

# POTASSIUM, CALCIUM ET MAGNÉSIUM DANS LA NUTRITION DE L'ANANAS EN GUINÉE

## VI

### LE SOL ET L'ALIMENTATION DE LA PLANTE

par

**P. MARTIN-PRÉVEL** et **F. DUGAIN**

*I. F. A. C.*

*O. R. S. T. O. M.*

*Nos cinq premiers articles (1) ont exposé les résultats pratiques obtenus par l'application aux ananas des seize formules de fertilisation calco-magnésio-potassique faisant l'objet de l'essai « H 56 », puis les observations recueillies à l'aide des mensurations et analyses foliaires. Nous nous y sommes fort peu préoccupé du support naturel dans lequel les ananas plongeaient cependant leurs racines : le sol ; mais nous n'avons fait en cela que nous conformer à un usage solidement établi.*

*En effet, la plupart des publications traitant de l'ananas font à peine mention des sols et les plus récents traités de culture de cette plante (4,11) y consacrent tout au plus quatre pages ; nous avons vainement recherché dans la bibliographie des articles relatant des travaux sur les sols à ananas. Les auteurs se contentent de décrire les terrains choisis ou à choisir pour cette culture, et l'on ne se préoccupe pas du devenir de ces sols une fois plantés en ananas : on les considère comme de simples substrats.*

*Même si ce point de vue est valable en première approximation, la part du sol dans l'alimentation de l'ananas n'est pas négligeable : il n'est pas rare dans les essais d'engrais de voir les effets des traitements masqués par l'hétérogénéité du terrain. Pour un essai de près d'un hectare, un test d'homogénéité du sol au départ était indiqué ; c'est à la fois dans ce but et dans celui de recueillir quelques informations sur les caractères et l'évolution d'un sol-type à ananas de Guinée, que F. DUGAIN, alors pédologue de l'O. R. S. T. O. M. détaché à la Station guinéenne de l'I. F. A. C., apporta sa collaboration à notre étude. Nous tenons à le remercier ici d'avoir bien voulu accepter une publication conjointe alors qu'il a maintenant quitté depuis plusieurs mois les services de la Recherche Outre-Mer.*

P. M.-P.

### GÉNÉRALITÉS SUR LES SOLS A ANANAS

Il n'existe pas de sols dont on puisse dire que leur vocation est de porter des cultures d'ananas. En effet cette plante, capable de s'alimenter pour une large part à l'aide de son appareil foliaire, n'a pratiquement

pas d'exigences positives en matière de sol. Ses exigences principales sont négatives, touchent surtout les qualités physiques et non chimiques du sol, et se présentent comme les corollaires des faiblesses de ses racines.

La racine d'ananas est extrêmement sensible à l'asphyxie et ne peut, par suite, supporter les excès d'eau même temporaires : l'exigence fondamentale de l'ananas est donc un drainage parfaitement libre ; l'appareil racinaire étant superficiel, la terre cultivable n'a pas besoin d'être profonde, mais la continuité du drainage doit être assurée dans les couches sous-

(1) Cf. Potassium, calcium et magnésium dans la nutrition de l'ananas en Guinée. P. Martin-Prével et Coll. — I. Plan et déroulement de l'étude. *Fruits*, vol. 16, n° 2, févr. 1961, p. 49-56. — II. Influence sur le rendement commercialisable. *Fruits*, vol. 16, n° 3, mars 1961, p. 113-121. — III. Influence sur la qualité du fruit. *Fruits*, vol. 16, n° 4, avr. 1961, p. 161-180. — IV. Étude de la croissance foliaire. *Fruits*, vol. 16, n° 7, juill. 1961, p. 341-351. — V. Données de l'analyse foliaire. *Fruits*, vol. 16, n° 11, déc. 1961, p. 539-561.

jacentes. *En deuxième lieu*, la racine d'ananas est mécaniquement fragile ; elle se développe assez mal dans les sols lourds, où elle peut en outre être brisée si un assèchement vient produire des fentes de rétraction (11), et dans les sols gravillonnaires ou à concrétions (10), voire simplement dans les sables trop grossiers à grains anguleux (9). Il est encore *souhaitable*, en troisième lieu, que le sol soit capable d'emmagasiner une réserve d'eau utilisable pendant la saison sèche (pour les climats de type guinéen) ; et enfin, que le sol offre une résistance spontanée suffisante à l'érosion (10).

L'importance de la *composition chimique* du sol est, pour l'ananas, très secondaire. Ici encore ses exigences principales, en culture intensive, sont négatives. L'ananas redoute l'abondance de chaux et les *pH* voisins de la neutralité ; il se plaît en revanche dans les milieux acides et pousse parfaitement sur des sols pauvres

en bases et lessivés en profondeur, pourvu qu'on lui apporte ses éléments nutritifs sous forme d'engrais (1). De même, toutes les carences connues en oligo-éléments sont facilement guéries par de légers apports, alors que l'excès de manganèse, surtout en sol peu acide, induit une grave chlorose par inassimilabilité du fer (6, 7).

Ces faibles exigences permettent de cultiver l'ananas, en fait, dans *une gamme très étendue de sols* : depuis les tourbes drainées de Malaisie (2, 5) jusqu'à des sables presque purs en certains points de la Côte d'Ivoire et en Floride, en passant par des terrains volcaniques riches en bases aux îles Hawaï, et par toutes sortes de sols rouges, bruns, noirs ou peu colorés. On trouvera dans l'étude de TRATCHENKO (14) une description des sols plantés en ananas dans un certain nombre de pays. Nombre d'entre eux ont en commun une certaine richesse en matière organique, facteur primordial de perméabilité et de stabilité.

## I. ÉVOLUTION DU SOL AU COURS D'UN PREMIER CYCLE DE CULTURE D'ANANAS

Comme toute la sole ananas 1956 de la Station, notre essai fut planté dans le secteur « Ouatamcobi B », nouvellement défriché. Ce sont donc *les effets d'une première mise en culture* d'ananas que va nous indiquer la succession des valeurs moyennes obtenues chaque année pour les diverses déterminations analytiques effectuées. Mais il faut auparavant situer ce sol au départ.

### 1° Type de sol.

Il s'agissait d'un *sol ocre de coteau* à tendance ferrallitique, sablo-argileux et léger, tel que ceux recherchés en Guinée pour la culture de l'ananas ; mais plus sableux et moins humifère que les meilleurs sols du même type, et par conséquent d'une mise en valeur plus délicate. Danger d'érosion en nappe, tendance à être battant en surface, possibilités d'emmagasinement plus faibles pour l'eau et les éléments nutritifs, telles étaient les réserves formulées par G. MONNIER après avoir prospecté l'ensemble des secteurs Ouatamcobi ; il les déclarait néanmoins aptes à une culture d'ananas « bien conduite » (10).

Sur l'emplacement de l'essai, le sol comprenait, en surface, un horizon gris foncé d'environ 50 cm, légèrement humifère, de texture sableuse et de structure

particulière. En dessous se présentait un horizon plus beige, de texture légèrement plus argileuse, pratiquement dépourvu de structure.

Le tableau V donne les *caractéristiques de trois profils* étudiés par G. Monnier au cours de sa prospection, en 1954. L'emplacement attribué par la suite à l'essai H 56 se localisait entre ceux des profils 30 et 40 : il n'y a donc pas lieu de s'étonner si les caractéristiques chimiques de l'horizon superficiel de ces trois profils diffèrent peu ou prou de celles que nous avons trouvées en 1956 ; il s'agit d'ailleurs ici du sol avant débroussement et là du sol prêt à être planté deux ans plus tard, étudiés probablement avec des techniques analytiques différentes. Nous reproduisons ces résultats principalement pour ceux de l'analyse granulométrique et pour montrer l'appauvrissement rapide au-delà des 10 à 15 premiers centimètres.

### 2° La matière organique et l'humus.

Nous avons réuni dans le tableau VI les moyennes générales et les coefficients de variation des données analytiques obtenues dans ce domaine pour les années 1956 (premier prélèvement : la veille de la plantation), 1957 (deuxième prélèvement : un an après) et 1959 (troisième prélèvement : à la destruction des plants).

TABLEAU V.

*Caractéristiques de trois profils du secteur Ouatamcobi*  
(d'après G. MONNIER, Rapport annuel I. F. A. C., Guinée, 1954).

N° DU PROFIL	PROFON- DEUR (cm)	ARGILE %	LIMON %	SABLES %		CAR- BONE %	HUMUS ‰	AZOTE (N) ‰	C/N	pH
				FINS	GROSS.					
30	0-15	20	14,1	21	42,2	1,47	1,43	1,04	14,1	4,7
	25-40	30,8	7,6	20	40,1	0,90	0,40	0,45	20	4,7
	40-60	32	9	22,3	35,6	0,52	0,35	0,11	—	4,7
40	0-10	20	11,4	24	41,5	1,71	2,12	0,84	20,3	4,25
	25-40	32,2	9,8	19	37,5	0,94	0,42	0,59	16	4,5
	40-65	30,8	15,9	18,8	34	0,36	0,67	0,42	8,8	4,25
50	0-15	20	19,6	30	28	1,5	1,80	1,08	13,9	4,7
	30-45	32,4	17,8	22	25,8	1,05	0,82	0,74	13,5	4,6
	50-70	35,8	13,9	20	29,5	0,42	0,7	0,45	9,3	4,9

TABLEAU VI.

*Essai H 56 : Évolution de la matière organique (moyennes générales)*  
(entre parenthèses : coefficients de variation).

