

UN ESSAI « VARIANTES SYSTÉMATIQUES » SUR BANANIER

par P. MARTIN-PRÉVEL

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

UN ESSAI « VARIANTES SYSTÉMATIQUES »
SUR BANANIER

par P. MARTIN-PRÉVEL

Fruits, vol. 24, n° 4, avril 1969, p. 193 à 215.

RÉSUMÉ. — Essai sur bananier 'Petite Naine' ('Dwarf Cavendish') comparant sur trois cycles de production un témoin et six traitements engrais à dominante N, P, S, K, Ca ou Mg, avec observations et échantillonnages foliaires selon les étapes du développement définies par J. Dumas.

On étudie les résultats concernant le rendement, la qualité du fruit, la croissance de la plante, son analyse foliaire, l'analyse (incomplète) du sol. Leur confrontation, avec l'analyse foliaire comme pivot, précise les conditions de validité de la méthode d'expérimentation utilisée et apporte de nouvelles données sur les rôles physiologiques de l'azote, puis du potassium (et des deux autres cations) chez le bananier.

Nous présentons les résultats d'un essai entrepris en 1958 par J. DUMAS à la Station centrale des Cultures fruitières tropicales de Kindia (Guinée). Quand toutes les données en furent rassemblées, le cultivar 'Petite Naine' (= 'Dwarf Cavendish') avec lequel cet essai avait été mis en place ne représentait plus qu'une part minime de la production bananière des pays francophones ; aussi leur exploitation fut-elle différée, faute d'intérêt agronomique immédiat.

Mais le Colloque de Tananarive () vint fournir aux chercheurs des divers Instituts l'occasion de confronter leurs méthodes. Tout en collaborant avec d'autres membres de l'I. F. A. C. à quatre notes sur les cultures hydroponiques et sur le diagnostic foliaire des agrumes et du palmier dattier — travaux déjà relatés ou à paraître dans *Fruits* — le Service de Physiologie en présenta trois sur ses voies complémentaires d'étude de la nutrition minérale par analyse de la plante, avec le bananier comme exemple.*

*Un premier document (16) résuma la méthode des bilans dynamiques élaborée à l'occasion des Essais Sol-Plante, connus de nos lecteurs (14). Le second, reproduit dans le précédent numéro de *Fruits*, exposa l'aspect pratique du diagnostic foliaire du bananier tel qu'il est actuellement employé (15). Le troisième, intitulé « Principaux résultats d'un essai Variantes systématiques sur bananier », fut un extrait du présent travail.*

Cet essai représente en effet, à notre connaissance, la seule application au bananier de la méthode de de M. V. HOMÈS (8). Par ailleurs la technique d'observations et d'analyses foliaires qu'il mettait en œuvre fut une étape, maintenant dépassée mais essentielle, vers celle exposée dans la note (15) ; nos lecteurs auront ainsi la transition avec les premiers travaux de cet ordre publiés il y a déjà dix ans (6, 7). Ils verront surtout un exemple des apports déterminants de l'analyse foliaire à la connaissance d'une plante difficile, quand elle est effectuée régulièrement sur des essais agronomiques et intimement liée à l'étude de la croissance. Cet apport méthodologique dépasse de loin le cas particulier du bananier, cultivar 'Petite Naine'.

(*) Colloque sur la fertilité des sols tropicaux, Tananarive, 19-25 novembre 1967. Compte rendu par J. CHAMPION, *Fruits*, vol. 23, n° 1, p. 45-50, janv. 1968.

I. EXPÉRIMENTATION

1. Traitements de fertilisation.

Les principes de la méthode des variantes systématiques sont supposés connus du lecteur. Dans le cas contraire il pourra se reporter au résumé que nous en avons donné (11) ou aux ouvrages de M. V. HOMÈS (8, 9).

L'essai comprenait un témoin **T** sans engrais et six traitements étudiant les équilibres anionique et cationique en symétrie directe. L'étude du rapport anions/cations et celle de la dose totale étaient prévues pour un essai ultérieur sur même terrain ; pour cette première tranche les doses d'anions et de cations avaient été respectivement fixées à 25 et 16,5 équivalents-grammes par bananier et par cycle de production ($A/C = 1,5$).

Traitements **N, P, S** : équilibres du type 70-15-15, soit 17,5 éq-g de l'anion dominant et 3,75 éq-g de chacun des deux autres, avec équilibre cationique 39-43-18 dans les trois cas.

Traitements **K, Ca, Mg** : équilibres 70-15-15 également, soit 11,5 éq-g du cation dominant et 2,5 éq-g de chacun des deux autres, avec équilibre anionique 42,5-15-42,5 dans les trois cas.

Les ions phosphoriques étaient comptés trivalents. L'azote, bien que compté comme anion quelle que soit sa forme d'application, devait être distribué moitié sous forme nitrique, moitié sous forme ammoniacale (valence 1 dans les deux cas) : mais chez **S** cette proportion ne put être respectée, la dose d'ion sulfate dépassant le total des cations K, Ca et Mg.

Le tableau I (voir dépliant) donne les doses par bananier et par cycle déduites de ce schéma.

2. Implantation, calendrier.

L'essai fut planté du 16 au 24 juin 1958 (le 21 juin sera pris comme date origine pour les calculs), en blocs incomplets : 4 répétitions en 7 blocs de 4 parcelles. Chaque parcelle contenait 30 bananiers observés, plus des bordures recevant des demi-doses d'engrais des parcelles contiguës. Dispositif en lignes jumelées à $3 \times 2 \times 1,8$ m, soit 2 222 plants/ha, avec apport à la plantation de 50 kg de fumier artificiel bien décomposé par plante. Épandages d'engrais sur toute la surface du sol.

Les doses d'engrais de chaque cycle devaient être fractionnées en dix apports égaux répartis sur la

période végétative, à intervalles de 20 jours. Des difficultés d'approvisionnement ont perturbé ce programme : voir les petites flèches au bas de la fig. 3, indiquant les dates réelles et les « rattrapages » ; en outre l'urée a parfois dû remplacer le nitrate d'ammoniac. La fertilisation du 1^{er} cycle a commencé en retard, d'où intervalles de 18 jours seulement. A cause des différences de précocité, dont ce calendrier pré-établi ne tenait pas compte, la période d'application des engrais au 2^e cycle s'est étalée du début de cycle à un mois avant récolte pour les meilleurs traitements, de deux mois avant le début de cycle à la floraison pour les plus attardés. Au 3^e cycle, les apports d'engrais n'ont pu commencer qu'un mois et demi après le départ des rejets dans les meilleurs traitements, mais un mois avant le début du cycle des traitements les plus en retard. En raison du décalage croissant des précocités, accompagné d'une dispersion non moins croissante au sein de chaque traitement, on a été obligé pour terminer ce 3^e cycle de donner à chaque bananier un dixième de dose tous les 20 jours jusqu'à sa récolte ; cela a avantagé les traitements les plus tardifs, qui ont reçu jusqu'à 19 épandages (le dernier en date du 8 mai 1961), tandis que les plus précoces étaient récoltés en moyenne au 14^e épandage (décembre 1960).

On trouvera dans le tableau II (voir dépliant) un résumé des données climatologiques.

3. Observations et échantillonnages.

Tout au long de l'essai, mensurations et prélèvements foliaires ont été réalisés non à des dates fixes, mais sur chaque bananier individuellement en fonction des critères établis par J. DUMAS, lors de son étude sur le développement du bananier nain (4). Les feuilles lancéolées, antérieures à la feuille-origine (5), n'étaient pas prises en considération.

a) Période végétative des 1^{er} et 2^e cycles.

Chaque plant a été observé (date, mesures de hauteur, circonférence au collet, longueur et largeur de la dernière feuille déroulée) au moment où il émettait sa feuille-origine, puis aux moments où il émettait les sixième, douzième et quinzième feuilles comptées à partir de cette feuille-origine. Nous dési-

gnerons ces stades par F. O., F. O. + 5, F. O. + 11, F. O. + 14 (*).

A chacun de ces stades, on prélevait une bande de limbe dans la partie la plus large du côté premier déroulé de la feuille *nouvellement émise* (feuille dite en position I, selon les conventions actuelles de l'I. F. A. C.). Cette bande était ensuite séparée en deux zones : le tiers le plus proche de la nervure médiane dit « zone 1/3 », et le restant dit « zone 2/3 ».

b) Période de fructification des 1^{er} et 2^e cycles.

Le jour de la floraison, on relevait la date, le nombre total de feuilles émises depuis la feuille-origine, la hauteur du bananier, sa circonférence au collet, et les dimensions de l'avant-dernière feuille émise (la dernière feuille étant déjà trop bractéale ; actuellement on mesure plutôt la feuille en position IV) ;

et c'est cette avant-dernière feuille qu'on échantillonnait comme précédemment.

A la récolte on observait la date, le poids du régime et son nombre de mains, ainsi que les trois critères classiques de développement et de qualité du fruit qui seront rappelés ci-après. On échantillonnait à nouveau l'avant-dernière feuille.

c) Troisième cycle.

Pour des raisons matérielles, pendant la période végétative on a seulement daté, mesuré et échantillonné la feuille-origine. Les observations à la floraison ont également été réduites : nombre de feuilles émises et circonférence du pseudo-tronc (celle-ci mesurée désormais à 1 m du sol, selon normalisation intervenue entre temps).

II. ÉTUDE DE LA RÉCOLTE

Le tableau III (voir dépliant) résume toutes les caractéristiques de la récolte des trois cycles.

1. Rendement et précocité.

Le graphique 1 rend compte à la fois de ces deux critères.

Au premier cycle (fig. 1 a) les poids des régimes ne diffèrent pas entre les traitements ; mais un ordre de précocités s'établit, avec trois mois d'avance sur le témoin pour **N**, 80 jours pour les traitements cations, 50 jours pour **P**, 15 jours pour **S**. C'est déjà un résultat extrêmement appréciable : produire le même régime en 11 mois au lieu de 14 doit rentabiliser l'engrais dépensé.

Aux deuxième et troisième cycles tous les caractères du tableau IV deviennent significatifs. On voit sur les graphiques 1 b et 1 c que, si la nutrition potassique n'est pas franchement déficiente comme chez **Ca** et **Mg**, le rendement et la précocité varient tous deux *en fonction de la dose d'azote reçue et selon la loi des accroissements moins que proportionnels* (**N** ayant reçu 250 g d'azote, **K** 150 g, **P** et **S** 52 g). **S** fait exception, se trouvant situé entre **P** et le

témoin et même plus près de ce dernier ; mais nous en trouverons l'explication dans l'analyse foliaire.

Les traitements cations diffèrent peu entre eux par la précocité, qui apparaît donc déterminée à peu près uniquement par la dose d'azote ; mais le déficit de potassium chez **Ca** et **Mg** abaisse le poids des régimes produits à une même date. Le léger retard de **Ca** au troisième cycle s'expliquera lui aussi par l'analyse foliaire.

Les différences de précocité s'accroissent peu du 1^{er} au 2^e cycle : l'écart **N-T** passe seulement de 90 à 114 jours ; mais cette fois le rendement est augmenté de 50 % : c'est par cette voie que l'engrais est principalement valorisé, et sans doute mieux qu'en premier cycle. Au troisième cycle, l'écart **N-T** passe à 155 jours, avec une augmentation de rendement de 41 % : la valorisation de l'engrais est mixte, et elle est plus importante qu'aux cycles précédents, les réserves initiales du sol (y compris le fumier apporté à la plantation) s'étant comme nous le verrons amoindries peu à peu lorsqu'elles n'étaient pas compensées par la fumure.

La précocité est donc déterminée par la fumure azotée, le rendement par l'équilibre entre cette dernière et la *fumure potassique*. Mais quand la dose de potasse dépasse ce point d'équilibre (traitements **K**, **P**, **S**) le rendement n'augmente plus : sur les graphiques 1 les points représentatifs de ces traite-

(*) L'I. F. A. C. ayant adopté depuis 1962 un mode de numérotation tenant compte des feuilles lancéolées, les dénominations « première feuille, sixième feuille, etc. » selon J. DUMAS, sont à éviter car elles prêteraient à confusion.

ments ne sont pas au-dessus de la courbe ; c'est sur la qualité que l'excédent de potassium va jouer.

2. Qualité marchande du fruit.

Les critères utilisés ont été ceux de R. DEULLIN : prélèvement d'un doigt vers le milieu de la rangée interne de la deuxième main ; mesure de la *dureté* de la pulpe au pénétromètre, de sa *coloration* blanche à jaune, à l'aide d'une échelle appropriée ; l'une et l'autre devant être rapportées au degré de développement du fruit, défini par l'*indice de plénitude* (rapport poids/longueur du doigt = P/L). Au fur et à mesure qu'un fruit grossit, sa dureté diminue et il peut tendre à se colorer ; l'accident dit « pulpe jaune » correspondrait, en toute première approximation, à un décalage de l'évolution de la pulpe, en avance sur le développement du fruit.

Au premier cycle on voit d'après le tableau III (voir dépliant) que **P** s'est trouvé récolté plus « plein » que les autres (P/L plus élevé), d'où dureté un peu plus faible. C'est là un écart dû à l'appréciation visuelle trop peu précise du point de coupe par les ouvriers. En revanche les traitements **N** et **Mg** ont exercé une action positive sur la qualité en diminuant la coloration de la pulpe par rapport aux traitements **P**, **K**, **Ca**.

