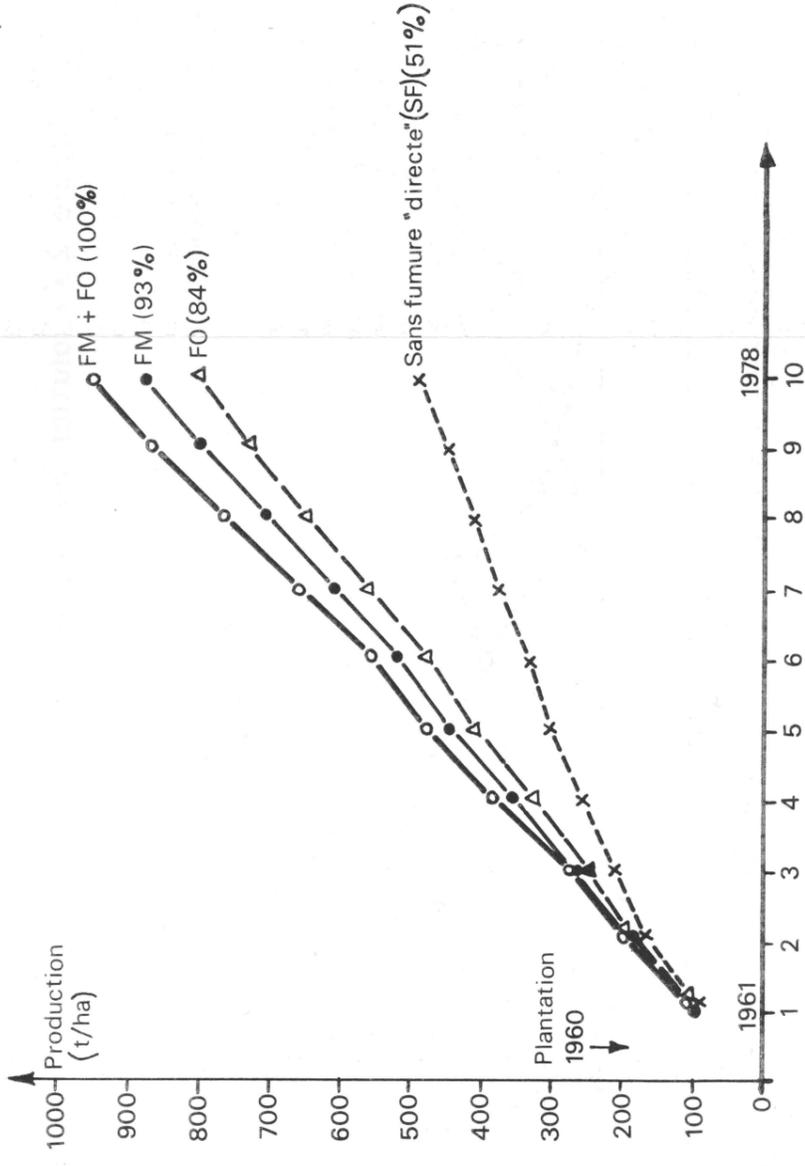


Figure 5 • Production cumulée de 1961 à 1978.