ANNÉE	CARBONE (C) %	AZOTE (N) ‰	C/N	MATIÈRE ORGANIQUE (M. O.) %	MATIÈRE HUMIQUE TOTALE (M. H. T.) %	M. H. T. % de M. O.
1956	1,74 (14,4 %)	1,07 (14,7 %)	16,3 (13,0 %)	3,00 (14,7 %)	0,86 <sup>(1)</sup> (25,1 %)	30,9 <sup>(1)</sup> (20,3 %)
1957 Différence avec 1956.....	1,71 (11,7 %) N. S.	1,00 (15,8 %) N. S.	17,3 (15,5 %) S.	2,96 (11,9 %) N. S.	1,19 (13,3 %) T. H. S.	40,4 <sup>(1)</sup> 15,0 % <sup>(2)</sup> T. H. S.
1959 Différence avec 1957.....	1,55 (15,3 %) <sup>(3)</sup> H. S.	— — —	— — —	2,68 (15,3 %) <sup>(3)</sup> H. S.	— — —	— — —

(1) Moyenne de 17 parcelles, réparties dans tout l'essai.

(2) Pour l'ensemble des deux années 1956-1957.

(3) Pour l'ensemble des trois années.

S., N. S., H. S., T. H. S. = significatif, non significatif, hautement significatif, très hautement significatif.

Ces moyennes, sauf mention contraire, portent sur l'ensemble des 64 parcelles de l'essai en 1956 et 1957, sur 56 parcelles en 1959.

*Au moment de la mise en culture*, la matière organique globale est assez abondante : 3 % ; son rapport C/N est de 16 et son coefficient d'humification (M. H. T. % de M. O.) relativement élevé puisque voisin de 30 %.

*Après la première année de culture*, la diminution de la matière organique n'est pas encore décelable. Celle de l'azote est faible et non significative ; il est cependant probable que quelques centièmes du stock d'azote organique ont été minéralisés puis utilisés par la plante ou entraînés par les pluies, car le rapport C/N a augmenté significativement. Mais ce qui mérite d'être retenu, c'est l'augmentation du taux d'humus et du coefficient d'humification, passant de 30 à 40 %. Dans les sols de bananeraies, nous avons également trouvé une augmentation de teneur en humus lorsque l'absence d'amendement maintenait le pH, comme ici, à des valeurs très acides (3). Mais un humus formé dans de telles conditions risque d'être peu intéressant, comme le montre d'ailleurs l'élévation du rapport C/N.

*Dans les deux années suivantes*, un dixième environ du stock initial de matière organique disparaît. Cela peut signifier un début de dégradation du sol, et montre la nécessité d'un apport de matière organique à celui-ci après un cycle d'ananas (enfouissement des vieux plants, jachère à engrais vert). L'analyse de l'azote et de l'humus n'a pu être faite cette année-là. Mais sur un sol voisin, du secteur « Ouatamcobi A » mis en culture en 1955 (essai BG 55), nous avons trouvé en 1958 une teneur en matière organique de 2,4 % avec C/N = 16,2, une teneur en azote de 0,8 ‰, et un coefficient d'humification de 40 à 50 % ; ces résultats complètent les données manquantes de notre tableau. Une fois dépassé un coefficient d'humification d'environ 40 % (production d'humus brut à partir des débris végétaux mal décomposés, accompagnée d'une perte d'azote), une importante destruction d'humus par minéralisation semble donc s'établir parallèlement à l'humification de la matière organique restante ; cette sorte de régulation entraîne l'appauvrissement du sol en matière organique totale et en azote.

### 3° Le complexe adsorbant et sa saturation.

*La capacité d'échange de cations (T)* était en moyenne de 7 milliéquivalents pour 100 g avant la plantation, chiffre satisfaisant. Son évolution par la suite, sur

l'ensemble de l'essai, n'est pas significative bien qu'elle corrobore les progrès de l'humification la première année : 7,0 méq % en 1956, 7,4 en 1957, 7,6 en 1959.

Si l'on examine les chiffres individuels, on relève une tendance des parcelles à faible capacité d'échange initiale (4,5 à 6 méq %) à voir cette capacité augmenter, tandis que les parcelles où elle était plus élevée (8 à 10 méq %) la voient diminuer ; l'ensemble du terrain tend à s'uniformiser vers une valeur d'équilibre de  $T = 7$  à 8 méq %. C'est ainsi que le bloc B, avec une moyenne initiale  $T = 8,3$  méq %, aboutit à 7,7 méq % en 1959, alors que le bloc A passe de  $T = 6,0$  méq % en 1956 à 7,0 en 1957 et 7,7 en 1959 (cf. fig. 48) ; le calcul statistique montre que l'évolution de T est significative dans chacun de ces deux blocs pris isolément.

*Le coefficient de saturation initial* était compris entre 20 et 25 % (en moyenne 1,6 milliéquivalents de K + Na + Ca + Mg échangeables, pour une capacité de 7 milliéquivalents). En 1959 il n'est plus que d'environ 10 % (0,77 milliéquivalents de cations échangeables pour une capacité de 7,6 milliéquivalents). Cette désaturation a pu être pour une part le fait de l'absorption des cations disponibles par l'ananas, mais surtout celui du lessivage.

*Les cations échangeables* font l'objet du tableau VII. Relevons tout d'abord la contradiction entre la composition initiale du sol et les résultats agronomiques de l'essai : avec une teneur en potassium et surtout en calcium échangeables aussi faibles à côté d'une teneur appréciable en magnésium, on aurait a priori conseillé

TABLEAU VII.

*Essai H 56 :*  
*bases échangeables (moyennes générales)*  
en milliéquivalents-grammes pour 100 g de sol.

ANNÉE	K	Na	Ca	Mg	TOTAL
1956	0,07	0,13	0,21	1,15	1,59
1957	0,06	—	—	—	—
1959	0,09	0,02	0,41	0,24	0,77

une forte fumure potassique certes, mais accompagnée d'un important chaulage sans aucun apport de magnésium. L'ananas est donc calcifuge au plus haut point ; quant au magnésium échangeable du sol, nous verrons qu'il est resté sans effet sur la nutrition de la plante.

*Le potassium* a à peine évolué, en moyenne. D'après la figure 48 le bloc A, moins pauvre à l'origine, serait tombé au niveau des trois autres blocs au cours de la saison de pluies qui a immédiatement suivi la plantation ; puis l'ensemble du terrain ainsi homogénéisé n'a gardé qu'un minime reflet des doses de potasse apportées. Celles-ci correspondaient pourtant, sur la base de 2.500 tonnes de terre à l'hectare, à environ 0,1 méq pour 100 g de sol la première année et 0,2 méq la deuxième année (moyenne des seize traitements de l'essai). Mais l'engrais était déposé à l'aisselle des feuilles ; de plus il s'est écoulé six mois, de saison sèche il est vrai, entre le premier épandage de potasse et le prélèvement de sol de 1957 ; et presque deux ans, avec deux saisons de pluies, entre le deuxième épandage et le prélèvement de 1959.

*Le calcium*, par contre, a augmenté de 0,2 méq % entre le début et la fin de l'essai, pour un apport moyen d'environ 0,3 méq % ; il a donc été correctement retenu par le complexe adsorbant. Son taux final de 0,4 méq % reste très faible du point de vue pédologique, mais n'oublions pas que le but premier de l'essai était d'étudier la nutrition de l'ananas en lui offrant des doses de K, de Ca et de Mg du même ordre de grandeur, et non de tenter une amélioration foncière du sol.

*Le magnésium*, seul cation échangeable présent en quantité notable au moment de la mise en culture, a presque complètement disparu en trois ans ; les apports

correspondaient en moyenne à environ 0,25 milli-équivalent pour 100 g de sol.

*Le sodium* a entièrement disparu.

*L'évolution du pH* n'est bien connue qu'entre 1957 et 1959 ; en 1956, les déterminations ont été faites sur quelques échantillons seulement et ont donné une valeur de 4,7-4,8. Le pH moyen des 64 parcelles a légèrement diminué au cours de la culture, ainsi que la désaturation du complexe permettait de le prévoir : il est passé de 4,65 en 1957 à 4,47 en 1959 (différence hautement significative). Ces pH acides semblent parfaitement convenir aux ananas, mais la culture de cette plante laisse un sol passablement épuisé en bases échangeables.

#### 4° Autres éléments minéraux.

*L'acide phosphorique assimilable* n'a pu être déterminé qu'en 1959 ; nous avons alors trouvé des teneurs variant entre 0,01 et 0,04 ‰ et une moyenne générale de 0,03 ‰. La teneur initiale du sol était probablement moins faible, de l'ordre de 0,1 ‰.

*Les oligo-éléments* déterminés par le Laboratoire de Spectrographie de l'I. D. E. R. T. à Bondy sur les échantillons de six parcelles, en 1956, ont donné les résultats suivants :

zinc : 6,4 à 8,7 p. p. m.  
cobalt : 0,01 à 0,02 p. p. m.  
vanadium : 0,01 à 0,06 p. p. m.  
molybdène : 0,01 à 0,04 p. p. m.  
fer : 9 à 19 p. p. m.  
cuivre : 0,1 à 0,3 p. p. m.  
manganèse : 6 à 10 p. p. m.

Ces teneurs sont faibles, sauf en ce qui concerne le zinc, le fer et le cuivre.

## II. VARIATIONS LOCALES DE COMPOSITION ET DE FERTILITÉ DU SOL

L'analyse statistique d'un essai en blocs de Fisher répartit en trois catégories les variations présentées par une valeur observée quelconque (sol ou plante) sur l'ensemble des parcelles individuelles :

— différences entre traitements (objets de comparaison) ;

— différences entre blocs (répétitions), correspondant aux *gradients* de composition ou de fertilité du terrain ;

— variabilité à l'intérieur des blocs, correspondant à l'*hétérogénéité* du sol et du végétal telle qu'elle se

manifeste à l'échelle des parcelles choisies ; cette variabilité inclut en outre la marge d'erreur imputable à l'obtention des chiffres eux-mêmes : « précision » de l'échantillonnage et des mesures ou dosages.

