

CULTURE SUR MILIEU ARTIFICIEL

Symptômes de carences en six éléments minéraux chez le bananier

par **P. MARTIN-PRÉVEL** et **J.-M. CHARPENTIER**

Institut Français de Recherches Fruitières Outre-Mer.

Une déficience minérale fait presque toujours décroître le rendement de la culture qui la subit, avant d'être assez grave pour conférer aux plants un aspect caractéristique. Aussi reproche-t-on parfois à la symptomatologie des carences d'apporter une aide trop tardive au praticien, les méthodes telles que l'analyse foliaire permettant un diagnostic plus précoce.

En fait, il n'est pas rare de rencontrer des plantations, même bien suivies, manifestant des symptômes visibles : soit à l'état endémique, lorsque leur cause n'a pas encore pu être établie ; soit par taches ou individus isolés, qui peuvent alors révéler une déficience encore latente dans les carrés avoisinants. C'est pourquoi la connaissance des signes caractéristiques de carence en chacun des éléments minéraux essentiels demeure indispensable pour l'agronome.

La symptomatologie des troubles de la nutrition chez le bananier est encore mal définie. L'Institut Français de Recherches Fruitières Outre-Mer (I. F. A. C.) a donc entrepris d'explorer systématiquement ce domaine au moyen de cultures sur solutions synthétiques, malgré les difficultés d'emploi de cette technique dans le cas d'une plante aussi encombrante. Nous rendons compte ci-dessous de la première des études menées dans l'installation réalisée à cet effet, à la Station I. F. A. C. d'Azaguié (Côte d'Ivoire).

I. MATÉRIEL ET MÉTHODES

1° DISPOSITIFS

a) Bacs de culture.

Vingt et un bacs ont été installés courant 1961 par L. GUIMBERTEAU, aménagés pour permettre l'emploi éventuel de différents modes d'alimentation : irrigation par la surface ou par le fond, etc. (Photo 2).

Le corps de chaque bac est une buse (tuyau) cylindrique en béton de 1 m de diamètre et 0,60 m de profondeur, scellée sur une plate-forme en béton précontraint de 1,20 m de côté qui lui sert de fond. Une rigole en forme de Y, ménagée sur ce socle, est destinée à faciliter le drainage et aboutit à un tuyau de matière plastique rigide traversant le corps de la buse. L'ensemble est enterré jusqu'à 20 cm environ du bord supérieur, et flanqué d'un regard en plaques de béton pro-

tégeant le tuyau de drainage et permettant d'accéder à celui-ci. Ces regards sont visibles derrière chaque bac sur la photo 2 ; ils sont assez profonds pour qu'on puisse placer un seau sous l'extrémité des tuyaux.

Les parois internes des bacs ont été soigneusement enduites de *flintkote* pour les isoler du milieu de croissance des racines ; mais comme nous le verrons cette protection s'est avérée insuffisante dans certains cas.

b) Sable.

Il se trouve fort heureusement que le lit des « mari-gots » traversant la Station d'Azaguié est constitué par endroits d'un beau *sable blanc quartzueux, à grains rouslés*. Tamisé et abondamment lavé à l'eau, ce sable de rivière local a été utilisé pour le remplissage des bacs. Son analyse a donné les résultats suivants :

azote total	55 p. p. m.
phosphore total . . .	6 p. p. m.
potassium total . . .	15 p. p. m. (dont 5 échangeables)
calcium total	140 p. p. m. (dont 37 échangeables)
magnésium total . .	11 p. p. m. (dont 5 échangeables)
sodium total	4 p. p. m. (échangeables en totalité)
somme des bases échangeables	0,26 méq pour 100 g
pH	6,3
densité apparente . .	1,65

La surface du sable était grossièrement protégée de la pluie au moyen de panneaux de papier goudronné montés sur des cadres en bois.

c) Eau.

La Station ne possédant pas encore à cette époque d'installation de purification, c'est l'eau brute des « margots » qui a été utilisée. L'analyse de cette eau, effectuée par M. J. A. DUREL, ingénieur-conseil spécialisé en la matière, a donné les chiffres ci-dessous :

titre hydrotimétrique	2,5° f (= 0,5 méq/litre)
titre alcalimétrique complet	1,8° f (= 0,36 méq/litre)
titre alcalimétrique caus-tique	0
titre de dureté permanente sodium + potassium	0,7° f (= 0,14 méq/litre)
calcium	0,5 p. p. m.
calcium	2,1° f (= 8,4 p. p. m.)
magnésium	0,5° f (= 1,2 p. p. m.)
pH	6,2
gaz carbonique libre	traces
silice totale	14 p. p. m.
chlorures	3 p. p. m.
sulfates	traces
phosphates	0,00 p. p. m.
nitrate	0,0 p. p. m.
fer	48 p. p. m.
matières organiques	23 p. p. m. (O ₂)

observations : eau très ferrugineuse, très douce, par suite très agressive.

d) Disposition sur le terrain.

Les 21 bacs sont enterrés en plein air, répartis de 2 m en 2 m sur trois lignes Est-Ouest distantes de 2,5 m. Tout autour, quelque trois cents bananiers ont

été plantés, à la même époque que ceux des bacs et aux mêmes intervalles de 2 × 2,5 m. L'ensemble du dispositif se trouve ainsi inséré dans un microclimat de bananeraie véritable (photo 2), en même temps que le milieu de croissance des racines est maintenu en équilibre thermique avec le sol de cette bananeraie.

Une légère pente facilite le drainage de l'ensemble : la dénivellation est de 5 cm du premier au septième bac d'une même ligne, et de 10 cm d'une ligne à l'autre. L'évacuation des eaux emprunte des chenaux aménagés en dessous des trois lignes, aboutissant à un collecteur transversal.

e) Mode d'alimentation.

Pour ce premier essai, notre choix s'est porté sur la technique mise au point par A. LOUÉ pour le cacaoyer (12), la mieux adaptée aux bacs et plantes de grande taille. Elle constitue une variante du procédé classique d'irrigation par-dessus à solutions perdues : au lieu de préparer des volumes de solutions nutritives qui se chiffrent ici par mètres cubes, on administre chaque semaine aux plants une dose de solutions mères concentrées et on arrose une ou plusieurs fois chaque jour avec de l'eau seule. On évite de la sorte l'installation de réservoirs de plusieurs hectolitres pour chaque traitement, nécessaires avec toute autre technique (sub-irrigation, solution coulante, etc.).

Ce procédé nécessite un drainage lent afin que les doses hebdomadaires ne soient pas trop lessivées, tout en subissant une forte dilution, avant d'être absorbées par les racines ; il exige de plus que la vitesse de drainage soit identique dans tous les bacs, pour que chaque plant ait le même régime des eaux au voisinage de ses racines. Nous avons pu contrôler ces deux points tout au long de l'étude, grâce à l'accessibilité de l'orifice inférieur des bacs.

2° CHOIX DES FORMULES NUTRITIVES

a) Objets d'étude.

Le nombre des bacs installés permettant sept traitements avec trois répétitions, nous avons choisi d'étudier dans cette première étape les carences totales en chacun des six éléments majeurs N, P, S, K, Ca, Mg pris un par un, comparées à l'alimentation complète.

b) Solution complète de base.

La formule adoptée comme référence résultait de

deux essais préliminaires réalisés par J. DUMAS et L. GUIMBERTEAU à la Station de l'I. F. A. C. en Guinée.

Essai préliminaire 1958. — Quatre bananiers de la variété 'Petite Naine' ('Dwarf Cavendish') ont été cultivés dans des cases cubiques remplies de quartz broyé, avec irrigation par-dessus et récupération du liquide nutritif ; la composition de celui-ci dérivait des formules de HOAGLAND-ARNON. Deux des cases, jaugeant 0,5 m³, ont donné des résultats identiques aux deux autres, de 1 m³ ; c'est pourquoi nous avons adopté un volume voisin de 0,5 m³ pour nos bacs de Côte d'Ivoire. Mais les fruits produits par ces quatre bananiers étaient fades, donnant à penser que la formule de HOAGLAND-ARNON était trop riche en azote ou trop peu riche en potassium pour cette plante.

Essai préliminaire 1959. — Quatre autres bananiers ont été cultivés dans les mêmes cases que précédemment, chacune recevant une solution de composition différente :

A : formule du type HOAGLAND-ARNON utilisée en 1958 ;

B : quantité d'azote diminuée de 25 % par rapport à A ;

C : quantité de potassium augmentée de 25 % par rapport à A ;

D : quantité d'azote diminuée de 25 % et quantité de potassium augmentée de 25 %.

Bien que l'essai ait été mis en place à une époque défavorable (forte sécheresse de l'atmosphère), le bananier D produisit en 320 jours un régime de 18,8 kg qui tint bien en mûrisserie (bonne dureté de pulpe, aucun dégrain) et donna des fruits de saveur excellente. Les trois autres régimes furent moins gros, moins précoces, subirent un fort dégrain et manquèrent de saveur ; le régime A se montra encore inférieur aux régimes B et C (14,2 kg en 338 jours).

Malgré l'absence de répétitions, ce test démontrait indubitablement que la formule de HOAGLAND-ARNON doit être renforcée en potassium et affaiblie en azote pour convenir tout à fait au bananier.

Formule présentement adoptée. — Ayant encore reçu quelques améliorations, la formule D ci-dessus est devenue la suivante :

Nitrate de calcium.	0,005 M
Nitrate de potassium.	0,002 M
Phosphate monopotassique.	0,0015 M
Sulfate de potassium... ..	0,001 M

Chlorure de potassium.....	0,002 M
Sulfate de magnésium.	0,002 M
Chlorure de sodium.....	0,0002 M
Sulfate ferreux 5 aq. (stabilisé par l'acide ascorbique).....	10 mg/l
Sulfate de manganèse, 7 aq.	0,85 mg/l
Sulfate de zinc, 7 aq.	0,85 mg/l
Acide borique.....	0,85 mg/l
Sulfate de cuivre, 5 aq.	0,18 mg/l
Molybdate de sodium.	0,18 mg/l
pH (ajusté au moyen d'acide lactique).....	5 ± 0,5

c) Doses d'application.

Dans les cultures de Guinée, 100 litres de solution redistribuée en circuit fermé assuraient l'alimentation d'un bananier pendant 15 jours, soit une « ration hebdomadaire » correspondant aux sels nutritifs contenus dans 50 litres de solution. Étant donné le système d'apports intermittents et de solutions perdues adopté ici, il fut décidé a priori de doubler cette ration, quitte à en modifier la dose ou la fréquence en cours d'expérience si cela s'avérait nécessaire (ce ne fut pas le cas, on observa quelques brûlures des racines superficielles mais aucun dommage susceptible de nuire aux plants, sauf peut-être au moment de la plus forte sécheresse : cf. ci-dessous, chapitre II, paragraphe c).

