

Étude agro-pédologique des sols de la station I.F.A.C. d'Ivoloïna à Madagascar

par **J. GODEFROY** et **J. ROBIN** (*)

*Institut Français de Recherches Fruitières Outre-Mer
(I. F. A. C.)*



PHOTO 1. — Drainage dans un bas-fond hydromorphe
(Photo Hugues).

ÉTUDE AGRO-PÉDOLOGIQUE DES SOLS
DE LA STATION I.F.A.C. D'IVOLOÏNA A MADAGASCAR
par J. GODEFROY et J. ROBIN (I. F. A. C.)

Fruits, vol. 23, n° 3, févr. 1968, p. 151 à 170.

RÉSUMÉ. — Après avoir décrit les différents groupes de sols, et leurs caractéristiques physico-chimiques, les auteurs exposent les résultats d'essais de fertilisation minérale effectués dans ces sols sur le bananier.

La fumure azotée et potassique s'avère indispensable.

Pour les autres éléments : calcium, magnésium et phosphore, la nécessité des apports dépend du groupe de sol considéré.

Les caractéristiques structurales du sol, et particulièrement la vitesse de ressuyage sont un facteur important de la fertilité.

INTRODUCTION

La station de l'*Institut Français de Recherches Fruitières Outre-Mer (I. F. A. C.)* créée en 1961 sur la côte est de l'île, à proximité de Tamatave, occupe une superficie de 250 ha se répartissant ainsi :

- 30 ha de terrasses alluviales ;
- 110 ha de bas-fonds ;
- 75 ha de coteaux appelés localement : Tanety ;
- 35 ha de zone sableuse à bruyères.

La culture principale est le bananier qui occupe les sols d'alluvions (19 ha) et de bas-fond (5 ha), secondairement les sols de coteaux (1 ha).

Les autres cultures fruitières : agrumes (2 ha), ananas (2 ha), litchis (2,5 ha dont 1,5 sur les terrasses) avocatiers (1,5 ha) sont établies sur les coteaux.

Quatre hectares d'anacardiens ont été plantés sur les sables blancs à bruyères.

Une étude pédologique des sols de bananeraie de Tamatave effectuée par J. KILIAN et NGO CHAN BANG (IRAT, sept 65) montre que les sols de la station d'Ivoloïna sont bien représentatifs des sols de la zone bananière, aussi les résultats des études de fertilité réalisées sur la station sont facilement extrapolables à l'ensemble de la région.

(*) Collaboration technique M^{me} MULLER.

I. SITUATION ET TOPOGRAPHIE

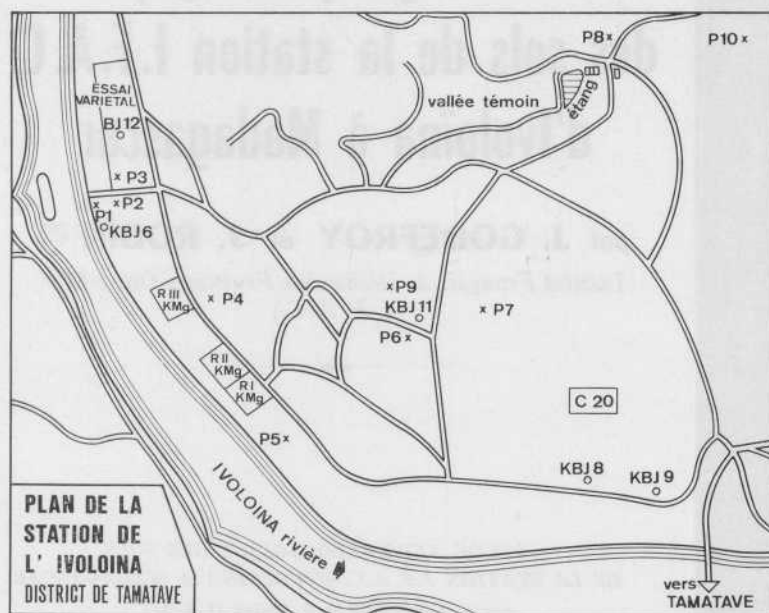
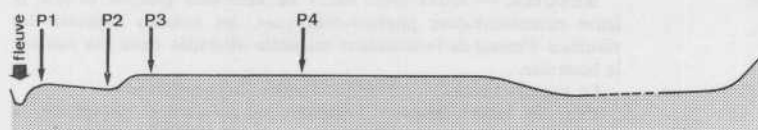


Figure 1. Profil transversal de la station de l'Ivoloïna (rive gauche)



La station d'Ivoloïna est située à 12 km de Tamatave sur la rive gauche du cours inférieur du fleuve du même nom. La latitude est de 18° 03' sud, la longitude de 49° 25' et l'altitude de 20 m.

Le profil transversal de la vallée inférieure de l'Ivoloïna est caractéristique de celui des vallées de la côte est de Madagascar ; on observe la succession suivante (fig. 1) :

a. Le fleuve.

b. Une première terrasse de largeur variable, mais généralement étroite : maximum 3 à 40 m. La pente est nulle dans la partie en bordure du fleuve, puis la terrasse forme une légère dépression à la limite avec la deuxième terrasse.

c. Une deuxième terrasse, surélevée de 3 à 4 m par rapport à la première. Cette deuxième terrasse est plus large que la précédente : 150 à 200 m. La pente est nulle ou très faible.

d. Une dépression, plus ou moins large suivant les endroits : 150 à 250 m.

e. Les collines ou tanety à pentes variables mais généralement fortes : 15 à 20 %.

II. CLIMAT

Le climat se caractérise par une forte pluviosité, une température moyenne annuelle élevée, bien que certains mois soient relativement frais, une insolation annuelle élevée. (Tableau I, fig. 2.)

Les précipitations sont très abondantes ; la moyenne annuelle des pluies est de 3 m, les maxima et les minima variant entre 5,40 m et 2,10 m. La pluie tombe toute l'année sans une véritable saison sèche. Les mois les

plus pluvieux : février et mars (4 à 500 m/m) correspondent aux mois les plus chauds (pluies zénitales renforcées par la mousson du nord-ouest).

Les mois les moins pluvieux sont septembre et octobre dont les précipitations moyennes sont respectivement de 123 et 78 mm. Pour tous les autres mois la pluviosité est supérieure à 150 mm.

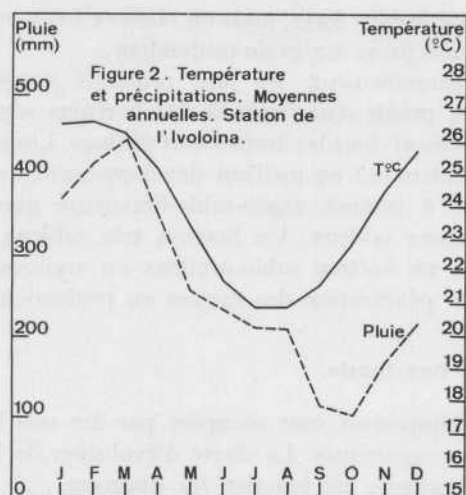
La température moyenne annuelle est élevée : 23,8°C.

TABEAU I

Caractéristiques climatiques - Station d'Ivoloïna (Madagascar)
Latitude 18°03' sud - Longitude 49°25 - Altitude 20 m.

	Jan.	Fev.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Total annuel	Moyenne annuelle
Précipitation en mm	365	408	441	347	255	250	211	206	132	78	165	214	3.071	
Température moyenne °C	26,5	26,5	26,2	25,1	23,4	21,6	20,9	20,9	21,5	22,9	24,5	25,7		23,8
Température maximum °C	30,7	30,7	30,3	29,3	27,6	25,7	24,7	24,9	26,0	27,5	28,9	30,1		28,0
Température minimum °C	22,4	22,3	22,1	21,0	19,2	17,6	17,0	16,9	17,0	18,3	20,1	21,3		19,6
Ecart thermique °C	8,3	8,4	8,2	8,3	8,4	8,1	7,8	8,0	9,0	9,2	8,8	8,8		8,4
Durée d'ensoleillement en heures	217	197	171	183	157	158	136	130	178	206	221	200	2.154	
ETP Thornthwaite en mm	135	135	129	109	102	85	78	78	84	98	113	125	1.271	
Bilan hydrique en mm	+ 230	+ 273	+ 312	+ 238	+ 153	+ 165	+ 135	+ 128	+ 48	- 20	+ 52	+ 89	+ 1.800	

d'après documents du service de la Météorologie



Les mois les plus frais : de juin à septembre correspondent à l'époque des pluies de l'alizé. Durant ces mois les températures moyennes sont de 20 à 21° C avec des minima de 17 à 18° C. L'amplitude thermique est faible, elle est régulière au cours de l'année et voisine de 8 à 9° C.

La durée d'ensoleillement est élevée malgré les fortes précipitations. Les pluies sont rarement longues et persistantes, elles alternent avec des heures ou des journées fortement ensoleillées. L'insolation annuelle dépasse 2 000 h ; les mois les plus ensoleillés sont généralement d'octobre à février avec une durée moyenne d'insolation de 7 h par jour.

Les indices climatiques calculés d'après les données climatologiques sont les suivants :

— Indice de LANG : $I = \frac{P}{T} = 129$;

— Indice de DE MARTONNE (indice d'aridité) :

$$I = \frac{P}{T + 10} = 91$$

Dans ces 2 indices : P représente les précipitations annuelles en mm et T la température moyenne en degrés centigrades.

— Indice de drainage calculé de S. HENIN et G. AUBERT :

$$D = \frac{\alpha P^3}{1 + \alpha P^2} \quad \text{avec} \quad \alpha = \frac{\beta}{0,15 T - 0,13}$$

P = pluviosité annuelle moyenne en mètres ;
T = température annuelle moyenne en degrés C ;
 β = coefficient fonction de la texture :

- sols sableux $\beta = 2$
- sols limoneux $\beta = 1$
- sols argileux $\beta = 0,5$.

Le drainage calculé D varie de 2,60 m pour les sols sableux, à 2,20 m et 1,80 m pour les sols limoneux et argileux.

Ces indices de drainage sont très élevés et traduisent un lessivage important.

L'évapotranspiration estimée par la formule de THORNTWAITE qui ne tient compte que de la température est de l'ordre de 100 mm pour les mois d'avril à novembre et de 125 à 135 mm de décembre à février.

Le bilan hydrique est nettement excédentaire (1,80 m). Le seul mois déficitaire est octobre, mais seulement de 20 mm. Les réserves en eau du sol, résultant des excédents hydriques des mois précédents, sont très largement suffisantes pour assurer l'alimentation en eau des plantes.

III. LES SOLS

Quatre groupes de sols se rencontrent sur la station ; chacun de ces groupes correspond à une position topographique différente.

Sur les terrasses se développent des sols alluviaux peu évolués. Ces sols de bonne fertilité sont utilisés pour la culture du bananier ; l'utilisation de ces sols ne nécessite pas d'aménagements particuliers. Dans certaines zones un réseau de drains par fossés est cependant nécessaire pour améliorer le ressuyage du sol aux périodes de fortes précipitations.

Les zones les plus basses situées en bordure du fleuve sont inondées périodiquement lors de crues du fleuve,

généralement en février ou mars. Ces inondations qui se produisent environ tous les 4 ou 5 ans sont de courte durée : en général 24 à 48 h.

Les bas-fonds sont occupés par des sols hydromorphes à teneur élevée en matière organique. Le problème de la mise en valeur de ces sols est lié au fait qu'ils sont inondés tous les ans durant un à quatre jours. L'excès d'eau provient des eaux de ruissellement des collines et des eaux de crues dont l'évacuation s'effectue mal. Ces sols une fois drainés constituent de bons sols pour la culture du bananier.

Des études d'amélioration de ces sols par la culture

de plantes améliorantes telles que les crotalaires et surtout le Guatemala Grass (*Tripsacum Laxum*) sont en cours.

Sur les pentes des tanety on observe des *sols colluviaux* et des *alluvions anciennes* utilisés pour les cultures arbustives et l'ananas. Les pentes sont généralement fortes : 15 à 20 %.

Les *sols sableux à humus très grossier* se développent sur un sable blanc quartzueux très grossier. Ces sols de valeur agricole extrêmement faible sont peuplés de plantes du genre Erica. Une étude du comportement de l'anacardier sur ces sols est en cours, afin de trouver une utilisation possible de ces sols.

MORPHOLOGIE DES PROFILS.

Sols des terrasses alluviales.

Les caractéristiques des profils des sols alluviaux sont dans l'ensemble assez homogènes dans les différentes zones de la station malgré des différences dans la composition granulométrique des horizons.

Les zones les plus sableuses sont celles situées en bordure du fleuve. La fraction d'éléments fins augmente généralement avec la profondeur mais néanmoins on observe dans certains profils le phénomène inverse. Les sables contiennent une fraction importante d'éléments micacés.

Une description de quelques profils types observés sur la station est donnée en annexe.