Nous nous intéresserons dans ce chapitre aux deux dernières catégories, recherchant dans quelle mesure les différences originelles de composition du sol à travers la surface de l'essai ont pu agir sur l'alimentation minérale, la croissance, le rendement et la qualité des ananas.

### 1° Homogénéité des blocs.

Le coefficient de variation (1) est l'expression la plus pratique de l'hétérogénéité d'un essai quant à un caractère donné.

La matière organique présente en 1956 et 1957 des C. V. satisfaisants, pour le carbone, l'azote et le rapport C/N : ils sont compris entre 10 et 15 % ; ceux de l'humus sont plus élevés en 1956 (20 % pour la matière humique totale, 25 % pour le coefficient d'humification), mais ils s'améliorent ensuite (cf. tableau VI) : le terrain tend à s'homogénéiser sous ce rapport.

Le complexe adsorbant présente, pour la capacité d'échange, un C. V. voisin de 20 % les trois années : mais la faible précision de la détermination chimique elle-même doit être ici la cause principale de variabilité. Le C. V. du pH est excellent : 3,4 %. Dans les teneurs en bases échangeables nous relevons par contre une forte hétérogénéité, due principalement au bloc A ; les teneurs des douze premières parcelles de ce bloc se détachent nettement, en 1956, du reste de l'essai ; le C. V. atteint ainsi 33 % pour la somme des bases échangeables, 35 % pour le calcium, 46 % pour le magnésium, et 67 % pour le potassium.

Nous avons donc affaire, au moment de la plantation, à des blocs assez homogènes quant à la constitution fondamentale de leurs sols, mais avec un complexe saturé d'une manière irrégulière. Ces différences de réserves minérales entre les parcelles ont-elles pu influencer sur la croissance et les rendements au point de brouiller certains effets des traitements ? L'examen des différences entre blocs, qui sont du même ordre de grandeur, nous prouvera que non.

En fait, l'importance de ces réserves minérales, ou à tout le moins leur efficacité, s'est avérée sans commune mesure avec les besoins de la plante. Une teneur en potassium échangeable inférieure à 0,1 méq %, une teneur en calcium échangeable inférieure à 0,4 méq %, sont des teneurs négligeables ; peu importe alors que les chiffres analytiques varient considérablement d'une parcelle à l'autre. L'hétérogénéité pratique pourrait subsister, à en croire seulement les résultats de l'analyse du sol :

(1) Le coefficient de variation (C. V.) d'une grandeur mesurée dans les diverses parcelles d'un essai est l'écart-type de l'erreur expérimentale correspondant à cette grandeur, exprimé en % de la moyenne générale obtenue pour elle dans l'essai. La comparaison des C. V. de deux groupes de mesures permet immédiatement de dire quel est le plus dispersé des deux : c'est celui qui a le C. V. le plus élevé. Le terme « erreur expérimentale » englobe toute les variations dues à l'hétérogénéité, à l'imprécision des mesures, aux erreurs accidentelles, etc.

— pour le potassium à l'intérieur du bloc A (où quatre parcelles étaient semblables aux blocs B, C et D tandis que les douze autres contenaient environ 0,2 méq % de potassium échangeable),

— et pour le magnésium dans tout l'essai.

En réalité, il faut admettre que même ces variations désordonnées n'ont pas exercé d'effet sur la plante, car les coefficients de variation des mensurations et teneurs foliaires sont restés dans des limites très raisonnables, eu égard à la variabilité propre du végétal et à la précision de certaines de ces mesures :

- 2 à 8 % pour la longueur et la largeur,
- 4 à 11 % pour le poids et la teneur en azote,
- 6 à 15 % pour les teneurs en phosphore et potassium,
- 8 à 15 % pour la teneur en calcium,
- 9 à 18 % pour la teneur en magnésium.

De plus, il ne nous a jamais été possible de rattacher à des différences quelconques dans l'analyse du sol au départ, les chiffres relevés dans telle ou telle parcelle comme peu concordants avec l'ensemble de l'essai.

### 2° Différences entre blocs.

On a regroupé schématiquement sur la figure 48 les moyennes par blocs des déterminations effectuées chaque année. L'analyse statistique n'a pu être appliquée aux résultats de 1959, les échantillons de plusieurs parcelles ayant disparu au cours de leur transport depuis la Guinée.

Au point de vue matière organique, le bloc D se distingue des autres par sa moindre richesse en carbone comme en azote et en humus : la matière organique y semble être qualitativement la même, mais moins abondante, et sa disparition commence dès la première année. Les blocs A et B ne se distinguent pas significativement l'un de l'autre ; le bloc C n'est pas dans l'ensemble significativement différent des blocs A et B, mais paraît cependant un peu plus pauvre en matière organique, azote et humus. On retrouve dans le classement des blocs le mécanisme de l'humification tel qu'il apparaissait ci-dessus dans l'évolution du sol au cours du temps : le bloc B, le plus riche en humus, est aussi celui qui a le rapport C/N le plus élevé, et c'est le plus acide.

La capacité d'échange du complexe adsorbant dans les quatre blocs se classe en 1957 dans le même ordre que la teneur en humus, si l'on ne tient compte que des différences significatives. A ce moment, les différences initiales de richesse (ou plutôt de pauvreté) en

cations échangeables ont toutes disparu ; le bloc B se trouve ainsi le plus désaturé par rapport à sa capacité d'échange et se montre le plus acide, tandis que le bloc D, proportionnellement le moins désaturé, est le moins acide avec le bloc C.

Rappelons tout d'abord les différences que nous avons relevées entre ces deux blocs A et B lors de l'étude du rendement. Le bloc B a eu de moins bons pourcentages de floraison, un poids moyen et un tonnage/hectare un peu moins élevés (non significativement), une récolte de rejets nettement plus faible ; nous en avons conclu que le bloc A se montrait un peu plus fertile. L'examen des différences entre blocs quant à la croissance foliaire (1) montre que cette supériorité du bloc A sur le bloc B est longue à s'établir. Au prélèvement n° 2 les feuilles du bloc B sont significativement plus lourdes, plus longues et plus larges que celles du bloc A ; cela indique une meilleure reprise des rejets sur ce terrain plus humifère, et présentant un rapport Ca/Mg échangeables plus favorable d'après les résultats de l'essai. Cette situation s'inverse au prélèvement n° 3, se rétablit aux prélèvements nos 4 et 5, puis on n'observe plus de différences jusqu'à la deuxième application d'engrais. Ce n'est qu'au prélèvement n° 13 que les feuilles du bloc A se montrent plus lourdes que celles du bloc B ; au quinzième et dernier prélèvement il en va de même mais la différence n'est plus significative.

La supériorité du bloc A s'est donc affirmée surtout dans les dernières phases du cycle de l'ananas, celles de croissance du fruit et des rejets. C'est paradoxalement le taux d'humus plus élevé du bloc B qui semble la cause de cet affaiblissement : une quantité plus élevée d'humus de mauvaise qualité se désaturant de plus en plus a fini par nuire à la plante. Ce bloc B aurait eu besoin d'une fertilisation plus abondante que les autres ; il aurait peut-être alors fait preuve du potentiel de production le plus élevé.

D'après ces résultats, il apparaît que dans ce type de sol un pH trop acide, inférieur à 4,5, commence à être néfaste pour l'ananas.

En ce qui concerne les analyses foliaires, on n'observe jamais de différence significative entre les trois blocs A, B et C, pour aucun des cinq éléments majeurs ni pour leurs sommes, rapports ou proportions (1). Seule exception : la teneur en azote et en potassium est légèrement plus élevée dans le bloc B aux prélèvements nos 4 et 5, ce qui dénote une absorption plus rapide de l'engrais appliqué un mois auparavant ; il serait hasardeux d'y voir un effet de la capacité d'échange un peu plus élevée de ce bloc, car on n'observe rien de semblable après la deuxième application d'engrais ;

(1) Nous ne donnons pas les tableaux de moyennes par blocs des mensurations et analyses foliaires, afin de ne pas surcharger inutilement le texte.

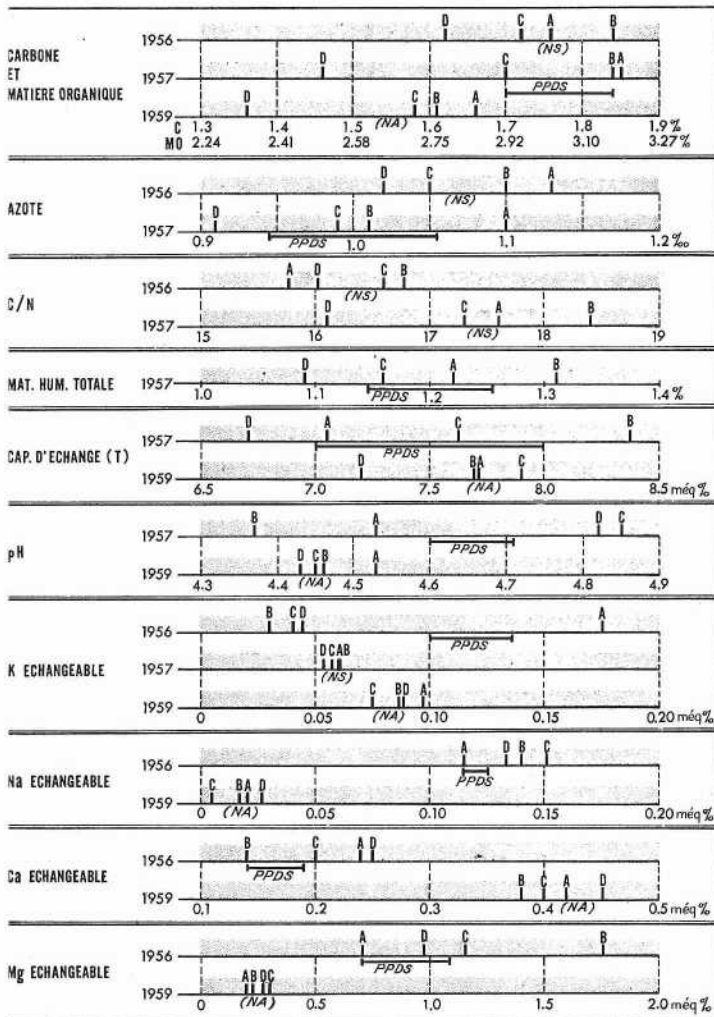


FIGURE 48 — ANALYSE DU SOL. MOYENNES PAR BLOCS.  
 PPDS = plus petite différence significative (seuil 5%)  
 NA = non analysé statistiquement  
 NS = non significatif