Aux deuxième et troisième cycles les effets sur la qualité sont plus nombreux. En particulier, l'*excès de potassium par rapport à l'azote* chez **K**, **P** et **S**, qui n'agit plus sur le rendement, intervient sur la qualité : mais dans un sens défavorable.

Sur les graphiques 2, pour ces deux cycles **N**, **Mg** et **T** s'alignent sur une droite d'équation :

$$\text{Dureté} = 87 - 6 \frac{P}{L}$$

Remarquons qu'au premier cycle tous les traitements se situent, pour la dureté, très au-dessus des valeurs correspondant à cette équation : les fruits étaient à la fois plus colorés et plus fermes qu'aux cycles suivants, contrairement au postulat selon lequel coloration et chute de dureté seraient deux manifestations d'une même évolution.

Les traitements **K** (avec un rapport K_2O/N dans la fumure = 3,6) puis **P** et **S** ($K_2O/N = 5,75$) se situent plus ou moins nettement en-dessous de cette droite. Au deuxième cycle, où le groupement des points est meilleur, il est très net que les coupeurs ont su tenir compte de la maturité réelle des fruits dans chaque traitement plutôt que de leur plénitude.

Ca et **Mg** ont tous deux un rapport K_2O/N dans la fumure égal à 0,8, inférieur au traitement **N** chez qui ce rapport est de 1,2. Pourtant **Ca** est lui aussi dans la mauvaise zone du graphique. Il y a donc une *action spécifique de l'ion calcium en excès* ; des accidents de qualité à la suite d'un chaulage brutal ont d'ailleurs parfois été signalés en bananeraie. Cette action est particulièrement nette au deuxième cycle, où l'apport de sulfate de calcium a été concentré sur la période de croissance du régime.

Pas plus qu'au premier cycle, les effets sur la couleur ne correspondent aux effets sur la dureté : les colorations s'étagent uniquement en fonction des dates de récolte. Au deuxième cycle elles décroissent régulièrement de janvier (**N**, **K**, **Ca**, **Mg**) à mars (**P**), avril (**S**), mai (**T**), ce qui est de plus à l'opposé de la « pulpe jaune » saisonnière de Guinée. Au troisième cycle les colorations sont toutes faibles, augmentant d'octobre (**N**) à novembre-début décembre (**K**, **Ca**, **Mg**) puis fin décembre (**P**) pour redescendre en février (**S**) et mars (**T**). Cependant, dans tous les cas, le traitement **Mg** tend à diminuer la coloration par rapport aux traitements récoltés à la même date.

III. ÉTUDE DE LA CROISSANCE

Pour comprendre les voies d'action de la fertilisation sur le fruit, il nous faut commencer par examiner la formation de la matière végétale, avant de remonter par l'analyse de celle-ci aux modes d'intervention des éléments minéraux, dont nous rechercherons ensuite l'empreinte dans le sol.

Les graphiques 3, 4 et 5 présentent l'évolution, en fonction des dates et des stades du développement, des trois principales mensurations relevées sur les bananiers : circonférence du pseudo-tronc, hauteur, longueur de la dernière feuille émise (avant-dernière pour le stade floraison).

1. Au premier cycle.

Le retard des traitements **S** et **T** s'établit dès le stade F. O. + 11, trois mois et demi après plantation, alors qu'il n'y a pas eu d'engrais les deux premiers mois. Ce retard affectera à la fois la croissance et le développement si l'on prend pour critères de celui-ci les stades foliaires établis par J. DUMAS : ces stades foliaires successifs sont atteints à des dates décalées, et les feuilles de même ordre sont plus petites, portées par des bananiers moins hauts et moins gros.

La floraison se produira encore plus décalée et nécessitera l'émission d'environ 5 feuilles supplémentaires chez ces deux traitements ; mais cette fois le retard de développement aura permis aux bananiers d'atteindre sensiblement le même niveau de croissance dans tous les traitements : même circonférence, même longueur de l'avant-dernière feuille, voire tendance à une hauteur de pseudo-tronc accrue chez les plus retardés. Ces observations expliquent l'absence de différences significatives sur les poids des régimes. Le retard de **P** par rapport au groupe de tête (**N**, **K**, **Mg**, **Ca**) s'instaure, dans les mêmes conditions, entre le stade F. O. + 14 et la floraison : nombre total de feuilles accru pour parvenir à un même niveau de croissance de l'appareil aérien.

La croissance du régime ira à la même vitesse dans tous les traitements (intervalle fleur-coupe = 96 à 102 jours), sauf chez le témoin (107 jours) ; mais il s'agit sans doute chez ce dernier, récolté nettement plus tard, d'un effet des pluies et du manque d'ensoleillement du mois d'août (cf. tabl. II, voir dépliant).

2. Au deuxième cycle.

Les critères dimensionnels au stade feuille-origine de deuxième cycle sont à peu près égaux à ceux du stade F. O. + 14 de premier cycle pour le pseudo-tronc (hauteur et circonférence), à ceux du stade F. O. + 11 de premier cycle pour la longueur de feuille : ce sont là des variations normales chez le bananier, dues à la croissance préalable du rejet sous contrôle hormonal de la plante mère dans le cas des 2^e ou n^e cycles. Le nombre total de feuilles développées par le bananier sera donc réduit : 18 à 20 selon les traitements, contre 28 à 34 en premier cycle. Mais cette fois le niveau final de croissance atteint ne sera pas le même dans les divers traitements.

A la levée d'inhibition, c'est-à-dire au stade F. O. marquant le début de ce cycle, les rejets diffèrent déjà en dimensions selon le traitement reçu par le pied mère. Ces différences ne vont que s'accroître ; les meilleurs traitements dépasseront les dimensions atteintes en premier cycle, ce qui est très normal avec des apports d'engrais aussi élevés que pour le premier cycle et, de surcroît, mieux répartis ; le poids des régimes obtenus sera augmenté de même. Chez les traitements moins bons le développement sera un peu plus lent, mais le nombre total de feuilles émises ne dépassera que de deux unités celui des traitements plus précoces, compensation insuffisante pour leur donner le temps de rattraper leur retard de croissance.

A la floraison, le classement des diverses mensurations en fonction de la date ressemble fort à celui du graphique 1 b. Cependant, tandis que l'effet de la dose de potasse sur le niveau de croissance atteint est aussi marqué qu'il le sera sur le poids du régime, il n'en va pas de même des effets de la dose d'azote : cet élément a plus agi sur l'activité du système foliaire que sur sa surface. Ainsi **S** bénéficie des mêmes caractéristiques dimensionnelles que **Ca** et **Mg**, aux rendements nettement supérieurs.

L'intervalle fleur-coupe (tableau III, voir dépliant) sera long, la croissance de ces régimes s'effectuant en période de sécheresse, sauf chez les traitements les plus en retard qui viennent à maturité en mai (**S** et **T**).

3. Troisième cycle.

Les informations recueillies, bien que réduites, corroborent celles du second cycle et confirment les effets sur le rendement.

Les décalages de précocité s'accroissent nettement. Au stade F. O. les dimensions portent la marque du traitement subi par le pied-mère (avec en plus, pour cette fois, des perturbations dues à des erreurs d'œilletonnage : on n'a pas toujours « laissé partir » les rejets au bon moment) ; ces dimensions sont inférieures à celles du deuxième cycle, sans doute par l'effet d'un œilletonnage plus tardif. Le nombre total de feuilles émises sera donc accru (21 à 23), et le rendement moyen sera moins élevé.

Cette fois encore les effets de la dose de potasse sur le rendement se retrouvent bien dans les dimensions au stade fleur, alors que les effets de la dose d'azote s'y montrent très atténués. Cette distinction est importante à considérer lorsqu'on utilise la corrélation mathématique dont P. LOSOIS a démontré

l'existence entre la circonférence du pseudo-tronc et le poids du régime (10).

Pour l'intervalle fleur-coupe, le témoin, récolté en avril, sera le plus rapide, suivi de **N** et de **Mg**

récoltés en bonne saison, puis des autres traitements récoltés en saison fraîche ou sèche : les effets des traitements sur la vitesse de croissance du régime sont donc indirects dans tous les cas.

IV. DONNÉES DE L'ANALYSE FOLIAIRE

Seule la portion de limbe la plus proche de la nervure centrale ou « zone 1/3 » a été analysée dans tous les cas ; l'évolution de sa composition est représentée sur les graphiques 6 à 11. La « zone 2/3 » marginale n'a été analysée qu'à quelques stades : les informations qu'elle fournit ne sont guère moins valables que celles procurées par la « zone 1/3 » choisie comme référence par J. DUMAS, mais elles n'apportent pas d'indications supplémentaires aussi souvent qu'on l'avait espéré. Nous utiliserons parfois ses résultats, mais sans les inclure dans les graphiques.

1. Teneurs en azote.

Au premier cycle le niveau de départ est anormalement faible ; il semble y avoir eu faim d'azote, le fumier artificiel n'étant pas aussi bien décomposé qu'il ne paraissait. Mais l'effet des premiers apports d'engrais est immédiat et dès le stade F. O. + 5 les traitements se classent *selon l'ordre des doses d'azote* reçues (comparer graphique 6 et tableau I) avec de confortables différences de teneurs. Celles-ci subsisteront jusqu'à la floraison. Mais il est évident que **S** n'absorbe presque pas d'azote, ce qui explique sa croissance à peine moins lente que celle du témoin ; or c'est le seul traitement recevant presque tout son azote sous forme ammoniacale, et ne recevant aucun carbonate (cf. tableau I). **Ca** tendrait également à absorber moins d'azote que **K** et **Mg**.

Il apparaît d'après ce premier cycle que les hauts niveaux d'azote dans la feuille favorisent la différenciation plus précoce de l'inflorescence ; mais nous verrons très vite que ce n'est pas aussi simple.

Au stade coupe les différences tendent à s'estomper et les traitements se classent seulement en deux groupes : **N** et cations, puis **P**, **S**, **T**.

Au deuxième cycle le niveau initial est élevé, et en outre marqué par la fertilisation antérieure ; mais ensuite les écarts de teneurs selon la dose reçue seront moins accusés qu'au premier cycle, ils iront même en décroissant.

Cela tient sans doute pour une part aux fortes pluies survenues entre le stade F. O. + 11 et la floraison : de fortes pertes d'engrais azoté expliqueraient la chute et le resserrement des diverses courbes. La faiblesse des effets sur la précocité ne peut par

contre être imputée à l'absence de taux d'azote foliaire assez élevés pour hâter la différenciation florale, car alors le nivellement se serait réalisé dans le sens d'une tardivité générale, ce qui n'est pas le cas. Au stade coupe on trouve donc des teneurs plus faibles qu'en premier cycle, d'autant plus que ce stade est atteint en pleine saison sèche pour les cinq traitements les plus favorisés : **S** et **T** ne seront récoltés, eux, qu'au mois de mai, quand la nitrification aura déjà bien repris, c'est pourquoi ils viendront curieusement se placer parmi les meilleurs sur le graphique.

Mais les faibles écarts proviennent plus probablement encore des *différences de croissance*. En deuxième cycle l'azote absorbé sert à fabriquer des feuilles plus grandes, ce qui régularise les teneurs, tandis qu'en premier cycle les effets sur les dimensions étaient plus faibles et de plus le nombre total de feuilles émises était réduit par la fumure azotée. C'est pourquoi au deuxième cycle les « mauvais » traitements sont moins appauvris en azote ; de même **Ca** et **Mg** diffèrent à peine de **N**, alors que **K** lui est plus nettement inférieur, parce que seuls les deux premiers ont une croissance nettement affaiblie par rapport à **N**.

Ces constatations ne font que déplacer le problème : nous y reviendrons dans la discussion finale.

Au troisième cycle on trouve au stade F. O. des teneurs encore un peu plus élevées qu'en second cycle, qui pourraient s'expliquer par la taille inférieure des réjets au moment où cessent l'inhibition par le pied-mère et l'alimentation aux dépens de celui-ci. On retrouve un excellent classement par doses d'azote, compte tenu de l'inefficacité de cet élément

chez **S**, bien que les apports d'engrais n'aient pas encore commencé : c'est donc l'arrière-effet de la fertilisation des cycles précédents.

Au stade coupe (*), le classement serait le même qu'en premier cycle, si **Ca** ne passait du groupe des « bons » dans le groupe des « mauvais » ; il confirme ainsi sa tendance déjà relevée au premier cycle à mal absorber l'azote, ce qui explique son retard de précocité par rapport à **K** et **Mg**. Il s'agit là d'un effet spécifique des équilibres entre cations, à la rigueur de la différence d'activité de leurs trois carbonates, car ces trois traitements ne diffèrent aucunement quant à la dose et la forme de l'azote reçu.

* * *

Déjà mis en évidence par l'étude de la production, *le rôle fondamental de l'azote dans la physiologie du bananier* est donc bien éclairé par l'examen simultané des teneurs foliaires et des observations concernant la croissance. Ce rapprochement n'explique cependant pas encore les actions différentes de l'azote : sur la précocité seule au premier cycle, sur le niveau final de croissance et par là le rendement au deuxième cycle (avec un faible gain de précocité), mixte au troisième cycle. Il faudra un examen d'ensemble des six éléments majeurs et de la croissance pour jeter une lueur sur les motifs de ce comportement.