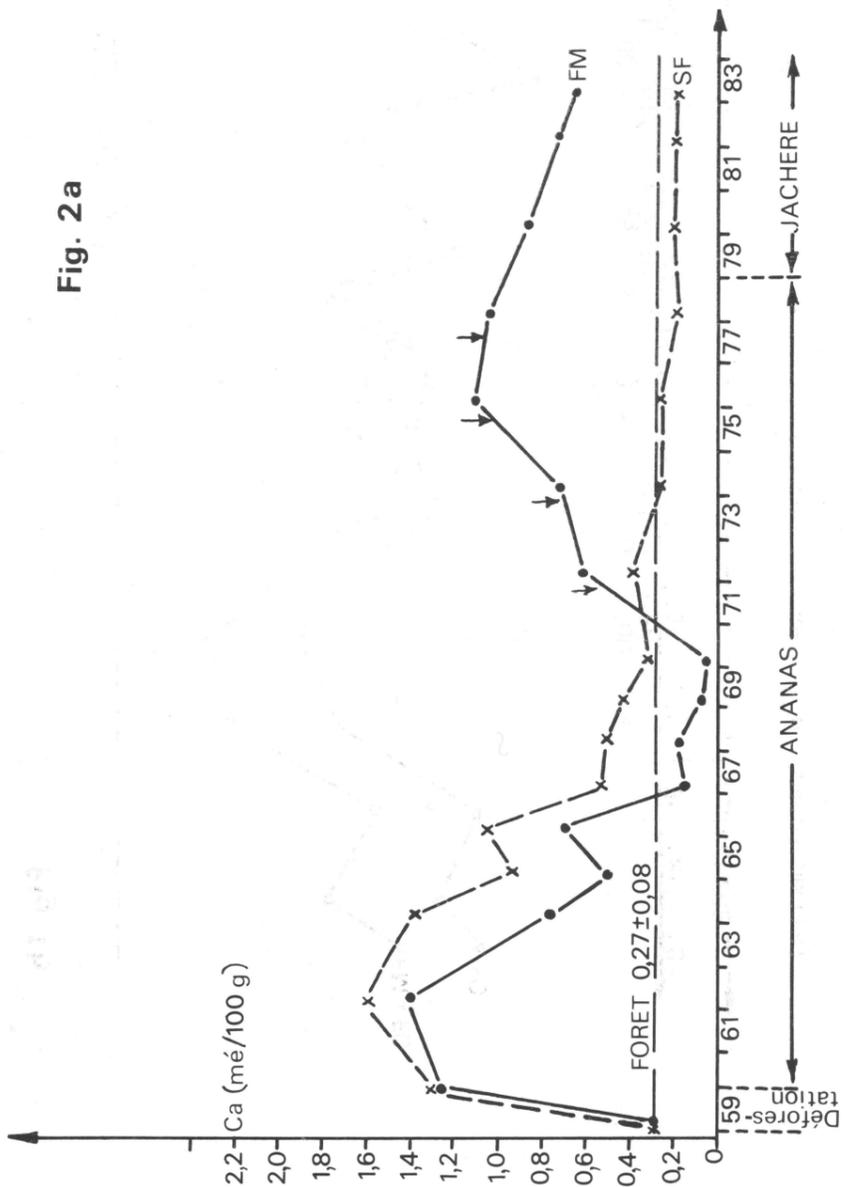


Figure 2 • Evolution du calcium échangeable. (↓ = dates des épandages de dolomie dans les traitements FM et FM + FO).