Les sols alluviaux sont « profonds », l'horizon supérieur de 10 à 40 cm est argilo-sableux à argilo-sablo-limoneux, de couleur brun à brun foncé (gamme (*) 10 YR — valeur 3 à 5, intensité 3 à 8) la matière organique est bien minéralisée, la structure de type polyédrique est assez grossière, moyennement à fortement développée.

Les horizons sous-jacents de couleur brun-jaune (gamme 10 YR, valeur 4 à 5, intensité 3 à 8) sont à texture argilo-sablo-limoneuse ; la structure est continue, avec une tendance à la compacité. Dans certains profils on observe des taches rouilles mais peu nombreuses et extrêmement diffuses, ces taches s'observent le plus souvent au contact d'un horizon sableux avec un horizon plus argileux.

Le développement en profondeur des racines de bananiers est très satisfaisant dans ces sols d'alluvions. C'est dans l'horizon supérieur que l'on observe

la densité la plus forte, mais on observe fréquemment des racines jusqu'à 1 m de profondeur.

Les enracinements les plus profonds s'observent dans les profils dans lesquels les horizons sont peu différenciés et dont les limites sont diffuses. Les racines de bananiers ont un meilleur développement dans les horizons à texture argilo-sablo-limoneuse que dans les horizons sableux. Un horizon très sableux sous-jacent à un horizon sablo-argileux ou argilo-sableux limite la pénétration des racines en profondeur.

Sols de bas-fonds.

Les dépressions sont occupées par des sols hydromorphes organiques. Le degré d'évolution de la matière organique est fonction du drainage.

Dans les zones drainées depuis 4 ans l'horizon supérieur (0 à 30 cm) gris très foncé (gamme 10 YR, valeur 3 à 5, intensité 1) est constitué d'une argile limoneuse organique, la matière organique est bien décomposée, la structure de type grumeleux est bien développée.

L'horizon sous-jacent de couleur gris foncé (10 YR 4/1) est constitué d'une tourbe fibreuse constituée d'éléments végétaux non décomposés, enrobés dans une masse à texture argileuse.

Le niveau de la nappe d'eau est fonction de l'intensité du drainage et de la saison. Au mois d'octobre au moment des observations le niveau de la nappe était à 70 cm de profondeur.

Dans ces sols le développement des racines de bananiers est fonction du degré d'évolution de la tourbe, et du niveau de la nappe.

Les sols de pentes.

Ces sols diffèrent des sols de terrasses par une texture plus argileuse, d'argilo-sableuse en surface, la texture devient nettement argileuse en profondeur.

La couleur brun gris à brun gris foncé (gamme 10 YR, valeur 3 à 4, intensité 2 à 3) dans l'horizon supérieur, passe au brun (7,5 YR 5/6) puis au rouge-jaune (5 YR 4/6) ou au jaune-rouge (5 YR 6/8) dans les horizons sous-jacents.

La compacité et surtout la dureté sont plus élevées que dans les sols alluviaux.

Ces sols sont bien drainés, on n'observe aucun caractère d'hydromorphie.

Les sols sableux à humus grossier.

Ils sont de couleur noir rougeâtre (10 R 2/1) dans l'horizon surface (0 à 10-15 cm) avec des taches gris

(*) Cotation de Munsell soil color chart.

foncé, la matière organique est un humus brut constitué de racines de bruyères mélangées à du sable très grossier, à grains très blancs.

L'horizon sous-jacent de couleur gris-rouge foncé (10 R 4/1) devient rouge pâle en profondeur (10 R 6/2). Cet horizon très meuble est constitué de sable très grossier.

CARACTÉRISTIQUES PHYSIQUES.

Les caractéristiques physiques du sol dépendent pour une part importante de la composition granulo-

métrique. La texture ayant déjà été étudiée dans la morphologie des profils nous ne reprenons pas cette étude dans ce paragraphe.

Caractéristiques hydriques.

L'humidité au point de flétrissement (pF 4,2) varie de 9 à 22 % dans les sols d'alluvions et de pentes ; elle est très élevée dans le sol organique : 36 % et très faible dans les horizons sableux 3 à 4 %.

Cette caractéristique est en relation avec la composition granulométrique comme le montre les valeurs des coefficients de corrélation (fig. 3 et 4).

CORRÉLATION	VALEUR DU COEFFICIENT DE CORRÉLATION (r)	PROBABILITÉ
pF 4,2/argile (%) (0 à 2 μ).....	0,89	sup. à 99 %
pF 4,2/A (%) + Lf (%) (0 à 20 μ).....	0,96	sup. à 99 %
pF 4,2/A (%) + Lf (%) + Lg (%) (0 à 50 μ).....	0,86	sup. à 99 %

L'humidité équivalente (pF 3) varie de 17 à 30 % dans les sols de terrasse et de pente, elle est de 54 % dans le sol de bas-fond, et de 4 % dans les horizons sableux.

Comme pour le point de flétrissement les valeurs de l'humidité à pF 3 sont en relation avec la texture (fig. 5 et 6).

CORRÉLATION	VALEUR DU COEFFICIENT DE CORRÉLATION (r)	PROBABILITÉ
pF 3/argile (%) (0 à 2 μ).....	0,81	sup. à 99 %
pF 3/A (%) + Lf (%) (0 à 20 μ).....	0,89	sup. à 99 %
pF 3/A (%) + Lf (%) + Lg (%) (0 à 50 μ).....	0,85	sup. à 99 %
pF 3/Lf (%) (2 à 20 μ).....	0,93	sup. à 99 %
pF 3/Lf (%) + Lg (%) (2 à 50 μ).....	0,85	sup. à 99 %

L'eau utilisable : Eu définie par la différence entre le pF 3 et le pF 4,2 est voisine de 10 % dans les sols d'alluvions et de pente, elle est plus élevée dans le sol hydromorphe : 18 %, et très faible dans les sables : inférieure à 2 %.

Dans de nombreuses régions à déficit hydrique, cette caractéristique constitue un facteur important de la

fertilité car elle conditionne l'alimentation en eau de plantes, A Tamatave où il n'y a pratiquement pas de période sèche la notion d'« eau utilisable » a une importance secondaire.

Les valeurs de l'eau « utilisable » sont fonction de la teneur en limons, mais ne sont pas en relation avec la teneur en argile. (fig. 7 et 8).

CORRÉLATIONS	VALEUR DU COEFFICIENT DE CORRÉLATION (r)	PROBABILITÉ
Eu /argile (%) (0-2 μ).....	nul	
Eu /A (%) + Lf (%) (0-20 μ).....	nul	
Eu /limon fin (%) (2 à 20 μ).....	0,87	sup. à 99 %
Eu /Lf (%) + Lg (%) (2 à 50 μ).....	0,89	sup. à 99 %

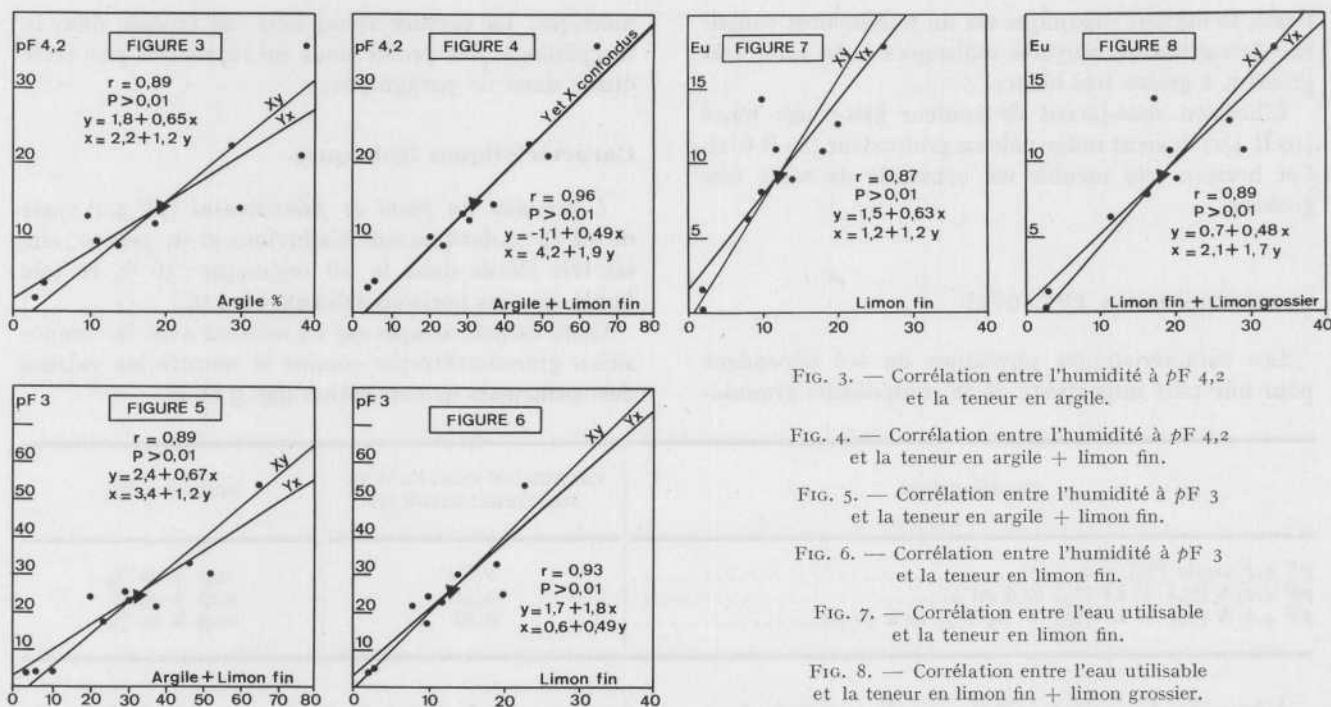


FIG. 3. — Corrélation entre l'humidité à pF 4,2 et la teneur en argile.

FIG. 4. — Corrélation entre l'humidité à pF 4,2 et la teneur en argile + limon fin.

FIG. 5. — Corrélation entre l'humidité à pF 3 et la teneur en argile + limon fin.

FIG. 6. — Corrélation entre l'humidité à pF 3 et la teneur en limon fin.

FIG. 7. — Corrélation entre l'eau utilisable et la teneur en limon fin.

FIG. 8. — Corrélation entre l'eau utilisable et la teneur en limon fin + limon grossier.

TABLEAU II
Caractéristiques granulométriques

Situation topographique	Profil	Carré	Profil cm	Argile %	Limon fin %	Limon grossier %	Sable fin %	Sable grossier %	Refus %	Texture d'après triangle textural de S. Hénin	
Terrasse	P1	C 8A	0-5	11	10	7	25	43	nul	sablo-limono-argileuse	
			5-20	2	2	1	10	86	nul	sable grossier	
	P2	C 8B	0-20	10	20	7	31	25	nul	sablo-limono-argileuse	
	P3	Essai variétal	0-20	14	10	6	38	28	nul	argilo-sablo-limoneuse	
	P4	C 13	0-20	19	12	7	29	27	t. faible	argilo-sablo-limoneuse	
	P5	C 9	0-20	29	18	11	26	9	faible	argile-sablo-limoneuse	
		MgOK0	Essai								
		BI-II-III	K-Mg	0-20	16 à 19	10 à 12	6 à 9	35 à 37	17 à 27	nul	argilo-sablo-limoneuse
		KB J-6 *	C 8A	0-30	9	0,5	1	22	66		sablo-argileuse
				30-45	14	5	2	34	43		argilo-sableuse
				45-55	12	4	2	35	45		sablo-argileuse
		KB J-8 *	Test	0-30	27	18	7	33	13		argilo-sablo-limoneuse
	KB J-9 *	herbicide	30-60	18	7	3	58	13		argilo-sableuse	
	KB J-9 *	Test	0-40	30	25	9	30	3		argile limono-sableuse	
	KB J-12 *	herbicide									
		Essai	0-20	23	15	3	41	16		argilo-sablo-limoneuse	
		variétal	20-35	25	13	2	40	17		argilo-sablo-limoneuse	
		BII P5	35-60	31	17	2	38	10		argile sablo-limoneuse	
Bas-fond	P6	C 16	0-20	39	26	7	11	2	faible	argile limoneuse organique	
	KB J-11 *	Essai	0-30	38	34	2	7	0,5		argile limoneuse organique	
		potasse	30-80	39	32	3	10	1			
Pente	P7	C2 ananas	0-20	30	8	3	10	42	faible	argile sablo limoneuse	
	P8	Tanety	0-20	38	14	6	14	18	faible	argile sablo-limoneuse	
Plateau	P10	Anacardi-ers	0-20	4	2	0,4	3	92		sable grossier humifère	

* = Résultats extraits du rapport de J. Killian et Ngo Chan Bang.

Perméabilité.

Les résultats des mesures de perméabilité effectuées

in situ dans les sols de terrasses alluviales par la méthode de Porchet sont donnés dans le tableau ci-après.

Perméabilité en cm/h.