2. Teneurs en phosphore.

Au premier cycle, les niveaux de départ extrêmement élevés peuvent résulter de la petitesse du rejet au moment de la levée d'inhibition, et certainement de réserves abondantes dans le sol, le matériel planté, ou le compost (les disponibilités phosphorées réelles du sol à l'égard du bananier peuvent en outre avoir été accrues par l'action de la matière organique).

Puis ils ne vont cesser de décroître chez tous les traitements (cf. graphique 7). Jusqu'au stade F. O. + 14 cette chute est significativement accrue en proportion des doses d'azote absorbées, sans que les apports phosphorés exercent le moindre effet. Il s'agit là sans doute d'un antagonisme véritable de la part de l'ion NO_3^- , car les dimensions foliaires ne diffèrent

pas assez selon les traitements pour qu'on puisse imputer en totalité des écarts aussi élevés à un effet de dilution.

A la floraison, quand tous les bananiers ont atteint à peu près les mêmes dimensions, le classement des teneurs en phosphore change, avec des différences restant proches du degré de signification ($F = 2,31$ contre 2,79 requis par les tables) ; cette fois les traitements se rangent à peu près selon la quantité de phosphore reçu (cf. tableau I ; noter qu'à part le témoin et **P** la dose est partout semblable). Cette constatation pourrait faire penser que l'antagonisme $\text{NO}_3^- - \text{PO}_4\text{H}_2^-$ n'est pas réel et se résume à un effet de dilution ; mais au stade coupe on retrouve, bien qu'extrêmement atténué, le classement par doses d'azote décroissantes et sans effet du phosphore.

Aux deuxième et troisième cycles la situation est loin d'être aussi claire. Cependant on est plus satisfait de trouver le traitement **P** en tête jusqu'à la floraison du 2^e cycle et à la F. O. du 3^e cycle.

Au stade F. O. de 2^e cycle il faut signaler des différences significatives dans la « zone 2/3 », séparant les traitements en deux groupes : **S** et **T** d'une part, les cinq autres d'autre part, plus riches. Dans la « zone 1/3 », non significative au stade F. O., **S** et **T** verront leurs teneurs en phosphore diminuer plus lentement que chez les cinq autres traitements, probablement par suite du décalage de leur développement par rapport aux saisons, comme cela se produit déjà pour leurs teneurs en azote. On relève par ailleurs une certaine tendance du traitement **Mg** à l'appauvrissement en phosphore, contredisant l'aspect le plus courant des relations entre ces deux éléments dans les plantes en général et chez le bananier (14 g) ; cette tendance est encore plus nette si on examine le rapport N/P (fig. 13).

Au stade F. O. de 3^e cycle, les niveaux sont légèrement supérieurs à ceux du début du deuxième cycle, fait à rapprocher de la plus petite taille des rejets. L'ordre de classement, disparate, paraît dû à la superposition d'effets variés : dates de début de cycle s'étalant de février à juin (relèvement du témoin dû à sa tardivité ?), apports d'engrais pas encore commencés pour **N**, **K**, **Ca**, **Mg**, effet positif de **P** par rapport à ces quatre premiers (arrière-effet du second cycle, plus un à deux apports d'engrais), effet négatif de **S** par rapport au témoin (antagonisme vrai ou faux dû aux trois ou quatre apports d'engrais reçus ?).

A la coupe, pour chacun des deux cycles pris isolément, tous les traitements ont pratiquement la même valeur.

(*) Les échantillons du stade coupe prélevés dans les cinq parcelles les plus en retard à ce troisième cycle n'ont pu nous parvenir, par suite d'événements politiques. C'est pourquoi l'analyse statistique n'a pas été effectuée sur les résultats, incomplets, qui paraissent cependant valables dans une large mesure.

* * *

En somme, on n'observe aucun effet constant de la fertilisation sur la teneur du bananier en phosphore. En premier cycle l'azote diminue cette teneur, mais elle est pléthorique. En deuxième et troisième cycles les 412 g de P_2O_5 du traitement **P** provoquent parfois une assez légère augmentation de teneur par rapport aux 85 ou 89 g des autres traitements, mais ceux-ci ne se distinguent guère du témoin ; et on n'observe plus d'antagonisme vrai ni d'effet de dilution sur des teneurs redevenues normales.

Comme nous n'avons relevé aucun effet imputable au phosphore lui-même sur le rendement ni sur la qualité (l'effet du traitement **P** sur le rendement et la précocité est dû à l'azote, son effet sur la qualité est identique à celui de plusieurs autres traitements dont **S** et relève du rapport K_2O/N dans la fumure) nous pouvons conclure que la nutrition phosphorée a toujours été suffisante, même chez les traitements correspondant aux teneurs foliaires les plus faibles de chaque stade ; les valeurs plus élevées signifient une consommation de luxe. Les valeurs observées dans la pratique du diagnostic foliaire en Guinée sur bananier 'Petite Naine', chez lequel on n'y a jamais trouvé de cas de déficience phosphorée (6, 7), confirment d'ailleurs cette conclusion.

3. Teneurs en soufre.

Les écarts significatifs entre traitements sont rares (cf. graphique 8). En premier cycle toutes les teneurs, déjà élevées au départ, augmentent jusqu'au stade F.O. + 14, pendant le début de la période des apports d'engrais ; le soufre est avec l'azote le seul élément dont la concentration s'accroît en début de premier cycle. Il est manifestement surabondant dans tous les traitements.

Au stade F.O. + 11 les traitements arrivent à se classer à peu près selon les doses de soufre reçues (cf. tableau I). A la floraison les différences observées ne s'expliquent guère, à moins d'invoquer un effet du décalage des dates. Toutefois **P** conservera, tout au long des cycles ultérieurs, une nette tendance à diminuer les teneurs en soufre, tandis que **N** tendrait à les augmenter ; une synergie $N \rightarrow S$ et un antagonisme $P \rightarrow S$ sont donc probables.

Au stade coupe de deuxième cycle, la valeur élevée du traitement **Ca** est due au rattrapage des apports de sulfate de calcium ; la dose totale de cet engrais, manquant en début de cycle, a été bloquée sur la

période de floraison. Malgré cela les traitements **N** et **P**, qui reçoivent moitié moins de sulfate de calcium que **S**, ont des teneurs l'une plus élevée que ce dernier, l'autre aussi faible que le témoin.

Au troisième cycle on trouve au stade F.O. des teneurs élevées qui doivent avoir leur cause dans le sevrage plus précoce des rejets (œilletonnage tardif).

4. Teneurs en potassium.

Au premier cycle, on ne relève pratiquement pas de différences entre traitements au cours de la période végétative (cf. graphique 9) ; les niveaux de départ sont extrêmement élevés, sans doute pour des raisons analogues à celles invoquées pour le phosphore : petitesse du rejet à la levée d'inhibition, réserves du sol et du matériel planté, apport du compost. Il faudra attendre la floraison et la récolte pour que les valeurs se classent très exactement dans l'ordre des doses de potassium reçues (cf. tableau I). Légers écarts significatifs cependant au stade F.O. + 11 dans la « zone 2/3 ».

Au deuxième cycle le traitement **K** prend la tête dès le stade F.O. ; celui-ci n'est pas significatif dans la « zone 1/3 », mais il l'est dans la « zone 2/3 », avec classement à peu près selon les doses de potassium reçues. Puis les traitements **Ca** et **Mg** ne tardent pas à passer en-dessous du témoin : c'est là, à n'en pas douter, un effet d'antagonisme entre cations. Mais les traitements anions, qui reçoivent tous trois la même dose de potassium, ont un comportement différent : **P** et **S** sont à peine moins riches que **K**, tandis que **N** arrive tout juste à s'écarter du témoin. Pour les deux premiers, l'explication tient dans la différence de croissance : comme nous l'avons vu, le traitement **K** avec 150 g d'azote par plant pousse beaucoup plus vite que **P** et **S** avec leurs 50 g ; les dimensions supérieures des feuilles émises ramènent les teneurs en potassium presque au même niveau malgré la différence des doses de potasse reçues (540 g contre 300 g). Le même effet de dilution par suite de la stimulation de croissance due à l'azote vaut pour les différences de teneurs en potassium entre **P** et **S** d'une part, **N** d'autre part : ces trois traitements ont reçu la même dose de potasse, mais chez **N** les teneurs en potassium sont presque ramenées au niveau du témoin par dilution dans une masse foliaire plus grande. En définitive, les teneurs foliaires en potassium dépendent plus du rapport K_2O/N dans les engrais que de la dose de potasse reçue.

Au troisième cycle, on retrouve au stade F. O. les mêmes teneurs que précédemment, avec une répartition en deux groupes qui est presque significative ($F = 2,67$ pour $2,79$ requis). Ces tendances deviendront très accentuées au stade coupe, où **T** et peut-être **S** ont pu voir leur teneur en **K** rehaussée du fait de leur récolte en fin de saison sèche, époque qui correspondrait, dans les sols de Guinée, à une disponibilité accrue du potassium (12, VI). Mais il faut ajouter que les échantillons foliaires des parcelles les plus tardives de ces deux traitements, qui sont manquants, auraient peut-être fait baisser leurs moyennes.

* * *

L'effet du potassium, ou plutôt l'effet du rapport potasse/azote fournis, tel qu'il a été mis en évidence dans l'étude des poids des régimes, concorde bien avec l'analyse foliaire : l'azote accroissant la production de matière vivante, il faut une *fourniture proportionnée de potassium* pour que cette matière conserve le même pouvoir de synthèse des matières hydrocarbonées nécessaires au régime. La discussion d'ensemble des résultats d'analyse foliaire pour tous les éléments rendra également compte de certains effets sur la qualité du fruit.

5. Teneurs en calcium.

Au premier cycle les valeurs sont faibles jusqu'au stade F. O. + 14. Le niveau de départ, plus élevé, est cependant faible lui aussi pour un stade F. O. de premier cycle. Ensuite les traitements diffèrent peu entre eux (graphique 10) et se classent *plutôt selon les doses d'azote* reçues (synergie $N \rightarrow Ca$) que selon les doses de calcium (cf. tableau I). Tout se passe comme si l'effet antagoniste des niveaux élevés de **K** dans les feuilles, chez tous les traitements, écrasait les teneurs en calcium. Par contre la floraison et la récolte verront une très forte augmentation de cet élément, et des écarts entre traitements un peu mieux marqués résultant de la combinaison de deux effets positifs :

- celui de l'azote assimilé,
- celui de la dose de calcium reçue.

Hormis le stade floraison, le témoin se classe toujours parmi les moins riches en calcium, ce qui peut être rattaché à l'influence prépondérante du niveau de la nutrition azotée dans ce premier cycle.

Au deuxième cycle, après une période de transition couvrant les stades F. O. à F. O. + 5, le classement

des six traitements fertilisés s'opère surtout *selon les doses de calcium* reçues ; l'assimilation de l'azote n'intervient plus guère que pour différencier les trois traitements anions. (Cette influence de l'azote reçu s'inverse d'ailleurs au stade floraison, quand les teneurs en azote des divers traitements s'égalisent, par une sorte d'effet de compensation qui rehausse en même temps la valeur du témoin ; puis elle se rétablit au stade coupe.) Mais à partir du stade F. O. + 11 *les antagonismes* du potassium et du magnésium vont exercer une influence aussi forte que celle du calcium, et en sens opposé, de sorte que le traitement **Ca** seul se maintiendra au niveau du témoin. Toutefois la vigueur apparente de ces antagonismes tient aussi au retard des apports de sulfate de calcium, différés jusqu'à la floraison. Ce retard explique en outre les plus fortes teneurs en **Ca** à la floraison chez **P** et **S** qui sont avec le témoin les seuls non fleuris au moment de l'apport bloqué de SO_4Ca . Pendant la phase transitoire de début de cycle, le potassium exerce son effet antagoniste mais pas encore le magnésium.

Au stade coupe, les traitements **Ca** et dans une moindre mesure **N**, puis **K** et **Mg** bénéficient à leur tour de l'apport tardif de plâtre. Cependant les teneurs atteintes seront moins élevées qu'en premier cycle, et, l'azote retrouvant en partie son effet, on revient à peu près au classement du stade F. O.

Au troisième cycle les teneurs élevées du stade F. O. ne peuvent guère être imputées qu'à l'effet du sevrage plus précoce. Les traitements se classent d'abord selon l'assimilation de l'azote, ensuite selon la dose de calcium reçue, sans antagonisme sensible de la part de **K** ou **Mg**.

Au stade coupe, avec des niveaux intermédiaires dans l'ensemble entre ceux du premier et du deuxième cycles, les traitements se classeront d'abord selon la dose de calcium reçue, ensuite selon l'azote assimilé, avec peut-être un effet antagoniste de **K** seul.

* * *

Les résultats obtenus semblent indiquer que le bananier a bénéficié dans tous les cas d'une alimentation suffisante en calcium. Celle-ci se concrétise en cours de végétation par la *teneur-plancher* d'environ 0,44 % obtenue au premier cycle, au stade floraison par les teneurs de 0,60 % chez les deux traitements **K** et **Mg**.