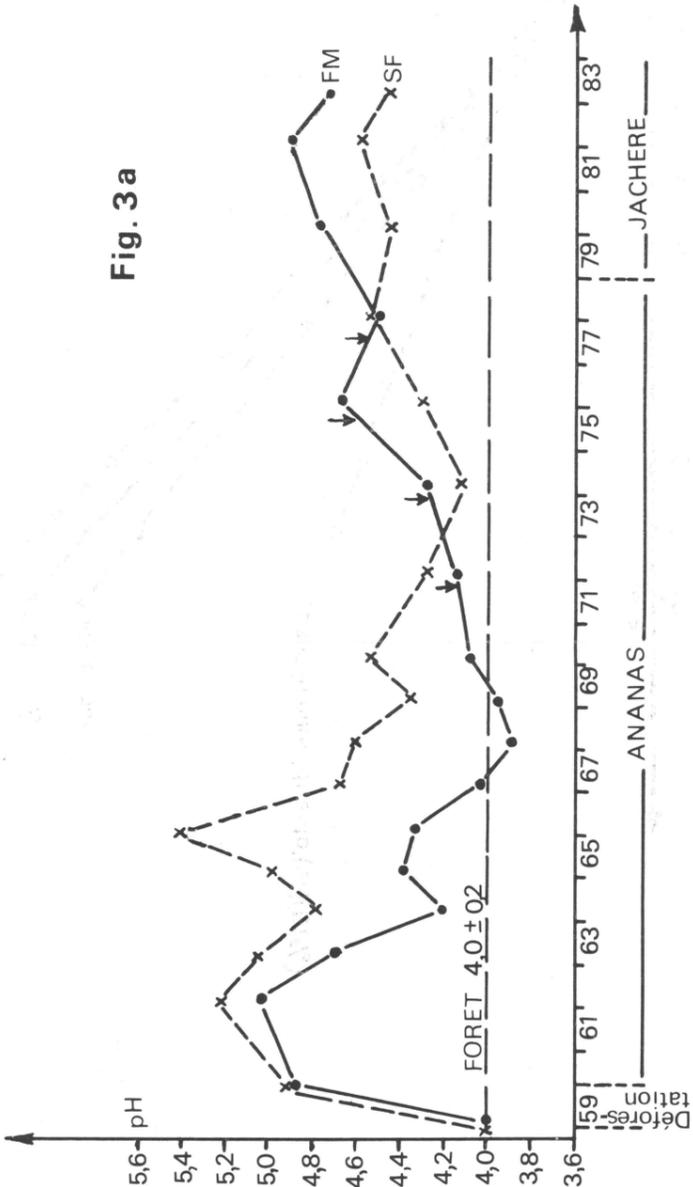
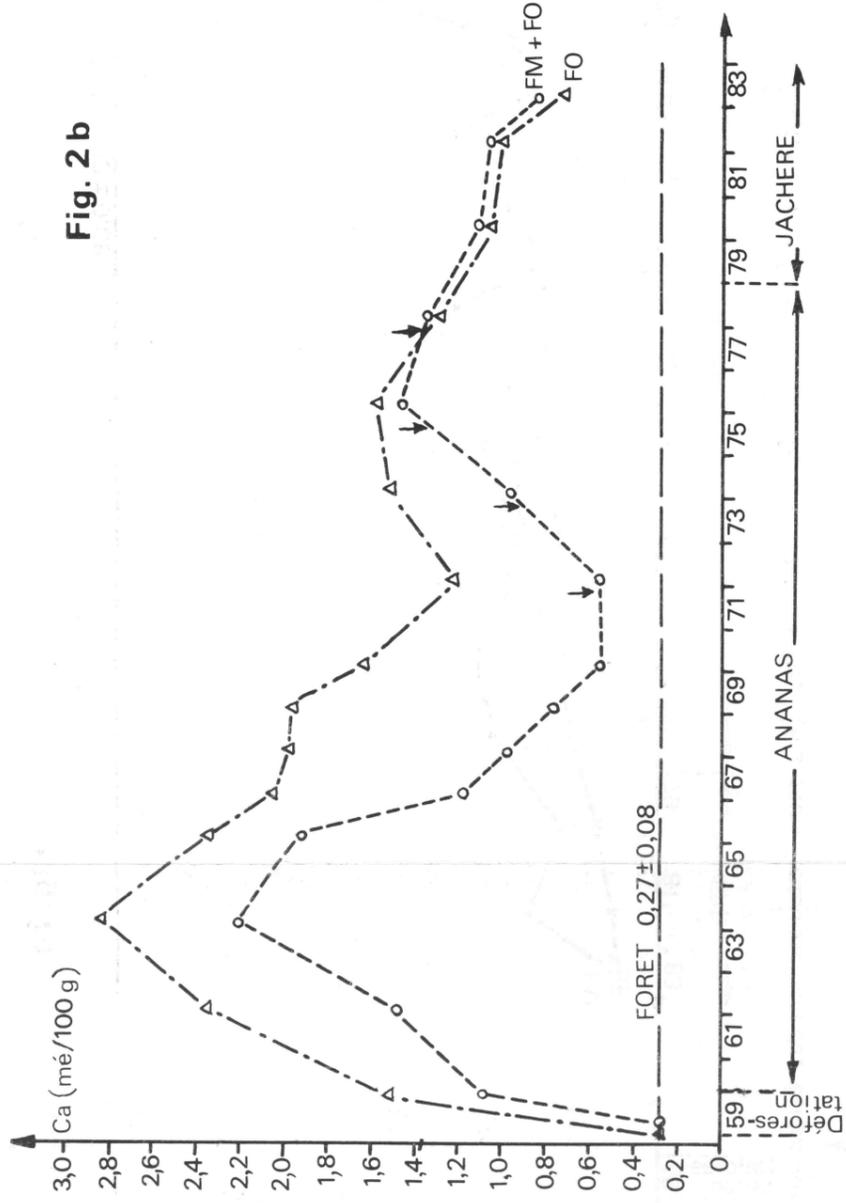


Figure 3 • Evolution du pH. (↓ = dates des épandages de dolomie dans les traitements FM et FM + FO).