EMPLACEMENT	PROFONDEUR 0 — 25 cm	PROFONDEUR 25 à 50 cm
C8A près du profil 1.....	60 — 17	4,9 — 2,3
C8B près du profil 2.....	1,4 — 1,5 — 2,2	1,5 — 0,4 — 0,4
E. Variétal près du profil 3.....	0,3 — 0,4 — 0,04 — 0,4 — 0,04	0,4 — 0,4 — 0,2 — 1,1 — 0,4
C9 près du profil 5.....	0,4 — 0 — 0,8	0,4 — 0,1 — Nappe à 40 cm
C13 : dépression.....	1,8 — 2,4	0,2 — 0,2
C13 : partie sous-solée.....	0,2 — 0,4 — 0,2 — 0,2	0,2 — 0,4 — 2,7 — 0,4
C13 : partie en crotalaires.....	0,1 — 1,3 — 3,3 — 0,4 — 0,7	0,6 — 0,8 — 0,8 — 0,5 — 0,2

TABLEAU III
Caractéristiques hydriques : humidité à différents pF en % du poids

Situation topographique	Terrasse						Bas fond	Pente		plateau sableux
	1	1	2	3	4	5		7	8	
Profil	0-5	10-20	0-20	0-20	0-20	0-20	0-20	0-20	0-20	0-20
pF 4,2	9,9	2,9	12,8	8,8	12,5	22,5	36,2	14,4	21,1	3,9
pF 3	24,5	4,4	25,5	17,1	23,3	33,3	54,2	20,7	29,8	4,1
pF 2,5	-	-	36,2	24,7	26,2	52,4	-	-	-	-
pF 2,2	-	-	38,2	26,2	33,0	43,9	-	-	-	-
pF 1,5	-	-	67,3	52,4	56,5	61,9	-	-	-	-
Eau utilisable pF 3 - pF 4,2	14,6	1,5	12,7	8,3	10,8	10,8	18,0	6,3	8,7	0,2

Ces mesures faites sur sol humide mais ressuyé montrent que la perméabilité est faible à l'exception des bourrelets de berges très sableux (C8A) qui sont très perméables. Dans le carré 13 planté en crotalaires la perméabilité est plus élevée. L'augmentation de la perméabilité est due aux racines des crotalaires qui créent des galeries, favorisant ainsi l'infiltration de l'eau.

CARACTÉRISTIQUES CHIMIQUES.

Complexe organique.

Le carbone total et corrélativement l'azote sont à un niveau satisfaisant dans tous les sols de la station.

Dans les sols alluviaux les niveaux en éléments organiques sont moyens à l'exception des sols de bourrelets de berges très sableux où les niveaux sont plus faibles. Les valeurs moyennes de la teneur en matière organique dans l'horizon supérieur sont de l'ordre de 3 %, et celles de l'azote organique voisine de 1,5 p. mille ce qui constitue un niveau satisfaisant pour des sols de régions tropicales, situés au niveau de la mer. La teneur en carbone baisse progressivement avec la profondeur des horizons.

Dans ces sols d'alluvions la minéralisation de la matière organique s'effectue normalement, la valeur du rapport C/N est toujours comprise entre 8 et 13.

Dans les sols de pentes (tanety) les niveaux sont élevés : matière organique 7 à 9 %, azote 4 à 5 p. mille. Le degré de minéralisation du carbone est plus faible que dans les sols de terrasses, les valeurs des rapports C/N sont compris entre 15 et 20.

Les sols de bas-fonds sont nettement organiques : 13 à 24 % d'éléments organiques. Le niveau en carbone, et le degré d'évolution de l'humus sont fonction de l'hydromorphie. Les rapports carbone/azote sont élevés : 15 à 25 %.

La matière organique est également très élevée dans les sols sableux à bruyères, il s'agit comme nous l'avons déjà indiqué dans la description du profil d'un humus très grossier dont le rapport C/N est de l'ordre de 30.

Complexe absorbant.*Capacité de fixation.*

Le pouvoir de fixation des cations est élevé à très élevé dans tous les sols de la station à l'exception des sables à humus brut. La capacité de fixation du complexe absorbant dépend de trois facteurs : teneur en

TABLEAU IV
Caractéristiques chimiques

Situation topographique	Profil	Carré	Profondeur cm	Matière organique				Complexe absorbant						P ₂ O ₅ assimilable % (1)		
				M. O %	Carbone %	Azote %	C/N	cations échangeables méq. %				Capacité de fixation méq. %	Coefficient de saturation %		pH	
								Ca	Mg	K	Na	Somme				
Terrasse	P1	C 8A	0-5	4,0	2,3	2,0	12	2,8	2,3	0,3	0,06	5,5	12,7	43	5,4	0,07
			5-20	0,5	0,3	0,3	10	0,5	0,3	0,1	0	0,9	2,3	35	6,2	0,05
	P2	C 8B	0-20	3,5	2,0	1,5	13	3,7	2,1	0,2	0,08	6,1	13,9	43	5,4	0,05
	P3	Essai variétal	0-20	3,1	1,8	1,5	12	2,2	1,1	0,3	0,03	3,6	11,1	32	5,4	0,05
	P4	C 13	0-20	3,3	1,9	1,5	13	3,6	0,8	0,1	0,07	4,6	13,5	34	5,5	0,03
	P5	C 9	0-20	2,9	1,7	1,3	13	2,0	1,4	0,1	-	3,5	15,0	23	5,6	0,03
	Moyenne parcelles témoins	Essai K. Mg	0-20	3,2	1,8	-	-	3,1	1,3	0,1	-	4,5	11,5	39	5,4	0,04
	KB J. 6 (2)	C 8A	0-30	0,5	0,3	0,2	12	1,2	1,0	0,1	0,01	2,3	3,0	76	4,6	0,02
			30-45	1,1	0,6	0,8	8	1,7	1,0	0,1	0,03	2,8	6,0	45	4,8	0,01
			45-55	0,6	0,4	0,4	10	2,5	1,3	0,1	0,01	3,9	4,8	80	4,8	0,01
	KB J. 8 (2)	Test herbicide	0-30	2,5	1,0	1,8	8	2,5	1,6	0,2	0,03	4,3	17,2	25	4,7	0,01
			30-60	0,7	0,4	0,5	8	2,5	1,6	0,1	0,01	4,2	8,6	49	4,6	0,01
	KB J. 9 (2)	Test herbicide	0-40	2,8	1,6	1,8	9	4,1	2,3	0,1	0,03	6,5	26,0	25	4,5	0,02
	KB J. 12 (2)	Essai variétal	0-20	2,2	1,3	1,1	12	0,8	1,6	0,1	0,01	2,5	8,8	29	4,9	0,02
			20-35	1,4	0,8	0,9	9	0,4	1,0	0,1	0,01	1,5	7,4	20	4,9	0,01
		BII - P5	35-60	0,8	0,5	0,5	10	0,8	1,6	0,1	0,01	2,5	12,0	21	4,7	0,01
Bas-fonds	P6	C 16	0-20	24,6	14,2	5,4	26	0,8	0,8	0,8	0,04	1,9	37,0	5	4,5	0,11
	Moyenne parcelles témoins	test dolomie	0-20	12,8	7,4	-	-	0,5	0,6	0,4	-	1,5	26,9	6	4,4	0,13
	KB J. 11 (2)	Essai Potasse	0-30	16,7	9,6	5,8	16	0,4	0,6	0,1	0,01	1,1	34,6	33	3,9	0,03
			30-80	14,2	8,2	3,6	23	0,8	0,6	0,1	0,01	1,5	26,6	6	4,3	0,01
Pente	P7	C 2	0-20	7,3	4,2	2,6	16	0,03	0	0,04	0	0,07	12,7	0,5	4,6	0,04
	P8	ananas Tanety	0-20	9,1	5,2	2,7	19	0,4	0,8	0,1	-	1,3	18,3	7	4,9	0,03
Plateau	P10	Anacardi-ers	0-20	14,2	8,2	2,6	31	0,5	0,9	0,01	-	1,4	6,1	2	5,4	0,02

(1) - Méthode d'extraction citrique.

(2) - Résultats extraits du rapport de J. Killian et Ngo Chan Bang.

Pour ces échantillons l'analyse du phosphore est faite par la méthode Truog.

éléments fins : argile et limon, nature de l'argile, matières humiques. L'analyse des argiles n'a pas été effectuée mais compte tenu des valeurs de la capacité d'échange, il est vraisemblable qu'il s'agit dans les divers groupes de sols, d'argile de type Kaolinite.

C'est donc la teneur en éléments fins et en matière organique qui conditionne les valeurs de la capacité d'échange, et on retrouve la même classification que pour la matière organique : niveaux élevés dans les sols de terrasses (10 à 15 méq p. cent) niveaux très élevés dans les sols de pentes (13 à 20 méq p. cent) et de bas-fonds (25 à 35 méq p. cent).

Calcium échangeable.

Les niveaux sont moyens à faibles dans les sols de terrasses. Les valeurs les plus fréquentes dans les horizons supérieurs sont comprises entre 2,5 et 3 méq p. cent. Les niveaux varient peu entre les horizons de surface (10-30 cm) et les horizons plus profonds (30-60 cm). Les niveaux sont faibles à très faibles dans les sols de dépressions, les sols de pentes et les sables à bruyères. Dans tous ces sols les teneurs en calcium échangeable sont inférieures à 1 méq p. cent.

Magnésium échangeable.

Les teneurs en magnésium varient avec le type de sol.

Les sols de terrasses sont généralement bien pourvus, les teneurs varient entre 1 et 2 méq p. cent. Les niveaux sont limités dans les 3 autres groupes de sols. Dans la parcelle cultivée en ananas le magnésium est totalement épuisé. Les niveaux sont constants dans les divers horizons.

Potassium échangeable.

Les teneurs en potassium échangeable sont très faibles dans les 4 groupes de sol. Ce résultat surprend étant donné la composition des sables qui contiennent beaucoup d'éléments micacés. Nous reviendrons sur cette question lors de l'étude des réserves en éléments minéraux dans ces sols. Dans les sols d'alluvions et de pentes les teneurs en potassium échangeable sont rarement supérieures à 0,1 méq p. cent, dans les sols organiques les niveaux sont un peu plus élevés bien qu'encore faibles : 0,3 à 0,4 méq p. cent.

Les horizons de profondeur ont des niveaux du même ordre de grandeur.

Sodium échangeable.

Cet élément n'existe qu'à l'état de traces dans tous les sols : inférieur à 0,05 méq p. cent. Notons que le rôle de cet élément n'a jamais été mis en évidence sur les cultures fruitières, seuls les effets toxiques dus à des excès sont connus.

Somme des cations et degré de saturation.

La somme des cations est moyenne à faible dans les sols de terrasses, (4 à 6 méq p. cent), très faible dans les sols de bas-fonds, de pentes, et les sables à humus grossier (inférieur à 2 méq p. cent). Compte tenu des valeurs élevées de la capacité de fixation, le complexe absorbant est moyennement à faiblement désaturé dans les sols de terrasses (30 à 40 %), très fortement désaturé dans les 3 autres groupes de sols (inférieur à 10 %). *pH*.

Le *pH* qui est en relation avec le degré de saturation en cations du complexe absorbant est moyennement acide dans les sols sur alluvions (5,4 à 5,6) et fortement acide dans les autres types de sols (4,4 à 4,9). Ces valeurs de *pH* correspondent aux prélèvements de sols effectués au mois d'octobre, qui est le mois le moins pluvieux de l'année (80 mm). Les échantillons KBJ ont été prélevés au mois de mars à la période des plus fortes précipitations (440 mm). Les valeurs du *pH* plus faibles de 0,5 à 1 unité pour les échantillons de mars correspondent à la variation saisonnière du *pH*.

Phosphore assimilable.

Les niveaux en phosphore citrique sont moyens dans les sols organiques : 0,1 p. mille, ils sont généralement faibles dans les autres sols : 0,03 à 0,05 p. mille. Les échantillons KBJ ont été analysés par la méthode Truog qui donne des valeurs plus faibles. Les niveaux dans les différents horizons sont constants.

Éléments totaux et réserves.*Calcium.*

Les sols de terrasses sont pauvres en calcium total, ceux de bas-fonds et de pentes sont très pauvres. Dans tous les sols les réserves sont nulles, tout le calcium du sol se trouve sous forme échangeable.

Magnésium.

A l'inverse du calcium les sols de terrasses et les sols de bas-fonds sont très riches en magnésium ; les

réserves sont très élevées (15 à 25 méq p. cent). Les sols de pentes analysés sur la station sont par contre très pauvres en magnésium total et en réserves (1 méq p. cent).

Potassium.

Le sol est riche en potassium total et en réserves dans les sols de terrasses (4 à 7 méq p. cent), pauvre dans les sols de bas-fonds (1,5 méq p. cent), très pauvre dans les sols de pentes (0,1 à 0,2 méq p. cent). Quelque soit la richesse totale du sol, la fraction échangeable est toujours très faible.

Cette richesse en potassium et en magnésium est due à la présence de micas dans la fraction sableuse. On sait en effet que K entre dans la composition de la biotite et de la muscovite, et Mg dans la composition de la biotite.

Composition centésimale des micas en cations
(d'après DÉMOLON).