Pour étudier les différences entre blocs dans les caractères observés sur la plante, nous sommes contraints d'éliminer dans tous les cas le bloc D, planté avec des rejets plus gros ; et pour les observations autres que foliaires, nous devons encore éliminer le bloc C, les blocs A et B étant les deux seuls à avoir subi des traitement de floraison aux mêmes dates.

nous pensons plutôt que l'engrais a dû être distribué plus soigneusement dans ce bloc que dans les autres. Les différences hautement significatives existant en 1956 entre les teneurs en K, Ca et Mg échangeables des quatre blocs (cf. fig. 48) ne se reflètent aucunement dans la nutrition des plantes, telle qu'elle apparaît à l'analyse de l'échantillon hawaïen : comme nous le disions plus haut, les variations de composition chimique du sol de l'essai touchaient des teneurs beaucoup trop faibles par rapport aux besoins de l'ananas.

Pourtant, certaines différences de *qualité des fruits* suivant les blocs, examinées à la lumière des effets du potassium, du calcium et du magnésium dans les seize traitements testés, se rattacherait assez bien à ces différences initiales de teneurs du sol. Ainsi le degré plus élevé de coloration de l'écorce dans le bloc B à la récolte I (cf. *Fruits*, avril 1961, p. 172 et fig. 20) pourrait être dû à la richesse de ce bloc en magnésium. Mais la pigmentation rouge était, elle aussi, plus intense dans le bloc B que dans le bloc A, alors que seul le potassium a manifesté une action positive sur ce caractère : le résultat aurait dû être opposé. La relation diamètre du cœur/poids du fruit, pour laquelle nous avons trouvé le bloc A moins favorable à la récolte II (*ibid.*, p. 174 et fig. 24), est à rapprocher du rapport Ca/Mg échangeables dans ce bloc ; mais

alors on aurait dû relever le même effet à la récolte I. Quant aux caractères chimiques et organoleptiques du jus, sur lesquels les apports de potassium, calcium et magnésium ont exercé une telle influence, ils n'ont pas varié entre les deux blocs A et B. Il vaut donc mieux éliminer l'hypothèse d'une influence quelconque exercée sur les ananas par les différences de teneurs initiales du sol en cations échangeables, différences dont il ne subsistait du reste déjà aucune trace dans le sol après un an, et qui n'ont jamais agi sur la composition des feuilles.

### 3° Conclusion.

En définitive, à part le rôle probable de l'humus et de l'acidité mis en évidence dans le bloc B, les différences analytiques présentées par le sol de l'essai ne peuvent être reliées aux rares différences observées sur la plante ou le fruit et dont l'influence du poids des rejets à la plantation, des engrais reçus, ou des dates de traitement de floraison ne soit pas déjà reconnue responsable. Ou bien les liens entre les causes originelles et les effets constatés nous manquent, ou bien les causes relèvent d'un cadre plus large que celui qu'il nous a été possible d'explorer ; mais la minceur de ces effets n'aurait pas justifié une étude plus approfondie. Elle tend à justifier l'opinion suivant laquelle le sol n'est guère qu'un substrat pour l'ananas.

## III. EFFETS DES TRAITEMENTS SUR LE SOL ET DEVENIR DES ENGRAIS K-Ca-Mg

### 1° Effets sur les caractères généraux du sol.

*L'évolution du complexe organique n'a pas été influencée* par les traitements de l'essai, les doses de calcium et de magnésium notamment étant trop faibles pour agir dans ce domaine avec une intensité décelable.

On constate par ailleurs une *absence absolue de différences significatives de pH* entre les traitements, même dans la série « doses ». Il ne s'agit pas là d'un manque de résultats, mais bien de l'effet voulu des combinaisons d'engrais choisies : nous voulions étudier l'action sur la plante des éléments minéraux K, Ca et Mg, hors de tout effet indirect par action sur l'acidité ou l'alcalinité.

Les différences entre traitements obtenues à l'analyse du sol concernent exclusivement les bases échangeables ; cela facilitera l'interprétation.

### 2° Potassium.

La teneur du sol en potassium échangeable a été peu influencée par les apports, qui correspondaient suivant les traitements à des doses variant entre 0 et 0,6-0,7 milliéquivalents de K pour 100 g de sol, apportées à raison de 1/3 en septembre-octobre 1956 et 2/3 en mai 1957. L'analyse des prélèvements de sol effectués peu avant mai 1957 et l'analyse des prélèvements de 1959 révèlent des différences suivant les doses reçues ; elles sont significatives pour 1957 et le seraient sans aucun doute pour 1959 si l'étude statistique avait pu être faite cette année-là, mais les écarts entre traitements atteignent à peine le dixième des apports correspondants (cf. fig. 49). La plus grande part du potassium a donc été soit absorbée par la plante, soit perdue pour le sol dont le complexe, désa-



turé en ions calcium et fortement acide, était inapte à le retenir.

L'apport d'engrais potassiques à la plante elle-même, en épandage à l'aisselle des feuilles, se justifie donc pleinement sur ces sols typiques à ananas. Même dans le cas des jeunes plantations, où l'engrais de la pre-

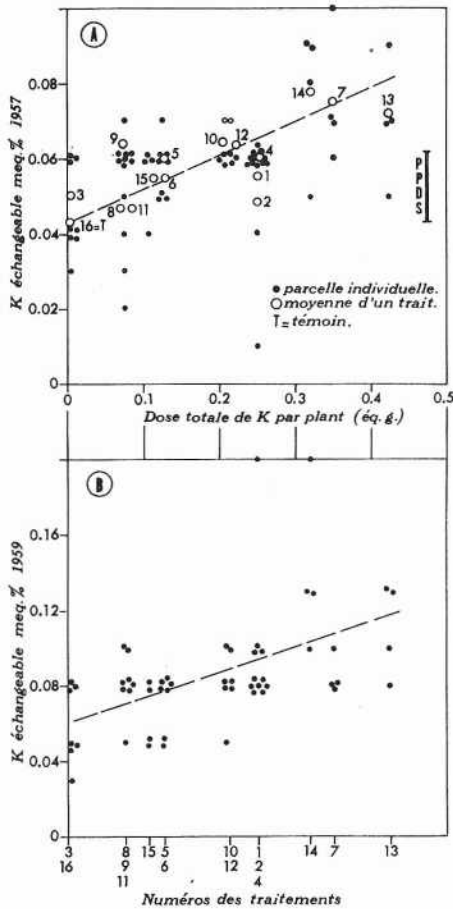


FIGURE 49 A et B — EFFET DE LA FUMURE POTASSIQUE SUR LE POTASSIUM ECHANGEABLE

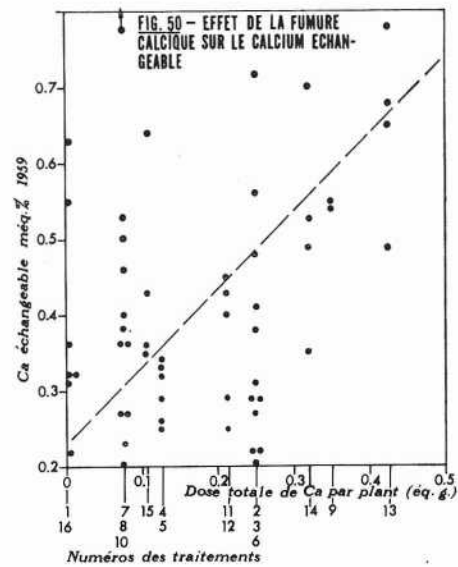
mière application est en fait déposé en partie sur le sol au pied des plants, les courbes de teneur des feuilles « D » en potassium montrent une absorption immédiate (cf. *Fruits*, déc. 1961, fig. 44-45-46 a) ; le rôle du sol doit alors être essentiellement passif, avec une phase d'échange d'ions sur le complexe (fixation puis libération) réduite ou nulle. Lors de la deuxième application d'engrais, l'absorption du potassium est encore plus brutale ; il y a tout lieu de penser que le sol est court-circuité, l'absorption se faisant directement par l'aisselle des feuilles.

Si l'on voulait apporter la potasse au sol avant la plantation, on se trouverait dans ces terrains, avec les engrais potassiques usuels, devant le dilemme suivant : ou bien en épandre des quantités très élevées à cause du fort coefficient de pertes, ou bien commencer par mettre le sol en mesure de les retenir, et pour cela y faire en particulier des apports de chaux que les résultats de l'essai contre-indiquent dès que le pH dépasse 4,5. La fumure foliaire, depuis longtemps choisie par l'expérience, est plus rationnelle.