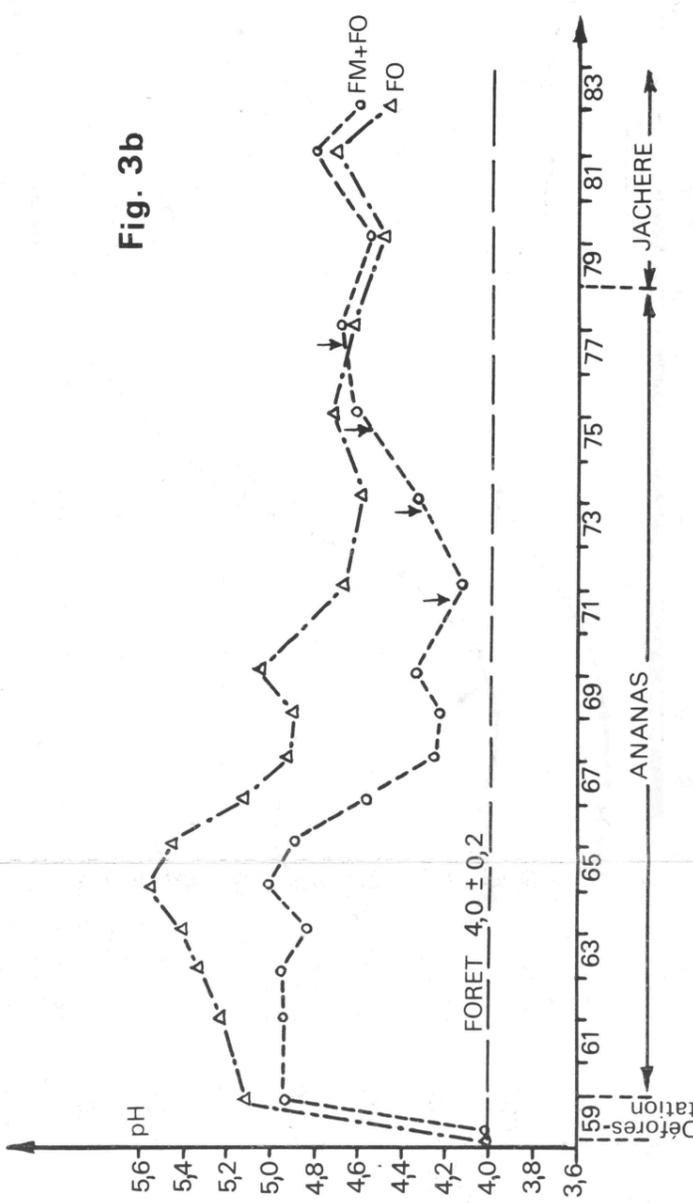


TABLEAU 3 - Caractéristiques chimiques du sol en 1982 ; (horizon : 0-25 cm ; moyenne de 6 répétitions).

	FORET		ANANAS Fumure minérale		Valeur indiciaire * par rapport à la forêt (100)	
	assimilable	total	assimilable	total	assimilable	total
Matière organique (p. 1000)						
C total	-	17,5		10,0		56
N total	-	1,17		0,65		56
C/N		15		15		-
Complexe absorbant (mé/100 g)						
Ca	0,3	0,5	0,7	1,0	237	218
Mg	0,1	2,0	0,4	2,8	308	140
K	0,1	1,0	0,3	1,2	344	122
Al	1,8	-	0,6	-	30	-
CEC	10,1	-	7,0	-	70	-
Ca + Mg + K/CEC (p. 100)	5	-	20	-	-	-
pH	3,8	-	4,9	-	-	-
Phosphore (ppm)	8**	310	31**	470	388	152

* - Les indices sont calculés sur les moyennes avec 2 décimales.