	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	ALTÉRABILITÉ
Muscovite.	—	0-2	8-12	—	résistant facilement altérable
Biotite.	0-2	9-15	6-9	0-1	

Sodium.

Le sodium total et les réserves sont très faibles dans tous les sols.

Phosphore.

Le phosphore total et les réserves sont à un niveau moyen dans les sols de terrasses (1 à 1,5 p. mille), la teneur est un peu plus élevée dans le sol de bas-fonds (1,7 p. mille) et dans l'un des sols de pentes (2,2 p. mille).

Conclusion.

Les caractéristiques chimiques des sols varient dans les divers groupes de sols, on devra tenir compte de ce fait dans la fertilisation minérale.

Dans leur ensemble les sols sont bien pourvus en matière organique et en magnésium, pauvres en potassium utilisable par les plantes, limites en calcium (très faible dans les sols hydromorphes), moyens en phosphore.

Les *pH* sont à réaction moyennement acide, à fortement acide dans les sols hydromorphes.

TABLEAU V
Éléments totaux et réserves minérales

Topographie		Sols de terrasse					Sols de bas-fond	Sols de pente		
Emplacement →		Essai K. Mg	C 8 A	C 8 A	C 8 B	Essai variétal	C 13	C 20	C 2	tanety
Profil →		RI MgO K ₂ O	1	1	2	3	4	test dolomie	7	8
Profondeur cm →		0-20	0-5	10-20	0-20	0-20	0-20	0-20	0-20	0-20
Calcium méq. %	Total	2,4	3,3	2,0	3,7	2,6	3,6	0,6	0,3	0,4
	échangeable	2,3	2,8	0,5	3,7	2,2	3,6	0,6	0,03	0,4
	réserves	0,1	0,5	1,5	0	0,4	0	0	0,3	0
Magnésium méq. %	total	23,5	26,4	18,1	31,0	21,0	22,7	16,4	0,8	1,3
	échangeable	1,3	2,3	0,3	2,1	1,1	0,8	0,4	0	0,8
	réserves	22,2	24,1	17,8	28,9	19,9	21,9	16,0	0,8	0,5
Potassium méq. %	total	4,4	7,5	4,3	7,1	4,8	4,9	1,5	0,13	0,2
	échangeable	0,1	0,3	0,1	0,2	0,3	0,1	0,4	0,04	0,1
	réserves	4,3	7,2	4,2	6,9	4,5	4,8	0,9	0,1	0,1
Sodium méq. %	total	0,28	0,25	0,19	0,25	0,17	0,21	0,23	0,21	0,15
	échangeable	-	0,06	0	0,08	0,03	0,07	-	0	-
	réserves	-	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	-	0,2	-
Phosphore P ₂ O ₅ p. mille	total	1,12	1,47	0,64	1,30	1,21	1,17	1,75	0,54	2,20
	assimilable *	0,04	0,07	0,05	0,05	0,05	0,03	0,13	0,04	0,03
	réserves	1,1	1,4	0,6	1,2	1,1	1,1	1,6	0,5	2,1

* = extraction citrique.

IV. ÉTUDES DE FERTILISATION MINÉRALE DU BANANIER

RÔLE DE LA FUMURE POTASSIQUE.

L'action des apports d'engrais potassique a été étudiée dans l'essai potasse-magnésie sur cultivar « américain ».

Cet essai mis en place en 1964 est situé sur un sol de terrasse, il se compose de 4 traitements : 0, 1, 2, 3 et de 3 répétitions.

Le sol est bien représentatif des sols d'alluvions de la station, dont les caractéristiques ont été définies aux paragraphes précédents. Le niveau en potassium échangeable est faible : 0,1 méq p. cent.

Les apports d'engrais potassiques sont effectués sous formes de chlorure aux doses suivantes :

- K₀ : dose nulle,
- K₁ : 450 kg/ha de K₂O,
- K₂ : 900 kg/ha de K₂O,
- K₃ : 1 350 kg/ha de K₂O.

Ces doses sont apportées en 4 épandages annuels : mars, juin, septembre et décembre.

La fumure azotée est la même pour tous les traitements : 250 kg d'azote à l'hectare.

Action de l'engrais potassique sur les caractéristiques chimiques du sol.

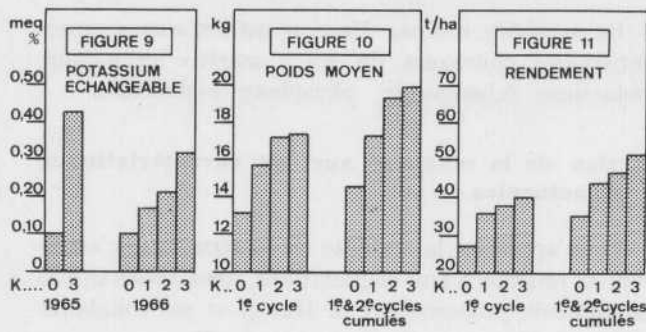
L'engrais potassique n'a pas d'action sur les différentes caractéristiques chimiques du sol à l'exception

TABLEAU VI
Essai de fumure potassique - Caractéristiques chimiques du sol

Eléments	octobre 1965		octobre 1966			
	K ₀	K ₃	K ₀	K ₁	K ₂	K ₃
Profondeur cm	0-20	0-20	0-20	0-20	0-20	0-20
Matière organique %	3,2	2,9	2,5	2,6	2,6	2,5
Carbone %	1,8	1,7	1,4	1,5	1,5	1,5
<u>Cations échangeables</u>						
méq. %						
Calcium	3,1	2,5	3,0	2,3	1,9	3,1
Magnésium	1,3	1,3	1,2	1,2	0,8	1,3
Potassium	0,10	0,46	0,16	0,17	0,21	0,32
Somme des cations	4,5	4,3	4,3	3,7	2,9	4,8
Capacité de fixation péq. %	11,5	12,2	10,1	9,8	10,3	11,0
Coefficient de saturation %	39	35	42	37	27	44
pH	5,4	5,2	5,4	5,2	4,8	5,1
Phosphore assimilable P ₂ O ₅ p. mille	0,04	0,04	0,01	0,01	0,01	0,01

TABLEAU VII
Essai de fumure potassique : résultats agronomiques de 1964 à 1966

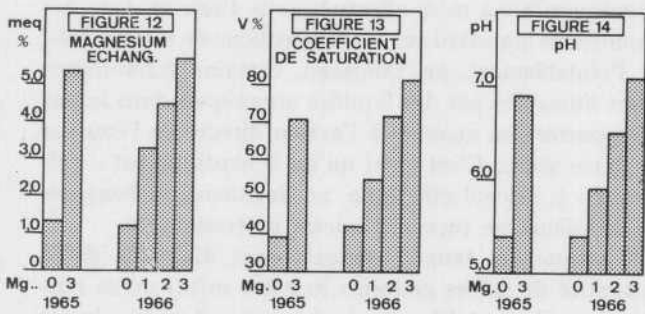
Traitements	K ₀	K ₁	K ₂	K ₃
Nombre de régimes récoltés dans les parcelles expérimentales après 3 ans de plantation (432 bananiers observés)	822	876	842	909
Poids moyen des régimes au 1er cycle en kg	13,4	15,9	17,1	17,4
Poids moyen des régimes au 2ème cycle en kg	17,4	20,8	22,5	23,5
Poids moyen des régimes aux 1er et 2ème cycle cumulés en kg	14,6	17,4	19,3	19,9
Production à l'hectare au 1er cycle en tonnes	27,5	35,7	37,7	40,5
Production à l'hectare/an aux 1er et 2ème cycle cumulés	34,6	44,0	46,9	52,4



de la teneur en potassium échangeable qui augmente avec la dose d'engrais apportée. (fig. 9).

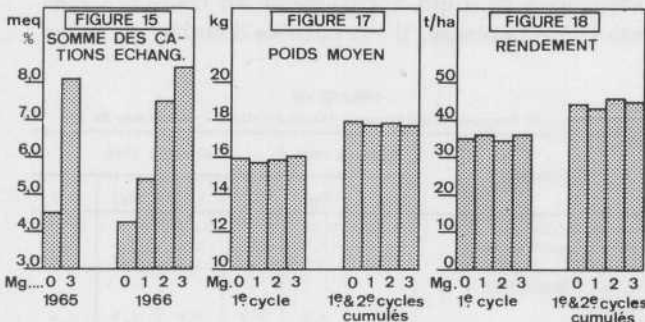
Potassium échangeable (még p. cent).

	K ₀	K ₁	K ₂	K ₃
Octobre 65.....	0,10	—	—	0,46
Octobre 66.....	0,10	0,17	0,21	0,32



Les niveaux dans les parcelles K₀ sont identiques en octobre 1965 et en octobre 1966 : 0,10 még p. cent. Dans les parcelles K₃ le niveau en 1965 est un peu plus élevé qu'en 1966 : 0,46 még p. cent et 0,32 még p. cent.

Une étude de la rétrogradation de l'engrais potassique dans ce sol a montré qu'il n'y avait une légère rétrogradation que pour des doses d'apports élevées : supérieures à 1,5 még p. cent. Pour un apport de 2 még p. cent de K, la fraction rétrogradée est de 7 %. La dose la plus forte K₃ correspond à un apport de 1,5 még p. cent g. de sol (calculé sur 20 cm, avec une densité apparente = 1) soit par épandage à 0,4 még p. cent g. de sol ; on se trouve donc dans tous les traitements au-dessous des concentrations où débute la rétrogradation.



Action de l'engrais potassique sur la production.

La fumure potassique a une action favorable sur la croissance de la plante : hauteur et circonférence des pieds, mais n'a pas d'action sur le nombre de feuilles vivantes. L'apport d'engrais potassique augmente significativement le rendement, le poids moyen des régimes, le nombre de mains du régime et le poids moyen des doigts (fig. 10 et 11 et tableau VII).

Par rapport au témoin l'augmentation du poids moyen des régimes (1^{er} et 2^e cycle) est respectivement :

$$K_1 = + 19 \% \quad K_2 = + 32 \% \quad K_3 = + 33 \%$$

Il n'y a donc pas d'augmentation du poids moyen entre K₂ et K₃, mais il y a augmentation du rendement, du fait du plus grand nombre de régimes produits dans K₃.

Par rapport au témoin, la production des 1^{er} et 2^e cycles est de : + 27 % pour K₁, + 35 % pour K₂, + 57 % pour K₃.

Conclusion.

Dans ce sol d'alluvions bien pourvu en potassium total (4 à 5 még p. cent) mais à faible teneur en potassium échangeable (0,1 még p. cent) la fumure potas-

FIG. 9. — Action de l'engrais potassique sur le niveau en potassium dans le sol.

FIG. 10. — Action de l'engrais potassique sur le poids moyen des régimes de bananes.

FIG. 11. — Action de l'engrais potassique sur le rendement.

FIG. 12. — Action de l'apport de magnésium sur le niveau en magnésium dans le sol.

FIG. 13. — Action de l'apport de magnésium sur le degré de saturation du complexe absorbant.

FIG. 14. — Action de l'apport de magnésium sur le pH du sol.

FIG. 15. — Action de la magnésium sur le niveau en cations dans le sol.

FIG. 17. — Action de la magnésium sur le poids moyen des régimes de bananes.

FIG. 18. — Action de la magnésium sur le rendement.

sique est nécessaire pour la culture du bananier. D'après les études des physiologistes les bananiers des parcelles K_0 ont une déficience potassique très nette, mais pour les doses 2 et 3 les teneurs en potassium dans les feuilles ne diffèrent pas.

RÔLE DE LA FUMURE MAGNÉSIENNE.

L'action de l'apport de magnésium a été étudiée dans le même essai potasse-magnésium qui est un essai factoriel 4×4 .

Le magnésium est apporté sous forme de magnésium calciné ; les traitements sont les suivants :

- Mg_0 : dose nulle,
- Mg_1 : 575 kg/ha de MgO ,
- Mg_2 : 1 150 kg/ha de MgO ,
- Mg_3 : 1 725 kg/ha de MgO .

Ces doses sont fractionnées en 4 épandages annuels : mars, juin septembre et décembre.

Comme nous l'avons indiqué au sujet des caractéristiques chimiques des sols d'alluvions, les niveaux en magnésium échangeable sont élevés : 1,0 à 1,5 méq p. cent dans les différentes parcelles de cet essai.

Action de la magnésium sur les caractéristiques chimiques du sol.

L'apport de magnésium augmente la teneur en magnésium échangeable dans le sol et corrélativement il augmente la somme des cations échangeables, le coefficient de saturation et le pH (tableau VIII et fig. 12, 13, 14, 15).

Il existe une excellente corrélation : $r = 0,92$ entre le degré de saturation du complexe absorbant et le pH (figure 16).

Le niveau en magnésium s'élève de 1,2 à 5,7 méq p. cent de Mg_0 à Mg_3 , le degré de saturation augmente de 42 à 82 % et le pH acide (5,4) devient neutre (7,1).

La magnésium tend par contre à diminuer la teneur en calcium échangeable mais cela n'est pas général dans toutes les parcelles.