Les effets néfastes du traitement **Ca** sur la qualité ne peuvent être imputés directement aux niveaux

foliaires atteints par cet élément, que ce soit en cours de végétation ou au stade coupe, car en comparant l'ensemble des trois cycles on trouve toujours, pour un même stade et chez les traitements bons en rendement et qualité (N), des teneurs plus élevées que celles du traitement Ca au deuxième cycle. Nous trouverons l'explication dans la discussion d'ensemble de la nutrition.

6. Teneurs en magnésium.

Au premier cycle, pendant la vie végétative, on observe (graphique II) comme pour le calcium un écrasement des courbes sur une valeur-plancher (0,23 % environ), certainement imputable au potassium. Un classement temporairement esquissé au stade F. O. + II s'installe à la floraison, quand les niveaux devenus raisonnables du potassium suppriment cet écrasement; puis il se développe au stade coupe. Il tient compte certes de la dose de magnésium reçue, celle-ci ne différant pratiquement pas entre les cinq traitements N, P, S, K, Ca (cf. tableau I); mais le maintien de la teneur au niveau de celle du témoin chez Ca, son abaissement chez N, P, S puis K, sont proportionnels aux doses de potassium reçues et dénotent la force de l'antagonisme $K \rightarrow Mg$.

Au début du deuxième cycle un certain effet favorable de l'azote absorbé se superpose aux effets du magnésium et du potassium, puis le classement se rétablit comme en fin de premier cycle; malgré

la tendance générale à la baisse, le traitement K ne passe pas au-dessous de la valeur-plancher du premier cycle. Entre la floraison et la coupe, N et Ca s'appauvrissent un peu moins que P, S, K et T, ce qui change à peine l'ordre.

Le stade F. O. de troisième cycle donne à peu près le même classement que celui du 2^e cycle, avec des valeurs un peu plus basses; le stade coupe reproduira, sur un éventail beaucoup plus ouvert, les résultats du deuxième cycle.

*
**

Il est regrettable qu'à l'implantation de cet essai on n'ait pas encore disposé de notions assez précises sur les besoins magnésiens du bananier, compte tenu du sol sur lequel on travaillait, car il y aurait eu grand profit à réaliser les traitements anions avec un équilibre cationique moins défavorable à cet élément. En somme, nous n'avons eu à étudier que des conditions encadrant très mal l'optimum de la nutrition magnésienne: six traitements à tendance déficiente plus ou moins apparente, un traitement à tendance excédentaire.

Déplorons également que l'essai n'ait pu être poursuivi sur un quatrième cycle; l'écart n'aurait pas manqué de se creuser entre Mg et les autres traitements, pour fournir des informations intéressantes sur les niveaux foliaires du magnésium en relation avec le rendement et la qualité. Les teneurs en Mg inférieures à 0,23 % en cours de végétation et à 0,2 % au stade coupe sont certainement très domageables.

V. LE SOL ET SON ÉVOLUTION

Les données dont nous disposons en ce domaine sont malheureusement très fragmentaires. Des prélèvements parcellaires annuels ont été analysés par F. DUGAIN à son laboratoire de Hann-Dakar, mais il a ensuite quitté l'O. R. S. T. O. M., et nous n'avons en possession qu'une partie des résultats:

— pour 1958 (à la mise en place de l'essai), 1959 et 1960, des commentaires sommaires transmis par F. DUGAIN au fur et à mesure des analyses (1, 2);

— pour 1961 (fin de l'essai), le détail des bases échangeables, le carbone, l'azote et la matière humique totale.

1. Matière organique.

Pour déceler des différences dans les teneurs observées en 1961 il faut regrouper les traitements selon les doses d'azote reçues (tableau IV ci-après).

Le meilleur traitement, recevant par cycle un apport équivalent à 0,22 % d'azote dans le sol, a à peine relevé le niveau de cet élément et n'a fait que conserver la matière organique au niveau du témoin, sans que nous sachions d'ailleurs ce que représente cet état final par rapport à l'état initial trois ans plus tôt.

Les doses d'azote plus faibles (apports par cycle

correspondant à 0,13‰ et 0,04‰ respectivement, avec les mêmes quantités totales de cations que chez N) ont entraîné un maintien ou un léger appauvrissement en azote par rapport au témoin et une consommation un peu plus forte de matière organique, sans changement qualitatif notable de celle-ci : le

rapport C/N reste toujours compris entre 17 et 18, le coefficient d'humification entre 41 et 42 %.

Comme on le savait déjà, la culture bananière convenablement fertilisée maintient et même améliore peu à peu le capital sol.

TABLEAU IV.
Matière organique (1961).

	TÉMOIN	P ET S	K, Ca et Mg	N
Matière organique (%).	5,93	5,17	5,73	6,10
Matière humique (%).	2,50	2,11	2,33	2,53
Azote total (‰).	1,87	1,67	1,90	2,03

2. Bases échangeables.

a) Évolution des niveaux comparés aux apports.

Le tableau V ci-après représente le terme de cette évolution. Nous ne connaissons pas le point de départ, mais nous savons par deux rapports de F. DUGAIN (1, 2) que le sol du témoin a perdu :

— en potassium, 0,1 meq % de 1958 à 1959 et 0,23 meq % de 1959 à 1960,

— en calcium, 0,2 meq % de 1958 à 1959, mais gain de 1959 à 1960,

— en magnésium, 0,5 meq % de 1958 à 1959, pas d'indication pour 59-60.

La première année, les 50 kg de fumier par pied ont dû apporter la quasi-totalité du potassium nécessaire à l'élaboration de la masse végétale de la bananeraie, soit environ 0,8 meq % dans le sol (13, 14 c). Ensuite, une perte annuelle de 0,2 meq % correspond aux exportations de 40 t/ha de bananes, près de

deux fois plus que n'en a produit le témoin. En calcium et magnésium la consommation de la plante est très faible. Il y a donc bonne concordance des chiffres pour le témoin.

Dans les six traitements fertilisés, les apports de cations par cycle de production correspondaient (sur la base de 20 cm de terre utile et analysée) à :

— traitements cations : 1,02 meq % du cation dominant et 0,22 meq % de chacun des deux autres, total = 1,46 meq %.

— traitements anions : 0,56 meq % de K, 0,64 meq % de Ca, 0,26 meq % de Mg, total = 1,46 meq %.

Ainsi dans tous les cas les apports dépassaient largement les exportations annuelles d'une bonne bananeraie établie, le fumier ayant couvert pour sa part les besoins supplémentaires du premier cycle. Il n'est donc pas étonnant que les engrais aient profondément marqué le sol, permettant ainsi aux antagonismes entre cations de s'exercer pleinement.

TABLEAU V.
Bases échangeables (1961).

TRAITEMENTS	N	P	S	K	Ca	Mg	TÉMOIN
K (meq %).	0,82	1,54	0,93	1,66	0,59	0,63	0,57
Na (meq %).	0,32	0,33	0,33	0,32	0,32	0,33	0,31
Ca (meq %).	3,49	4,95	3,34	2,99	4,66	3,31	3,42
Mg (meq %).	1,05	1,70	0,95	1,35	0,90	2,65	1,10
Somme des B. E. (meq %).	5,68	8,52	5,55	6,32	6,47	6,92	5,40

b) *Somme des bases échangeables.*

Les traitements **N** et **S** ont en fin d'essai une somme de cations échangeables très voisine de celle du témoin : ils ont donc subi à peu près le même appauvrissement global que lui, tandis que **P** est de 50 % plus riche, l'ensemble **K, Ca, Mg** se situant entre les deux. Si l'on fait momentanément abstraction du traitement **S**, on peut considérer que *les pertes en cations ont été proportionnées à la vigueur végétative*, elle-même déterminée par la dose d'azote reçue. C'est-à-dire que chez **N** le supplément de croissance par rapport au témoin a consommé entièrement les 1,46 meq % de cations reçus annuellement, par le jeu des exportations et des pertes au cours de la décomposition de la matière végétale ; chez **K, Ca, Mg** il y a eu croissance un peu moins active et moins de pertes, chez **P** encore moins et même enrichissement par rapport au sol originel.

Notons en outre que le sol de **P** recevait à chaque cycle 0,84 meq % de cations sous formes sulfate et phosphate, et 0,62 meq % sous forme carbonate. Même si les 0,16 meq % d'azote ammoniacal reçus devaient entièrement être nitrifiés avant leur absorption, il restait, après neutralisation des 0,32 meq % d'ions nitriques totaux, 0,30 meq % de carbonates pour lutter contre l'acidification du sol. **N** recevait 1,02 meq % de cations sous forme de carbonates et 0,78 meq % d'azote sous chacune des deux formes, donc si l'on admet une nitrification totale, 1,56 meq % d'anions à neutraliser et un déficit global de 0,54 meq % en cations. Les traitements cations recevaient 0,41 meq % de carbonates, avec 0,45 meq % de chacune des deux formes d'azote, soit un déficit de 0,49 meq % en cations, assez proche de celui du traitement **N**. Enfin **S**, auquel il nous faut maintenant revenir, recevait 0,27 meq % d'azote ammoniacal, donc 0,54 meq % d'anions à neutraliser si la nitrification s'était produite — ce qui ne semble pas avoir été le cas d'après l'analyse foliaire, ou bien alors il y a eu lessivage des nitrates formés, — et cela sans apport de carbonates. Ces calculs peuvent également expliquer la richesse nettement supérieure de **P** en bases échangeables.

Regrettons de ne disposer d'aucune donnée sur le *pH* pour recouper ces valeurs, seulement une ligne de F. DUGAIN à propos des résultats de 1960 : « *pH* : sans modifications depuis l'an dernier » (1). La désaturation chez **S** aurait certainement été éclairée par l'étude du *pH*.

c) *Répartition de la somme des bases.*

Malgré ces différences de saturation entre les trois traitements cations nous n'avons trouvé dans l'analyse foliaire de **K, Ca** et **Mg** aucun reflet de l'enrichissement du traitement **P** et de l'anomalie du traitement **S** (si l'on excepte le stade floraison de deuxième cycle perturbé par les apports tardifs de SO_4Ca) : quand **P** est supérieur à **N** c'est par suite d'un effet de dilution dû à l'assimilation de l'azote, et **S** est soit au niveau de **P** soit encore plus riche : dans d'autres cas l'absorption d'un cation est favorisée par l'assimilation de l'azote. La prédominance déjà bien connue des phénomènes d'interaction sur les actions simples dans la nutrition cationique du bananier (14 g) s'est une fois de plus vérifiée, les niveaux de **K, Ca** et **Mg** dans la plante n'ayant pas dépendu des niveaux des bases échangeables, mais :

- de leurs proportions, qui ici ne diffèrent pratiquement pas entre les trois traitements anions ;
- secondairement et dans une faible mesure, de l'assimilation de l'azote.

Les rapports entre **K, Ca** et **Mg** échangeables chez les traitements **N, P** et **S** ne sont pas pour autant identiques à ceux du témoin ; **K** y est un peu plus favorisé. Même chez le témoin le sol est parvenu à un certain déséquilibre : le rapport $\text{K/Mg} = 0,5$ est nettement dans la zone dangereuse pour la déficience magnésienne et le « bleu » (3). Chez les traitements **N, P**, et **S** le rapport K/Mg est égal à 0,8, 0,9 et 1,0.

Bien entendu cette situation s'aggrave encore quand on passe au traitement **K** (K/Mg échangeables = 1,2). Chez le traitement **Ca** le rapport K/Mg monte déjà à 0,7 montrant que, sous un apport à même dose équivalente des deux cations, **K** se fixe mieux — ou se lessive moins — que **Mg**. Seul le traitement **Mg** parvient à un équilibre situé dans les normes de F. DUGAIN : $\text{K/Mg} = 0,24$. Mais nous avons vu que ce traitement avait en fait une nutrition potassique insuffisante et une nutrition magnésienne trop élevée, avec un défaut de rendement sensible que ne suffit pas à compenser le gain de qualité ; le rapport K/Mg optimum pour le rendement sans risque de « bleu » ni d'accidents de qualité semble en fait se situer vers le plafond de la zone admise par F. DUGAIN, soit 0,4.

Quant au calcium, les rapports Ca/Mg et Ca/K échangeables sont presque tous inférieurs aux

normes admises, hormis chez le traitement **Ca**. Pourtant, nous avons conclu de l'étude de la récolte et de l'analyse foliaire que cet élément n'avait fait défaut dans aucun traitement, tandis que son excès chez **Ca** est manifestement responsable d'une baisse de qualité et de rendement. Il y a certainement là une précision nouvelle apportée par cet essai, dans lequel le rôle d'amendement basique n'était pas dévolu comme d'habitude aux seuls composés calciques ou calco-magnésiens. Regrettons encore une fois l'absence de données sur le pH ; mais d'après les autres éléments de l'analyse il y a toutes chances pour que

celui-ci ne diffère pas entre les trois traitements cations. Nous devons admettre que pour le bananier la répartition optimale des bases échangeables doit faire *au calcium une part plus faible* que pour d'autres cultures, — sans que cela ne minimise la nécessité d'une saturation élevée du complexe absorbant.