** - Méthode DYER.

0,2 p. 1000 en N (profondeur 25 cm, densité : 1,3), les niveaux oscillent entre 10,5 et 14 p. 1000 de C et entre 0,75 et 1,0 p. 1000 de N (figure 1 b). Les évolutions beaucoup plus irrégulières que dans les traitements «fumure minérale» et «sans fumure» s'expliquent par les variations quantitatives (30 à 100 tonnes) et qualitatives (C : 8 à 35 p. 100 ; C/N : 12 à 23) des fumiers et des composts enfouis. Les niveaux plus élevés dans le traitement «FO + FM» par rapport à FO (5 à 10 p. 100 pour C et 10 à 15 p. 100 pour N), sont en relation avec les différences des masses des résidus de culture (FO : $18,2 \pm 3,7$ t/ha/cycle de MS ; FM + FO : $26,5 \pm 3,3$). Dans les deux cas, C et N baissent pendant la jachère. Bien que le statut organique du sol en fin de culture d'ananas et de jachère soit amélioré par rapport aux traitements avec fumure minérale (FM) et sans fertilisation (SF), les niveaux restent inférieurs à ceux sans forêt (tableau 4).

Dans «FO» et «FM + FO» les apports organiques entre 1960 et 1978 ont été de 740 t/ha de produits frais et de

330 tonnes de matière sèche. Pendant la même période (9 cycles) les masses de résidus secs de culture s'élèvent à 165 t/ha (FO) et 240 tonnes (FM + FO) soit une moyenne annuelle d'apports de composés végétaux et organiques de 27 t/ha de MS dans «FO» et de 32 tonnes dans «FM + FO». Ces apports sont deux à trois fois supérieurs aux quantités de litières produites annuellement dans une forêt voisine (BANCO, 10 km) qui sont de 11 à 13 t/ha/an (F. BERNHART, 1970). Ces résultats montrent bien que l'appauvrissement du sol en matière organique sous culture par rapport à la forêt (moins 30 et moins 24 p. 100 en fin de culture d'ananas) est inévitable car lié à la modification du pédoclimat, en particulier à l'élévation de la température (figure 4) et GODEFROY (1975 a et b). Dans le traitement «FM» les résidus apportent en moyenne par année 12 t/ha de MS, soit du même ordre que la litière sous forêt, or, l'appauvrissement en matière organique est de 42 p. 100.

TABLEAU 4 - Bilan de la matière organique à la fin de la culture d'ananas et de la jachère (horizon : 0-25 cm ; moyenne de six répétitions).

	FORET	ANANAS (1978)				JACHERE (1983)			
		SF	FM	FO	FM + FO	SF	FM	FO	FM + FO
C. organique p. 1000	16,4 \pm 0,8	8,5	9,5	11,5	12,4	8,8	10,0	10,4	11,6
Valeur indiciaire	100	52	58	70	76	54	61	63	71
N total p. 1000	1,12 \pm 0,08	0,60	0,69	0,86	0,99	0,55	0,57	0,71	0,79
Valeur indiciaire	100	54	62	77	88	49	51	63	71

La structure est améliorée par rapport à celle du traitement «fumure minérale», surtout dans «FM + FO», mais elle reste tout de même inférieure à celle du sol de forêt (valeurs indiciaires agrégats alcool : 86 et 88 p. 100, agrégats benzène : 33 et 46, indice de percolation : 30 et 42).

Les courbes d'évolution du calcium et du pH sont comparables à celles du traitement «fumure minérale» mais les niveaux en Ca sont plus élevés et les pH sont moins acides (figures 2 b et 3 b). La fertilisation minérale (N, K, Mg) sans apport de calcium pendant la première décennie (FM + FO) provoque une lixiviation accrue de Ca et acidifie le sol. Un apport de 385 kg/ha de CaO (1,3 t de dolomie) à chaque replantation à partir du septième cycle (1971) a permis de pallier à la forte désaturation du complexe absorbant (taux de saturation : 14 p. 100 en 1970, 30 p. 100 en 1978 à la fin de la culture d'ananas). En 1982 et 1983, les teneurs en aluminium échangeable sont de 0,5 et 0,6 mé/100 g dans «FO» et de 0,4 et 0,5 mé dans «FM + FO», contre 1,8 mé dans la terre forestière.

Les teneurs en Mg, K et P varient beaucoup d'une année à l'autre en fonction de la composition des produits organiques qui sont épandus et pour «FM + FO» en fonction des modifications des programmes de fertilisation qui sont intervenus au cours des deux décennies. Dans les deux traitements, les niveaux sont toujours suffisants pour assurer une nutrition minérale satisfaisante des ananas (avec FM + FO > FO), ce qui est confirmé par le diagnostic foliaire, la croissance des plantes et le rendement. Par rapport au sol forestier, les teneurs dans «FO» sont supérieures en moyenne de six fois en P et de trois fois en K et Mg.