### 3° Calcium.

L'étude de cet élément se complique du fait des proportions variables, suivant les traitements, des deux composés utilisés : l'oxyde, chimiquement actif et se fixant d'ordinaire aisément sur le complexe du sol ; et le sulfate, quasi inerte et insoluble.

Les courbes d'analyse foliaire ne manifestent tou-



tefois pas de discrimination entre ces deux formes d'apport calcique (cf. *ibid.*, fig. 44-45-46 b et p. 544, § 2°). La différence entre les traitements 8 et 10 au troisième prélèvement foliaire peut être due à une assimilation plus rapide du calcium de l'oxyde ; mais les autres différences relevées par la suite prouvent au contraire une assimilation du calcium du sulfate meilleure que celle du calcium de l'oxyde : non du fait des propriétés de ces deux composés, mais sans aucun doute du fait de l'antagonisme potassium-calcium, car elles succèdent toujours dans le temps à une absorption de

potassium. (Il se trouve, par suite des considérations exposés dans *Fruits*, févr. 1961, p. 53, § c, que les traitements où la forme oxyde domine sur la forme sulfate, pour une même dose totale de calcium, sont en même temps les plus riches en potassium ; cf. tableau I, p. 53.)

Par ailleurs, d'après les mêmes courbes, l'absorption du calcium du sol chez le témoin a diminué au cours du temps ; mais dans les autres traitements l'absorption du calcium additionnel, lorsqu'elle n'était pas entravée par l'antagonisme dû au potassium, s'est poursuivie pendant toute la vie végétative en ne s'atténuant que progressivement. Il faut donc admettre que le calcium provenant de l'oxyde et le calcium provenant du sulfate sont tous deux demeurés dans le sol, de juin 1956 à septembre 1957, sous un ou des états également assimilables pour l'ananas.

*Quel était cet état ?* Trois ans après l'épandage des produits calciques, les teneurs du sol en calcium échangeable reflètent encore les doses reçues (cf. fig. 50), peu fidèlement certes si l'on considère les chiffres un par un, mais encore intensément ; les doses s'étageant suivant les traitements entre 0 et environ 0,65 milli-équivalent de calcium pour 100 g de sol, la rétention est de l'ordre des  $\frac{2}{3}$ . Et le calcium du sulfate s'est fixé aussi bien que celui de l'oxyde sur le complexe adsorbant.

Le passage du calcium à l'état échangeable apparaît donc comme la voie normale de son absorption par l'ananas ; mais celui-ci est peu avide de calcium, l'absorbe avec parcimonie et préfère en fait en avoir très peu à sa disposition.

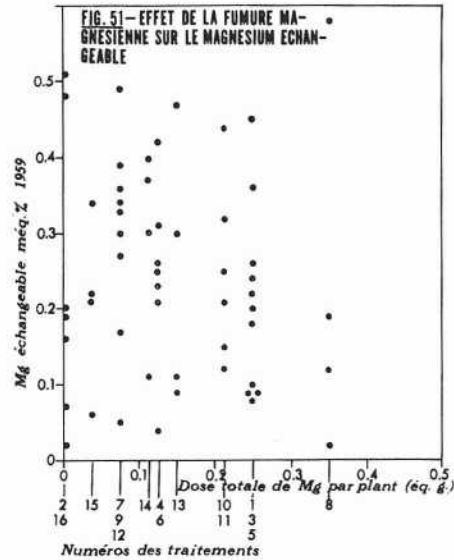
#### 4° Magnésium.

Comme le calcium, cet élément était apporté sous les deux formes, oxyde et sulfate, en proportions variables suivant les traitements ; mais le sulfate de magnésium, lui, est très soluble et on pourrait le penser beaucoup plus assimilable que l'oxyde.

Or, ici encore, l'examen des courbes d'analyse foliaire révèle l'identité de comportement des deux composés magnésiens dans le sol vis-à-vis de l'alimentation de l'ananas (cf. *Fruits*, déc. 1961, fig. 44-45-46 c et p. 554). Les traitements 1, 5 et 3, comportant une même dose totale de Mg, se classent bien dans l'ordre des proportions de sulfate dans cette dose ; mais ce classement intervient seulement après l'absorption des engrais potassiques, alors que l'absorption du magnésium a déjà atteint un même maximum dans les trois traitements ; il doit donc être attribué à l'antagonisme

potassium-magnésium, car il correspond également à l'ordre inverse des doses de potasse. D'ailleurs le classement des traitements 4 et 6, 10 et 11, 7, 12 et 9 correspondrait, lui, à une meilleure absorption du magnésium provenant de l'oxyde, s'il n'était dû en fait à l'antagonisme exercé par le calcium.

Les courbes d'analyse foliaire du témoin nous ont encore montré que l'absorption du magnésium originel



du sol diminuait peu entre le début et la fin de la vie végétative ; chez les autres traitements, l'absorption du magnésium additionnel augmentait jusqu'au cinquième mois pour ne diminuer ensuite que très progressivement, effets des antagonismes mis à part.

Quelle est la forme du magnésium disponible pour l'ananas dans le sol ? En 1959, l'analyse du magnésium échangeable (cf. fig. 51) ne fait apparaître que des différences anarchiques entre les parcelles, les teneurs étant devenues trop faibles pour la précision de la méthode de dosage : le sol est lessivé aussi bien de son contenu primitif en magnésium échangeable que du magnésium apporté par les engrais, à moins que celui-ci ne soit encore présent sous un état non échangeable. Cette uniformisation des teneurs finales en magnésium échangeable, alors que les traitements ont influé profondément sur la nutrition magnésienne de la plante, pourrait à la rigueur être mise sur le compte d'un lessivage intervenu très tardivement ; mais elle recoupe l'absence complète d'effets sur les teneurs des feuilles en magnésium, même dans les premiers mois, des différences initiales de richesse des quatre blocs en

magnésium échangeable. Ces différences atteignaient 1 méq %, alors que les doses apportées dans les traitements ne dépassaient pas une valeur correspondant à 0,5-0,6 méq. %.

La forme échangeable ne semble donc pas correspondre au magnésium utilisable par l'ananas ; celui-ci serait soit *plus labile* que le magnésium échangeable pris dans sa totalité, soit au contraire *en partie fixé* sous un état non échangeable. L'absorption plus soutenue que celle du calcium tout au long de la vie de la plante, aussi bien pour le magnésium du sol que pour celui des engrais, alors que le magnésium échangeable du sol disparaît, milite en faveur de la seconde hypothèse. L'égalité d'efficacité d'un composé magnésien soluble et chimiquement peu actif, donc a priori très assimilable et non moins lessivable, et d'un autre composé insoluble, mais tout désigné pour se fixer énergiquement sur un complexe désaturé, abonde dans le même sens ; on ne voit cependant pas quelle

transformation aura pu subir le sulfate de magnésium dans un tel sol, dès avant la saison des pluies de 1956, pour résister au lessivage.

Quoi qu'il en soit, le magnésium, soumis aux antagonismes conjugués du potassium et du calcium lorsqu'il est apporté au sol et rapidement lessivé lorsqu'il passe à l'état échangeable, aurait *tout intérêt à être apporté aux feuilles* en même temps que les engrais N-P-K, sous la forme sulfate : le même effet sur la nutrition de la plante devrait être obtenu avec une dose réduite au moins du tiers. Il sera apporté au sol, sous la forme moins coûteuse de l'oxyde ou du carbonate, seulement si le pH est inférieur ou égal à 4,5. Les chaux magnésiennes et dolomies, apportant le magnésium sous sa forme la plus économique mais accompagné d'une quantité au moins égale de calcium, seront réservées aux sols pratiquement dépourvus de ce dernier élément (comme c'était le cas ici).

#### IV. INTERRELATIONS ENTRE LES ÉLÉMENTS MINÉRAUX

##### 1° Dans la composition du sol.

Au niveau du complexe adsorbant du sol, *aucune interaction* ne peut être décelée entre les trois éléments potassium, calcium et magnésium ; s'il y en a eu, elles ont échappé aux méthodes analytiques ou ont été masquées par l'hétérogénéité du sol ; elles n'étaient par conséquent pas suffisantes pour influencer la nutrition de la plante. Nous avons vu également que les traitements de l'essai n'ont pas influé sur les autres teneurs ou propriétés du sol.

Les interactions décelées par l'analyse foliaire se présentent donc comme les résultats de phénomènes s'étant manifestés *au niveau de l'absorption* par l'ananas ou de son *métabolisme* interne.

##### 2° Nature des phénomènes d'interactions dans les plantes.

###### a) Mécanismes de l'alimentation minérale.

Les théories les plus admises sur l'absorption des minéraux (HOAGLAND, LUNDEGÅRDH, EPSTEIN, ROBERTSON (12), etc.) considèrent une de ses phases essentielles comme un *échange d'ions* entre : d'une part, la solution du sol (ou le complexe adsorbant lui-même, voire dans certains cas des minéraux peu altérés) ; d'autre part, des « accepteurs » présents dans le

cytoplasme des cellules externes de la racine. Cet échange d'ions est normalement précédé d'une *diffusion*, amenant les ions dissous à l'intérieur de la cellule, au voisinage des accepteurs, et soumise aux lois de l'osmose, de l'équilibre de Donnan, etc. Tous deux sont des phénomènes passifs, de nature physico-chimique pure ; ils interviennent pour l'entrée des ions dans n'importe quelle cellule de la plante. Leur faisant suite, le *transport actif* (vers la vacuole ou vers d'autres cellules ou organes de la plante) est la deuxième phase essentielle, conditionnée par l'activité métabolique du végétal. Selon les cas et les interprétations, les ions seraient pris en charge soit par des chaînes d'accepteurs immobiles donnant lieu à échange de proche en proche, soit surtout par des accepteurs mobiles (« vecteurs » ou « convoyeurs ») ; il ne s'agit plus ici seulement d'échanges d'ions, mais aussi de réactions chimiques et même, plus probablement, enzymatiques.