Toutefois, il s'agit là de considérations à court ou moyen terme, et il faut envisager aussi l'évolution à long terme, dans le domaine de la structure en particulier, d'un sol qu'on maintiendrait avec des rapports de l'ordre de 0,4 pour K/Mg et 1,5 pour Ca/Mg échangeables.

VI. DISCUSSION D'ENSEMBLE DES RÉSULTATS PHYSIOLOGIQUES

Les informations déjà tirées de l'analyse foliaire dépassent le stade primaire, statique, de l'appréciation des niveaux nutritifs. En confrontant l'évolution individuelle des six éléments majeurs avec les effets des traitements, non seulement sur la production mais aussi sur la croissance, nous avons quelque peu éclairé leur mode d'action agronomique et des résultats pédologiques dont la signification n'était pas évidente.

Un examen plus approfondi, englobant l'ensemble des inter-relations entre la nutrition et la croissance, permet d'atteindre un troisième palier dans l'interprétation.

1. Rappel des étapes du développement du bananier.

Essayons d'abord d'entrevoir pourquoi l'effet déterminant de la nutrition azotée s'est manifesté d'une manière si différente à chaque génération : tantôt en accélérant le développement sans agir beaucoup sur le niveau final de croissance (*), tantôt à l'opposé, tantôt en répartissant son action sur ces deux voies. Mais ce n'est pas sur les dates de récolte du régime ni même d'apparition de la fleur qu'il faut raisonner.

Un bananier cache en permanence une douzaine de feuilles en voie de croissance dans son pseudo-tronc, du « cigare » à la dernière ébauche visible au microscope. Pour situer l'époque de différenciation de l'inflorescence, il faut donc retrancher environ 12 unités

au nombre total des feuilles émises (qui figure pour chaque traitement sur le graphique 3), ce qui donne :

— au 1^{er} cycle, vers F. O. + 15 à 16 pour les traitements « rapides » **N**, puis **K**, **Ca**, **Mg** et jusque vers F. O. + 21 pour le témoin ;

— au 2^e cycle, vers F. O. + 5 à F. O. + 7 selon les traitements ;

— au 3^e cycle, vers F. O. + 8 à F. O. + 10 selon les traitements.

Ces chiffres traduisent la composante la plus efficace des effets de l'azote sur la vitesse de développement (réduction du nombre de feuilles nécessaires à l'initiation florale) ; s'y ajoute l'accélération du rythme de différenciation des ébauches foliaires et de leur croissance. Ils montrent que l'initiation florale ne se produit pas automatiquement après émission d'un nombre défini de feuilles adultes, 20 en premier cycle (stade F. O. + 19) et 6 en cycles ultérieurs (stade F. O. + 5), comme J. DUMAS l'avait conclu à la suite de ses premiers travaux (4) ; il s'était d'ailleurs vite rendu compte que ces normes étaient approximatives. On observe malgré tout une bonne concordance avec ces normes pour le 2^e cycle et pour les traitements plutôt lents du 1^{er} cycle.

Au voisinage de ces stades très divers, les bananiers de chaque traitement et de chaque cycle se sont donc trouvés dans des *conditions physiologiques ayant en commun les facteurs décisifs du déclenchement de la floraison, et dépendant pour une part de la nutrition azotée.*

L'allométrie (4) et l'étude dynamique de la synthèse de matière vivante (14 h) ont déjà mis en évidence l'existence de *sous-phases de développement* supplémentaires lorsque le bananier ne commence pas sa

(*) Pour éviter toute méprise, il convient de rappeler qu'en biologie on entend par *développement* la suite des *transformations, visibles ou non*, que subit un organisme de sa naissance à sa mort : cette notion est donc bien distincte de la notion de croissance.

vie par une croissance sous dominance hormonale d'un pied-mère vivant et enraciné, c'est-à-dire en 1^{er} cycle. Ces étapes additionnelles ne sont pas simplement un délai pour atteindre un même niveau de croissance préalable à la floraison. Grâce à la croissance du rejet sous contrôle du pied-mère, plus ou moins longue en fonction de l'époque d'œilletonnage, nos F. O. de 2^e et 3^e cycles correspondent à des dimensions de limbe et de pseudo-tronc équivalentes aux F. O. + 14 et F. O. + 11 de 1^{er} cycle ; ce décalage en général supérieur à celui des nombres totaux de feuilles émises permet aux meilleurs traitements de parvenir à des niveaux de croissance (et par là à des rendements) plus élevés qu'en premier cycle.

La différenciation de l'inflorescence implique des transformations qualitatives préalable dans la plante, comme les changements successifs d'équilibre entre feuilles, pseudo-tronc et souche quand il s'agit d'un premier cycle ; elle-même est une transformation qualitative radicale. La composition minérale du limbe a des chances de porter la trace des effets au moins de ces transformations, et même de leurs causes quand celles-ci relèvent en partie de l'action de l'engrais azoté.

2. Les équilibres de nutrition et l'initiation florale.

Selon les cycles, les niveaux initiaux de P, K, S (stade F. O.) ont été d'autant moins élevés que le rejet se trouvait plus grand au moment de son affranchissement ; et cela quelle que soit la cause de ces différences de taille : époque d'œilletonnage, ou rejet issu d'une souche replantée (1^{er} cycle). Par contre, les niveaux de N et Ca n'ont été supérieurs chez les rejets de petite taille qu'entre les 2^e et 3^e cycles ; au 1^{er} cycle les rejets beaucoup plus petits ont au contraire beaucoup moins bien absorbé l'azote et le calcium ; cela peut provenir du fait qu'il s'agissait de souches replantées, mais il s'agit plus probablement d'effets indirects du compost (faim d'azote, et antagonisme K → Ca).

Ainsi, au premier cycle, la teneur en N a été déséquilibrée vis-à-vis des niveaux pléthoriques de P, K et peut-être S, quelle que soit la fertilisation (cf. graphiques 12 et 13). Avec des apports azotés faibles ou nuls, le bananier a élaboré sa substance plus lentement qu'avec des apports élevés (rythme d'émissions foliaires ralenti), mais il disposait de réserves

suffisantes des autres minéraux essentiels pour utiliser au fur et à mesure les petites quantités d'azote provenant des engrais ou de la nitrification. C'est sans aucun doute ce qui a permis à tous les traitements d'atteindre — mais d'atteindre plus ou moins vite — un niveau de croissance final équivalent. Il n'en va pas toujours de même, car la fumure azotée agit souvent sur le rendement dès le premier cycle : les réserves phosphopotassiques apportées par le fumier sont les responsables du comportement particulier observé ici.

Au deuxième cycle, l'azote n'a pas été déficitaire par rapport aux autres éléments : dès le début les rapports N/P et K/N étaient comparables à ceux de la fin du 1^{er} cycle. Tout s'est donc passé comme si l'azote, lorsqu'il n'est pas happé au fur et à mesure pour les processus de croissance par suite d'un déséquilibre par défaut vis-à-vis de P et K, avait le pouvoir de mettre le méristème terminal dans un état tel qu'il formera des ébauches florales dès qu'il aura émis environ six feuilles de type adulte (action morphogène de l'azote). Au deuxième cycle, le développement a donc été très peu ralenti par le manque d'azote dans certains traitements, mais la croissance a été diminuée car elle s'avère, elle, proportionnée au niveau absolu de l'azote dans les feuilles. Au premier cycle, la condition préalable des six feuilles adultes étant remplie depuis longtemps, l'initiation florale s'est produite dans chaque traitement lorsque le déséquilibre a cessé, laissant le temps aux croissances de s'égaliser.

Cependant les deux rapports N/P et K/N ne suffisent pas à caractériser les conditions de la transformation florale, car ils n'ont guère différé entre les stades F. O. des 2^e et 3^e cycles. Pour différencier ces deux derniers, il faut établir le rapport azote/somme des cations (graphique 14). La F. O. de 3^e cycle vient alors bien se placer en intermédiaire entre celles de 1^{er} et 2^e cycles, avec **Ca**, **S**, **T** nettement en retard sur les autres traitements — comme ils le sont pour le nombre total de feuilles à émettre — mais moins de dispersion cependant qu'au stade équivalent du 1^{er} cycle (F. O. + 11). En l'absence de données sur les stades végétatifs ultérieurs du 3^e cycle, il est permis de penser que le rapport N/K + Ca + Mg y a commencé par croître, d'après ce que l'on constate au 1^{er} cycle et d'après les niveaux de départ des quatre éléments intervenant dans ce rapport ; le seuil supposé nécessaire à l'initiation florale aurait ainsi été atteint plus ou moins tôt selon les traitements, avec moins de décalage qu'au premier cycle

pour les nombres de feuilles émises et par conséquent à des niveaux de croissance plus différents.

Le rapport N/S ne semble pas pouvoir être mis en cause ; en premier cycle il oscille entre 8 et 11 pour tous les traitements jusqu'au stade F. O. + 14 inclus, contre 12 à 13,5 au stade F. O. de troisième cycle et 14 à 15,5 au stade F. O. de deuxième cycle. Ces résultats ne permettent pas de définir une valeur limite à franchir, puisque la différenciation florale de premier cycle a eu lieu sitôt après le stade F. O. + 14 chez les traitements les plus précoces.

A l'aide des deux rapports N/P et N/cations on retrouve convenablement sur les graphiques 13 et 14 les stades d'initiation florale de chaque traitement à chaque cycle, compte tenu de la marge d'imprécision due aux interpolations nécessitées par la discontinuité des échantillonnages. Un examen minutieux conduit alors à admettre que *dans les conditions de l'essai*, la différenciation florale du bananier nain a nécessité, quel que soit le cycle :

— l'émission de 5 ± 1 feuilles après la F. O. ;

— le passage au-dessus de 11,5 du rapport N/P, dans « l'échantillon 1/3 » du limbe de la plus jeune feuille, — avant, pendant ou après ce stade F. O. + 5 — avec semble-t-il un effet cumulatif (persistance nécessaire pendant un plus grand nombre de feuilles successives si le rapport ne dépasse pas franchement la limite 11,5).

— le passage au-dessus de 17 du rapport N/cations (g/ég-g), dans les mêmes conditions mais sans effet cumulatif.

Cette dernière condition n'a sans doute pas été respectée au premier cycle chez les traitements les plus tardifs. Il faut admettre que les bananiers déficients en azote ont fleuri quand ils atteignaient un niveau de croissance suffisant, nécessitant alors un allongement, par rapport aux normes primitives de J. DUMAS, des étapes de développement particulières aux premiers cycles.

A l'inverse, on ne peut pas dire que la présence d'éléments minéraux dans les feuilles selon les proportions définies ci-dessus soit directement responsable du déclenchement de la floraison. On ne peut pas davantage déclarer qu'en premier cycle le retard des rapports N/P et N/cations à franchir les valeurs-limites trouvées est la traduction foliaire des états physiologiques de toute la plante correspondant aux sous-phases supplémentaires du développement ; il faudrait d'abord recouper ces résultats par ceux

d'autres essais, et on ne peut espérer en tout état de cause que des réalités de cet ordre puissent entièrement s'exprimer en termes de nutrition minérale. Mais les deux effets différents de l'azote s'expliquent assez bien par les teneurs foliaires :

— action stimulatrice sur la *croissance* des niveaux azotés élevés ;

— action morphogène, c'est-à-dire *modification de durée des étapes* autonomes du développement, des rapports N/P et N/cations.

Il est parfaitement logique que l'équilibre entre l'azote et le phosphore (les deux constituants essentiels des acides nucléiques) et aussi l'équilibre entre l'azote et les cations (catalyseurs ou accompagnateurs du métabolisme général), dans cet organe à peine élaboré qu'est la feuille en position I, soient en bonne relation avec la vitesse du développement. On connaît par ailleurs des cas de carences phosphorées aiguës où des bananiers de 1^{er} cycle ont fleuri précocement, mais minuscules.

3. Antagonismes entre cations.

Si nous avons eu relativement peu d'occasions de les déceler dans l'analyse foliaire élément par élément, cela tient surtout aux principes mêmes de la méthode des variantes systématiques, la somme des apports cationiques étant identique chez les six traitements fertilisés. La figure 15 montre que *la somme des cations* dans les feuilles du bananier n'a pratiquement jamais varié, à un même stade, de plus de 10 % entre les traitements les plus différents ; le témoin n'était pas toujours le plus faible et les écarts un peu importants que l'on peut relever dépendent plutôt des anions (azote surtout) que des cations. Il n'y a donc pas eu d'absorption très préférentielle de tel ou tel cation.

Il est alors très utile d'étudier *les proportions entre K, Ca et Mg* dans la zone foliaire analysée. L'évolution au 1^{er} cycle (fig. 17) montre une substitution progressive du calcium principalement, du magnésium pour une faible part, au potassium. Aux cycles suivants les points de départ seront déjà intermédiaires entre ceux des stades F. O. + 14 et floraison du 1^{er} cycle, avec de nettes différences entre traitements. Le sevrage plus tardif des rejets du 2^e cycle se traduit par une importance de Mg plus grande qu'au 3^e cycle (fig. 17), importance persistant (fig. 18) jusqu'à la coupe (fig. 16). La durée plus brève du 2^e cycle entraîne une part moins importante de Ca au stade floraison, qui retentit de même sur le stade coupe.