Culture sans aucune fertilisation (SF).

Comme nous l'avons mentionné ci-dessus, la culture d'ananas n'a pu être maintenue sur ce terrain pendant 19 années qu'en prélevant du matériel végétal (cayeux) dans des parcelles fertilisées afin de replanter les cycles successifs. Les apports d'éléments minéraux avec les cayeux sont de l'ordre de : 10 kg/ha/cycle de N, 5 kg de P₂O₅ et 30 kg de K₂O.

La dynamique de l'évolution de la matière organique est très comparable à celle des parcelles fertilisées avec des engrais minéraux mais les niveaux sont toujours plus faibles de 10 p. 100 en moyenne. Cette différence de statut organique des parcelles «FM» et «SF» est en relation avec les productions de résidus de cultures qui sont respectivement de 23,9 ± 3,8 t/ha/cycle de MS et de 9,8 ± 3,3 tonnes. On remarquera que pour une réduction des résidus de 60 p. 100, la diminution de la teneur en MO du sol n'est que de 10 p. 100.

Comme pour les parcelles fertilisées (FM ou FO) la stabilité de la structure est beaucoup plus faible que sous forêt ; les taux d'agrégats «alcool» qui expriment la cohé-

sion sont identiques à ceux du traitement «fumure minérale», mais les taux d'agrégats «benzène» qui sont liés à la mouillabilité des agrégats sont les plus faibles des quatre traitements : 24 p. 100 par rapport à ceux sous forêt contre 29 p. 100 pour «FM», 33 p. 100 pour «FO» et 46 p. 100 pour «FM + FO».

L'indice de percolation est identique à celui de «FO» : 2,4 cm/heure mais plus faible que «FM» (2,8) ou «FM + FO» (3,2) et que la forêt (7,7).

Après l'enrichissement en calcium du sol consécutif à la destruction de la forêt et au brûlis, les teneurs diminuent très rapidement les premières années, lorsque le sol est relativement riche, puis plus lentement ; les niveaux se «stabilisent» pendant la jachère à 0,2 mé/100 g, teneur inférieure de 30 p. 100 à celle du sol de forêt (figure 2 a).

L'évolution du pH est comparable à celle du calcium jusqu'en 1974, date à partir de laquelle le pH croît de près d'une demi-unité bien que le taux de saturation en cations du complexe absorbant n'augmente pas (valeurs comprises entre 5 et 7 p. 100). En 1982 et 1983, les teneurs en Al⁺⁺⁺ échangeable dans «SF» sont les plus élevées des parcelles cultivées : 1,1 mé/100 g contre 0,4 à 0,6 mé mais plus faibles que dans le sol forestier (1,8 mé/100 g) qui est plus acide (pH = 3,8 contre 4,5 dans SF). Cette plus faible acidité du sol cultivé par rapport à la forêt malgré des taux de saturation en cations identiques (5 p. 100) est difficile à expliquer. Peut-être, est-ce en relation avec la plus grande richesse de la terre forestière en acides humiques et fulviques (deux fois plus d'humus). Précisons que les taux de saturation en cations du complexe absorbant sont identiques mais que la somme des cations et la capacité d'échange sont plus élevées sous forêt que dans le sol cultivé non fertilisé.

Dès les premières années qui suivent la mise en valeur le sol s'appauvrit en potassium, en magnésium et en phosphore. La teneur en potassium de 0,3 mé/100 g en 1960 devient inférieure à 0,05 mé à partir de 1962. L'épuisement du magnésium est un peu moins rapide : 0,5 mé/100 g en 1960, 0,2 à 0,1 mé de 1962 à 1968, inférieure à 0,1 mé à partir de 1969. L'évolution du phosphore est également assez rapide : 45 ppm de P «TRUOG» après la déforestation, 9 ppm «DYER» de 1967 à 1978, 7 ppm de 1980 à 1983 sous jachère soit des niveaux en phosphore assimilable identiques à ceux du sol de forêt : 8,1 ± 1,5 ppm «DYER».

En revanche, le sol cultivé est plus riche en phosphore total : 425 et 310 ppm en 1982, ce qui semble indiquer qu'une partie du phosphore contenue dans la biomasse forestière a été fixée dans le sol au moment de la mise en valeur du terrain.