L'action cumulée de l'apport de magnésium et de potassium est plus nette comme le montre les résultats suivants :

Calcium échangeable
(méq p. cent).

	Mg_0K_0	Mg_1K_1	Mg_2K_2	Mg_3K_3
1965.....	3,1	—	—	1,7
1966.....	3,0	2,5	2,3	1,8

La magnésium n'a pas d'action sur les autres caractéristiques chimiques du sol : matière organique, potassium échangeable, phosphore assimilable.

Action de la magnésium sur les caractéristiques structurales du sol.

Pour apprécier la stabilité de la structure, c'est-à-dire sa résistance aux dégradations, nous avons utilisé la méthode proposée par S. HENIN et ses collaborateurs (G. MONNIER, A. COMBEAU, 1958).

Rappelons brièvement qu'il s'agit d'une série de tamisages à 0,2 m/m effectués sous l'eau et dans des conditions standard sur les échantillons de sols étudiés.

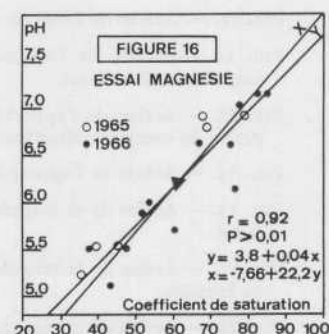
Préalablement au tamisage, certains échantillons sont humectés par des liquides organiques dans le but d'apporter des nuances à l'action directe de l'eau sur la terre sèche. C'est ainsi qu'un échantillon est « pré-traité » à l'alcool éthylique, un deuxième au benzène, le troisième ne recevant aucun prétraitement.

Lorsque ces taux d'agrégats sont diminués de la quantité de sables grossiers (0,2 à 2 m/m) qu'ils renferment, ils sont dits « agrégats vrais ». A partir de ces éléments et en tenant compte de la quantité d'éléments inférieurs à 20μ qui apparaissent au cours des opérations de tamisage, il est possible d'établir un indice

TABLEAU VIII
Essai de fumure magnésienne : caractéristiques chimiques du sol

Eléments	Octobre 1965		Octobre 1966			
	Mg_0	Mg_3	Mg_0	Mg_1	Mg_2	Mg_3
Profondeur cm	0-20	0-20	0-20	0-20	0-20	0-20
Matière organique %	3,2	3,3	2,5	2,6	2,6	2,5
Carbone %	1,8	1,9	1,4	1,5	1,5	1,5
Cations échangeables meq %						
Calcium	3,1	2,6	3,0	2,0	2,9	2,6
Magnésium	1,3	5,4	1,2	3,3	4,5	5,7
Potassium	0,10	0,13	0,10	0,14	0,15	0,12
Somme des cations	4,5	8,1	4,3	5,4	7,5	8,4
Capacité de fixation meq. %	11,5	11,4	10,1	9,7	10,3	10,3
Coefficient de saturation %	39	71	42	55	72	82
pH	5,4	6,9	5,4	5,9	6,5	7,1
Phosphore assimilable P_2O_5 p. mille	0,04	0,04	0,01	0,01	0,02	0,02

FIG. 16. — Corrélation entre le pH et le coefficient de saturation.



unique Is dit « indice d'instabilité ». La stabilité est d'autant meilleure que l'indice Is est plus faible.

On détermine également dans des conditions standard un indice de perméabilité : K, qui est un test de percolation.

En utilisant la relation linéaire qui existe entre $\log_{10} K$ et $\log_{10} Is$ on calcule un indice unique dit de « stabilité structurale ».

$$S_t = 20 (2,5 + \log_{10} K - 0,837 \log_{10} Is).$$

Les résultats analytiques sont résumés dans le tableau IX ; chaque résultat est la moyenne des 3 répétitions.

L'amendement magnésien tend à augmenter la résistance des agrégats à l'action de l'eau et à diminuer la dispersion de la fraction fine : argile et limon, améliorant ainsi l'indice d'instabilité. Les différences sont néanmoins faibles et elles ne peuvent être considérées comme significatives.

Le test de perméabilité K mieux adapté que Is pour étudier l'influence sur la structure d'une modification de la composition ionique ne permet de mettre en évidence aucune amélioration due à la magnésie.

Action du magnésium sur la production.

L'apport de magnésie n'a pas eu d'effets sur le développement de la plante, ni sur la production. Le poids moyen des régimes, et le rendement à l'hectare sont extrêmement voisins et homogènes dans les différents traitements (figures 17 et 18 et tableau X).

Sur le poids moyen des régimes les différences entre les parcelles traitées et le témoin sont de 1 % ; sur la production les différences ne dépassent pas + 3 %.

Conclusion.

Dans ce sol d'alluvions très riche en réserves de magnésium, et à teneur élevée en magnésium échangeable, l'apport d'un amendement magnésien ne se justifie pas.

L'analyse du magnésium dans les feuilles montre que le niveau est élevé (supérieur à 0,35 %) dans tous les traitements y compris le traitement Mg_0 . L'apport de magnésie augmente les teneurs dans les feuilles jusqu'à des valeurs qui ne semblent pas utiles. L'effet des apports de magnésium est faible sur le niveau en calcium.

L'action de la magnésie du point de vue de l'amélioration de la structure est très faible et ne justifie pas une telle dépense.

RÔLE DE LA FUMURE PHOSPHATÉE.

L'action des apports de phosphore a été étudiée sur un sol d'alluvions d'une plantation de la région de Tamatave, à Mahasoa sur cultivar Poyo.

Les caractéristiques physiques et chimiques du sol sont extrêmement voisines de celles des sols de terrasses alluviales de la station.

Les teneurs du sol en phosphore assimilable (Truog) sont comprises entre 0,02 et 0,03 p. mille e P_2O_5 . Le phosphore est apporté sous forme de phosphate tricalcique à la dose unique de 600 kg/ha soit 180 kg de P_2O_5 .

Cet essai n'a pas permis de mettre en évidence le rôle bénéfique de la fumure phosphatée sur la croissance de la plante et sur la production, malgré une augmentation du niveau en phosphore assimilable dans le sol de 0,027 à 0,042 p. mille.

Il est possible que la « non-réponse » des bananiers à la fumure phosphatée soit due à la faible solubilité du phosphate utilisé dans cet essai.

TABLEAU IX
Essai de fumure magnésienne : caractéristiques structurales du sol.

Caractéristiques	Traitements (octobre 1965)					
	Mg0K0	Mg0K3	Moy. Mg 0	Mg3K0	Mg3K3	Moy. Mg3
% agrégats stables à l'alcool	51	54	53	55	58	57
% agrégats stables à l'eau	43	39	41	47	47	47
% agrégats stables au benzène	31	24	28	33	32	33
Moyenne des agrégats %	42	39	40	45	46	46
A + L % dispersion maximum	11,7	12,1	11,9	8,2	10,4	9,3
Indice d'instabilité : Is	0,49	0,49	0,49	0,32	0,37	0,34
Indice de perméabilité K cm/heure	3,0	4,2	3,6	3,9	4,1	4,0
$\log_{10} I_g$	0,69	0,69	0,69	0,50	0,57	0,53
$\log_{10} K$	1,48	1,62	1,55	1,59	1,61	1,60
Stabilité structurale : S_t	68	71	69	73	73	73

TABLEAU X
Essai de fumure magnésienne : résultats agronomiques de 1964 à 1966

Traitements	Mg 0	Mg 1	Mg 2	Mg 3
Nombre de régimes récoltés dans les parcelles expérimentales après 3 ans de plantation (432 bananiers observés)	852	841	884	882
Poids moyen des régimes au 1er cycle en kg	16,0	15,8	15,9	16,1
Poids moyen des régimes au 2ème cycle en kg	24,4	21,2	20,8	20,9
Poids moyen des régimes aux 1er et 2ème cycle cumulés en kg	17,9	17,7	17,8	17,7
Production à l'hectare au 1er cycle en tonnes	35,2	35,6	34,5	36,0
Production à l'hectare/an aux 1er et 2ème cycle cumulés	44,1	43,2	45,5	45,3

V. RELATIONS ENTRE LES CARACTÉRISTIQUES STRUCTURALES ET LA FERTILITÉ DU BANANIER

L'étude des profils culturaux nous a permis de mettre en évidence le rôle de texture et de la structure des horizons sur le développement des racines du bananier et corrélativement sur la croissance de la plante. Poussant plus loin notre étude nous avons cherché s'il était possible de relier la fertilité à des caractéristiques structurales « mesurables ».

Il est en effet indispensable, si l'on désire étudier l'action de diverses techniques culturales sur l'amélioration de la structure, d'avoir des critères analytiques que l'on puisse relier à la fertilité et au développement d'une plante donnée.

MÉTHODE D'ÉTUDE.

La structure est la résultante de différents facteurs complexes : cohésion, mouillabilité, degré de dispersion des colloïdes, texture. Il existe des relations étroites entre la structure, les rapports de l'eau, et l'aération du sol ; une étude de la structure doit donc intégrer tous ces facteurs.

Pour apprécier la stabilité de la structure, c'est-à-dire sa résistance aux dégradations sous l'action des pluies nous avons utilisé les 2 tests décrits dans un paragraphe précédent : l'indice d'instabilité I_s et l'indice de perméabilité K .

La mesure de ces 2 indices est complétée par les déterminations de la porosité totale, de la porosité

correspondant à une force de succion de 1 000 g ou pF_3 , de la porosité correspondant à une force de succion de 16 000 g ou $pF_{4,2}$.

Ces différentes mesures permettent de calculer les caractéristiques suivantes qui sont exprimées en % du volume de terre.

Porosité utile = P_u = porosité totale — $pF_{4,2}$;

Eau utilisable = E_u = pF_3 — $pF_{4,2}$;

Capacité pour l'air = A = porosité totale — pF_3 .

Partant de ces différentes valeurs B. DABIN a proposé le calcul d'un certain nombre d'indices : indice de structure, indice d'humidité, indice de ressuyage.

Ces indices sont définis comme suit :

— Indice de structure : $F_1 = S_t \times \sqrt{P_u \times E_u}$ dans lequel S_t est la stabilité structurale définie précédemment.

— Indice d'humidité : $H_e = \frac{\sqrt{P_u \times E_u}}{S_t}$

— Indice de ressuyage : $F_2 = A \times \log_{10} K$

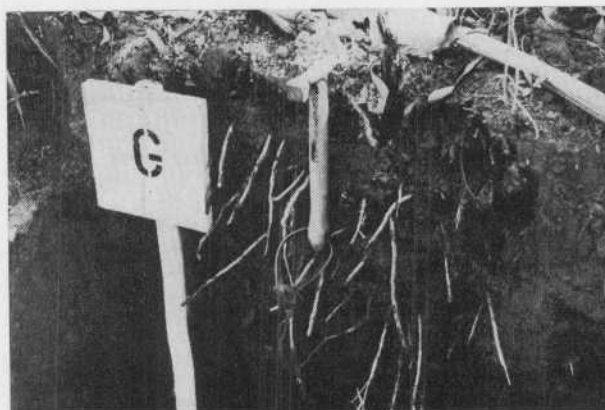
Quatre parcelles de terrasse présentant des degrés variables de fertilité ont été étudiées :

- P_2 : très bon,
- P_3 : bon,
- P_4 : moyen,
- P_5 : médiocre.

Les prélèvements de terre sont effectués dans l'horizon de surface (0 à 25 cm) dans lequel la densité des racines est maximum. Chaque échantillon analysé est constitué de 30 prélèvements « ponctuels ».

Les caractéristiques chimiques des parcelles étudiées sont voisines, et les déficiences sont corrigées par des apports d'engrais minéraux.

PHOTO 2. — Sol d'alluvions. Profil à 80 cm d'un bananier montrant le bon développement des racines. Marteau : 30 cm.
(Photo J. Godefroy).



RÉSULTATS DE DISCUSSION.

Texture et matière organique.

	P_2	P_3	P_4	P_5
Argile (%).....	10	14	19	29
Limon : 2 à 50 μ (%).....	27	16	19	29
A (%) + L (%).....	37	30	38	58
Matière organique (%).....	3,5	3,1	3,3	2,9

ETUDE DES PROFILS REPRESENTATIFS DES DIFFERENTS TYPES DE SOL DE LA STATION IFAC D'IVOLOINA-MADAGASCAR

Les différents profils décrits représentent toute la gamme de sols de la Station d'Ivoloina. Les observations sont faites à l'humidité du sol au moment de l'observation. L'appréciation de la texture répond aux caractéristiques suivantes déterminées sur la terre humide :
 - sableux : impossible de faire une boule ou très friable,
 - sablo-argileux : boule légèrement déformable sans rupture,
 - argilo-sableux : boule déformable en boudin cassant,
 - argileux : boule déformable en boudin stable.