4. Équilibres, rendement et qualité du fruit.

D'études antérieures (6, 7) il résultait que l'accident dit « pulpe jaune » risquait de se produire chaque fois qu'au stade coupe on obtenait simultanément dans la « zone 1/3 » de l'avant-dernière feuille :

- un rapport K/N supérieur à 1,7,
- un rapport $K/K + Ca + Mg$ (exprimés en équivalents) supérieur à 53 %.

Nous avons vu que le critère « coloration de la pulpe » ne peut être pris en considération ici, variant entre des limites étroites et à peu près uniquement sous l'influence des saisons ; mais dans les études auxquelles nous nous référons le terme « pulpe jaune » signifiait plutôt « maturité avancée », anomalie dont l'autre aspect est la chute anticipée de la dureté. Au premier cycle le rapport K/N foliaires (graphique 12) ne dépasse 1,7 au stade coupe chez aucun traitement, et tous ont une excellente dureté. Au deuxième cycle, K/N est partout supérieur à 1,7 au stade coupe, mais les proportions entre K, Ca et Mg (graphique 16) ne donnent plus de 53 % de K que chez les traitements **K**, **P**, **S** : exactement ceux que nous avons incriminés pour leur déséquilibre potasse/azote. Au troisième cycle, mêmes constatations ; le témoin vient lui aussi se placer au-dessus de 53 % de K, mais nous avons vu que sa teneur en K risque fort d'être surestimée. On peut aussi faire observer que **K**, **P** et **S** aux deuxième et troisième cycles

sont les seuls à dépasser $K/N = 1,95$ et se demander si cette limite ne convient pas mieux que 1,7.

Nous pouvons également constater que les traitements **Ca** aux trois cycles et **N** au premier cycle sont seuls à comporter plus de 43 % de Ca. Ce n'est pas non plus une limite absolue, car la qualité était correcte en premier cycle chez ces deux traitements, mais ils avaient également une teneur en azote élevée (2,6 %) qui n'a plus jamais été atteinte par la suite au stade coupe. Il y a donc là une double indication, qui demanderait à être vérifiée par l'étude d'un plus grand nombre de cas.

Par ailleurs, le franchissement de cette ligne 43 % ou même 41 % de Ca semble impliquer une diminution du rendement quantitatif.

Il aurait été intéressant de pouvoir compléter du côté du magnésium la zone optimum esquissée sur le graphique 16 : les limites $K = 53\%$ et $Ca = 43\%$ au point de vue qualité doivent sans doute recouper une autre limite vers $Mg = 7\%$. En ce qui concerne le rendement quantitatif, pour valoriser au mieux la nutrition azotée, il doit y avoir aussi une rupture de pente qu'il est impossible de préciser entre 10 et 15 % de Mg : la position isolée des trois cycles du traitement **Mg** correspondant à une tendance au fruit plus blanc, mais à un rendement diminué.

VII. ÉTABLISSEMENT DE LA FUMURE OPTIMALE

Elle ne peut être déterminée que pour des bananiers placés dans les conditions de l'essai : sur le même sol, avec le même apport initial de fumier. Pour simplifier, nous considérerons le résultat global des trois cycles, et chercherons la formule de fertilisation qui, appliquée trois années de suite sans changement, donnerait les meilleurs résultats. Ceci nous conduit à prendre comme critère de rendement le poids moyen de régimes produit par plante et par an :

*Somme des poids moyens obtenus sur trois cycles $\times 365$
date de récolte du 3^e cycle (en jours depuis la plantation).*

	N	P	S	K	Ca	Mg	T
Kg/an.....	22,39	19,52	17,05	21,68	19,08	20,29	14,57
Différence avec le témoin.....	+ 7,82	+ 4,95	+ 2,48	+ 7,11	+ 4,51	+ 5,72	—
T/ha/an (*).....	44,8	39,0	34,1	43,4	38,2	40,6	29,1

(*) Le nombre des manquants étant d'environ 10 % en moyenne et paraissant dépendre beaucoup plus du hasard que des traitements reçus, nous avons compté une densité productive de 2 000/ha (sur 2 222 plantés) quel que soit le traitement.

Chiffrer l'incidence des observations sur la qualité, c'est-à-dire tenir compte des diminutions de prix de vente et des pourcentages de pertes, serait hasardeux ; nous devons nous contenter, une fois les formules calculées d'après le seul rendement, de les ajuster d'après les influences sur la qualité que nous avons décelées ci-avant.

1. Calcul selon M. V. HOMÈS.

Les formules de M. V. HOMÈS (9), avec introduction du terme correctif tenant compte du rendement du témoin, donnent pour *équilibres optima* :

anions : 42 % de N — 33 % de P — 25 % de S,
cations : 37 % de K — 30 % de Ca — 33 % de Mg ;

soit avec les doses totales d'anions et de cations adoptées pour l'essai :

160 g N — 85 g P (195 g P_2O_5) — 100 g S,
240 g K (290 g K_2O) — 100 g Ca (140 g CaO) —
66 g Mg (110 g MgO)

par pied et par cycle.

Rappelons que l'application complète de la méthode supposerait un ou plusieurs essais sur un terrain semblable, pour définir le rapport anions/cations et la dose totale anions + cations : les quantités indiquées ici n'ont pas de valeur dans l'absolu, les proportions entre N, P et S d'une part, entre K, Ca et Mg d'autre part étant seules à considérer comme valides.

2. Estimation directe.

Le graphique 1 montre que l'ensemble rendement-précocité est imputable quasi uniquement à l'azote ; mais entre 150 et 250 g de N l'augmentation de rendement n'est que de 0,7 kg, ce qui n'est pas rentable. On peut donc fixer la *dose annuelle d'azote* à 150-180 g si l'on maintient la forme mi-nitrique, mi-ammoniacale ; l'exemple du traitement S donne à penser qu'on pourrait en économiser davantage en faisant prévaloir la forme nitrique.

Le phosphore s'étant montré suffisant dans tous les cas, on peut le supprimer ; par précaution on pourra éventuellement conserver les 39 g des traitements cations (90 g P_2O_5).

L'élévation du *rapport* K_2O/N dans l'engrais au-dessus de 1,2 ne donne pas d'augmentation de rendement ; toutefois il a parfois été signalé en cours d'essai que les fruits du traitement N manquaient de saveur. Par contre à $K_2O/N = 3,6$ il y a dépréciation de la qualité. Nous adopterons donc la valeur 1,5 qui

conduit à administrer 225 à 270 g de K_2O (185 à 225 g de K). A cette époque en Guinée on admettait un rapport $K_2O/N = 2$ ou 2,5 mais ici nous avons affaire à un sol assez riche en potasse même chez le témoin.

Le magnésium est certainement insuffisant dans tous les traitements essayés, sauf Mg où il est excédentaire. Entre 36 et 138 g de Mg par pied, entre $K_2O/MgO = 11$ ou 5 (traitements K et N) et $K_2O/MgO = 0,5$ (traitement Mg), la marge est vaste ! Nous ne pouvons que la resserrer entre 2 et 4 pour le rapport K_2O/MgO , soit une dose par cycle de 60 à 135 g de MgO (36 à 81 g de Mg).

Pour le calcium nous pouvons admettre une dose un peu supérieure à celle des traitements K et Mg, afin de maintenir le niveau de cet élément dans le sol : de l'ordre de 100 g de CaO (71 g de Ca).

Pour mémoire, le soufre devra se trouver présent de temps à autre dans l'un des engrais appliqués, afin de ne pas risquer de déficience.

3. Comparaison des deux estimations.

Le calcul selon la méthode des variantes systématiques donne manifestement ici des résultats erronés pour les anions. Cette méthode est fondée sur l'existence des antagonismes ; or ceux-ci ont très peu joué entre les anions, l'analyse foliaire l'a démontré. L'effet du traitement P est en réalité celui d'une faible dose d'azote, l'effet de S est celui d'une inassimilation partielle de la même dose d'azote ; les deux anions P et S n'étant pas intervenus eux-mêmes dans l'obtention des résultats des traitements correspondants. C'est donc par une heureuse coïncidence que le calcul indique une dose d'azote correspondant bien au seuil de rentabilité et aux résultats des autres études de l'I. F. A. C. en Guinée ; mais ce calcul conduit à préconiser des apports de phosphore et de soufre dont la plante n'a pas besoin (d'autres essais réalisés sur terrains équivalents l'avaient également démontré).

En revanche, les réponses individuelles à K, Ca, Mg et la mise en évidence d'antagonismes dans leur métabolisme valident les résultats du calcul selon HOMÈS pour les cations. Il faut simplement rectifier les doses individuelles des trois éléments, tout en

conservant leurs proportions, pour tenir compte du rapport K_2O/N optimum défini par l'examen global des résultats ; rien ne permet d'ailleurs de douter que, si elle avait été réalisée, la tranche d'étude portant sur le rapport anions/cations et sur la dose totale n'aurait abouti au même résultat. On arrive ainsi à :

185 à 225 g K (225 à 270 g K_2O)
75 à 95 g Ca (105 à 130 g CaO)
50 à 65 g Mg (80 à 105 g MgO)

ce qui correspond parfaitement à l'évaluation directe et se situe, pour Mg, presque au milieu de la marge que nous avons conservée (rapport $K_2O/MgO = 2,7$).

CONCLUSIONS

La méthode des variantes systématiques donne donc de bons résultats dans la mesure où les ions de même signe deviennent tous les trois *limitants dans les traitements où ils sont minoritaires* ; mais ses modalités de calcul ne sont plus valables si l'un ou a fortiori deux des ions s'avèrent non bénéfiques sur le binôme sol-plante auquel on les applique. La question de la forme nitrique ou ammoniacale pour l'azote pose un problème peut-être plus aigu pour cette méthode que pour d'autres. Nous avons tiré grand profit d'un essai « variantes systématiques » limité aux cations mais avec des niveaux variés sur l'ananas, dont le comportement à l'égard des anions est très voisin de celui du bananier (12). Dans les deux cas cette méthode a fourni des indications de premier plan sur les rôles physiologiques des cations, notamment en évitant la confusion entre élément calcium et pH du sol, dans laquelle s'enferment les expérimentations conduites selon des principes qui ne permettent pas de dissocier les effets des deux ions d'un sel chimique.

Dans les deux cas aussi, **l'analyse foliaire répétée dans le temps** a multiplié l'intérêt de l'expérience. Son étude élément par élément fournit en premier lieu certaines *bases d'appréciation pour la pratique du diagnostic foliaire* : niveaux déficients, faibles, critiques, optima, de luxe, excessifs, qui peuvent varier en fonction du stade de la plante et en fonction des saisons. Ces notions simples, auxquelles s'arrêtent souvent les travaux sur l'analyse foliaire, ne sont pas toujours applicables ; le tableau VI résume sous cet angle les résultats de l'essai, qui au demeurant était loin de couvrir toute la gamme des niveaux possibles pour chaque élément : ce n'était pas son but. En ce qui concerne le stade convenant le mieux au diagnostic foliaire, celui qui donne les écarts entre traitements les plus en rapport avec les différences agronomiques constatées, les conclusions sont reprises dans l'article « Orientations du diagnostic foliaire du bananier », au chapitre « Insuffisance de l'analyse du limbe au stade récolte ».

Mais l'analyse foliaire apporte beaucoup plus si l'on soumet l'ensemble de ses résultats à *une étude critique poussée, en étroite imbrication avec l'ensemble des données que l'on peut enregistrer* sur la vie de la plante, tout particulièrement la croissance foliaire. On découvre alors l'importance des interrelations : certains équilibres peuvent agir autant si ce n'est plus que les niveaux individuels sur le rendement en bananes ou sur la qualité, d'autres influent sur la durée des phases du développement de la plante. Ce sont là des points de départ déterminants pour la compréhension du rôle des divers éléments majeurs chez le bananier, et donc un appoint si modeste soit-il à la physiologie de la nutrition chez les plantes.

REMERCIEMENTS

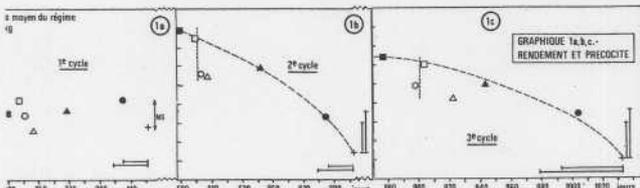
Nous sommes redevables, outre F. DUGAIN et son laboratoire de Hann-Dakar déjà cités pour les analyses de sol, à :
— L. GUIMBERTEAU † (I. F. A. C.), de la conduite de l'essai sur le terrain et de la surveillance des observations et échantillonnages ;

— J. DEL BRASSINNE (I. F. A. C.), des vérifications et calculs de moyennes parcellaires pour les mensurations ;

— M^{me} J. DIDIER de SAINT-AMAND et son laboratoire de Bondy (O. R. S. T. O. M.), des analyses foliaires, prises en charge à la suite d'accords intervenus avec l'agrément des Directions respectives de l'O. R. S. T. O. M. et de l'I. F. A. C. entre F. COLMET D'ÂAGE (Bureau des Sols des Antilles, O. R. S. T. O. M.) et nous-même au sujet des « Essais Sol-Plante sur Bananiers » aux Antilles ;

— P. LOSSOIS et son Service de Biométrie (I. F. A. C.), de tous les calculs statistiques.