C'est donc en quantités d'éléments par semaine et par bananier que nous donnerons la composition de nos diverses solutions. Pour comparer nos résultats avec ceux d'autres auteurs, il faudra bien les transposer en concentrations, sur la base théorique de 100 litres pour une dose hebdomadaire ; mais ces chiffres n'auront pas de signification réelle, car la concentration effective partait chaque semaine d'un niveau dix fois plus élevé (apport de 10 litres d'eau en même temps que la « ration » de sels) et décroissait ensuite plus ou moins rapidement suivant le volume variable des apports d'eau quotidiens.

d) Procédé de détermination des formules carencées.

Pour réaliser à partir d'une formule complète une solution carencée en un élément majeur, il n'est presque jamais possible de supprimer purement et simplement cet élément : pour réaliser une solution carencée en calcium, on ne peut pas substituer de l'acide nitrique au nitrate de calcium ! Donc :

— ou bien on supprime de la formule le ou les sels renfermant l'élément visé, et dans ce cas on diminue

(ou annule) la concentration d'un ou plusieurs autres éléments ;

— ou bien on leur substitue d'autres sels, de manière à ne pas affecter les ions du signe opposé, et alors on modifie la composition de la solution en ions du signe de celui qui est supprimé.

Par exemple, pour obtenir une solution carencée en azote à partir de notre formule, on peut supprimer les deux nitrates, mais on supprime en même temps tout le calcium et une partie du potassium ; on peut aussi remplacer ces nitrates par des chlorures, mais on aura alors une concentration en chlore sept fois plus élevée que dans la formule de base. Le premier procédé est incompatible avec la notion de carence simple. Dans le deuxième procédé on a encore à choisir entre plusieurs variantes :

— remplacement de l'élément supprimé par un élément absent, ou présent mais jugé sans utilité, dans la solution complète ; mais il faudra être sûr que ce nouveau constituant, ou l'augmentation du constituant « inutile », va rester sans effet sur la plante ;

— remplacement par l'un des éléments présents et « utiles » : par exemple du calcium par le potassium ; mais pourquoi le potassium plutôt que le magnésium, n'allons-nous pas induire une carence secondaire par déséquilibre K/Mg ?

— en fin de compte le *remplacement par l'ensemble des autres ions du même signe que l'ion supprimé, augmentés chacun proportionnellement à sa concentration initiale*, nous est apparu comme le seul procédé admissible en toute rigueur ; lui seul ne modifie ni le rapport anions/cations, ni les rapports entre les anions et entre les cations (autres que celui visé par la carence).

Remarques.

1) Pour certaines carences on peut trouver d'autres procédés. Pour la carence calcique, on peut par exemple remplacer $(\text{NO}_3)_2\text{Ca}$ 0,005 M par NO_3NH_4 0,005 M. Mais la substitution même partielle de l'azote ammoniacal à l'azote nitrique modifie les processus de l'alimentation minérale ; de plus nous avons préféré adopter un procédé identique pour la réalisation des six carences.

2) Le procédé qui découle des recommandations de Y. Coïc et coll. (7) consiste à maintenir inchangés dans tous les cas chacun des anions (autres que celui dont on veut éventuellement établir la carence), et à modifier les cations suivant le principe que nous avons adopté :

— pour une carence en K, Ca ou Mg le procédé est identique au nôtre ;

— pour une carence en N, P ou S on diminue cha-

cun des trois éléments K, Ca et Mg, proportionnellement à sa concentration primitive : à un facteur de dilution près, on aboutit au même résultat global que par notre procédé. Étant donnés les forts apports nutritifs que nous avons pratiqués et leur intermittence, il est très probable que l'intervention de ce facteur de dilution n'aurait rien changé à l'absorption des divers éléments (*).

e) Détail des traitements.

La composition des apports nutritifs hebdomadaires est donnée en milliéquivalents-grammes par bananier dans le tableau I (l'ion phosphorique y est compté comme trivalent, qu'il s'agisse de sels mono ou trialkalins). Dans chaque case sont indiqués entre parenthèses les éléments constitutifs des ions de signe opposé avec lesquels est combiné l'ion dont il s'agit.

Notre procédé de compensation a été appliqué d'assez près pour les carences en anions, en incluant le chlore presque à part entière dans le calcul bien qu'il soit sans effet visible sur la croissance à ces niveaux : nous savions que le bananier supporte très bien les chlorures, et cela nous a permis de moins augmenter les autres anions.

Dans la carence en potassium, nous avons été contraints de majorer le sodium car nous ne voyions pas d'autre moyen commode de maintenir la concentration en phosphate. (C'est d'ailleurs pour cette raison que nous avons fait entrer du chlorure de sodium dans la formule de la solution de base, la possibilité d'un effet stimulant du sodium à faible concentration ne pouvant être totalement exclue.) Le sodium ne dépasse cependant pas 7,2 % du total des cations dans ce traitement -K.

La concentration en chlorure, anion considéré comme sans effet sur le bananier dans les limites envisagées ici, a subi une diminution d'importance variable dans les trois carences en cations, permettant d'augmenter les cations restants un peu moins que ne l'exigeait la rigueur du calcul de compensation.

Ces divers aménagements tempérant le procédé de détermination des formules carencées ont été introduits pour éviter que l'augmentation de concentration de tel ou tel ion dans certains traitements ne risque de l'amener à un niveau de toxicité spécifique. Malgré

(*) Nous tenons à exprimer à M. Y. Coïc nos remerciements pour l'intérêt qu'il a bien voulu témoigner à notre travail, notamment à cette question rarement envisagée du mode de réalisation des formules carencées.

TABLEAU I
DOSES ALIMENTAIRES EN EQUIVALENTS-GRAMMES PAR BANANIER ET PAR SEMAINE

Traitement	NO ₃ ⁻	PO ₄ ⁼	SO ₄ ⁼	Cl ⁻	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺
Témoin (T)	1,20 (0,2 K) (1,0 Ca)	0,45 (monoK)	0,60 (0,2 K) (0,4 Mg)	0,22 (0,2 K) (0,02 Na)	0,75 (0,2 N) (0,15 P) (0,2 S) (0,2 Cl)	1,00 (N)	0,40 (S)	0,02 (Cl)
- N	0	0,90 (0,45 monoK) (0,45 tri K)	1,20 (0,15 K) (0,65 Ca) (0,40 Mg)	0,37 (0,35 Ca) (0,02 Na)	0,75 (0,15 Pm) (0,45 Pt) (0,15 S)	1,00 (0,65 S) (0,35 Cl)	0,40 (S)	0,02 (Cl)
- P	1,30 (0,3 K) (1,0 Ca)	0	0,65 (0,25 K) (0,4 Mg)	0,22 (0,2 K) (0,02 Na)	0,75 (0,3 N) (0,25 S) (0,2 Cl)	1,00 (N)	0,40 (S)	0,02 (Cl)
- S	1,60 (0,2 K) (1,0 Ca) (0,4 Mg)	0,60 (0,45 monoK) (0,15 tri K)	0	0,27 (0,25 K) (0,02 Na)	0,75 (0,2 N) (0,15 Pm) (0,15 Pt) (0,25 Cl)	1,00 (N)	0,40 (S)	0,02 (Cl)
- K	1,20 (Ca)	0,45 (monoNa)	0,60 (0,05 Ca) (0,55 Mg)	0,15 (Ca)	0	1,40 (1,2 N) (0,05 S) (0,15 Cl)	0,55 (S)	0,15 (P)
- Ca	1,20 (1,1 K) (0,1 Mg)	0,45 (monoK)	0,60 (Mg)	0,02 (Na)	1,25 (1,1 N) (0,15 P)	0	0,70 (0,1 N) (0,6 S)	0,02 (Cl)
- Mg	1,20 (0,05 K) (1,15 Ca)	0,45 (monoK)	0,60 (K)	0,17 (0,15 K) (0,02 Na)	0,85 (0,05 N) (0,15 P) (0,6 S) (0,15 Cl)	1,15 (N)	0	0,02 (Cl)

Tous traitements : SO₄Fe, 7 aq = 1 g SO₄Zn, 7 aq = 85 mg SO₄Cu, 5 aq = 18 mg
SO₄Mn, 7 aq = 85 mg BO₄H₃ = 85 mg MoO₄Na₂, 2 aq = 18 mg

tout le rapport anions/cations est resté compris entre les limites extrêmes 1,15 et 0,91 pour les ions « utiles » (NO₃⁻ + PO₄⁼ + SO₄⁼/K⁺ + Ca⁺⁺ + Mg⁺⁺), entre 1,20 et 1,00 pour les ions totaux (NO₃⁻ + PO₄⁼ + SO₄⁼ + Cl⁻/K⁺ + Ca⁺⁺ + Mg⁺⁺ + Na⁺), contre 1,05 et 1,14 respectivement dans la solution de base.

3° CONDUITE DE L'ESSAI

a) Mise en place du matériel végétal.

Des rejets très homogènes appartenant à la variété « Poyo » (« Robusta » des Anglo-Saxons) ont été choisis : hauteur comprise entre 60 et 65 cm, poids 2,6 kg. Ils ont été soigneusement parés, puis trempés 30 minutes dans une solution de némagon. La « plantation » a été effectuée le 7 juillet 1961 ; les emplacements des sept traitements avaient été tirés au sort séparément pour chacune des trois répétitions, donnant le plan ci-dessous :

Ligne I.... T -P -N -Ca -S -Mg -K
Ligne II.... T -N -K -Ca -S -P -Mg
Ligne III.... -K -Ca -Mg -P T -S -N

La lettre T désigne les témoins, recevant la solution complète. Nous désignerons dorénavant par T_I, -N_I, -P_I,... les bananiers de la répétition I, etc.

b) Alimentation en sels nutritifs.

Les apports minéraux ont débuté le 11 juillet et ont été ensuite régulièrement poursuivis à intervalles d'une semaine. Il était préparé périodiquement une solution mère concentrée de chaque sel ; un jeu d'éprouvettes graduées permettait de distribuer rapidement les « rations » des divers produits dans tout l'essai, d'après un tableau traduisant en millilitres de solutions mères les données du tableau I. Seul le sulfate de calcium, trop peu soluble, était administré sous forme solide à l'aide d'une mesure étalonnée.

c) Alimentation en eau.

Chaque bac recevait quotidiennement un ou deux arrosages, d'importance variable suivant la climatologie du moment (précipitations, humidité de l'air, etc.) ; l'ordre de grandeur de cette dose quotidienne était de 10 litres. L'ouvrier chargé de cette opération devait viser à maintenir la couche sous-superficielle du sable *humide en tous temps mais non gorgée d'eau*.