Les développements de cette théorie sont plus complexes pour les anions que pour les cations. Mais nous avons surtout à nous occuper de ces derniers, et nous en resterons d'ailleurs au schéma simple que nous venons d'évoquer ; il permet déjà de fournir une explication claire à certains faits.

###### b) Sélectivité à l'absorption et antagonismes.

Les accepteurs et convoyeurs de cations sont eux-mêmes des produits du métabolisme ; ils peuvent

comme tels être de natures *diverses* et se trouvent en général en quantités *limitées* par rapport aux ions à absorber.

Les *antagonismes de compétition* sont la conséquence immédiate de cette limitation. En dehors de toute manifestation de sélectivité, les accepteurs fixent les divers cations dans des proportions identiques à celles des cations libres dans leur voisinage immédiat ; si ce milieu renferme autant d'ions  $\text{Ca}^{++}$  que d'ions  $\text{Mg}^{++}$ , un lot d'accepteurs capable de fixer 100 ions bivalents se saturera avec 50 ions  $\text{Ca}^{++}$  et 50 ions  $\text{Mg}^{++}$ , au calcul des probabilités près. Si nous ajoutons du calcium de manière à en tripler la concentration dans le milieu, la concentration du magnésium n'y diminuera pas ; mais le rapport  $\text{Ca}/\text{Mg}$  étant passé de 1/1 à 3/1, un second lot d'accepteurs identique au premier fixera 75 ions  $\text{Ca}^{++}$  et 25 ions  $\text{Mg}^{++}$  : l'absorption du magnésium aura diminué de moitié par suite de la compétition calcium-magnésium pour les places disponibles. C'est un phénomène purement statistique.

Mais deux complications peuvent surgir, par lesquelles s'introduit *la sélectivité* :

1) Certains ions sont *mieux armés* que d'autres pour la compétition, de par leur mobilité (ils diffusent plus rapidement au voisinage des accepteurs) ou de par leur charge électrique (ils se fixent plus énergiquement sur les accepteurs). Leur diffusibilité inégale à travers la membrane cellulaire peut tenir à leurs propriétés intrinsèques, ou à une spécificité de la plante opposant une résistance plus ou moins grande au passage des divers ions.

2) Les caractères chimiques et structuraux des molécules d'accepteurs, et bien plus encore de convoyeurs, *favorisent* l'absorption et le transport de certains ions par rapport aux autres. Il est aisé de concevoir que certains des accepteurs, anions organiques complexes, aient leurs valences libres placées de telle sorte que seuls les cations monovalents puissent s'y loger ; ou qu'ils aient au contraire, comme l'éthylène-diamine-tétraacétate-disodique (complexon III), une affinité très forte à l'égard des alcalino-terreux et négligeable à l'égard des alcalins. La connaissance de l'affinité chimique, vis-à-vis de chaque cation, des divers accepteurs et convoyeurs présents dans une plante donnée permettrait d'expliquer presque entièrement la sélectivité manifestée par cette plante, si un tel inventaire était réalisable. Ces différences d'affinités se montrent telles dans certains cas qu'il n'y a plus de compétition, les deux cations suivant chacun une chaîne différente de convoyeurs. Plus simplement, remarquons que par exemple les sels de potassium, de magnésium et de

calcium d'un même acide organique peuvent être les uns solubles, les autres insolubles ; si cet acide existe en quantité abondante dans la sève, il servira au transport des ions avec lesquels il forme des sels solubles et, débarrassant dans les racines les accepteurs de ces ions seulement, il en favorisera l'absorption par contrecoup.

### c) *Autres interactions.*

Puisque les accepteurs et convoyeurs sont des produits du métabolisme, les éléments minéraux absorbés précédemment, qu'ils soient anions ou cations, peuvent en modifier la quantité et la diversité par l'intermédiaire de leurs effets sur la physiologie de la plante. Toute la série des interactions autres que de compétition trouve là une partie de ses origines et de sa complexité. Il y a *interaction négative non compétitive* lorsqu'un excès d'un élément, par un effet s'apparentant à une manifestation de toxicité, réduit la source des accepteurs ou convoyeurs nécessaires à l'absorption d'un ou plusieurs autres éléments ; ou au contraire lorsqu'une déficience, en bloquant une réaction essentielle, réduit l'utilisation finale d'un ou plusieurs autres éléments, provoquant une saturation de toute la chaîne des accepteurs et convoyeurs correspondants. Il y a *interaction positive* lorsque l'absorption accrue d'un élément favorise la production des accepteurs et convoyeurs d'un ou plusieurs autres éléments, ou entrave l'utilisation finale de ceux-ci au-delà du tissu analysé ; ou encore lorsqu'une déficience a pour effet de réduire la source des accepteurs et convoyeurs nécessaires à un ou plusieurs autres éléments.

Ces types d'interactions supposent une forte spécificité des accepteurs et convoyeurs, et ne peuvent donc normalement que dans une faible mesure concerner les ions sujets aux antagonismes de compétition. Ils dominent surtout les relations entre anions et cations, et aussi les relations entre anions, ces derniers étant soumis à une sélectivité beaucoup plus forte que les cations.

*L'effet de dilution* est un cas particulier d'interaction négative non compétitive ; il se produit lorsque l'absorption accrue d'un élément augmente la croissance sans que la production de certains accepteurs et convoyeurs suive le même rythme. Alors que l'absorption des éléments correspondant à ces accepteurs et convoyeurs ne diminue pas et augmente même en réalité, l'analyse de la plante peut faire croire à tort à un antagonisme parce que la dilution de ces éléments dans une masse végétale plus importante en a fait baisser la concentration. Il y a alors interaction

positive au niveau des quantités totales d'éléments absorbés, interaction négative au niveau des concentrations (conservant pour une part son caractère compétitif lorsqu'il s'agit d'éléments utilisant les mêmes accepteurs que le responsable de cet effet de dilution).

#### d) *Portée pratique.*

Dans tous les cas, les conséquences physiologiques ultérieures pour la plante des diverses interactions seront celles *des concentrations effectivement atteintes* par les divers éléments minéraux dans ses tissus, quels que soient le sens et la nature des interactions ayant permis d'y aboutir : positives ou négatives, par compétition ou par effet de dilution, etc. (Cela n'exclut d'ailleurs pas la possibilité de nouvelles interactions entre éléments au niveau de leur utilisation finale par les processus vitaux.) Mais la connaissance de ces mécanismes intermédiaires est nécessaire à qui veut agir sur la vie d'une plante par le moyen de son alimentation minérale.

Notons en outre que nombre d'effets des conditions de végétation ou du climat sur la nutrition minérale *s'exercent par les mêmes voies* que les interactions entre éléments minéraux : tout ce qui agit sur la photosynthèse, la respiration, etc., modifie quantitativement et qualitativement les chaînes d'accepteurs et de convoyeurs, et les réactions finales d'utilisation des ions ; la température du sol agit sur leur mobilité, le pH modifie les échanges d'ions ; etc. *L'état des éléments minéraux dans le sol* influe conjointement avec leur concentration et les autres conditions pédologiques sur la première étape de l'absorption, celle de diffusion et d'échange d'ions ; même si celle-ci ne conditionne pas entièrement la suite de l'alimentation minérale, elle lui confère une orientation et y introduit des facteurs limitants.

### 3° Application à l'ananas.

A la lumière de ces notions, nous comprendrons mieux ce qui s'est passé dans l'alimentation minérale de nos ananas. Des éléments minéraux étudiés, nous connaissons :

— l'état initial : quantités fournies par les engrais, présence dans le sol sous certaines formes à des concentrations qui ont été déterminées ;

— un état final : présence dans la partie basale blanche de la feuille « D », à des teneurs qui ont été elles aussi déterminées.

Le passage de l'un à l'autre état est l'œuvre de deux

processus successifs : *l'absorption et un transport*. Les analyses foliaires, grâce à leur répétition fréquente, nous ont permis de faire dans l'article précédent l'étude *cinétique* (mouvements à travers le tissu foliaire analysé) et *dynamique* (relations avec la croissance foliaire) de chaque élément tour à tour ; nous avons en même temps constaté des différences dans la cinétique et la dynamique des trois éléments potassium, calcium, magnésium et signalé au passage toutes les interactions décelables. Les indications fournies par cette étude descriptive nous poussent maintenant à chercher une explication plausible à l'ensemble des faits démontrés, c'est-à-dire à formuler des *hypothèses sur les aspects des mécanismes d'absorption et de transport particuliers à l'ananas, en relation avec son sol*.

#### a) *Interactions des cations sur l'azote et le phosphore.*

Nous n'en avons relevé qu'une et elle est douteuse : les teneurs en azote augmentent avec la dose de potasse reçue, dans une faible marge et non significativement, au moment où les teneurs en potassium atteignent leur maximum à la suite de la première application d'engrais. A part cela ni l'azote ni le phosphore ne sont influencés par les traitements de l'essai ; mais cette absence d'interaction est tout aussi intéressante. En effet, lorsqu'un traitement stimule la croissance foliaire il devrait normalement faire diminuer les teneurs en tous les éléments autres que ceux en cause, par effet de dilution.