On ne saurait sous-estimer l'importance de cette précieuse collaboration et il nous est agréable d'adresser nos vifs remerciements à chacun d'eux.



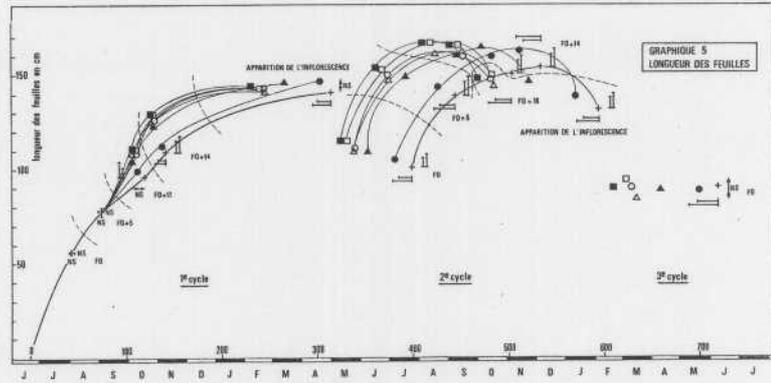
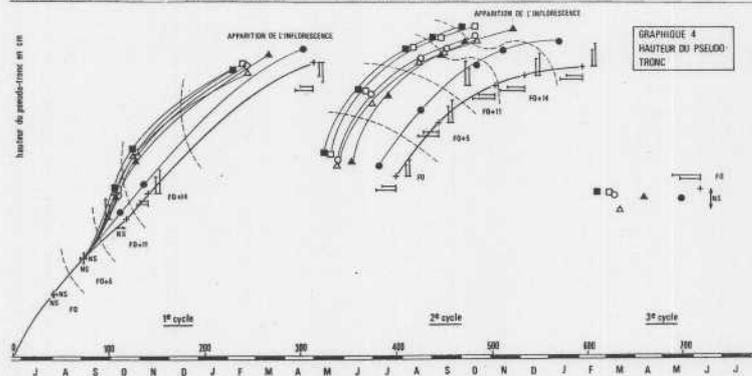
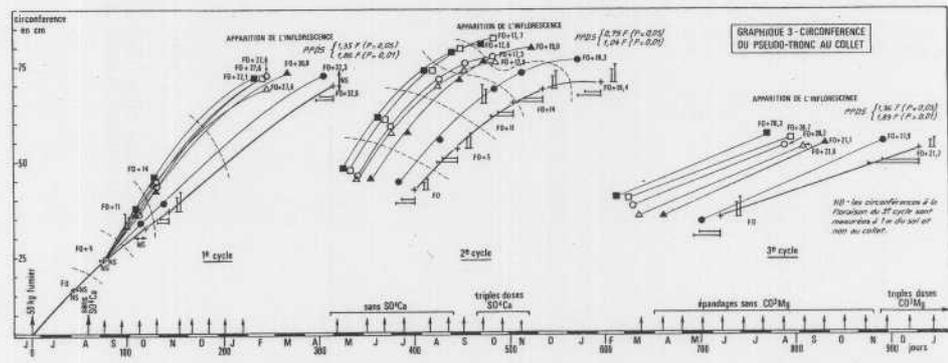
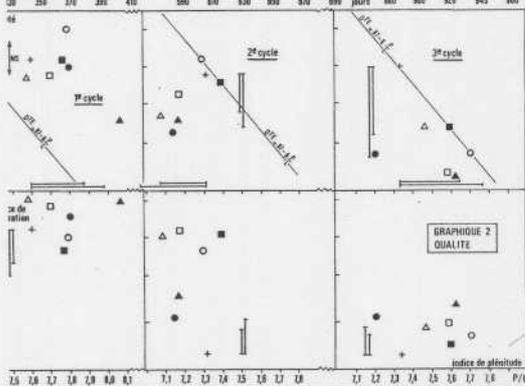
TRAITEMENTS

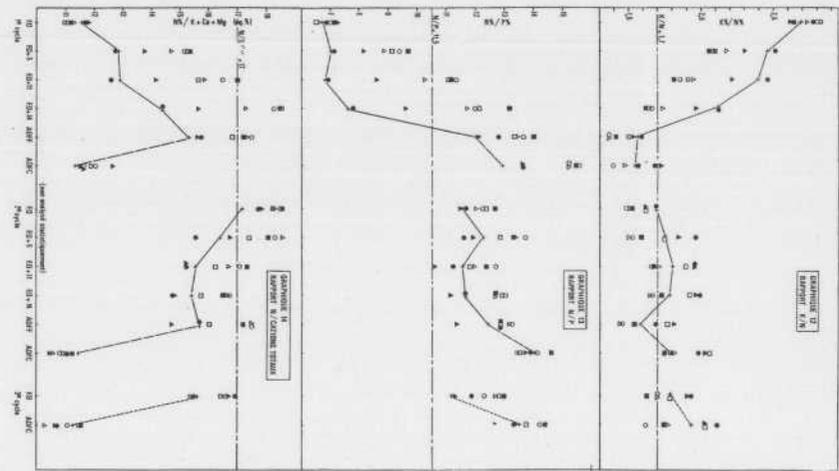
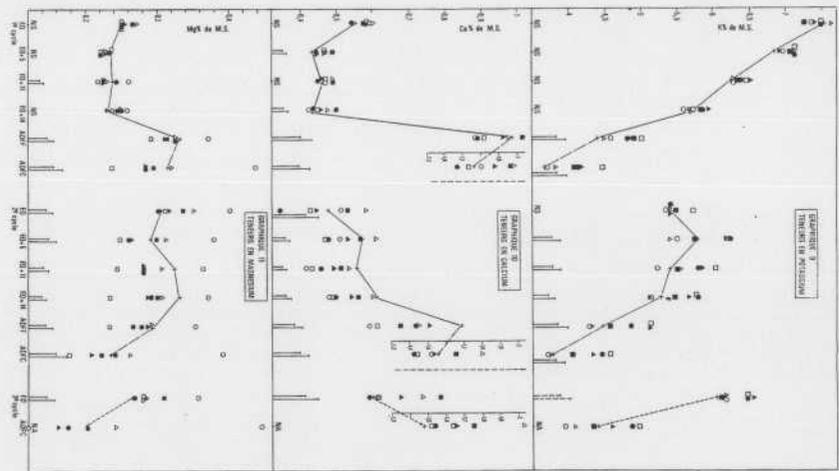
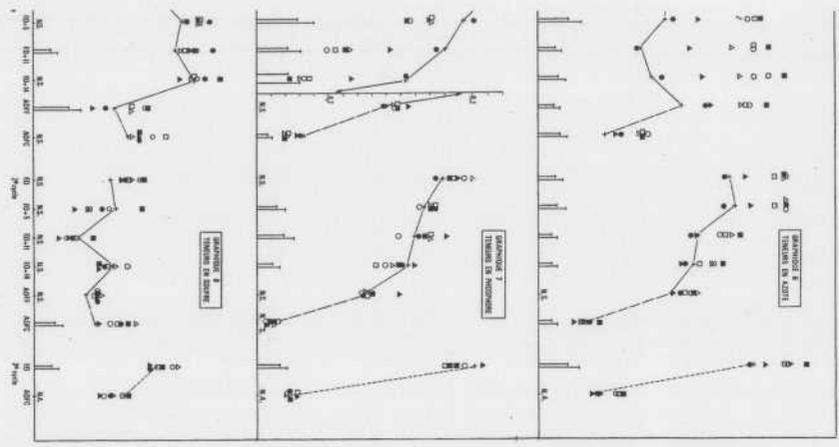
- N
- P
- ▲ S
- K
- △ Ca
- Mg
- + Témoïn

NS = non significatif
 NA = non analysé

PPDS à $\begin{cases} P = 0,05 \\ P = 0,01 \end{cases}$

ADFF = avant dernière feuille à la sortie de la fleur.
 ADFC = avant dernière feuille à la coupe du régime.





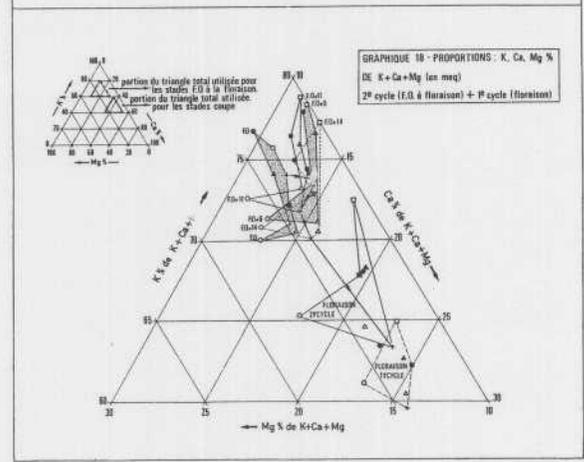
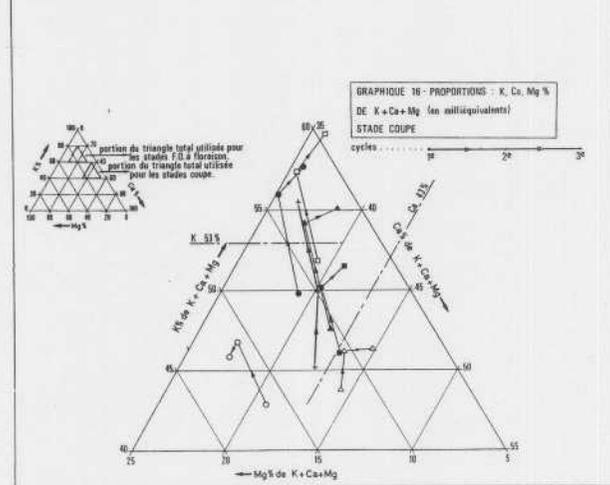
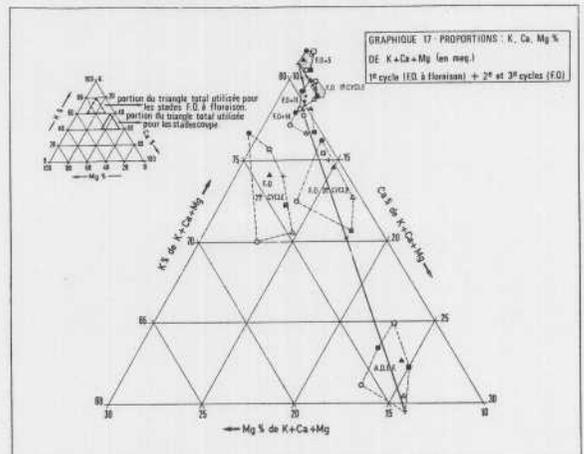
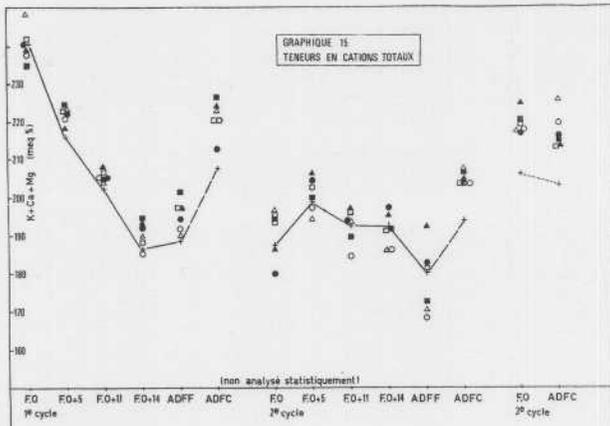


TABLEAU I - Doses en grammes par plant et par cycle

Traitement	T	N	P	S	K	Ca	Mg
H	0	258	52	52	150	150	150
P	0	37	180	37	39	39	39
P ₂ O ₅	0	84,8	412,8	84,8	89,3	89,3	89,3
S	0	80	80	245	171	171	171
H	0	248	248	248	448	448	448
K ₂ O	0	299	299	299	540	117,5	117,5
CaO	0	143	143	143	50	238	30
CaO	0	200	200	200	70	322	78
Mg	0	36	36	36	30	30	138
MgO	0	80	80	80	50	50	239
Nitrate ammoniac 33,5 % N	0	748	155	53	448	448	448
Sulf. ammoniac 20,0 % N - 13,34 % S	0	8	8	8	160	0	0
Phosph. monoammon. 50,5 % P ₂ O ₅ - 31 % N	0	183	793	163	172	172	172
Sulf. potassium 48 % K ₂ O - 16,34 % S	0	0	0	0	817	80	0
Carbonate potassium 63 % K ₂ O	0	182	82	0	217	99	89
Sulfate sodium (*) 52,8 % CaO - 14,8 % S	0	322	322	614	215	900	215
Carbonate sodium (**) 33,5 % CaO	0	173	173	0	0	40	0
Sulf. magnésium 14,35 % MgO - 13,0 % S	0	0	0	0	160	0	1005
Carbonate magnésium 48 % MgO	0	125	125	0	124	104	124

(*) Remplacé par quantité équivalente de sulfate aux 3e et 4e cycles.

(**) - ou quantité équivalente de chlorure agricole, selon les disponibilités du moment.

TABLEAU II - Données climatologiques moyennes mensuelles.