En fait, cet ajustement de la dose n'a pas toujours été parfait. En saison de pluies, la protection de la surface du sable au moyen de papier goudronné s'est révélée insuffisante et fragile. En saison très sèche, les bananiers de tous les traitements ont pris le port « en parasol » caractéristique de la carence en cuivre non aiguë décrite par M. MORRY (15), alors que les bananiers

de bordure en pleine terre (irrigués) ne manifestaient pas cette anomalie. Pensant que les solutions nutritives ne contenaient pas assez de cuivre, nous avons augmenté la dose de cet oligo-élément, mais sans succès ; finalement les bananiers ont repris un aspect normal lorsque le temps est devenu moins sec : il y a donc tout lieu de penser que l'alimentation en eau était seule en cause, l'augmentation des irrigations n'ayant pas été assez forte pour prévenir un déficit hydrique des plants sur ce substrat à faible capacité de rétention.

Le pH de la solution nutritive elle-même ne pouvant être contrôlé, c'est celui de l'eau d'arrosage qui l'a été. Tout au long de l'expérimentation on s'est efforcé de le maintenir entre 4,5 et 5,5 au moyen d'acide lactique.

d) Lutte antiparasitaire.

Racines. — La désinfection des rejets plantés a été suivie d'un apport de 5 ml de némagon tous les mois dans chaque bac, appliqués dans l'eau d'irrigation. Grâce à ces précautions le système racinaire est demeuré sain ; un examen nématologique effectué le 20 octobre 1961 par R. GUÉROUT (I. F. A. C.) a donné des chiffres très faibles : 600 nématodes (dont 400 d'espèces parasites) par 100 g de sable, 770 (dont 40 parasites) par 100 g de racines.

Appareil aérien. — Le bananier -P₁, atteint du virus de la mosaïque, a été arraché en décembre 1961. A part cela il n'a été signalé que quelques rares dégâts

de chenilles sur des feuilles à l'émergence ; aucun dommage notable par Cercospora, Fausse Mosaïque ou autre maladie parasitaire.

e) Soins divers.

Éilletonnage : les rejets ont tous été supprimés au fur et à mesure de leur apparition, l'essai ne devant durer qu'un cycle.

Tuteurage : malgré la mise en place de fourches pour maintenir les bananiers dont les dimensions le justifiaient, cinq d'entre eux ont été abattus par une violente tornade le 31 mai 1962 (-Ca₁, -K_{II}, -Ca_{II}, -P_{II}, -P_{III}) et un sixième le 21 juillet (-K_I).

f) Observations effectuées.

On a relevé pour chaque bananier :
 — les dates de sortie et de fanaison de chaque feuille (données résumées dans le tableau II) ;
 — la longueur et la largeur maximum du limbe de chaque feuille (sur les graphiques nous avons seulement reproduit la courbe des longueurs et celle des indices longueur/largeur des feuilles successives du plus représentatif des trois bananiers de chaque traitement) ;
 Puis, lorsqu'il y avait floraison :
 — les dates d'apparition de l'inflorescence, et éventuellement de récolte ;
 — la longueur du régime, le nombre de mains, le nombre de doigts de chaque main ;

TABLEAU II
OBSERVATIONS DIVERSES
(lorsqu'un seul chiffre est donné, il représente la moyenne des trois bananiers).

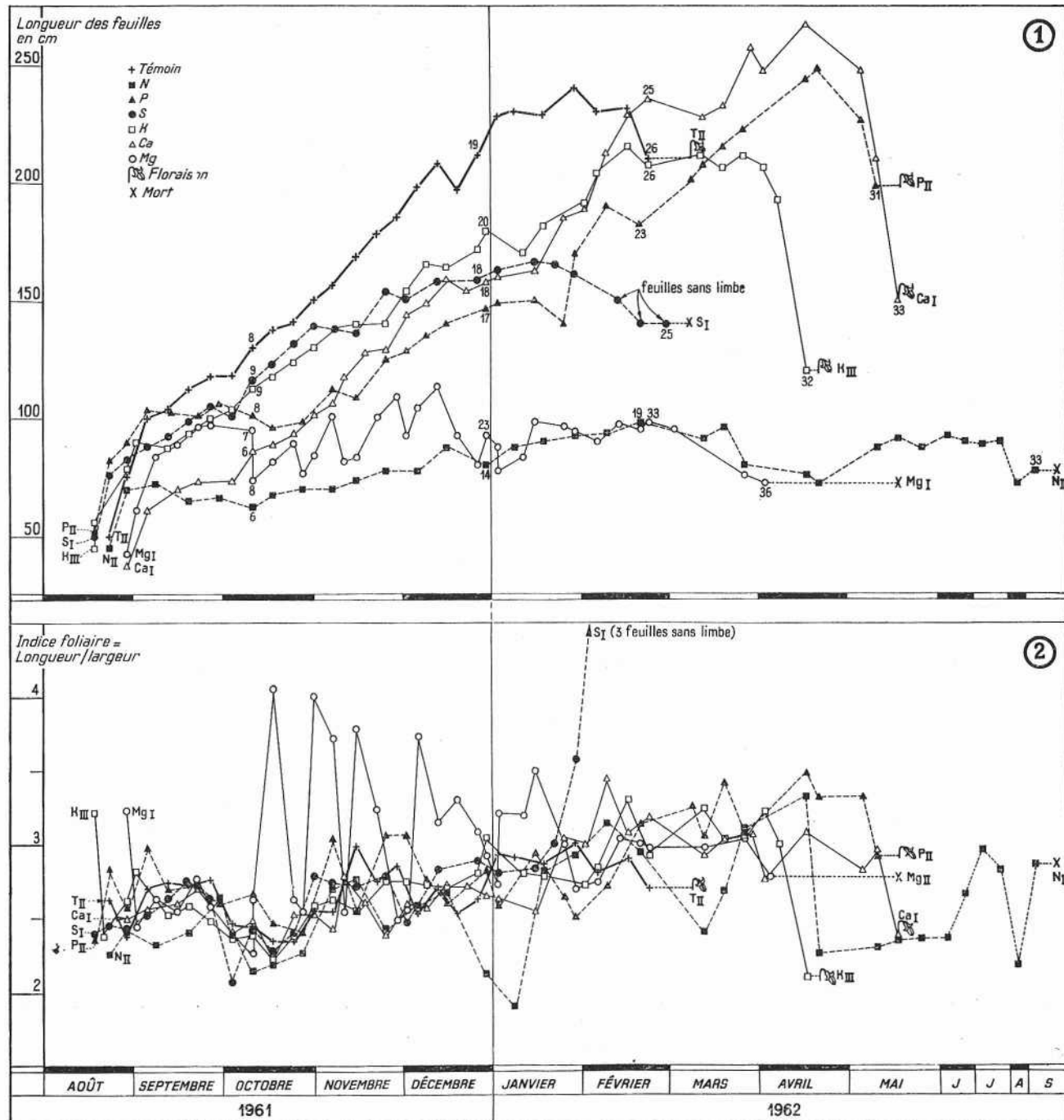
	Hauteur du faux-tronc au 1 ^{er} mai 1962 (cm)	Longévité (Nbre de jours) des feuilles émises		Nombre de feuilles émises			Date de la dernière émission foliaire (1962)	Date de l'apparition de l'inflorescence (1962)	Remarques
		en sept-oct nov. 1961	à partir de fin nov. 1961	au 28 nov. 1961	au 12 mars 1962	en tout			
T	265	103	151	16 15 15	28 26 27	26 26 27	8 mars 22 février 12 mars	8 mars 8 mars 12 mars	
- N	80	78	61 *	11 11 10	21 20 18	27** 33 31	25 mai ** 8 septembre 29 août	- - -	* 61 jusqu'à fin avril, 73 ensuite ** bananier disséqué avant sa mort
- P	230	86	100	13 13 12	- 25 24	- 31 32	- 10 mai 24 mai *	- 17 mai -	* bananier abattu par une tornade avant d'avoir fleuri
- S	180 (en février)	91	106	15 16 14	25 * 27 23 *	25 28 23	28 février 15 mars 3 mars	- - -	* bananiers morts avant le 12 mars
- K	200	73	58	14 15 15	26 28 27	34 33 32	25 mai 20 avril 16 avril	25 mai 20 avril 20 avril	
- Ca	265	89	112 *	13 15 13	26 27 26	33 33 34	17 mai 16 avril 25 mai	17 mai 20 avril 8 juin	* 100 en décembre 1961 122 à partir de janvier 1962
- Mg	120	48	31	17 16 17	34 33 34	36 34 54	2 avril 26 mars 8 septembre	- - -	

— les longueur, poids, dureté et couleur de pulpe du fruit « représentatif », lorsque le régime parvenait au stade de maturité commerciale.

De plus toutes les malformations et symptômes se manifestant sur les feuilles, les pétioles, le faux tronc ou le régime étaient observés régulièrement ; un nombre

important de photographies en noir et en couleurs a été pris.

La hauteur du faux tronc a été relevée à la date du 1^{er} mai 1962 (tableau II) ; l'état du système racinaire a été examiné lors de la récolte, ou de l'arrachage des bananiers morts.



Les numéros d'ordre des feuilles, portés sur le graphique 1, sont comptés chronologiquement à partir de la première émission à limbe « mesurable ». La numérotation à partir de la feuille-origine d'après J. Dumas (10) n'est en effet pas valable dans le cas d'une plantation en petits rejets.

II. CROISSANCE DU BANANIER SUR SOLUTION SYNTHÉTIQUE

La photo n° 1 montre le bananier T_{II} peu avant la récolte de son fruit. Onze mois après leur plantation, les trois témoins ont ainsi fourni des régimes pesant en moyenne 21 kg, de parfaite qualité commerciale et gustative ; la vie de ces bananiers sur solution synthétique s'est déroulée identique en tous points à celle d'une belle plantation de pleine terre.

Nous allons commencer par détailler ce résultat, car il lève les doutes qui pourraient venir à l'esprit sur la valeur pratique des descriptions qui vont suivre. Il ne s'agit pas de carences venant se superposer à un état déjà anormal de la plante (claustration, végétation déficiente, etc.), mais de symptômes manifestés par des bananiers qui, hormis leur nutrition intentionnellement mauvaise, ne souffraient de rien.

a) Incidences climatiques.

La fin du mois de juillet 1961, froide et pluvieuse, a ralenti le départ de végétation : celle-ci ne s'est vraiment déclenchée qu'à partir du 15 août. Puis, en novembre, une sécheresse accentuée a conféré momentanément aux bananiers le port « en parasol » mentionné ci-dessus (chapitre I, 3°, c) : alimentation en eau).

b) Croissance et développement foliaires des témoins.

Les conséquences de la sécheresse de novembre se sont manifestées par une diminution de la *longueur* des feuilles émises en décembre : le décrochement visible sur la courbe du bananier T_{II} (cf. graphique) existe aussi sur celle de T_{III} et est encore plus accentué chez T_I qui, justement, a donné par la suite le régime le moins gros des trois.