1) Puisque le phosphore « suit » toujours parfaitement, ce peut être grâce à une augmentation du débit de sa chaîne d'absorption et de transport, soit qu'elle ait fonctionné au ralenti auparavant, soit qu'elle bénéficie d'une synthèse d'accepteurs et de convoyeurs supplémentaires. Cette activation ou ce renforcement seraient *des effets des réactions de croissance* de la plante à l'augmentation de teneur en K, Ca ou Mg (dans le cas de l'azote après la première application d'engrais ces effets seraient même un peu plus prononcés qu'il n'était nécessaire, si l'on en croit les chiffres). Le coefficient d'absorption de l'azote et du phosphore fournis par les engrais serait alors limité dans une certaine mesure par le niveau de la nutrition cationique.

2) La non-diminution des taux d'azote et de phosphore, au lieu d'être l'effet d'un approvisionnement accru parallèlement à une demande accrue, peut aussi correspondre à une non-satisfaction de cette demande : *la partie basale blanche de la feuille « D »* serait un goulot d'étranglement pour la nutrition en azote et phosphore des tissus verts, dans lesquels l'effet de dilution

se manifesterait sans répercussion sur les processus antérieurs d'absorption et de transport jusqu'à l'échantillon analysé.

Les deux hypothèses ont sans doute une part de vrai. A titre de test, nous avons pu effectuer le dosage de l'azote sur la partie basale blanche et sur une portion de la partie verte des mêmes feuilles « D », au prélèvement n° 14 ; il n'y a toujours aucune différence significative dans la partie blanche (teneurs comprises entre 1,22 et 1,33 %), mais dans la partie verte les traitements se classent ainsi :

témoin n° 16 :	1,39 %
traitement n° 3 :	1,25 %
tous autres traitements :	1,10 à 1,19 %

(p. p. d. s. à 5 % = 0,10, à 1 % = 0,13)

L'effet de dilution est certain, mais ne suffit pas à différencier les traitements autres que le 3 et le 16 les uns des autres.

Une constatation s'impose en tout cas : l'azote, bien que fourni sous forme de cation (ammoniacal), et peu susceptible de s'être nitrifié avant de pénétrer dans la plante puisque appliqué aux feuilles, n'entre aucunement en compétition avec les autres cations. Ou bien il n'utilise pas les mêmes accepteurs et convoyeurs que ceux-ci, ou bien il se transforme dès sa diffusion dans les tissus.

#### b) Interactions de l'azote et du phosphore sur les cations.

Les traitements de l'essai comportant tous par définition les mêmes doses d'azote et de phosphore, seule ici l'évolution du témoin peut nous fournir des indications. Ses teneurs en cations augmentent après les deux applications d'engrais N-P, surtout les teneurs en Ca et Mg la première fois, surtout la teneur en K la seconde fois (cf. *Fruits*, déc. 1961, fig. 46) ; mais nous ne pouvons affirmer qu'il s'agit là d'une interaction, car l'engrais était apporté aux moments des changements de saison, susceptibles de modifier grandement l'activité des ions dans le sol et l'orientation de la physiologie de la plante. On pourrait mettre en cause simultanément :

— une meilleure disponibilité des cations dans le sol à ces périodes de transition, intéressant surtout Ca et Mg à la fin des pluies, K à la fin de la saison sèche. L'augmentation du potassium assimilable par dessiccation du sol est un fait mentionné par plusieurs auteurs (8, 13), et la sécheresse a été particulièrement intense en 1957 ;

— une meilleure diffusion de Ca et Mg dans le cyto-

plasme lorsque la racine retrouve une respiration normale après l'hivernage, une meilleure diffusion de K lorsqu'elle se réhydrate après la sécheresse (avec ou sans intervention de N et P dans ces modifications) ;

— une production accrue ou une activation d'accepteurs et de convoyeurs, sous l'influence des réveils végétatifs causés par les changements de saison et renforcés par l'engrais.

La coïncidence entre ces augmentations de teneurs en cations et la reprise de la croissance foliaire interdit ici une quatrième hypothèse : accumulation de Ca et Mg ou de K dans la base de la feuille au détriment des parties vertes. Nous reviendrons sur les trois premières dans le paragraphe suivant.

#### c) Interactions entre les trois cations.

1) *Dans leur absorption par les racines seules.* Nous avons constaté (*Fruits*, déc. 1961, p. 554, § 1<sup>o</sup> a) une réciprocity complète des antagonismes avant le premier apport d'engrais, lorsque les plants d'aucun traitement ne sont encore alimentés par les feuilles ; nous avons relevé également la faiblesse du coefficient de variation de la somme K + Mg + Ca à tous les prélèvements foliaires (5 à 9 %, une seule exception = 12 %) comparé à ceux de K, Mg et Ca. Nous pouvons déduire de cela que la plupart des accepteurs de cations de la racine d'ananas servent *indifféremment* à l'absorption du potassium, du calcium et du magnésium : elle ne posséderait que peu ou pas d'accepteurs spécifiques.

La courbe de teneur foliaire en K + Mg + Ca chez le témoin montre que l'abondance des accepteurs et (ou) l'activité des mécanismes d'absorption dans leur ensemble varient d'un mois à l'autre, en même temps sans doute que la disponibilité des cations dans le sol. Les courbes de teneurs et les proportions de K, Mg et Ca montrent d'autre part qu'une *sélectivité permanente* permet au potassium d'abord, au magnésium ensuite, d'être mieux absorbés et transportés que le calcium ; K, puis Mg diffusent sans doute mieux que Ca dans le cytoplasme (et sont peut-être plus mobiles dans le sol également), et leur facilité décroissante de transport est à rapprocher des solubilités décroissantes des sels organiques de ces trois métaux.

Lorsque les concentrations en cations disponibles dans le sol sont faibles, les accepteurs de la racine ne peuvent être saturés ; la nutrition cationique se ralentit, et en même temps les effets de compétition ne peuvent plus se manifester. Nous le constatons chez le traitement 3, entre les prélèvements 7 et 12 (saison

sèche), par comparaison avec le témoin : le potassium ne subit alors plus l'antagonisme du calcium et du magnésium. Cet antagonisme est par contre net aux prélèvements 5 et 13-15, lors des réveils végétatifs correspondant aux époques de transitions climatiques ; la *capacité d'échange de cations (C. E. C.) des racines* est donc au moins partiellement saturée à ces moments-là. L'absorption accrue de cations que nous constatons alors correspond certainement à une augmentation de la C. E. C. par suite de la reprise d'activité physiologique de la plante, renforcée par l'engrais N-P, mais une augmentation moins forte que celles de la *disponibilité des cations dans le sol* et de leur *diffusibilité dans le cytoplasme*. Comme nous le disions ci-dessus,

ces deux phénomènes peuvent très bien favoriser soit Ca et Mg, soit K suivant qu'il s'agit de l'une ou l'autre période de transition ; on peut concevoir également que le transport du potassium de la racine à la base de la feuille « D » soit favorisé par les conditions physiologiques de la plante lors de la reprise des pluies et de l'épandage d'engrais N-P concomitant.

2) *Avec intervention de l'alimentation foliaire.* Le mode d'application des engrais potassiques vient perturber la réciprocité des antagonismes, car le potassium additionnel *échappe à la phase compétitive d'échange d'ions sur la racine*. La proportionnalité presque toujours observée entre la hausse de teneur en K et

<p>Juin à septembre (prélèvements 1 à 3) : <i>saison des pluies.</i></p>	<p>Racines peu abondantes, C. E. C. saturée.</p>	<p>Absorption incertaine, chute des teneurs foliaires. Réciprocité des antagonismes.</p>
<p>Octobre (prélèvement 4).</p> <p style="text-align: center;"><i>Apport d'engrais NPK</i></p>	<p>Faibles disponibilités en cations du sol détrempé ; C. E. C. des racines non saturée sauf dans les parcelles ayant reçu les plus fortes doses de Ca et Mg.</p>	<p>Reprise de l'absorption, début de hausse des teneurs foliaires.</p> <p>Aucun antagonisme sauf chez les traitements 13 et 14.</p> <p>Réveil végétatif.</p>
<p>Octobre-novembre (prélèvements 4 à 5) : <i>fin des pluies.</i></p>	<p>Disponibilités accrues des cations dans le sol, surtout Ca et Mg ; C. E. C. des racines augmentée et saturée partiellement (suivant les traitements).</p>	<p>Forte absorption de cations.</p> <p>Antagonisme de Ca sur Mg (et Mg sur Ca ?) lorsque les doses sont suffisantes.</p> <p>Antagonisme de Ca et Mg sur K du sol (et retard d'absorption de K de l'engrais) aux doses les plus élevées.</p>
<p>Novembre à janvier (prélèvements 5 à 7) : <i>bonnes conditions climatiques.</i></p>	<p>C. E. C. des racines saturée par Ca et Mg du sol, et surtout par K interne provenant de l'engrais.</p>	<p>Croissance foliaire active, renforcée par l'effet des engrais (réaction de croissance), d'où chute des teneurs foliaires malgré la continuité de l'absorption.</p> <p>Antagonisme très marqué de K sur Ca et Mg.</p> <p>Antagonisme de Ca sur Mg (et de Mg sur Ca ?).</p>
<p>Février à début juin (prélèvements 8 à 12) : <i>sécheresse accentuée.</i></p> <p style="text-align: center;"><i>Reprise des pluies, apport d'engrais N-P-K</i></p>	<p>Faibles disponibilités du sol en cations, et le potassium des engrais a été assimilé par les tissus nouveaux : C. E. C. des racines non saturée.</p>	<p>Croissance foliaire en régression.</p> <p>Absorption ralentie.</p> <p>Les effets des antagonismes subis précédemment s'estompent</p> <p>Réveil végétatif.</p>
<p>Juillet (prélèvement 13).</p>	<p>Brusque libération de potassium rendu assimilable par la dessiccation du sol. Réhydratation de la racine, la rendant plus perméable au potassium. C. E. C. plus ou moins saturée suivant les traitements.</p>	<p>Reprise de l'absorption, très brutale pour le potassium.</p> <p>Antagonisme très marqué de K sur Ca et Mg.</p> <p>Antagonismes de Ca et Mg sur K aux plus fortes doses (traitements 3 et 13).</p> <p>Antagonisme de Ca sur Mg (et de Mg sur Ca ?).</p>
<p>Juillet à septembre (prélèvements 13 à 15) : <i>saison des pluies.</i></p>	<p>Faibles concentrations en cations disponibles dans le sol saturé d'eau ; mais activité de la racine ralentie, d'où C. E. C. restant assez saturée.</p>	<p>Reprise de la croissance foliaire sous l'effet des éléments nutritifs absorbés.</p> <p>Mêmes antagonismes, allant s'atténuant.</p>