	Hygrométrie (psychrom.)		Température		Evaporation mm/jour	Insolation heures et mm/jour	Précipitations mm/mois
	T _{max}	T _{min}	Min.	Max.			
Juin 1958	93,8	76,0	20,5	29,5	1,34	3,95	211,4
Juillet	98,8	80,1	22,0	28,9	0,9	1,23	407,7
Août	98,9	82,5	20,4	25,6	0,70	1,01	521,8
Septembre	98,8	81,4	20,9	28,5	1,19	4,04	230,3
Octobre	96,7	72,7	20,3	28,1	1,27	5,32	278,3
Novembre	96,8	75,6	20,7	28,8	1,22	4,20	140,7
Décembre	93,1	66,8	17,7	25,5	2,31	6,32	5,3
Janvier 1959	94,8	43,1	16,4	21,2	2,78	8,10	0,4
Février	93,8	40,7	16,0	21,2	3,65	7,11	9,5
Mars	92,8	39,6	15,6	24,6	4,06	8,95	traces
Avril	89,7	40,1	20,1	25,2	4,57	8,38	29,9
Mai	91	40,9	21,1	21,6	5,24	6,19	358,8
Juin	96	48	20,8	29,8	1,43	2,58	540,0
Juillet	97	82	20,6	27,4	0,95	2,22	350,6
Août	97	85	20,5	28,2	0,92	1,99	581,2
Septembre	94	77	18,8	28,4	1,12	3,11	393,5
Octobre	96	69	19,1	28,7	1,41	6,18	162,0
Novembre	97	68	19,3	29,8	1,53	5,24	86,8
Décembre	96	60	14,5	20,2	3,48	6,55	0
Janvier 1960	93,8	55,9	14,2	22,0	3,24	6,35	0
Février	93,8	37,6	17,2	25,4	4,06	7,88	0
Mars	92,8	35,7	17,5	24,7	4,76	7,32	0,6
Avril	86,9	41,0	20,0	24,9	4,06	6,25	65,9
Mai	93,9	58,1	21,2	21,8	5,39	6,12	276,8
Juin	96,3	73,8	20,9	28,6	1,43	5,00	289,5
Juillet	96,0	78,5	20,6	27,0	0,97	3,93	416,7
Août	96,0	83,4	20,8	27,6	0,96	4,42	489,9
Septembre	97,3	80,0	20,8	28,3	1,09	3,22	337,0
Octobre	96,1	71,9	20,9	29,7	1,50	6,15	177,1
Novembre	96,7	68,9	19,5	29,3	1,65	6,29	41,2
Décembre	94,8	55,4	17,5	26,9	2,34	7,22	9,2
Janvier 1961	91,8	42,1	18,4	21,6	1,99	6,42	0,3
Février	91,7	31,1	14,7	23,5	4,42	8,97	0,8
Mars	91,9	27,7	18,0	28,1	4,93	7,41	0,1
Avril	91,8	41,0	19,9	24,9	4,00	7,08	30,1
Mai	92,7	41,2	21,8	22,8	2,43	3,94	140,8
Juin	96,9	73,8	20,8	29,1	1,37	6,92	242,3
Juillet	96,9	86,3	20,6	26,7	0,84	1,59	585,9
Août	97,0	85,9	20,8	28,4	0,75	1,94	540,1
Septembre	96,8	80,7	20,2	28,3	1,00	3,33	423,5
Octobre	96,0	71,1	19,9	29,8	1,48	6,50	131,7

TABLEAU III - Caractéristiques moyennes des fruits produits aux trois cycles.

Traitement	Date de coupe 1er cy. 2e cy. 3e cy.	Nombre de jours depuis la plantation 1er cy. 2e cy. 3e cy.	Poids régime (kg)			Nombre de noix			p/L			Critères de qualité Durée			Coloration			Intervalle deux - coupe (jours)		
			1er cy. 2e cy. 3e cy.	1er cy. 2e cy. 3e cy.	1er cy. 2e cy. 3e cy.	1er cy. 2e cy. 3e cy.	1er cy. 2e cy. 3e cy.													
H	11/3/59 11/1/60 14/1/60	330 890 877	15,5 14,9 18,4	8,77 9,46 6,47	7,78 7,48 7,60	41,2 42,6 41,4	3,27 3,44 2,15	180 121 109												
P	26/6/59 24/3/60	308 440 944	15,7 13,9 16,9	9,00 9,67 8,60	8,08 7,15 7,68	41,4 41,8 40,1	3,79 2,78 2,88	100 120 168												
S	31/7/59 6/2/60 21/2/61	405 485 1084	16,2 15,3 16,4	9,17 8,97 8,41	7,81 7,18 7,23	43,9 41,3 40,7	3,62 2,98 2,97	162 114 154												
K	24/7/59 10/2/60 11/2/60	137 400 964	16,2 16,5 18,0	8,97 9,93 8,97	7,75 7,18 7,39	42,8 42,1 40,2	3,74 3,48 2,49	96 119 134												
Ca	3/8/59 19/2/60 29/12/60	346 400 922	14,6 17,4 16,0	4,62 9,10 8,29	7,99 7,99 7,47	42,7 41,7 41,4	3,01 3,41 2,44	101 123 133												
Mg	28/8/59 14/2/60 5/12/60	341 404 898	15,4 17,4 16,9	8,87 9,22 8,32	7,80 7,30 7,91	43,9 42,0 40,7	3,48 3,26 2,36	96 122 130												
Témoin	16/8/59 24/8/60 18/4/61	421 703 1852	14,8 13,4 13,0	6,07 6,83 7,95	7,41 7,33 7,34	43,2 42,8 43,8	3,49 2,17 2,15	107 100 100												
Coef. de variation %			2,8 1,7 2,7	6,7 6,1 7,8	4,6 4,9 4,9	3,4 2,8 2,7	3,9 1,6 2,4	6,5 3,8 6,0	4,4 1,3 3,4											
PPD 1-8			16 21	N.S.	N.S.	0,28 0,38	N.S.	8,38 8,68	3 10											
PPD 1-5			17 23	1,6 2,2	0,68 0,94	0,24 0,34	1,0 1,4	0,26 0,36	4 9											
			19 25	1,9 2,6	0,87 0,79	0,31 0,43	1,8 2,4	0,32 0,50	6 8											

TABLEAU VI - Classement interprétable des valeurs moyennes par l'analyse foliaire dans l'essai "Variétés systématiques" aux tomates, cultivar "Petite Rose" (v. "Dart Greenleaf"), feuille 2, sans 1/3.

Élément	Stade	Défiance	Insuffisance	Optimum	Lois	Échec	Non classé	Remarques
N	F.O.	2,6 - 3,0	3,0 - 3,3	3,5 - 3,8 *				* limite supérieure non précisée
	avant le diff. floral	2,5 - 3,8	3,0 - 3,3	3,4 - 3,6 *				
	Floraison Régéné	Niveau inapplicable dans les conditions de l'essai					2,8 - 2,5 2,1 - 2,7	Influence saisonnière prédominante ?
P	F.O.			0,27 * - 0,45 *				distinction entre optimum et
	Floraison			0,16 * - 0,26 *				limite inférieure et supérieure
	Régéné			0,20 * - 0,36 *				non précisée
K	Tous			0,20 * - 0,36 *				
	Végétative	< 2,5			> 0			distinction entre base et apex d'épave
	Floraison Régéné	4,1 * - 4,2 3,7 * - 4,0	4,5 - 4,8 4,9 - 4,9			3,0 - 3,2 4,3 - 3,8		les supports N/P et N/P/Ca/Mg * limite inférieure non précisée
Ca	F.O.			0,42 - 0,55				
	Végétative (sans F.O.)			0,46 - 0,7				
	Floraison Régéné			1,40 - 1,75			0,36 - 0,78	avant 3 1,0
Mg	Végétative et Régéné	0,21 - 0,35 0,14 - 0,25 *		avant 0,35 *		0,34 - 0,45 0,38 - 0,45		limite non précisée dans chaque des deux groupes indiqués

BIBLIOGRAPHIE

- (1) DUGAIN (F.). — Interprétation des analyses de sol sur les essais bananiers de Kindia en 1960. *Rapport annuel I. F. A. C.* 1960, Doc. n° 46.
- (2) DUGAIN (F.). — Rapports non publiés.
- (3) DUGAIN (F.). — Les analyses de sol et le « bleu » du bananier. *Première réunion internationale FAO/CCTA sur la banane*, Abidjan 1960, Doc. n° 7.
- (4) DUMAS (J.). — Contribution à l'étude du développement du bananier nain. *Fruits*, vol. 10, n° 8, p. 301-326, 1955.
- (5) DUMAS (J.). — Détermination d'une feuille origine pour l'étude des bananiers cultivés. *Fruits*, vol. 13, n° 5, p. 211-224, 1958.
- (6) DUMAS (J.) et MARTIN-PRÉVEL (P.). — Contrôle de nutrition des bananeraies en Guinée : premiers résultats. *Fruits*, vol. 13, n° 9-10, p. 375-386, 1958.
- (7) DUMAS (J.). — Contrôle de nutrition de quelques bananeraies dans trois territoires africains. *Fruits*, vol. 15, n° 6, p. 277-290, 1960.
- (8) HOMÈS (M. V.). — *L'alimentation minérale des plantes et le problème des engrais chimiques*. Ed. Masson, Paris 1953.
- (9) HOMÈS (M. V.). — *L'alimentation minérale équilibrée des végétaux*, tomes I et II. Ed. Universa, Wetteren (Belgique) 1961 et 1966.
- (10) LOSOIS (P.). — Recherche d'une méthode de prévision des récoltes en culture bananière. *Fruits*, vol. 18, n° 6, p. 283-293, 1963.
- (11) MARTIN-PRÉVEL (P.). — La méthode des variantes systématiques. *Fruits* vol. 15, n° 8, p. 371-374, 1960.
- (12) MARTIN-PRÉVEL (P.), HUET (R.), HAENDLER (L.) et DUGAIN (F.). — Potassium, calcium et magnésium dans la nutrition de l'Ananas en Guinée. I. *Fruits*, vol. 16, n° 2, p. 49-56. — II, n° 3, p. 113-123. — III, n° 4, p. 161-180. — IV, n° 7, p. 341-351. — V, n° 11, p. 539-557. — VI, vol. 17, n° 5, p. 211-227. — VII, n° 6, p. 257-261, 1961 et 1962.
- (13) MARTIN-PRÉVEL (P.) et TISSEAU (R.). — Les éléments minéraux dans le bananier et dans son régime. *Fruits*, vol. 17, n° 3, p. 123-128, 1962 ; et *Fertilité*, n° 22, p. 3-14, 1964.
- (14) MARTIN-PRÉVEL (P.), MONTAGUT (G.), LOSOIS (P.), GODEFROY (J.), LACCEUILHE (J.-J.) et DORMOY (M.). — Les essais sol-plante sur bananiers. a/ *Fruits*, vol. 20, n° 4, p. 157-169. — b/n° 6, p. 261-264. — c/n° 6, p. 265-273. — d/n° 6, p. 274-281. — e/n° 8, p. 398-410. — f/n° 11, p. 634-645. — g/vol. 21, n° 1, p. 19-36. — h/n° 6, p. 283-294. — i/n° 8, p. 395-416, 1965 et 1966.
- (15) MARTIN-PRÉVEL (P.), LACCEUILHE (J.-J.) et MARCHAL (J.). — Orientations du diagnostic foliaire du bananier. *Colloque sur la fertilité des sols tropicaux*, Tananarive 19-25 nov. 1967, comm. n° 14 ; et *Fruits*, vol. 24, n° 3, p. 153-161.
- (16) MARTIN-PRÉVEL (P.). — Conception des études agrophysiologiques de nutrition minérale à l'I. F. A. C. *Colloque sur la fertilité des sols tropicaux*. Tananarive 19-25 novembre 1967, comm. n° 17.



Vient de paraître :

CARENCES ET TROUBLES DE LA NUTRITION MINÉRALE CHEZ LE BANANIER

Guide de diagnostic pratique

par **J.-M. CHARPENTIER** et **P. MARTIN-PRÉVEL** (I. F. A. C.)

Cet album illustre, avec 86 diapositives en couleurs, reproduisant des photographies prises au cours d'expériences en culture hydroponique ou dans des plantations d'Afrique, des Antilles, d'Amérique latine, les aspects des divers troubles de la nutrition minérale actuellement connus chez le bananier : carences, déséquilibres et toxicités.

Les diapositives (24 × 36 mm) sous carton (50 × 50 mm) sont groupées par 6 dans des pochettes avec une légende explicative pour chacune d'elles.

Le livret qui les accompagne comporte trois parties :

- 1) un exposé des conditions de validité d'un diagnostic fondé sur l'observation visuelle de la plante ;
- 2) une description détaillée des carences, excès ou déséquilibres avec renvoi aux photographies correspondantes ;
- 3) un tableau synoptique résumant en quelques lignes chacune des descriptions précédentes.

L'ensemble est présenté sous un boîtier cartonné 13 × 18 cm.

Prix : 120 F.

Adresser les commandes à :

Institut Français de Recherches Fruitières Outre-Mer (Service des Publications)

6, rue du Général-Clergerie, 75-Paris (16^e), France