A part cela, les courbes de longueur et indice foliaire sont celles d'une croissance rapide mais normale ; comparées à celles de J. CHAMPION (3) par exemple, elles montrent une bonne régularité dans le *rythme des émissions foliaires* comme dans leur allongement. L'*indice foliaire*, assez élevé, reste cependant celui de 'Poyos' typiques.

Pour la *durée de vie des feuilles* (cf. tableau II), le développement des trois plants s'est nettement divisé en deux époques. Les feuilles émises avant le 1^{er} décembre ont à quelques exceptions près toutes fané au bout de 90 à 115 jours. Les feuilles émises à partir du 1^{er} décembre ont fané au bout de 149 à 156 jours, lorsque la récolte du régime ne venait pas s'insérer dans ce délai. Ces longévités prouvent une bonne nutrition minérale, hydrique et organique, conjuguée avec l'absence de parasitisme.

c) Aspect général de la plante sur solution complète.

La coloration des feuilles, des pétioles et du faux tronc a toujours été celle de bananiers en très bon état de végétation. Il faut cependant mentionner l'apparition sur quelques feuilles de l'un des témoins, en novembre 1961, d'épaississements localisés de nervures secondaires et même de légères décolorations internervaires, exactement comme dans le traitement -Ca. Ces symptômes ont rapidement disparu et ne se sont plus manifestés par la suite chez les témoins ; il s'agissait sans doute là aussi d'une conséquence du déficit hydrique momentané subi par la plante, le potassium (probablement) ayant pu atteindre un niveau toxique par suite de la dilution trop faible de la solution nutritive ou du milieu interne du végétal.

La hauteur des faux troncs atteignit 2,60 à 2,70 m et les souches produisirent de nombreux rejets.

d) Caractéristiques des régimes des témoins.

Elles sont résumées dans le tableau III.

La floraison s'est montrée précoce pour une plantation en petits rejets, donnant des régimes très gros pour ce type de matériel végétal (5). L'aptitude à la commercialisation définie par les indices de R. DEULLIN (8) était très bonne, la dureté restant élevée et la coloration faible pour une assez forte plénitude. Ces régimes ont mûri tout à fait normalement, donnant des fruits savoureux.

e) Appareil racinaire.

Les racines, belles et saines chez les témoins, explo- raient en général les deux tiers de la profondeur des

TABLEAU III
CARACTERISTIQUES DES FRUITS PRODUITS PAR LES BANANIERES TEMOINS

	Nombre de jours de la "plantation" à		Régime			Nombre de doigts de chaque main	Doigt de la rangée interne de la 2e main				
	la floraison	la récolte	Longueur (cm)	Poids (kg)	Nombre de mains		Poids (g.)	Longueur (cm)	P/L	Durété pulpe	Couleur pulpe
I	244	336	60	18	7	18-18-16-14-15-14-14	165	17,8	9,3	57,5	2-3-6
II	244	336	70	23	9	25-20-18-18-16-16-16-14-14	138	16,0	8,6	59,0	2-2-5
III	248	336	72	22	9	18-18-18-16-16-16-15-14-14	124	16,0	7,4	54,5	2-3-6

TABLEAU IV
COMPARAISON DES ELEMENTS MINERAUX APPORTES ET DEVANT ETRE ABSORBES
(en grammes par plante)

	N	P	K	Ca	Mg
Eau (3.400 litres)	traces	traces	moins de 2	28	4
Sable (500 kg)	27,5	3	7,5	70	5,5
dont échangeables			2,5	18,5	2,5
Solutions-mères (47 doses Témoin)	790	218	1375	940	233
Contenu normal d'un bananier adulte	90	9,4	345	35	6,5

bacs ; soit approximativement 0,3 m³ ou 500 kg de sable. Le diamètre des buses s'est avéré suffisant pour ne pas entraver leur croissance, elles étaient seulement contraintes de changer de direction quand elles atteignaient la périphérie.

f) Bilan sommaire des apports nutritifs.

Il est instructif de comparer la fourniture d'éléments minéraux par les solutions mères d'une part, le sable et l'eau des arrosages d'autre part, avec les quantités de ces éléments contenues dans un bananier adulte.

Contrairement à ce qu'un examen superficiel des chiffres du tableau IV pourrait faire croire, les apports des « rations alimentaires » ne sont pas exagérés par rapport aux masses absorbées par le bananier ; celles-ci sont d'ailleurs sans doute sous-estimées ici, car les données reproduites se rapportent à la variété ' Petite Naine ' (13). La méthode de culture à solutions perdues n'a pas la prétention d'assurer un bon coefficient d'assimilation aux éléments minéraux ; au contraire, dans une étude de carences menée avec cette technique on doit assurer aux plantes un approvisionnement très supérieur à leurs besoins, pour ne pas risquer des déficiences secondaires ; les rapports d'assimilation observés dans ces conditions de 1 pour 8 à 9 dans le cas de l'azote, 1 pour 4 dans le cas du potassium, sont pleinement satisfaisants. Si ces coefficients se montrent beaucoup plus faibles pour le phosphore, le calcium et le magnésium, il ne faut pas en déduire que notre solution de base était mal équilibrée. L'absorption physiologique n'est pas en effet une simple pénétration des

liquides extérieurs dans la plante, il s'en faut de beaucoup ; elle est régie au premier chef par les rapports de concentrations des ions entre eux, certains étant absorbés d'une manière privilégiée tandis que d'autres sont défavorisés. C'est pourquoi on aurait tort de confondre *les besoins du milieu*, même artificiel, dans lequel on cultive une plante, avec *les besoins de la plante elle-même* ; une solution nutritive n'a pas à refléter étroitement la composition de la plante à laquelle elle est destinée (c'est encore plus vrai pour les engrais apportés en pleine terre).

Les impuretés de l'eau et du sable ne sont susceptibles d'avoir exercé aucune influence chez le témoin. Mais une plante carencée en un minéral devient très avide de cet élément-là et l'absorbe plus facilement qu'une plante saine ; ces impuretés ont donc pu jouer un rôle dans l'évolution de certaines carences. Nous y reviendrons à propos du calcium, et nous allons immédiatement en examiner les conséquences sur le plan de l'homogénéité.

g) Homogénéité de l'essai.

Le remarquable groupement des dates de sorties d'inflorescence chez les trois témoins (tableau III) est la manifestation la plus spectaculaire d'une croissance et d'un développement s'étant déroulés avec une rare homogénéité de rythme et d'intensité. Dans chacun des sept traitements, les courbes de longueur et d'indice foliaire, sont de même très voisines pour les trois bananiers (rappelons que nous n'en avons fait figurer

qu'une par traitement sur le graphique présenté ici). Le tableau II montre également l'homogénéité du rythme des sorties de feuilles dans chaque traitement. Ce sont là les effets avant tout de la sélection rigoureuse du matériel de plantation, puis des soins apportés à la réalisation de cette étude par chacun des exécutants.

Pendant, chez les traitements carencés où la floraison a eu lieu, la date de cette dernière a été moins régulière que chez les témoins ; et chez les traitements qui ont interdit aux bananiers de fleurir, la mort est survenue au bout d'un délai variable. En effet, chez

les témoins, une nutrition équilibrée distribuée en surabondance a permis au matériel végétal de développer à fond son potentiel de croissance et de développement ; tandis que chez les traitements carencés, les moindres différences dans les réserves initiales en élément carenciel et aussi dans les impuretés du sable, de l'eau, etc., ont retenti sur la croissance en retardant un peu plus ou un peu moins le moment où cet élément s'abaissait à tel niveau dans chacune des trois plantes.

Toutefois, les divers symptômes observés dans les traitements carencés sont apparus à peu près simultanément dans les trois répétitions.

III. EFFETS DES TRAITEMENTS CARENCIELS

1° CARENCE EN AZOTE

Élément « numéro un » de toute vie végétale, l'azote conditionne la croissance et le rendement ; il n'est donc pas surprenant que la carence en azote ait été la première à se manifester dans notre expérience et y ait provoqué le rabougrissement le plus intense.

a) Retard de croissance et de développement.

La photo 3 montre l'un des bananiers -N à l'âge de huit mois, au moment de la floraison des témoins. Sur la photo 2, prise un mois et demi plus tard, le bananier situé le plus à gauche et le dernier bananier à droite sont également des plants carencés en azote. La hauteur de leur stipe ne dépasse pas 80 cm, à peine plus que celle du rejet installé dans le bac l'année précédente ; les gaines (*) des feuilles émises au long des mois précédents étaient donc toutes sensiblement de même longueur, d'où l'engorgement (*) intense visible sur la photo 3. Comme il est souvent observé en pareil cas, les hélices foliaires sont modifiées, disposant les émissions successives dans un même plan ; les feuilles se déroulent fréquemment avant leur émergence complète. Le faux tronc est fluet, les pétioles sont minces et comprimés, mais en général longs, surtout en proportion des dimensions du limbe.

Les feuilles, à partir de la deuxième émise, sont pra-

(*) Pour qui n'est pas un familier du bananier, il est utile de préciser que le stipe ou faux tronc de cette « herbe géante » est constitué par des gaines foliaires (leafsheaths). On désigne par engorgement l'aspect noué que présente un bananier lorsque les pétioles ne s'étagent pas régulièrement le long du stipe. Le terme de pétiole est réservé à la partie libre de cet organe, par opposition à la gaine.

tiquement toutes de la même longueur et atteignent rarement 1 mètre (cf. graphique 1) ; cependant, les indices foliaires ne présentent pas d'anomalie caractérisée (graphique 2). Leur rythme d'émissions est lent (cf. tableau II) : quatre feuilles de moins que les témoins en fin novembre, sept feuilles de moins en mars ; mais il reste assez régulier jusqu'à cette date. La longévité des feuilles, très inférieure au témoin (tableau II) atteint toutefois une moyenne toujours supérieure à deux mois ; mais avec un rythme d'émissions qui se ralentit progressivement, les bananiers n'ayant déjà jamais porté plus de six feuilles vivantes à la fois, sont réduits à quatre ou cinq feuilles saines à 8 mois, deux ou trois à 11 mois. Après avoir émis plus de 30 feuilles, mais en 13 à 14 mois, le bananier meurt d'une pourriture physiologique généralisée, sans avoir différencié d'ébauche florale.

b) Aspect et coloration des tissus.

L'ensemble du bananier présente une coloration jaune-vert pâle ; les limbes sont minces. La feuille en voie de déroulement est la plus pâle, et ce dès le 3^e mois ; mais par la suite la perte de coloration s'accroît surtout sur les parties marginales des vieilles feuilles, qui se nécrosent peu à peu et se dessèchent (photo 3, feuille de droite). Les pétioles, jaune-vert-rosé à tendance translucide, sont marbrés de brun et présentent des marges à coloration pourpre accentuée. Les gaines foliaires sont jaune-rose avec dominance des plages rosées ; les gaines superficielles se dessèchent, et celles, plus internes, qui correspondent aux feuilles sénescentes ont tendance à pourrir.

c) Appareil souterrain.