	PROFIL 1	PROFIL 2	PROFIL 3	PROFIL 4	PROFIL 5																
Données générales concernant le profil	<p>- Profil n° 1 MADAGASCAR-IVOLOINA (IFAC) - Situation : dans carré 8A sur la 1ère terrasse à 15 m du fleuve (voir plan) - Tranchée N-E : 5-0 à 0,80 m d'un bananier au stade régime 8 kg. - Observation effectuée le 4-10-65 par beau temps. - Matériau original : alluvions fluviales. - Topographie : terrasse - pente quasi nulle (0 à 25 p. cent). - Drainage rapide. - Inondations : inondé tous les 4 ou 5 ans, pendant 24 à 48 heures en février ou mars. - Absence de pierres et roches. - Absence d'érosion. - Carré en culture de bananes depuis 1962 (non renouvelé) ; au paravent en jachère (sortout Penistum). - Variété : 'Américain'. - Végétation hétérogène (bananiers à divers stades végétatifs). - Aspect végétatif médiocre ; poids moyen des régimes 8 à 10 kg. - Façons culturales : binage sur une profondeur d'environ 10 cm avec un 4 dents. - Végétation adventive importante (dominance de papalum). - Fumure : 200 g d'urée, 450 g CIK - dernier épandage de CIK : début septembre (en couronne).</p>	<p>- Profil n° 2 MADAGASCAR-IVOLOINA (IFAC) - Situation - Carré 8B - sur la 1ère terrasse dans la légère dépression adjacente à la 2ème terrasse - Tranchée NE-80 à 80 cm, d'une touffe de bananiers conduits à 2 porteurs (2 régimes de 20-25 kg). - Observation effectuée le 4-10-65 par beau temps. - Matériau original = alluvions fluviales. - Topographie : légère dépression, pente 2 à 3 p. cent. - Drainage externe : moyen. - Inondations : idem Profil 1. - Mêmes antécédents culturaux et mêmes façons culturales que CBA. - Variété 'Américain', conduit à 2 porteurs. - Aspect végétatif : bon, meilleure parcelle de la station. - Pas de fumure minérale. - Végétation adventive minime abondante que dans C6A du fait du mailleur couvert végétal.</p>	<p>- Profil n° 3 MADAGASCAR-IVOLOINA (IFAC). - Situation - essai vertical sur la 2ème terrasse à 10 m du bord de la 1ère terrasse. Tranchée NO-SE à 30 cm d'un bananier au stade régime (régime = 15 kg). - Observation effectuée le 4-10-65 par beau temps. - Matériau original : alluvions fluviales. - Topographie : terrasse, pente quasi nulle. - Drainage externe lent. - Inondations : jamais. - Carré en culture bananière depuis 1962, auparavant caféiers. - Variété : 'Américain'. - Aspect végétatif : beaux bananiers. - Stade végétatif : 20 p. cent stade coupe. - Façons culturales : binage sur 10 à 15 cm. - Végétation adventive assez abondante (graminées). - Fumure : idem profil 1.</p>	<p>- Profil n° 4 MADAGASCAR - IVOLOINA (IFAC) - Situation : carré 13 sur la 2ème terrasse à 50 m de la route. Tranchée M-S à 90 cm d'un bananier au stade régime (PM = 8 kg). - Observation effectuée le 5-10-65 par temps couvert. - Matériau original : alluvions fluviales. - Topographie : terrasses, pente quasi nulle. - Drainage externe : lent. - Inondations : jamais dans la partie du carré où a été observé le profil. - Carré en culture bananière depuis 1965. Auparavant pâturages. - Variété : 'Américain'. - Aspect végétatif : très médiocre ; poids moyen des régimes actuels 8 kg. - Végétation adventive abondante, beaucoup plus que dans les autres parcelles (papalum). - Fumure : idem profil 1. - Façons culturales : sols-solage en novembre 1964, binage autour des bananiers. Drainage par fossé distant de 15 mètres.</p>	<p>- Profil n° 5 MADAGASCAR - IVOLOINA (IFAC). - Situation : carré 9 sur 2ème terrasse à semi-distance entre la 1ère terrasse et la route-tranchée N-S. - Observation effectuée le 4-10-65 par temps pluvieux. - Matériau original : alluvions fluviales. - Topographie : terrasse-pente quasi nulle (même position topographique que profil n° 3). - Drainage externe très lent. - Inondations : jamais. - Carré en jachère. A été auparavant travaillé au bull-doser pour en faire un terrain de football. Trois labours à 30 cm, avec charrue à socle ont été effectués récemment. - Fossés de drainage tous les 15 mètres. - La végétation adventive n'a commencé à pousser que depuis qu'un épandage de dolomite a été effectué.</p>																
Etude du profil	<p>• 0 à 7 cm sol humide - Limite de l'horizon avec l'horizon sous-jacent brutale et régulière. - Couleur uniforme : 10 YR 4/3 (brun). - Horizon humifère, matière organique bien minéralisée. - Texture argilo-sableuse, avec paillettes de mica blanc. - Pas d'éléments grossiers. - Éléments structuraux polyédriques grossiers, faiblement développés, peu poreux, non adhésifs, plastiques, fermes à l'état humide. - Structure de l'horizon légèrement compacte, cohérente. - Durété : très homogène, 0,7 kg/cm². - Absence de taches d'oxyde de fer. - Présence de vers de terre.</p> <p>• 7 à 30 cm sol frais - Limite de l'horizon brutale et régulière. - Couleur uniforme : 10 YR 5/6 (brun jaune) - Texture très sableuse : sable grossier avec paillettes de mica. - Horizon à structure particulière de type creux, très poreux et très meuble. - Durété très homogène : 0,1 kg/cm². - Activité biologique nulle. - Pas de taches.</p> <p>• 30 à 100 cm sol humide - Couleur uniforme : 10 YR 4/4 (brun jaune foncé). - Texture sablo-argileuse devenant plus sableuse à partir de 80 cm, paillettes de mica. - Structure continue, meuble : sous structure polyédrique très grossière, non adhésif, peu plastique, poreux. - Durété : assez hétérogène - de 30 à 70 cm = 1,3 kg/cm² de 80 à 70 cm = 0,7 kg/cm² - Quelques taches rouilles d'oxyde de fer vers 70-80 cm, dans la partie située en contact avec la zone plus sableuse.</p>	<p>• 0 à 10 cm sol humide - Limite de l'horizon graduelle et régulière. - Couleur uniforme : 10 YR 4/3 (brun). - Texture sablo-argileuse. - Éléments structuraux polyédriques, très grossiers, moyennement développés, assez poreux, non adhésifs, peu plastiques, fermes à l'état humide. - Structure de l'horizon homogène, légèrement compacte, cohérente. - Durété : homogène, 0,7 kg/cm². - Pas de tache. - Vers de terre abondants.</p> <p>• 10 à 18 cm sol humide - Horizon interrompu ; lorsqu'il existe la limite avec l'horizon inférieur est brutale. - Couleur uniforme 10 YR 5/4 (brun jaune). - Texture sableuse (non sable comme dans profil n° 1) constituée de sable fin avec paillettes de mica. - Structure particulière à polyédrique fine, poreuse, meuble tout en possédant une certaine cohésion ; non adhésif, non plastique, très friable à l'état humide. - Durété : homogène, 1,5 kg/cm². - Taches brun-rouille de Fe à la limite inférieure de l'horizon.</p> <p>• 18 à 100 cm sol humide - Couleur uniforme 10 YR 4/3 (brun). - Texture argilo-sableuse. - Structure continue : légèrement compacte, cohérente ; sous-structure polyédrique très grossière, non adhésif, peu plastique, friable. - Durété homogène : 1,2 kg/cm². - Taches rouilles (peu) entre 30 et 40 cm.</p>	<p>• 0 à 25 cm sol humide - Limite de l'horizon graduelle et ondulée. - Couleur uniforme : 10 YR 3/3 (brun foncé). - Horizon humifère, matière organique bien liée à la matière minérale. - Texture argilo-sableuse. - Éléments structuraux polyédriques, moyens à grossiers, fortement développés, assez poreux, non adhésifs, collants, plastiques, fermes à l'état humide. - Structure de l'horizon homogène, légèrement compacte, cohérente. - Durété : hétérogène, moyenne 2,1 kg/cm². - Pas de taches. - Activité biologique : très gros vers de terre et fourmis.</p> <p>• 25 à 60 cm sol frais - Horizon interrompu. - Limite de l'horizon graduelle et ondulée. - Couleur uniforme 10 YR 5/6 (brun jaune). - Texture très sableuse. - Horizon à structure particulière, légèrement compact, meuble, non adhésif et non plastique. - Durété : hétérogène, moyenne 1,7 kg/cm².</p> <p>• 60 à 100 cm sol humide - Couleur uniforme : 10 YR 5/6 (brun-jaune). - Texture argilo-sableuse. - Structure massive, sous-structure polyédrique très grossière, assez poreux, peu adhésif, peu plastique, friable cohérent. - Durété : homogène = 1,5 kg/cm².</p>	<p>• 0 à 40 cm sol humide - Limite de l'horizon brutale et ondulée. - Couleur uniforme : 10 YR 3/3 (brun foncé). - Horizon humifère, matière organique bien minéralisée. - Texture argilo-sableuse. - Éléments structuraux polyédriques, moyens à grossiers, assez poreux, peu adhésifs, plastiques, fermes à l'état humide.</p> <p>• 40 à 100 cm sol humide - Couleur uniforme : 10 YR 5/8 (brun jaune). - Texture : sablo-argileuse, constituée de sable fin micacé. - Structure massive, sous structure polyédrique très grossière, non adhésif, peu plastique, ferme, légèrement compact, cohérent. - Durété homogène : 1,4 kg/cm². - Taches rouilles à l'état de traces. - Sur le même profil observé 3 semaines plus tard on observe des taches rouilles, jaunes et grises, extrêmement diffuses, dans tout l'horizon et la long des racines.</p> <p>• 30 à 95 cm sol humide - Couleur uniforme : 10 YR 5/8 (brun-jaune) - Texture : argilo-sableuse. - Structure massive, sous-structure polyédrique très grossière, peu adhésif, plastique, très ferme, compact, très cohérent. - Durété hétérogène : 1,6 kg/cm² (extrêmes 1,0 à 2,3). - Pas de taches. - Sur le même profil un mois après : présence de taches rouilles et grises très nombreuses et très diffuses. - Le 6-11 lors d'une étude de perméabilité, nous avons pu observer la présence de la nappe à 50 cm, et un suintement d'eau le long des parois du profil.</p>	<p>• 0 à 30 cm sol humide - Limite de l'horizon distincte et ondulée. - Couleur uniforme : 10 YR 3/3 (brun foncé). - Matière organique non décomposée enfouie par le labour ; répartition en amas, sans odeur. - Texture argilo-sableuse. - Éléments structuraux polyédriques à tendance grumeleuse, peu adhésifs, plastiques, très fermes. - Structure de l'horizon soufflée, cohérente. - Durété : très hétérogène ; variations de C, 5 à 2,0 kg/cm², moyenne = 1,2 kg/cm². - Activité biologique nulle.</p> <p>• 30 à 95 cm sol humide - Couleur uniforme : 10 YR 5/8 (brun-jaune) - Texture : argilo-sableuse. - Structure massive, sous-structure polyédrique très grossière, peu adhésif, plastique, très ferme, compact, très cohérent. - Durété hétérogène : 1,6 kg/cm² (extrêmes 1,0 à 2,3). - Pas de taches. - Sur le même profil un mois après : présence de taches rouilles et grises très nombreuses et très diffuses. - Le 6-11 lors d'une étude de perméabilité, nous avons pu observer la présence de la nappe à 50 cm, et un suintement d'eau le long des parois du profil.</p>																
Etude de l'enracinement	<p>Pas de racines de bananier à 80 cm du bananier, et très peu au niveau du rhizome. D'après les quelques racines existantes (vivantes ou mortes) il semble que l'enracinement soit très superficiel, et localisé dans l'horizon supérieur. Densité forte de racines de graminées jusqu'à 50 cm, quelques grosses racines (φ = 25 mm).</p>	<p>Bon système racinaire bien réparti dans tout le profil, un peu plus dense entre 10 et 30 cm. Lorsque l'horizon sableux existe la densité est un peu faible. Entre 0 et 30 cm le φ moyen est de 5 mm, en dessous le φ est + faible. Un comptage sur une largeur de 1 m donne les estimations suivantes :</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>0-10 cm</th> <th>Nbre racines</th> <th>%</th> <th>Nbre racines au m²</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0-10 cm</td> <td>6</td> <td>14</td> <td>60</td> </tr> <tr> <td>10-30 cm</td> <td>19</td> <td>44</td> <td>95</td> </tr> <tr> <td>30-100 cm</td> <td>18</td> <td>42</td> <td>25</td> </tr> </tbody> </table> <p>Les racines sont à direction horizontale et légèrement oblique vers le bas, de forme rectiligne, de section arrondie. Bon état sanitaire.</p>	0-10 cm	Nbre racines	%	Nbre racines au m²	0-10 cm	6	14	60	10-30 cm	19	44	95	30-100 cm	18	42	25	<p>Densité forte dans l'horizon argilo-sableux : 0 à 25 cm, rare dans l'horizon très sableux. Cet horizon très sableux empêche la pénétration des racines en profondeur, car aux endroits où il est interrompu c'est-à-dire lorsque la texture est la même sur toute la profondeur du profil, les racines colonisent jusqu'à 1 mètre.</p>	<p>Densité forte de racines de bananiers dans l'horizon 0,40 cm, réparties également dans tout l'horizon. Forme : rectiligne, section : arrondie, direction : oblique vers le bas, devenant horizontale au contact du 2ème horizon. Fort pourcentage de racines nécrosées. Pas de racines dans l'horizon 40 - 100 cm. Feutrage de racines de graminées dans les 10 premiers cm.</p>	<p>Feutrage de racines de graminées, surtout dans les 20 premiers centimètres.</p>
0-10 cm	Nbre racines	%	Nbre racines au m²																		
0-10 cm	6	14	60																		
10-30 cm	19	44	95																		
30-100 cm	18	42	25																		