RELATION ENTRE LA FERTILITE ET LA PRODUCTION

Les rendements les plus élevés sont obtenus dans les parcelles «FM + FO» (figure 5) qui sont, aussi, celles où la fertilité du sol est la plus élevée (matière organique, structure, éléments minéraux nutritifs). Ces parcelles ont produit 950 t/ha d'ananas en dix cycles. Inversement, la production, la plus faible (490 tonnes) est celle des parcelles «SF» qui sont les moins fertiles et qui sont replantées avec des cayeux provenant de champs fertilisés. D'autre part, un pourcentage élevé des fruits produits dans ce traitement n'étaient pas commercialisables pour la conserverie et les qualités organoleptiques étaient très médiocres (saveur «plate» et sans parfum).

A niveaux de fertilité du sol assez voisins dans les traitements «FM» et «FO» mais plutôt supérieur dans «FO», la productivité est supérieure avec la fumure minérale : coût plus faible et rendement plus élevé (880 t/ha contre 800 tonnes). Cette différence en faveur de «FM» peut s'expliquer par une meilleure nutrition en azote (composition moyenne de la feuille D : 1,4 p. 100 contre 0,9 p. 100 dans «FO») et en potassium (2,9 et 2,4 p. 100). On rappellera que les engrais N et K sont appliqués soit à l'aisselle des feuilles, soit en pulvérisation sur le feuillage. En revanche, les plantes cultivées avec de la fumure organique seule absorbent davantage de phosphore (0,25 et 0,13 p. 100), de calcium (0,25 et 0,21) et de magnésium (0,30 et 0,23). La fumure minérale seule permet d'atteindre 93 p. 100 de la production potentielle estimée par celle des parcelles «FM + FO» (fertilisation «de luxe») et la fumure organique seule 84 p. 100.

Dans toutes les parcelles fertilisées les rendements se sont maintenus à un niveau élevé et «constant» au cours des dix cycles de culture. Ces résultats ont été obtenus en adaptant la fumure minérale aux besoins de la plante et en fonction de l'épuisement du sol ou pour la fumure organique en accroissant les apports à partir de la deuxième décennie (septième cycle).

CONCLUSION

L'un des intérêts, de cette expérimentation est de démontrer qu'en monoculture d'ananas, il est possible de maintenir la fertilité d'un sol à un niveau satisfaisant uniquement avec une fertilisation minérale. Celle-ci doit être «ajustée» à l'évolution des éléments minéraux dans le sol et dans la plante et pour cela les diagnostics «sol» et «plante» sont de bons «outils».

Le défrichement de la forêt a pour conséquence un fort enrichissement du sol en éléments fertilisants mais temporaire. Très rapidement, dans ce sol ferrallitique à faible capacité de fixation et soumis à un drainage intense (pluviosité annuelle moyenne de 2 mètres, drainage de l'ordre de 600 à 800 mm), les éléments minéraux sont lixiviés.

Parallèlement, la modification du pédoclimat en particulier l'accroissement de la température du sol (moyenne annuelle : plus 3,9 °C, écarts mensuels : plus 1,5 à plus 6,3°C) entraîne une minéralisation «accélérée» de la matière organique et l'appauvrissement en humus de la terre. Après une diminution très rapide au cours des trois premières années, les niveaux se «stabilisent», à condition d'enfouir les résidus de culture et non de les brûler. La fumure organique permet d'améliorer le bilan humique mais avec un rendement relativement faible. Malgré des apports abondants de matières organiques de 1960 à 1977 (740 t/ha de MF ou 330 tonnes de MS), les teneurs en C en 1978 ne sont supérieures à celles des parcelles «fumure minérale» que de 21 p. 100 (FO) et 30 p. 100 (FM + FO). Après cinq années de jachère (1983), les écarts ne sont plus que de 4 et 16 p. 100.

Par contre, si la mise en culture a eu pour conséquence un appauvrissement du stock organique du sol et corrélativement une dégradation de sa structure, elle a permis d'accroître très fortement sa richesse en éléments minéraux fertilisants, de diminuer l'acidité et la teneur en ions Al toxiques. Globalement on peut considérer que l'ensemble des techniques culturales appliquées et recommandées aux agriculteurs (fertilisation minérale : N, P, K, Ca, Mg, enfouissement des résidus de culture, etc.) permettent de conserver la fertilité de la terre malgré les conséquences négatives inéluctables de la déforestation sur l'évolution des sols cultivés en ananas. Mais, il faut être conscient que ce maintien de la fertilité n'est jamais acquis définitivement et que ces pratiques culturales doivent être appliquées aussi longtemps que dure la culture.