la dose reçue, l'absence à de rares exceptions près d'effet antagoniste de la part du calcium et du magnésium, prouvent que le potassium pénétrant par l'aisselle des basses feuilles trouve assez de convoyeurs libres pour assurer son transport de là jusqu'à la feuille « D ». Donc, quand l'ananas s'alimente naturellement par ses racines sur notre type de sol, son système interne de *transport des cations ne fonctionne pas à plein* : il n'est pas saturé, même lorsque la C. E. C. des racines l'est. Il faut les niveaux de nutrition calcique ou magnésienne des traitements 8, 9 et 13 au prélèvement n° 5, ou les doses de potasse des traitements 7 et 13 lors du deuxième épandage d'engrais, pour qu'un retard se manifeste dans ce transport du potassium (cf. *Fruits*, déc. 1961, p. 541-542). Ce retard ne correspond à une saturation durable que dans le cas du traitement 13 au deuxième apport d'engrais, où une très forte dose de potassium vient s'ajouter à un niveau calcique déjà élevé. En outre, les effets observés au prélèvement n° 5 pourraient être dus à ce qu'une partie du potassium passe par le sol et pénètre dans la plante par les racines.

L'enrichissement en potassium du milieu interne de la plante provoque une poussée de croissance déjà susceptible de faire baisser les teneurs foliaires en calcium

et magnésium par simple effet de dilution. De plus, il court-circuite et sature pour une part la chaîne de transport des cations et, dans la mesure où ceux-ci sont interchangeables sur les convoyeurs, il gêne par là le transport de Ca et Mg depuis la racine. Enfin, il occasionne au niveau des accepteurs *une compétition à sens unique* entre les ions K de l'intérieur et les ions Ca et Mg de l'extérieur. Il réduit ainsi considérablement l'alimentation calco-magnésienne. Les antagonismes entre le calcium et le magnésium jouent alors ou ne jouent pas, suivant que la C. E. C. des racines se trouve ou non saturée par les cations du sol, par le potassium venant des feuilles, et par le contrecoup de la saturation partielle des convoyeurs.

Le calcium, plus fortement électro-positif que le magnésium, freine efficacement l'absorption de celui-ci dès qu'il entre en compétition avec lui. Le magnésium se montre peu capable de freiner l'absorption du calcium dans ce cas, mais il bénéficie d'une disponibilité meilleure dans le sol, d'une plus grande mobilité (diffusion dans le cytoplasme), et peut sans doute utiliser des convoyeurs auxquels le calcium n'a pas accès ; c'est pourquoi, malgré l'efficacité des antagonismes subis de la part du potassium et du calcium, sa teneur dans la feuille varie dans des limites plus étendues et avec un minimum moins bas que celle du calcium.

## CONCLUSION

En résumé, l'alimentation de l'ananas en potassium, calcium et magnésium dans les conditions de notre essai se schématiserait de la manière suivante :

L'essentiel de la nutrition cationique de l'ananas peut donc s'expliquer au moyen de quelques mécanismes simples. Ceux-ci restent hypothétiques en l'état actuel de nos connaissances, tant en ce qui concerne la plante (interchangeabilité des trois cations vis-à-vis de la majorité des accepteurs de la racine, transport plus facile de K que de Mg et de Ca, ...) que le sol (forme du magnésium utilisable par l'ananas, « disponibilité » plus ou moins grande des divers cations suivant les saisons, ...). Il y a là matière à d'intéressants travaux, dont la voie se trouve maintenant tracée et déblayée.

Le sol ne se comporte *pas tout à fait comme un support inerte* à l'égard de l'ananas. Un sol chimiquement pauvre n'est pas un inconvénient, car les éléments minéraux nécessaires peuvent être fournis aisément à la plante elle-même, par les feuilles : c'est la pratique courante pour N, P, S, K et les oligo-éléments, ce le sera pour Mg ; il vaut mieux un sol dépourvu de tout qu'un sol riche en calcium. L'ananas pousse très bien sur substrat inerte arrosé de solution nutritive ou sur milieu liquide ; mais on doit alors, en plus de tous les éléments minéraux, lui assurer une alimentation continue en eau et veiller à l'aération des racines. Au champ, la fourniture d'eau et d'air aux racines est l'affaire du sol (même en cas d'irrigation artificielle) ; des propriétés physiques assurant un régime hydrique et une aération corrects ne peuvent être celles d'un substrat inerte du point de vue de la nutrition minérale de la plante, elles entraîneront toujours au moins une « ingérence » du sol dans les effets d'une alimentation même supposée uniquement foliaire.

Dans la mesure même où il ne peut et ne doit pas être inerte, ce substrat est *susceptible d'une dégradation* à laquelle il faut prendre garde. Les événements nous ont empêché de poursuivre l'étude du sol de l'essai H 56 au-delà du premier cycle



de culture ; mais la Station de l'I. F. A. C. en Côte d'Ivoire a installé en 1960 un essai dit d'« épuisement » comportant l'étude d'un sol à ananas soumis à différents types de fertilisation, à partir de sa première mise en culture et pendant un nombre de cycles indéfini : il y a beaucoup à attendre de cet essai.

\* \* \*

Les calculs statistiques ont été effectués par le Bureau spécialisé de l'I. F. A. C. à Paris, sous la direction de P. LOSSOIS. La fin de cette étude sera publiée dans le prochain numéro.

#### BIBLIOGRAPHIE

- (1) AUBERT (G.). — Les sols des régions intertropicales. *Circ. Inf. Doc. comm. Potasse Alsace*, n° 56, p. 204-209, 1956.
- (2) CERIGHELLI (R.). — La production commerciale de l'ananas en Malaisie britannique. *Fruits*, vol. 10, n° 11, p. 499-513, 1955.
- (3) CHAMPION (J.), DUGAIN (F.), MAIGNIEN (R) et DOMMERGUES (Y.). — Les sols de bananeraies et leur amélioration en Guinée. *Fruits*, vol. 13, n° 9-10, p. 415-462, 1958.
- (4) COLLINS (J. L.). — *The pineapple. Botany, cultivation and utilization*. New York, 1960.
- (5) DUNSMORE (J. R.). — The pineapple in Malaya. *Malayan agric. J.*, vol. 40, n° 3, p. 159-187, 1957.
- (6) HOPKINS (E. F.), PAGAN (V.) and RAMIREZ-SILVA (F. J.). — Iron and manganese in relation to plant growth and its importance in Puerto Rico. *J. Univ. Puerto Rico (Univ. Sta.)*, vol. 28, n° 2, p. 43-101, 1944.
- (7) JOHNSON (M. O.). — Manganese chlorosis of pineapples : its cause and control. *Hawaii Agric. Exp. Sta. Bull.*, n° 52.
- (8) LUEBS (R. E.), STANFORD (G.) and SCOTT (A. D.). — Relation of available potassium to soil moisture. *Proc. Soil Sci. Soc. Amer.*, vol. 20, n° 1, p. 45-50, 1956.
- (9) MARTIN-PRÉVEL (P.) et GUIMBERTEAU (L.). — Influence du substrat, du mode d'irrigation et de la variété dans les cultures d'ananas sur milieu artificiel. *Fruits*, vol. 16, n° 5, p. 251-253, 1961.
- (10) MONNIER (G.). — *Station Centrale de l'I. F. A. C. Rapport annuel 1954*, septième partie, p. 16-22.
- (11) PY (C.) et TISSEAU (M.-A.). — *La culture de l'ananas en Guinée, manuel du planteur*. I. F. A. C., 1957.
- (12) ROBERTSON (R. N.). — The uptake of minerals, in : *Handbuch der Pflanzenphysiologie*, Band IV, p. 243-279. Springer-Verlag, 1958 (W. Ruhland).
- (13) SCOTT (T. W.) and SMITH (F. W.). — Effect of drying upon availability of potassium in Parsons silt loam surface soil and subsoil. *Agronomy J.*, vol. 49, n° 7, p. 377-381, 1957.
- (14) TKATCHENKO (B.). — Écologie de l'ananas dans le Sud-Indo-chinois. *Fruits d'Outre-Mer*, vol. 3, n° 1, p. 4-12, 1948.

# FLY-TOX

vous propose

1° POUR LA LUTTE CONTRE LES COCHENILLES DE L'ANANAS :

**L'ESTIVOL** liquide (à 20 % de Diazinon)

- Grande pénétration.
- Pouvoir de choc élevé.
- Toxicité réduite pour l'homme.
- Possibilité de traitements mixtes (avec GÉSAPRIME en particulier).

2° POUR LE DÉSHERBAGE SÉLECTIF DE L'ANANAS :

**Le GÉSAPRIME** (à 50 % d'Atrazine)

- Sélectivité parfaite.
- Efficacité herbicide très étendue.
- Très grande rémanence.
- Peut également être utilisé sur Cannes, Bananes, Agrumes, etc...

**Société LE FLY-TOX** — Département Exportation, B. P. 51 — GENNEVILLIERS (Seine)