	PROFIL 6	PROFIL 7	PROFIL 8	PROFIL 9	PROFIL 10
Données générales concernant le profil	<ul style="list-style-type: none"> - Profil n° 6 MADAGASCAR - IVOLOINA (IFAC) - Situation : carré 16 dans le bas fond, dans la parcelle binée sur les lignes, du test "entretien du sol en surface". Tranchée NE-SO, à 25 cm d'un bananier de 50 cm de hauteur. - Observation effectuée le 5-10-65 par temps pluvieux. - Matériau original : alluvions et matière organique. - Topographie : dépression, pente quasi nulle. - Ancien marécage, drainé depuis 1961 (drains tous les 10 m). A été ensuite labouré, planté en 'Guatémala', labouré après un an de cette culture, puis amendé avec de la dolomie. Très beau développement des bananiers avant l'inondation de mars 1965 (3 jours) et août (1 jour). - Drainage externe moyen. - Inondations : tous les ans, pendant 1 à 4 jours. - Variété : 'Américain'. 	<ul style="list-style-type: none"> - Profil n° 7 MADAGASCAR-IVOLOINA (IFAC) - Situation : Tanety ananas, parcelle 2. - Observation effectuée le 6-10-65 par temps couvert (plus le matin). - Matériau original : alluvions anciennes. - Topographie : haut de pente, pente = 16 p. cent. - Exposition : Nord - forme légèrement convexe - Drainage externe : très rapide (ruissellement). - Inondations : jamais. - Ananas : en fin de cycle. 	<ul style="list-style-type: none"> - Profil n° 8 MADAGASCAR - IVOLOINA (IFAC) - Situation : Tanety, dans la partie prévue pour les extensions de bananiers. - Observation effectuée le 6-10-65 par temps couvert (plus le matin) - Topographie : milieu de pente - P = 20 p. cent. - Exposition Est, forme : légèrement convexe. - Inondations : jamais. - Végétation : terrain non cultivé : fougères, ravanella, lantana, langoussé, cannellier. 	<ul style="list-style-type: none"> - Situation : Bas-fond tourbeux très comparable au profil n° 6 du carré 16. - Végétation : culture de Guatémala grass, plantation fin 1963 (il y a eu une coupe, Drains distants de 15 m (début 1963). 	<ul style="list-style-type: none"> - Profil n° 10 MADAGASCAR - IVOLOINA (IFAC) - Situation : plantation anscaridière. - Observation effectuée le 7-10-65 - Matériau original : sable grossier. - Topographie : plateau, pente quasi nulle. - Drainage externe : très rapide. - Inondations : jamais. - Végétation : repousses de bruyères : avant la plantation des anscaridières le sol était recouvert de bruyère de 0,60 à 1 m de hauteur. - Fumure : azote et phosphate autour du pied.
Etude du profil	<ul style="list-style-type: none"> • 0 à 30 cm sol humide - Limite de l'horizon graduelle et irrégulière. - Couleur uniforme : 10 YR 3/1 (gris très foncé). - Horizon très humifère, matière organique bien décomposée. - Texture : tourbe-argilo-limonense. - Eléments structuraux grumeleux, de dimension moyenne, bien développés, adhésifs, plastiques. - Structure de l'horizon homogène, assez poreuse, cohérente. - Présence de vers de terre. • 30 à 70 cm sol très humide à saturé en profondeur. Niveau actuel de la nappe à 70 cm. - Couleur : 10 YR 4/1 (gris foncé) avec taches rouges dues aux éléments végétaux non décomposés. - Structure fibreuse constituée d'éléments végétaux non décomposés (bois, feuilles, racines) enrobés dans une masse à texture argileuse. - Vers 60 cm en présence d'un lit interrompu de sable gris micacé de 5 cm d'épaisseur. 	<ul style="list-style-type: none"> • 0 à 20 cm sol humide. - Limite de l'horizon distincte et ondulée. - Couleur uniforme : 10 YR 3/2 (brun gris très foncé). - Horizon humifère, matière organique bien minéralisée. - Texture argilo-sablieuse (sable très grossier, grains arrondis). - Structure polyédrique moyenne à grossière, faiblement développés, assez poreux, adhésifs, plastique, ferme ; sous-structure grumeleuse. - Structure de l'horizon homogène, légèrement compacte, cohérente. - Durété : hétérogène = 1,2 kg/cm² sur l'une des faces du profil 0,8 kg/cm² sur l'autre face. • 20 à 45 cm sol humide - Limite de l'horizon distincte et ondulée. - Couleur uniforme : 7,5 YR 5/6 (brun fort) - Texture argilo-sablieuse. Le sable est très grossier (1 à 2 mm), grains arrondis. Quelques graviers de quartz arrondis (2 à 3 mm) en voie d'altération. - Structure massive, compacte, très cohérente, adhésive, plastique, très ferme. - Durété supérieure à 4,5 kg/cm². • 45 à 90 sol humide - Couleur uniforme : 5 YR 4/8 (jaune-rouge) - Texture argileuse, avec grains de quartz de 1 à 2 mm. - Eléments structuraux polyédriques, grossiers, moyennement développés, compacts, très adhésifs, très plastiques, très fermes. - Structure de l'horizon homogène, très compacte, très cohérente. - Durété : supérieure à 4,5 kg/cm². 	<ul style="list-style-type: none"> • 0 à 30 cm sol humide - Limite graduelle et ondulée. - Couleur uniforme : 10 YR 4/3 (brun). - Litère de feuilles de 0 à 20 cm. - Horizon humifère, matière organique bien minéralisée. - Texture argilo-sablieuse (moins de 2,5 m/m) β = 3 m/m. - Eléments structuraux polyédriques grossiers, faiblement développés, assez poreux, peu adhésifs, plastiques, fermes. - Structure de l'horizon homogène, légèrement compacte, cohérente. - Durété : hétérogène P = 1,5 à 2,5 kg/cm². - Densité forte de racines d'origines diverses; surtout dans les 15 premiers cm (β 10 à 25 m/m). - Très faible activité biologique (vers de terre). • 30 à 95 cm sol humide - Couleur uniforme 5 YR 4/6 (rouge-jaune) - Texture argilo-sablieuse à argileuse en profondeur. - Très peu graveleux (moins de 25 p. cent) β 3 à 4 m/m. - Structure massive, compacte, très cohérente, sous-structure polyédrique très grossière. - Durété homogène : P = 2,7 kg/cm². - Racines très rares. 	<ul style="list-style-type: none"> • 0 à 25 cm sol humide - Couleur 10 YR 5/1 (gris très foncé) - Tourbe argilo-limonense • 25 à 45 cm sol très humide - Couleur 10 YR 4/1 (gris foncé) - Structure polyédrique très grossière à tendance lamellaire. • 45 à 75 cm sol saturé - Tourbe fibreuse - Nappe à 75 cm. 	<ul style="list-style-type: none"> • 0 à 13 cm sol humide - Limite de l'horizon nette et irrégulière. - Couleur noire rougeâtre (10 R 2/1) avec marbrures gris foncé. - Matière organique non minéralisée (humus brut ou mor) constituée par un enchevêtrement de racines de bruyères (β 5 à 10 m/m), se détachant par plaques, et mélangés à du sable très grossier, à grains très blancs (quartz à bords anguleux). - Durété : 1,2 kg/cm². • 13 à 100 cm sol humide - Horizon de sable très grossier gris-rougeâtre dans la partie supérieure (10 R 4/1), gris rougeâtre dans la partie inférieure (10 R 6/2). - Très meuble. - Durété : 0,1 à 0,2 kg/cm². - Densité forte de petites racines (chevelu).
Etude de l'enracinement	Densité moyenne de racines de bananiers jusqu'à 45-50 cm.	Densité forte de racines d'ananas localisées dans l'horizon humifère et auprès du pied, rectilignes et légèrement sinueuses, très ramifiées, arrondies, verticales et obliques vers le bas, horizontales au contact du 2ème horizon dans lequel elles ne pénètrent pas. Racines de plantes adventives, densité moyenne jusqu'à 90 cm.		Fouillage de racines de guatémala. Densité forte de racines de guatémala. Rares dans la tourbe fibreuse.	

La texture varie un peu d'une parcelle à l'autre mais bien que la teneur en argile varie en sens inverse de la fertilité, ces différences de granulométrie ne suffisent pas à expliquer les gradients de fertilité.

La matière organique est à un niveau satisfaisant dans tous les carrés.

Stabilité structurale.

L'indice d'instabilité I_s diffère peu dans les parcelles de très bonne et moyenne fertilité (0,28, 0,28, 0,36), il est nettement plus élevé dans la parcelle de fertilité médiocre (1,52) (figure 19).

L'étude des différents pourcentages d'agrégats stables à l'eau après traitement à l'alcool, au benzène, et sans prétraitement n'apporte pas de renseignements complémentaires, seule la parcelle P_5 diffère nettement des trois autres (tableau XI).

L'indice de perméabilité : K varie dans le même sens que la fertilité : la perméabilité diminue de la meilleure à la moins bonne parcelle (figure 20).

La stabilité structurale : S_t varie également dans le même sens que la fertilité, mais sauf pour P_5 , les différences entre les parcelles sont faibles (figure 22).

Indice de structure : F1.

Cet indice qui intègre les valeurs de la stabilité structurale, de la porosité utile et de l'eau utilisable rend bien compte des différences de fertilité entre les parcelles P_2 , P_3 - P_4 , et P_5 mais non entre P_3 et P_4 qui ont des indices très voisins (figure 21).

Indice d'humidité : He.

La fertilité n'est pas en relation avec la valeur de l'indice d'humidité : He qui représente les possibilités de rétention d'eau par le sol. Étant donné la forte pluviosité à Tamatave et l'absence de périodes à déficit hydrique, l'alimentation en eau de la plante est toujours assurée ; il est donc tout à fait logique qu'il n'existe pas de relations entre cet indice et la production.

Indice de ressuyage : F2.

Cet indice intègre les valeurs de l'indice de perméabilité K et de la capacité pour l'air « A » qui représente l'aération du sol lorsque celui-ci est à une humidité voisine de la capacité du champ, définie par le pF 3. Les 2 caractéristiques considérées : K et A ainsi que

l'indice de ressuyage F_2 donnent une très bonne représentation des différences de fertilité (figures 20, 23, 24).

Conclusion.

Ces résultats montrent donc l'importance de la structure et du drainage comme facteur de fertilité dans les sols d'alluvions de la station.

On peut donc espérer augmenter le potentiel de fertilité de ces sols en améliorant la perméabilité et l'aération du sol. Différentes techniques pourraient être envisagées dont il faudrait étudier les effets : labour et binages de l'horizon supérieur, drainage, action sur le modelé : culture en billons ou ados ; plantes améliorantes. L'action du sous-solage serait à préciser, une première étude n'ayant pas permis de mettre en évidence une action positive.

TABLEAU XI
Relations entre les caractéristiques structurales et la fertilité.

Parcelles Fertilité	P2 très bonne	P3 bonne	P4 moyenne	P5 médiocre
% agrégats stables à l'alcool	60	55	62	51
% agrégats stables à l'eau	50	55	51	22
% agrégats stables au benzène	37	41	34	13
Indice d'instabilité : I_s	0,28	0,28	0,36	1,52
Indice de perméabilité : K cm/h	5,9	4,1	3,7	1,8
Stabilité structurale : S_t	78	76	72	55
Densité apparente	0,85	1,02	0,98	0,88
Porosité maximum %	67	61	62	66
pF 3 en % du volume	21,6	17,4	22,8	29,3
pF 4,2 en % du volume	10,9	8,9	12,2	19,8
Porosité utile : Pu %	56	52	50	46
Eau utilisable : Eu %	10,7	8,5	10,6	9,5
Capacité pour l'air : A %	45	44	39	37
Indice de structure : F1	1916	1596	1659	1161
Indice de ressuyage : F2	80	72	61	46
Indice d'humidité : He	0,31	0,28	0,32	0,38

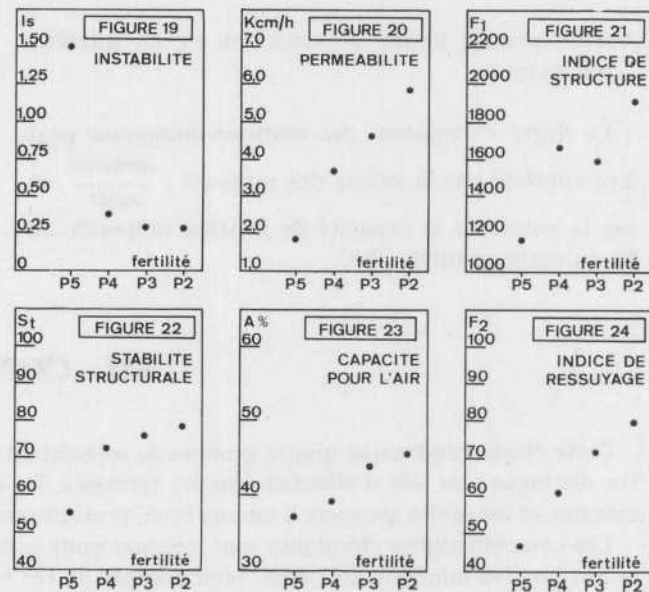


FIG. 19, 20, 21, 22, 23, 24. — Relations entre les caractéristiques structurales et la fertilité.