Le bulbe n'a pratiquement pas grossi pendant toute la durée de vie du bananier ; il n'a émis qu'un ou deux rejets filiformes jaunes, qui ont tout juste pointé au-dessus du sable.

Comparativement à la grosseur du bulbe et des parties aériennes, le système racinaire est important et, d'une manière générale, sain.

2° CARENCE EN PHOSPHORE

D'après les mensurations foliaires, les plants carencés en phosphore ont commencé à se distinguer des témoins à l'âge de trois mois, début octobre. Mais c'est seulement au cours du quatrième mois que l'effet de la carence devint directement visible à l'œil.

a) Coloration du feuillage et nécroses.

La photo 4 représente une basse feuille d'un bananier carencé en phosphore, âgé de 4 mois. La coloration générale du feuillage est *vert foncé à tendance bleu-tée* ou bronzée ; sur les quatre à cinq feuilles les plus basses, c'est-à-dire les plus âgées, apparaissent des *nécroses marginales* qui se développent de façon anguleuse en direction de la nervure centrale, en larges dents de scie. Fait caractéristique, ces nécroses débutent et s'étendent, pratiquement *sans chlorose préalable* : les plages nécrotiques brunes gagnent peu à peu toute la feuille en étant seulement précédées de quelques centimètres de tissu chlorotique, et encore pas toujours ; on a pu relever une pigmentation brune non générale sur cette zone frontière, dont l'aspect est parfois un peu « graisseux ».

L'extension assez rapide des nécroses conduit la feuille à une sénescence prématurée ; elle se déchire et son pétiole se brise.

b) Croissance et développement.

Du 3^e au 7^e mois de végétation (septembre à janvier) on a constaté une diminution appréciable de l'allongement des feuilles (graphique 1) et du faux tronc par rapport au témoin ; la hauteur du stipe ne dépassait pas 1,80 m en janvier. Le rythme des émissions foliaires a été un peu plus lent et moins régulier que chez le témoin (tableau II). Les bananiers étaient fortement engorgés, avec une nette modification des hélices foliaires tendant vers la même disposition « en éventail » que dans la carence azotée. La longévité des feuilles fut quelque peu réduite du fait des nécroses.

c) Guérison partielle au 7^e mois.

A partir de fin janvier 1962, les deux bananiers carencés en phosphore (le troisième, atteint de mosaïque, ayant été supprimé) ont brusquement repris une vitesse normale de croissance. En même temps que les symptômes se manifestaient de moins en moins sur les nouvelles feuilles émises, celles-ci devenaient aussi longues que celles du témoin (graphique 1) ; à noter l'indice foliaire élevé, compris entre 3,0 et 3,5 pendant cette période, alors qu'il avait été normal jusque-là (graphique 2). Les faux troncs ont atteint une hauteur de 2,30 m ; cependant l'aspect « en éventail » a persisté. Le bulbe a atteint une grosseur normale et développé des rejets de vigueur correcte.

L'observation du système racinaire abondant, fin et sain, nous apporta l'explication de cette reprise : ayant atteint la périphérie des buses, les racines ont réussi à traverser la couche de *flintkote* et ont quasiment toutes « léché » le ciment, y prélevant sans aucun doute des quantités appréciables de phosphates.

Abattus par la tornade du 31 mai, les deux bananiers avaient respectivement émis un total de 31 et 32 feuilles ; l'un avait émis deux semaines auparavant un régime d'aspect « rachitique » marqué : longueur 58 cm, 7 mains seulement à faible nombre de doigts (10-14-13-13-12-12-12) et déformées.

3° CARENCE EN SOUFRE

Le soufre s'est révélé d'une importance inattendue dans les besoins du bananier, son absence ayant conduit les sujets à une mort spectaculaire en huit mois, par des étapes nettement différenciées.

a) Phase chlorotique pure.

Jusqu'en novembre, la croissance des bananiers carencés en soufre s'est montrée identique en tous points à celle des témoins (cf. graphiques ; si l'on y observe un léger écart par rapport au témoin dans la courbe des longueurs foliaires, il vient seulement du choix des deux bananiers T₁₁ et -S₁ comme exemples). Mais dès l'âge de trois mois, auquel a été prise la photo 5, on observe un *retard à la coloration* des feuilles nouvellement émises ; ce retard va s'accroître au fur et à mesure que la plante prend de l'âge. Il faut au début 5 à 6 jours, puis 10 à 12 jours pour que la feuille atteigne sa coloration verte normale. On observe en même temps un léger épaissement des nervures secondaires avec gaufrage des feuilles.

b) Accentuation de la chlorose et retard de croissance.

L'absence de coloration des jeunes feuilles s'intensifie ensuite, leur partie marginale reste blanc jaunâtre, la feuille non déroulée («cigare») est entièrement blanche; des nécroses s'installent sur le bord des vieilles feuilles. Le rythme des émissions foliaires, normal jusque-là, se ralentit (tableau II); l'allongement des feuilles successives (graphique 1) diminue, de même que celui du stipe: il ne dépassera pas 1,80 m à la mort des bananiers. Il y a en même temps engorgement et modification de l'hélice foliaire, s'accroissant avec l'âge.

c) Reverdissement avec troubles de la différenciation.

A l'âge de six mois, les bananiers entrent dans la troisième et dernière phase d'évolution de leur carence. Les feuilles émises sont alors moins longues, et surtout moins larges que les précédentes (graphique 1), avec des déformations et réductions du limbe; mais elles sont de moins en moins décolorées. Les limbes vont devenir de plus en plus réduits, déformés et gaufrés. En février-mars, soit à 7-8 mois de végétation, les bananiers émettent leurs quatre à cinq dernières feuilles, réduites à la seule nervure centrale avec par endroits des parties de limbe ondulées (photo 14; sur la photo 2, l'avant-dernier bananier à droite est le -S_{III}: il ne porte plus que trois feuilles réduites à leur nervure avec une mince frange de limbe).

Si l'on dissèque alors un de ces bananiers morts, on voit qu'il y a eu avortement du sommet végétatif; les gaines des dernières feuilles émises sont anormalement épaisses. Par contre, le système racinaire est normal.

4° CARENCE EN POTASSIUM

Le matériel végétal de plantation contient d'abondantes réserves de potassium, aussi la carence en cet élément a-t-elle été la plus longue à se manifester: quatre mois pour les longueurs foliaires, cinq mois pour les symptômes visibles.

a) Fanaison-éclair et marbrures pétiolaires.

Jusqu'en décembre, les bananiers -K se distinguaient seulement des témoins par un feuillage vert sombre et quelques marbrures violettes sur la base des pétioles, traits insuffisamment nets pour être alors considérés comme caractéristiques. Puis apparurent brutalement

des symptômes indiscutables: un jaunissement fulgurant des plus vieilles feuilles, suivi de nécrose non moins rapide, en sorte qu'une feuille passe en 6 à 7 jours d'un état apparemment fonctionnel au stade de fanaison complète. La photo 10 montre ce qui pourrait être l'évolution d'une même feuille; la gouttière nervoise se marbre de traînées brun violacé qui vont aller s'accroissant; une chlorose quasi uniforme gagne la totalité du limbe en deux à trois jours, suivie très rapidement de complet dessèchement; le limbe se déchire dans le sens des nervures secondaires et se replie vers le bas, tandis que la nervure principale s'enroule vers le bas en se cassant aux deux tiers de sa longueur. La feuille fanée prend ainsi un aspect recroquevillé très caractéristique; on en voit un exemple sur la photo 6: la progression des symptômes a été si rapide sur cette feuille, que de sa base à son apex on trouve successivement une portion de limbe verte, la coloration jaune d'or puis orangée typique de la carence potassique, et la fanaison avec enroulement vers le bas.

En même temps, les marbrures pétiolaires s'accroissent et peuvent recouvrir de grandes plages bleu violacé sur la face inférieure du pétiole (photo 7).

b) Retard de croissance.

Les longueurs des feuilles successives (graphique 1) ne prennent que très progressivement du retard par rapport au témoin; cependant à partir de novembre il n'y a plus de doute possible. L'élongation du faux tronc est réduite plus que celle des feuilles: sa hauteur ne dépassera pas 2 m, alors qu'en février-mars les feuilles émises par l'ensemble des trois bananiers -K seront de même longueur que les feuilles émises en décembre-janvier par l'ensemble des trois témoins (le choix respectif de T_{II} et de -K_{III} masque cette égalité sur le graphique 1). Il en résulte un engorgement assez prononcé et une légère disposition «en éventail». L'indice foliaire n'est pas perturbé (graphique 2).

Le rythme moyen des émissions foliaires reste toujours identique à celui du témoin (tableau II), malgré certaines irrégularités à partir de l'apparition du jaunissement des limbes. Mais celui-ci va faire perdre aux bananiers une feuille par semaine au minimum, et la fanaison gagnera de vitesse la production de matière vivante: à la sortie de l'inflorescence -K_I n'aura plus que 4 feuilles, -K_{III} 3 feuilles.

L'étude de la longévité des feuilles (tableau II) montre que la fanaison prématurée a sévi dès le début de la vie des plants, alors qu'elle ne revêtait pas encore les traits caractéristiques observés par la suite. Ces feuilles mortes ne pourrissent pas et le bananier prend une

allure lamentable, un grand nombre de feuilles desséchées pendant le long de son stipe, comme s'il avait souffert d'une grande sécheresse ; on voit le plant -K_I dans cet état sur la photo 2 (dernier bac en haut du cliché, vers le milieu).

c) Déformations du régime.

Émis avec six à dix semaines de retard par rapport aux témoins, les régimes comprenaient respectivement :

- K_I : 6 mains de 16-12-11-10-10-10 doigts ;
- K_{II} : 6 mains de 18-14-12-12-12-12 doigts ;
- K_{III} : 7 mains de 12-14-14-12-12-12-12 doigts.

Ils étaient courts (40 cm environ) et d'aspect très « rachitique », comme le montre la photo 7. Seul respecté des tornades, le régime -K_{III} ne pesait à sa récolte (20 juillet) que 9,5 kg, avec un indice de plénitude P/L = 5,4 (87 g pour 16 cm), dureté 52, couleur de pulpe 3-3-6 : il était incapable de grossir davantage et de mûrir.

d) Appareil souterrain.

Le bulbe de ces bananiers était de grosseur très moyenne pour leur taille, avec un faible pouvoir d'émission de rejets. Par contre le système racinaire était abondant et de bonne grosseur.

5° CARENCE EN CALCIUM

La carence calcique s'est manifestée très rapidement par un rabougrissement végétatif, puis par des symptômes foliaires, qui ont les uns comme les autres disparu par la suite.

a) Rabougrissement initial.