ANNEXE 1

CARACTERISTIQUES DU SOL

Sol ferrallitique fortement désaturé, appauvri, modal, formé sur sables argilo-ferrugineux ; il est bien représentatif des sols du sud de la Côte d'Ivoire cultivés en ananas.

DESCRIPTION DU PROFIL

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 émoussés, 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 émoussés, cohérent, friable, peu dur, agrégats poreux.

La fraction argileuse est constituée d'argile kaolinique. Les sables grossiers représentent de 60 à 70 p. 100 des sables totaux.

ENRACINEMENT

(fosse perpendiculaire à un rang d'ananas)

0 à 30 cm : densité élevée.

Pratiquement plus de racines en dessous de 30 cm.

CARACTERISTIQUES PHYSIQUES (horizon : 0-25 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 5 cm/h.

Composition granulométrique

	p. 100
argile ($< 2 \mu$)	17 à 21
limon fin (2 à 20μ)	2 à 6
limon grossier (20 à 50μ)	1 à 2
sable fin (50 à 200μ)	15 à 18
sable grossier (200 à $2\ 000 \mu$)	53 à 60

ANNEXE 2 - Caractéristiques hydriques du sol en 1982 ; (horizon : 0-25 cm ; moyenne de 6 répétitions) (p. 100)

	FORET	ANANAS			
		SF	FM	FO	FM+ FO
pF * 1,8	16,1	15,7	15,6	13,7	15,1
pF 2,5	10,8	9,9	9,7	9,5	10,0
pF 4,2	8,1	6,9	6,8	6,6	7,0

* - humidité pondérale

ANNEXE 3 - Eléments totaux du sol en 1982. (horizon : 0-25 cm ; moyenne de 6 répétitions)

	FORET	ANANAS			
		SF	FM	FO	FM+ FO
Ca mé/100 g	0,5	0,8	1,0	1,3	1,4
Mg mé/100 g	2,0	2,5	2,8	2,5	3,0
K mé/100 g	1,0	0,8	1,2	1,1	1,1
P ppm	310	425	470	540	606

BIBLIOGRAPHIE

- BERNHART (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, p. 247-266.
- BERNHART-REVERSAT (F.). 1975.
Recherches sur les cycles biogéochimiques des éléments minéraux majeurs en milieu forestier sub-équatorial (Côte d'Ivoire).
Thèse Fac. Sci. Paris Sud ORSTOM Paris.
- GODEFROY (J.) et TISSEAU (M.-A.). 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.
- GODEFROY (J.). 1974.
Evolution de la matière organique du sol sous culture du bananier et de l'ananas. Relations avec la structure et la capacité d'échange cationique.
Thèse Fac. Sci. Nancy, n° CNRS : A.O. 9296.
- GODEFROY (J.) et JACQUIN (F.). 1975 a.
Relation entre la stabilité structurale des sols cultivés et les apports organiques en conditions tropicales ; comparaison avec les sols forestiers.
Fruits, 30 (10), 595-612.
- GODEFROY (J.) et JACQUIN (F.). 1975 b.
Influence de la végétation sur l'humification en sol ferrallitique.
Cah. ORSTOM, série Pédol., XIII, (3/4), 275-298.
- HENIN (S.), GRAS (R.) et MONNIER (G.). 1969.
Le profil cultural.
Masson et Cie Ed., 332 p.
- MOREAU (R.) et GODEFROY (J.). 1985.
Utilisation des terres et alimentation des populations dans le Tiers monde, problèmes des zones tropicales humides.
C.R. Académie Agriculture, séance du 30.10.1985, 10 p.
- LACOEUILHE (J.J.). 1978.
Conservation de la fertilité d'un sol ferrallitique de basse Côte d'Ivoire cultivé en ananas.
Fruits, 33 (4), 241-256.
- SILVY (A.). 1962.
Conservation et amélioration de la fertilité du sol en culture d'ananas.
Fruits, 17 (7), 327-330.