VI. ACTION DU DRAINAGE SUR L'ÉVOLUTION DE LA MATIÈRE ORGANIQUE DANS LES SOLS HYDROMORPHES

L'étude de l'action du drainage sur l'évolution de la matière organique, et sur la fertilité du bananier a été réalisée dans un sol de bas-fonds hydromorphe à teneur en matière organique élevée.

Les prélèvements de sols sont effectués de 0 à 20 cm de profondeur, à des distances variables du drain collecteur.

ACTION SUR LA TENEUR EN MATIÈRE ORGANIQUE.

Les analyses ont donné les résultats suivants.

Matières organiques (%)

DISTANCE DU DRAIN COLLECTEUR (m)	0-15	15-30	30-45	45-60
Octobre 1965.....	10,7	11,9	13,3	14,9
Octobre 1966.....	10,0	10,9	12,4	14,8

La matière organique augmente au fur et à mesure de l'éloignement du train collecteur, elle a diminué de 1965 à 1966.

ACTION SUR LE DEGRÉ D'ÉVOLUTION DE LA MATIÈRE ORGANIQUE.

Le degré d'évolution des matières humiques peut être apprécié par la valeur des rapports : $\frac{\text{carbone}}{\text{azote}}$, et par la valeur de la capacité de fixation rapportée au % du carbone total : T/C.

Valeurs des rapports $\frac{C}{N}$ et $\frac{T}{C}$.

DISTANCE DU DRAIN COLLECTEUR (m)	0-15	15-30	30-45	45-60	
Octobre 1965	C/N.....	18,7	19,0	19,8	20,4
	T/C.....	4,0	3,8	3,7	3,3
Octobre 1966	C/N.....	17,1	18,7	18,8	22,3
	T/C.....	4,1	3,5	3,6	3,0

Le rapport C/N renseigne sur la richesse en azote de l'humus : plus C/N est faible, plus la vitesse de minéralisation est grande. Les valeurs de C/N sont d'autant plus élevées, donc la vitesse de minéralisation plus faible, que le drain est éloigné.

Le rapport T/C ou coefficient d'humification varie dans le sens inverse de C/N traduisant une meilleure humification dans les parcelles situées à proximité du collecteur.

Le drainage n'a pas d'action sur les autres caractéristiques chimiques : pH, bases échangeables, coefficient de saturation.

ACTION SUR LA FERTILITÉ.

Le drainage a une action marquée sur la fertilité du bananier ; le poids moyen des régimes pris comme critère du rendement décroît au fur et à mesure de l'éloignement du drain collecteur. Les valeurs successives sont 14,2, 13,6, 11,5 et 9,4 kg soit un poids moyen supérieur de 50 % pour les bananiers situés près du drain, par rapport aux bananiers les plus éloignés.

VII. CONCLUSION

Cette étude montre que quatre groupes de sol existent sur la station d'Ivoloina dont trois ont un intérêt agricole. On distingue : les sols d'alluvions sur les terrasses, les sols hydromorphes de bas-fonds, les sols de pentes sur les coteaux et les sables grossiers à humus brut, pratiquement inutilisés pour la culture.

Les caractéristiques chimiques sont voisines pour certains éléments, mais différent sensiblement pour d'autres, la fertilisation minérale doit donc tenir compte de ces variations.

La matière organique est à un niveau satisfaisant dans tous les sols, elle est la plus élevée dans les sols de pentes et de bas-fonds.

Le potassium utilisable par les plantes est faible sur l'ensemble des sols de la station, quel que soit le niveau des réserves. Le potassium total est élevé dans les sols d'alluvions riches en éléments micacés, mais faible dans les sols de pentes.

Une expérimentation agronomique faite sur le bananier dans un sol d'alluvions montre que la fumure potassique est nécessaire. Compte tenu de ces résultats effectués sur un sol où les réserves sont élevées on doit donc considérer la fumure potassique comme indispensable dans tous les sols de la station.

Le magnésium échangeable est élevé dans les sols d'alluvions qui sont très riches en réserves. Les résultats de l'essai de fumure magnésienne effectué sur le bananier montrent que l'apport de cet élément n'est pas nécessaire dans ces sols. Cette conclusion n'est pas forcément valable pour les sols de bas-fonds et de pentes dans lesquels les niveaux sont plus faibles. Dans ces sols une expérimentation agronomique serait nécessaire pour préciser l'action de la fumure magnésienne.

Le calcium est à un niveau moyen à nettement faible dans les sols hydromorphes et les sols de pentes qui sont de plus très fortement désaturés ; dans tous les sols les réserves sont nulles. Le rôle de l'amendement calcique n'a pas été précisé par des études agronomiques. Dans les sols organiques de bas-fonds la nécessité d'apports d'amendement calcique ou calco-magnésien ne fait pas de doute, pour les autres sols une expérimentation serait nécessaire sur le bananier et les arbres fruitiers.

Le phosphore assimilable est généralement faible malgré des teneurs en phosphore total assez élevées. L'apport de fumure phosphatée ne semble pas nécessaire pour le bananier mais cela serait à confirmer.

Le problème de la *fertilisation azotée* n'a pas été abordé, la nécessité des apports d'azote n'étant plus à démontrer en culture fruitière, dans les sols tropicaux.

Outre les problèmes de fertilisation minérale, cette étude montre le rôle très important de la structure du sol sur

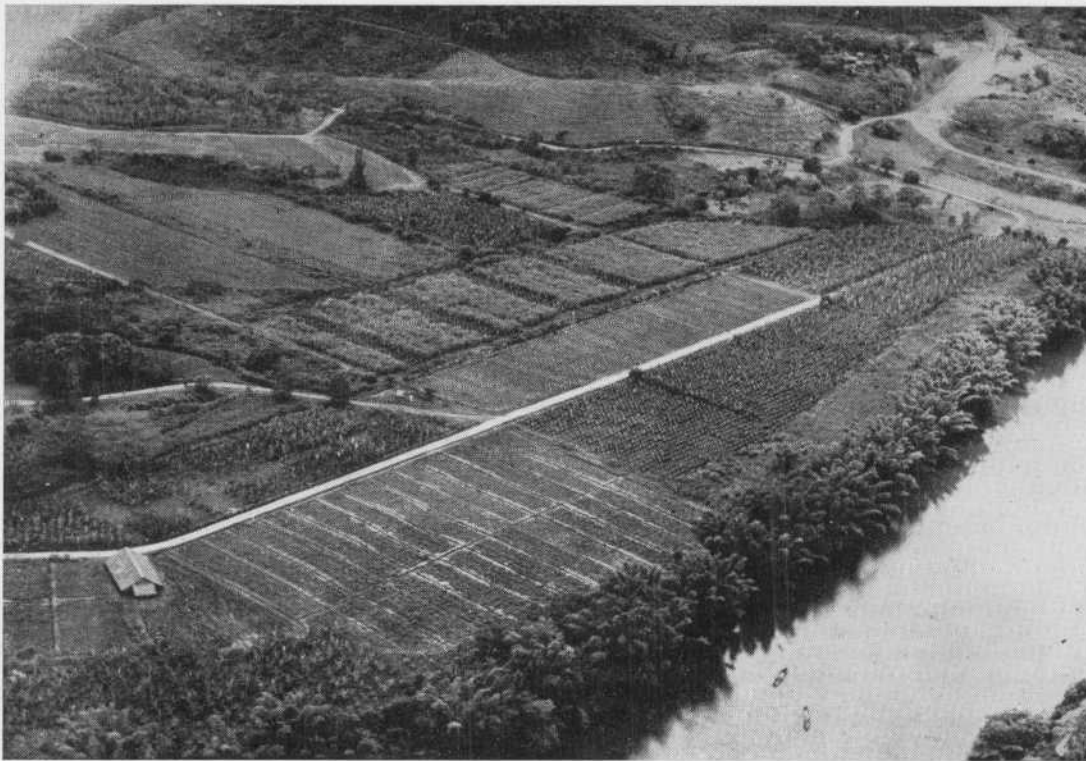


PHOTO 3. — Vue générale de la station d'Ivoloïna (Photo Hughes).

la fertilité. Dans cette région à pluviosité élevée les caractéristiques structurales liées à la perméabilité et à l'aération du sol sont extrêmement importantes, et mettent en évidence la nécessité du drainage.

La comparaison des sols de la station avec ceux de la zone bananière de Tamatave dont l'étude a été faite par J. KILIAN et NGO CHAN BANG, montre que les sols de la station sont bien représentatifs de la région, aussi les résultats des essais effectués à Ivoloina sont extrapolables à l'ensemble de la zone de Tamatave.

Il est donc actuellement possible, d'après les analyses de sol des plantations de conseiller utilement le planteur malgache pour les problèmes de fertilisation en cultures fruitières.

MÉTHODES ANALYTIQUES UTILISÉES

(Laboratoire I. F. A. C.)

Granulométrie.

Méthode pipette. Dispersion à l'hexamétaphosphate de sodium.

Matière organique.

- Carbone (C). Méthode par voie humide (WALKLEY et BLACK).
- Azote (N). KJEHLDAL. Catalyseur au sélénium.

Complexe absorbant.

- Échange de cations à l'acétate d'ammonium normal, pH 7.
- Dosage de Ca et Mg par complexométrie par l'EDTA N/50.
- Dosage de K et Na par spectrophotométrie.
- Saturation du complexe par CaCl₂; déplacement de Ca par NO₃K. Dosage de Ca par complexométrie pour le dosage de la capacité de fixation.
- Somme des cations par addition des éléments du complexe.
- pH sur pâte de sol; à l'électrode de verre.

Phosphore assimilable.

Méthode d'extraction citrique. Dosage au sulfomolybdate d'ammonium par colorimétrie.

Éléments totaux.

- Cations : attaque nitrique. Dosage comme pour les cations échangeables.
- Phosphore : attaque nitro-perchlorique. Dosage comme pour P. assimilable.

Caractéristiques pour l'eau.

- Presse, sur plaque poreuse : pF 4,2 = 16 000g/cm²,
pF 3 = 1 000g/cm².

Densités.

- Apparente (DA) : rapport $\frac{\text{Poids}}{\text{volume}}$ de la terre qui a servi à la détermination de l'indice de perméabilité.
- Réelle (DR) : méthode picnométrique.

Porosité totale.

- Calculée d'après la formule :

$$P \% = \frac{DR - DA}{DR} \times 100.$$

BIBLIOGRAPHIE

- CHAMPION (J.). — Problèmes bananiers à la station d'Ivoloina. Rapport I. F. A. C., mission mai-juin 1965.
- DABIN (B.). — Relations entre les propriétés physiques et la fertilité dans les sols tropicaux. *Annales agronomiques*, 1962, 13 (2), 111-140.
- GODEFROY (J.). — Les sols de la station I. F. A. C. d'Ivoloina, Madagascar. Rapport annuel I. F. A. C., 1966, doc. 8.
- HENIN (S.), FÉODOROFF (A.), GRAS (R.) et MONNIER (H.). — 1960. Le profil cultural, S. E. I. A., Paris, 1 vol., 320 p.
- KILIAN (J.) et NGO CHAN BANG. — Étude pédologiques sur les sols à bananiers dans la région de Tamatave. Rapport I. R. A. M., 1965.
- LACQUEULHE (J.) et MARCHAL (J.). — Analyse foliaire essai K-Mg-Madagascar. Rapport annuel I. F. A. C., 1966, doc. 85.
- LOSSOIS (P.). — Essai K-Mg sur bananier à Madagascar. Rapport annuel I. F. A. C., 1966, doc. 63.
- ROBIN (J.). — Essai phospho-potassique de Mahasda, Madagascar. Rapport annuel I. F. A. C., 1964, doc. 41.
- ROBIN (J.). — Essai potasse-magnésie. Station d'Ivoloina. Rapport annuel I. F. A. C., 1966, doc. 50.