La réduction de longueur des feuilles par rapport au témoin se manifeste dès la 3^e ou 4^e feuille (graphique 1) ; elle s'accompagne d'une lenteur dans le rythme des émissions, telle qu'au début de novembre les bananiers ont un retard de deux feuilles sur le témoin. L'indice foliaire est cependant normal et le restera jusqu'à la fin (graphique 2). Les bananiers sont légèrement engorgés, avec modification des hélices foliaires.

Fin octobre ou début novembre, les courbes de longueur foliaire des trois bananiers -Ca s'établissent parallèles à celles des témoins, et le rythme des émissions s'accélère.

b) Taches et déformations foliaires.

C'est juste à ce moment que les symptômes, déjà discernables en septembre sur deux feuilles de -Ca_{II}, se généralisent aux trois sujets. Ils apparaissent sur les plus jeunes feuilles, la feuille nouvellement déroulée étant la première atteinte, et consistent d'abord en épaisissements des nervures secondaires. Ces épaisissements, plus prononcés du côté de la nervure centrale que du côté marginal du limbe, ne sont pas généralisés mais donnent à la feuille un aspect gaufré ; ils sont ensuite le siège d'excoriations superficielles qui deviendront brun rouge. Une dizaine de jours après le déroulement de la feuille, lorsque la suivante s'est déroulée à son tour, des chloroses marginales internervaires se manifestent, le plus souvent vers l'extrémité apicale du limbe. Les plages chlorotiques sont généralement discontinues : lorsqu'elles se rejoignent elles gardent toujours la forme de profondes dents de scie dirigées vers la nervure médiane (photo 11) au lieu de former des bandes continues sur les marges du limbe.

Ces plages jaune d'or virent au pourpre, au brun-pourpre, et s'acheminent vers un stade nécrotique qui les gagne peu à peu entièrement ; mais elles ne s'étendent plus en surface au fur et à mesure que la feuille prend de l'âge (photo 11). Quand la feuille arrive en position VII ou VIII (c'est-à-dire quand six ou sept feuilles nouvelles sont apparues depuis son déroulement), les plages décolorées sont toutes nécrosées et la carence n'évolue plus ; il y a seulement dessèchement progressif des parties atteintes, puis déchirure et enroulement des bords du limbe. Chacune des nouvelles feuilles émises subit la même évolution.

c) Disparition des anomalies.

A partir de janvier-février la courbe des longueurs foliaires commence une ascension rapide (graphique 1), et en même temps les symptômes n'apparaissent plus sur les nouvelles feuilles ; les trois bananiers atteindront une hauteur égale à celle des témoins, leurs plus grandes feuilles étant même un peu plus longues. Leur bulbe, bien développé, produit des rejets vigoureux (visibles sur le bananier -Ca_{III}, le deuxième à partir du devant sur la photo 2). Avec environ deux mois de retard sur les témoins, ils émettent des régimes parfaitement constitués, longs de 70 cm environ, et portant :

— Ca_I : 9 mains de 20-18-16-17-16-14-14-12-15 doigts

— Ca_{II} : 10 mains de 21-17-18-18-19-16-16-16-14-7 doigts (on aperçoit les dernières mains de ce régime en haut de la photo 2, bananier au tronc légèrement incurvé).

— Ca_{III}: 9 mains de 7-18-18-18-16-16-14-14-14 doigts. Ce dernier résistera seul aux tornades et pèsera 18 kg à la récolte (8 septembre) avec un indice de plénitude P/L = 8,75 (140 g pour 16 cm), dureté 60, couleur de pulpe 2-3-7.

Selon tout vraisemblance, la carence calcique de nos trois bananiers n'a été que partielle dès qu'ils ont possédé un système racinaire suffisant pour explorer le sable des bacs, dont le contenu en calcium n'était pas négligeable (cf. tableau IV). Leur système racinaire était *plus abondant que celui des témoins, et beaucoup plus fin*. Plus tard, comme dans le traitement -P, ces racines ont attaqué la couche de flintkote et le ciment, faisant totalement disparaître l'état de carence, d'où la production d'un fruit normal à tous égards.

6° CARENCE EN MAGNÉSIUM

La carence magnésienne est celle qui a amené le plus grand nombre de perturbations simultanées dans la vie des bananiers.

a) Décoloration foliaire et marbrures pétiolaires.

Dès l'émission de la 4^e ou 5^e feuille, soit au cours du troisième mois de végétation, se manifeste un *jau-nissement marginal des plus basses feuilles* (photo 12). Cette décoloration est continue sur les deux demi-limbes ; elle s'étend graduellement vers la nervure centrale, mais les parties de limbe bordant cette dernière demeurent parfaitement vertes, et il persiste parfois un fin liséré vert sur le bord du limbe (très visible sur la photo 13). Quand la feuille vieillit, la chlorose s'accroît et se parseme de plages vert fumé ainsi que de pigmentations brun-pourpre (photo 12), qui pourront servir de point de départ aux nécroses de la phase suivante (photo 13). La feuille devient ainsi en presque totalité jaune d'or avec de *nombreuses plages nécrotiques*, dont l'origine peut encore être des portions de limbe à chlorose plus poussée (nécroses presque blanches paraissant dues à l'action du soleil), et aussi des nécroses marginales continues apparaissant par endroits seulement ; mais *une bande de limbe à coloration normale* persiste pendant très longtemps de part et d'autre de la nervure médiane (photo 15).

Des essais de pulvérisation de sulfate de magnésie, au cours du 4^e mois, ont provoqué le reverdissement des plages chlorotiques ; trois à quatre pulvérisations successives étaient nécessaires, elles ne guérissent que la feuille traitée elle-même et à la condition qu'elle soit encore en début de carence.

Parallèlement à ces symptômes sur les limbes, des marbrures violettes se sont développées sur les pétioles, avec phénomène de *pourriture malodorante* de ces derniers lorsque la sénescence s'installe. Au fur et à mesure que la plante vieillit, toutes ces manifestations de la carence magnésienne gagnent les plus jeunes feuilles, jusqu'au rang III ou même II (la feuille nouvellement déroulée étant par définition de rang I) ; sur la photo 2, le troisième bananier vers la droite en partant du premier plan est le -Mg_{III} avec une seule feuille saine.

b) Déformations morphologiques.

A partir d'octobre les bananiers émettent des *feuilles très déformées* (photo 15), à largeur réduite (cf. graphique 2), avec des gaufrages et des épaississements de nervures secondaires plus ou moins nets. Les jeunes feuilles sont très comprimées et se déroulent souvent avant l'émergence complète. Les hélices foliaires presque entièrement redressées placent les limbes et les gaines dans un même plan, donnant au bananier une ressemblance avec l'« arbre du voyageur » (Ravenala) encore plus accentuée que dans le cas de la carence azotée : *les gaines se décollent du faux tronc* (photo 16) et se cassent, provoquant alors la sénescence anticipée des feuilles.

c) Dérèglement du développement.

Le *rythme des émissions foliaires*, plutôt lent au départ, devient tôt accéléré (cf. tableau II) et très irrégulier, les intervalles entre deux feuilles successives étant alternativement moyens et courts (cf. graphique 1 : il y a même eu deux feuilles émises simultanément le 10 octobre, deux autres le 2 janvier). Les déformations du limbe se manifestent de même irrégulièrement, une feuille profondément déformée étant suivie en général de deux feuilles presque normales (graphique 2). La courbe de longueur des feuilles successives est *en dents de scie* comme celle des indices ; dans l'ensemble l'élongation des feuilles et du faux tronc est stoppée, les bananiers ne dépasseront pas une hauteur de 1,20 m. La sénescence des feuilles par suite de l'extension des nécroses, accélérée par les éclatements de gaines foliaires, réduit leur longévité à quelques semaines, voire quelques jours (3 jours pour les dernières feuilles sorties avant la mort des plants). Finalement la pourriture se généralise à toute la plante.

Le bulbe, faible, émet des rejets « en chou » ; le système racinaire est *déficent et évoluant vers la pourriture*.



photo 1



photo 2



photo 3 (— N)

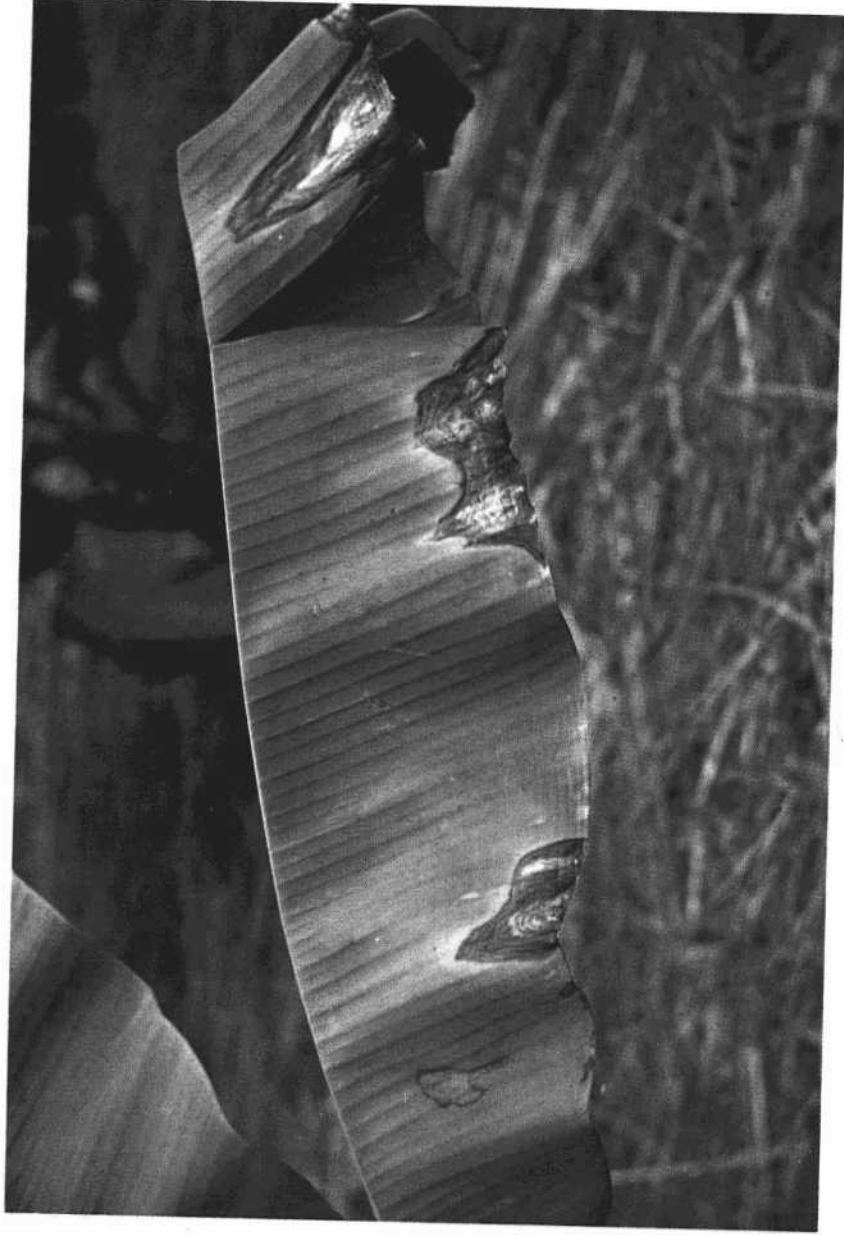


photo 4 (— P)



photo 5 (— S)



photo 6 (— K)



photo 7 (— K)

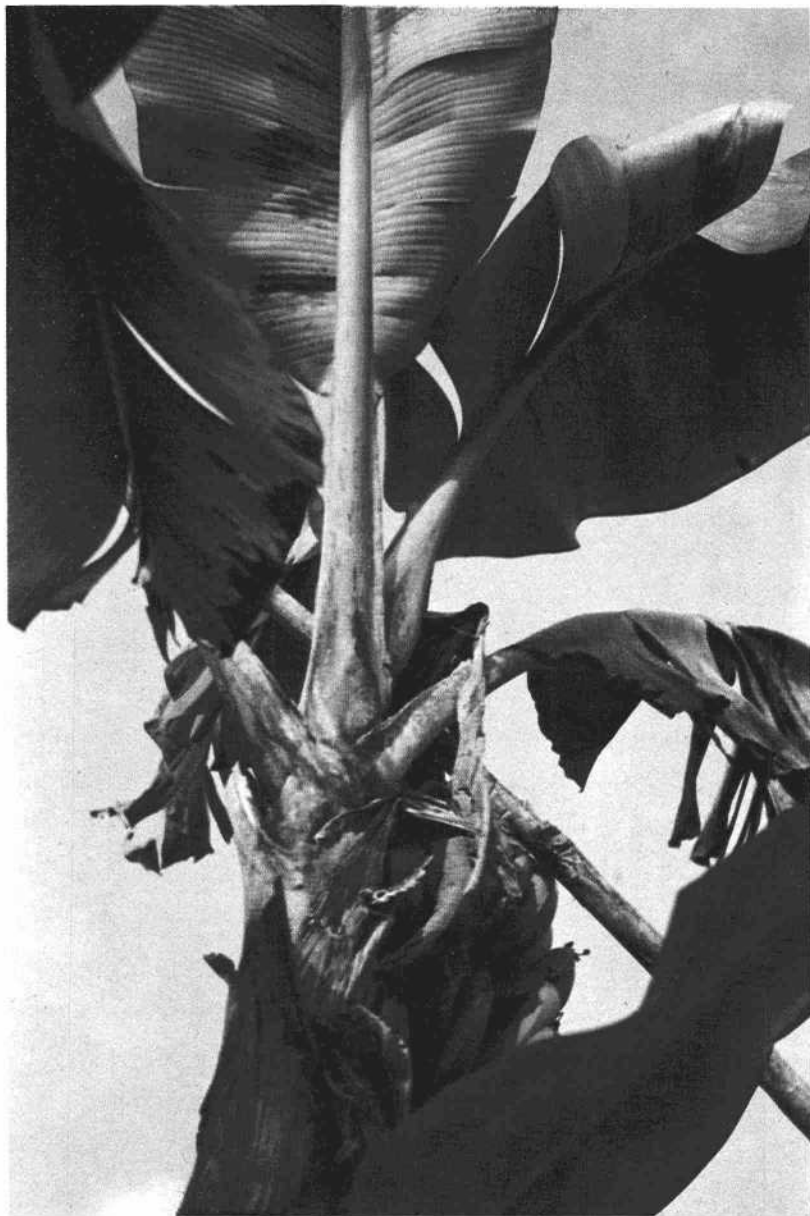


photo 8 « Bleu »



photo 9



photo 10 (— K)

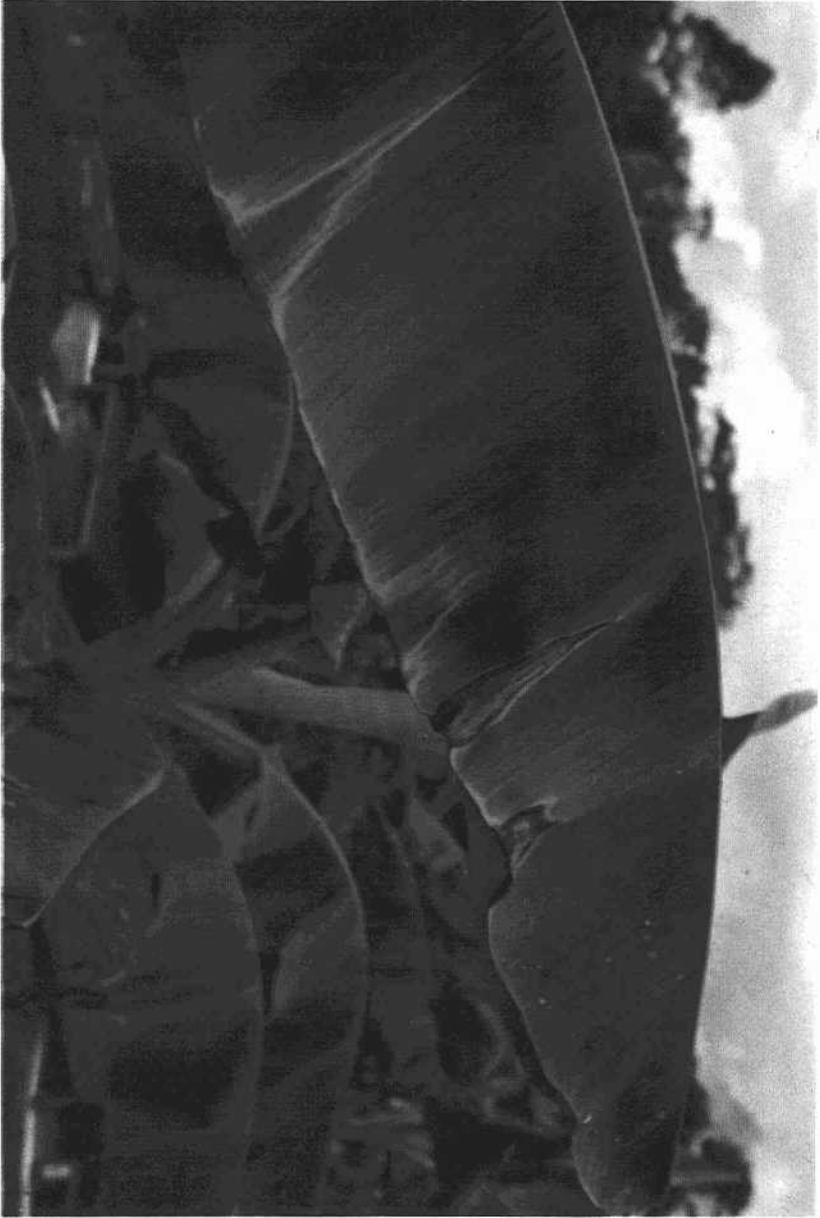


photo 11 (— Ca)



photo 12 (— Mg)



photo 13 (— Mg)



photo 14 (— S)



photo 15 (— Mg)



photo 16 (— Mg)

7° SYNOPSIS

- a) Un des traitements a produit des **symptômes généralisés** avec accentuation sur les vieilles feuilles, arrêt de croissance, tissus faibles et décolorés...
..... *carence en azote*
- b) Deux traitements ont produit des **symptômes sur les plus jeunes feuilles** :
— chloroses localisées, en dents de scie, gaufrage du limbe, rabougrissement initial. *carence en calcium*
— chlorose générale du limbe disparaissant avec l'âge, puis troubles profonds de la différenciation..... *carence en soufre*

c) Trois traitements ont produit des **symptômes commençant par les plus vieilles feuilles** :

- jaunissement fulgurant et fanaison précoce, taches pétiolaires violacées, déformations du régime..... *carence en potassium*
— jaunissement demeurant parallèle aux marges du limbe, déformations et irrégularité des émissions foliaires, pourriture malodorante des pétioles, écartement des gaines..... *carence en magnésium*
— coloration foncée du feuillage, nécroses marginales anguleuses sans chlorose préalable, déformations du régime..... *carence en phosphore*

IV. DISCUSSION

1° CONFRONTATION
AVEC LES RÉSULTATS
DE TRAVAUX ANALOGUES

a) Données disponibles.

A notre connaissance, deux études seulement ont été réalisées sur les carences du bananier en solution nutritive. A Trinidad, D. B. MURRAY (16) s'est adressé à la variété 'Petite Naine' ('Dwarf Cavendish') qu'il a pu cultiver pendant quelques mois dans des pots de 30 cm de diamètre. En Amérique Centrale, S. R. FREIBERG et F. C. STEWARD (11) ont cultivé le « Gros Michel » dans des bacs de béton analogues aux nôtres, pendant sept mois et demi. Dans les deux cas la solution nutritive était redistribuée en circuit fermé sur un sable siliceux très pur, et une serre abritait l'installation. A partir de solutions complètes de base quelque peu différentes de la nôtre, car non étudiées spécialement pour le bananier, les traitements carencés étaient obtenus en remplaçant :

- NO_3^- par $\text{SO}_4^{=}$ chez MURRAY ;
— $\text{PO}_4^{=}$ par $\text{SO}_4^{=}$ dans les deux cas ;
— K^+ par Na^+ chez MURRAY, par Na^+ et Ca^{++} chez FREIBERG et STEWARD ;
— Ca^{++} par Na^+ dans les deux cas ;
— Mg^{++} par Na^+ chez MURRAY, par Na^+ et K^+ chez FREIBERG et STEWARD.

La carence en soufre n'était pas étudiée. La publication de FREIBERG et STEWARD ne mentionne pas non plus la carence azotée ; elle figure seulement (photographie prise en plein champ) sur les reproductions

en couleurs que les auteurs nous ont communiquées (*). Nous avons reçu celles-ci postérieurement à la publication d'une note préliminaire (14) ayant pour objet les divergences entre nos résultats et ceux de MURRAY, et nous allons donc reprendre l'examen comparatif des symptômes obtenus dans les trois études.

b) Carences en éléments « anioniques ».

Aucune divergence dans la carence *azotée*, sauf pour les pétioles : MURRAY les observe courts, nous les observons longs et pigmentés comme le montre aussi la photographie de FREIBERG et STEWARD. Divergence minime également pour la carence *phosphorique* : MURRAY constate une chlorose qui s'étend avant de se transformer en nécrose, nous avons au contraire remarqué la quasi-absence de chlorose préalable ; FREIBERG et STEWARD ne parlent pas de chlorose, sur leurs photographies on voit les nécroses mais il n'est pas possible de distinguer s'il y a ou non chlorose préalable. On peut attribuer à ces légers écarts une cause variétale (pétioles raccourcis chez la variété au nanisme le plus prononcé) ; cependant les trois cultivars 'Petite Naine', 'Poyo' et 'Gros Michel' sont génétiquement très voisins (triploïdes AAA), surtout les deux premiers qui font partie du même groupe « *sinensis* » ou « *Cavendish* » (4). On peut également les imputer aux conditions générales de l'expérience : éclaircissement, culture sous serre ou en plein air, etc.

(*) Nos vifs remerciements à M. S. R. FREIBERG pour cet aimable et précieux envoi.

A part cela les trois descriptions concordent sur toute la ligne. Le mode de réalisation des formules carencées, substituant à l'anion supprimé SO_4 chez les uns, une combinaison d'anions chez nous, n'a donc pas modifié les résultats : c'est que les mécanismes de l'alimentation en *N*, *P* et *S* sont largement indépendants les uns des autres. Le métabolisme de la plante fait rapidement perdre à ces trois éléments le caractère d'ion minéral qu'ils possèdent au moment de l'absorption ; et, si leurs fonctions physiologiques interfèrent les unes sur les autres, ce n'est pas par interchangeabilité dans les réactions biochimiques de leur utilisation, ni même sans doute de leur transport.

c) Carence en éléments cationiques.

La description de la carence *magnésienne* est très brève chez FREIBERG et STEWARD, et ne contient aucun détail contredisant les deux autres. MURRAY ne mentionne ni la persistance d'une bande verte de part et d'autre de la nervure médiane (trait commun à la carence magnésienne chez un grand nombre de plantes), ni le liséré vert par endroits au bord du limbe ; mais ces deux détails caractéristiques apparaissent sur ses illustrations. S'il hésite à considérer comme un symptôme typique la compression des jeunes feuilles et le déroulement anticipé des limbes, car un seul de ses deux bananiers en a été victime, nous lui en apportons la confirmation. Il ne signale pas de marbrures violacées sur le pétiole, ni la pourriture malodorante de cet organe à la sénescence ; par contre il a relevé une chlorose internervaire qu'il attribuerait volontiers à une carence en fer induite, invisible chez nous qui arrosions les plants avec une eau ferrugineuse. Enfin, et c'est le point qui nous intéresse, il constate une nécrose marginale du limbe, faible en regard des nécroses des régions internes, mais apparemment plus constante que chez nous.

MURRAY observe encore fréquemment cette nécrose marginale dans sa carence *potassique* ; déjà moins net chez FREIBERG et STEWARD, ce symptôme s'est rarement montré sur nos bananiers -K. FREIBERG et STEWARD considèrent comme première manifestation de la carence potassique des taches brun-pourpre sur les bords et la face supérieure du pétiole concordant à peu près avec nos marbrures (non signalées par MURRAY), mais ils ne mentionnent pas leur extension ultérieure sur le pétiole et dans la gouttière nervaire.

Les symptômes essentiels de ces deux carences restent cependant identiques dans les trois descriptions : elles commencent par les plus vieilles feuilles, se présentent comme un jaunissement marginal avec blocage de crois-

sance et dérèglement dans le cas du magnésium, comme une fanaison-éclair dans le cas du potassium. Il n'en va plus de même pour la carence *calcique*. Les deux études auxquelles nous nous référons font état d'une chlorose strictement marginale et continue, se manifestant sur des feuilles âgées, puis se transformant en une bordure nécrotique qui entoure toutes ces feuilles. Nous avons au contraire observé des chloroses apparaissant sur les feuilles les plus jeunes, se développant en direction de la nervure médiane, demeurant discontinues même au stade de la nécrose ; elles étaient précédées par des épaississements de nervures gaufrant le limbe.

d) Carences et toxicités.

Ainsi, dans les trois carences cationiques, on remarque chez MURRAY comme chez FREIBERG et STEWARD une extension croissante des nécroses marginales quand on passe du traitement -Mg aux traitements -K, puis -Ca, tandis que chez nous ces nécroses sont douteuses ou nulles. Le facteur variétal est ici hors de cause : la 'Petite Naine' et le 'Gros Michel' ne peuvent posséder aucun trait commun qui ne se retrouverait pas chez le 'Poyo'. Il est peu probable que les conditions d'éclairage, etc., soient à incriminer. Mais les traitements -Mg, -K et -Ca contenaient des doses croissantes de sodium dans les deux expériences citées et non dans la nôtre ; nous attribuerons donc ces nécroses à la toxicité du sodium plutôt qu'aux carences elles-mêmes. Elles ne sont pas sans ressemblance avec les brûlures de sel marin observables dans les bananeraies de littoral ; comme le bananier semble par ailleurs bien supporter les chlorures (cas d'applications massives de ClK au champ), ces brûlures salines seraient bien dues au sodium et non au chlore.

Faut-il en conclure que nos symptômes de carence calcique sont plus valables que ceux de MURRAY et de FREIBERG et STEWARD ? Nous n'osons l'affirmer catégoriquement. Certes on admet en général que la carence en calcium se manifeste sur les feuilles les plus jeunes et y provoque des déformations. Mais avec notre méthode de substitutions la concentration en potassium était très élevée dans le traitement -Ca, chez lequel la carence n'était pas totale puisque l'eau, le sable et le béton ont concouru à en faire progressivement disparaître toute répercussion sur les bananiers. L'hypothèse d'un effet de toxicité du potassium n'est donc pas exclue ; elle est étayée par l'apparition momentanée des mêmes symptômes en novembre, d'une part chez l'un des témoins, d'autre part chez des bananiers de la bordure en pleine terre auxquels nous avons administré, de fortes doses de potasse.

Cette toxicité était-elle alors un effet d'une absorption excessive du potassium ou d'une absorption trop faible du calcium ? A la vérité, il n'est pas possible de dissocier les deux phénomènes, comme le prouve l'ensemble des résultats obtenus depuis huit ans par le diagnostic foliaire du bananier. Chez cette plante tout particulièrement, les éléments K, Ca, Mg et sans doute Na manifestent un haut degré d'interchangeabilité, non seulement dans leur absorption, mais aussi dans leur transport et leur utilisation, car ils semblent pour une large part conserver indéfiniment leur caractère d'ion métallique.

La notion de carence pure n'est donc pas valable pour les cations : celui qui fait défaut est remplacé au moins partiellement par d'autres, selon les disponibilités du milieu de culture, et les symptômes varient avec la nature des déséquilibres ainsi institués. C'est pourquoi les troubles de la nutrition du bananier dans son milieu naturel présentent une telle complexité.

2° RELATIONS AVEC DES MALADIES NUTRITIONNELLES DU BANANIER

a) Le « bleu » du bananier et la « chlorose magnésienne ».

Apparue en Guinée après l'intensification de la culture bananière, la maladie du « bleu » fut surtout observée par M. MOITY, qui constata sa régression sous l'effet des apports magnésiens. Elle consiste en marbrures brun violacé à bleu, visibles à la face inférieure des pétioles et nervures principales (photo 8) ; sectionné, un pétiole « bleu » présente des zones de pourriture interne dégageant une odeur nauséabonde. Il revient à J. BRUN (1) d'en avoir décrit les symptômes et entamé l'étude méthodique, grâce à laquelle il identifia sa nature de déséquilibre physiologique complexe et en mit les remèdes au point avec J. CHAMPION (2). Plus tard, F. DUGAIN (3) précisa la valeur-limite du rapport K/Mg échangeables au-dessus de laquelle, dans les sols de Guinée, les bananiers devenaient sujets au « bleu ». Depuis, cette maladie a été observée également en Côte d'Ivoire et aux Antilles françaises ; elle y affecte indistinctement les variétés ' Petite Naine ', ' Grande Naine ' (' Giant Cavendish ') et ' Poyo '.

En Guinée, le « bleu » était toujours associé à une chlorose foliaire dénommée par M. MOITY « chlorose magnésienne » : décoloration marginale ou submarginale avec persistance d'une large bande verte de part et d'autre de la nervure médiane et transition pro-

gressive de la zone verte à la zone décolorée du limbe ; en somme, des symptômes très semblables au premier stade de ceux que nous avons obtenus sur solution (le liséré vert facultatif étant seulement élargi à plusieurs centimètres dans certains cas). Mais cette chlorose, toujours guérie par des apports de magnésie, s'observait tout aussi bien sur des bananiers exempts de « bleu » : cela confirme le caractère, plus complexe qu'une simple carence magnésienne, de cette maladie pétiolaire. *Pour qu'on puisse incriminer la déficience magnésienne dans un cas de « bleu », il faut que des symptômes foliaires indiscutables lui soient associés* : soit la « chlorose magnésienne », soit des déformations foliaires et décollements de gaines (cas observé tout récemment par J. GUILLEMOT dans une plantation de Martinique).

b) Le « bleu de défrichement ».

En effet, la présence du « bleu » pétiolaire peut être associée à des symptômes foliaires différents. M. MOITY lui donne alors le nom de « bleu de défrichement », car on l'observe surtout sur parcelles nouvellement mises en culture après déforestation. Les basses feuilles des bananiers présentent alors sur leur pourtour, à la face supérieure, une pigmentation brun-pourpre qui leur confère un aspect « fumé » ; cette zone marginale se décolore ensuite (photo 9), puis se nécrose ; mais la décoloration ne gagne guère vers l'intérieur du limbe, restant localisée à une étroite bande jaune ou nécrotique qu'aucune transition ne sépare de la partie demeurée verte.

Étudiant dernièrement cette anomalie dans une plantation de Côte d'Ivoire, l'analyse foliaire nous a démontré qu'il s'agissait cette fois d'une carence potassique avec excès de magnésium et, plus modérément, de calcium. Soit, en gros, la cause inverse de celle du « bleu » habituel ; il s'agit sans doute d'un déséquilibre tout aussi complexe que dans le premier cas : si nous avons bien obtenu sur solution du « bleu » pétiolaire chez les bananiers carencés en potassium, nous y avons observé des symptômes foliaires qui ne sont pas ceux du « bleu de défrichement ».

De plus, la pigmentation « feuilles fumées » a été observée dans une autre plantation de Côte d'Ivoire, où des apports massifs de potasse avaient provoqué une grave carence magnésienne, avec « bleu » et des symptômes foliaires typiques poussés jusqu'aux nécroses précoces (cas très rare ; en pleine terre la carence magnésienne ne dépasse normalement pas le stade chlorose avec quelques points nécrotiques). Tout comme le « bleu » pétiolaire, les « feuilles fumées » semblent

donc avoir pour cause principale une rupture de l'équilibre K — Mg, soit dans un sens, soit dans l'autre. Nous avons observé ce symptôme et des nécroses marginales analogues à celles du « bleu de défrichement » (mais ressemblant aussi aux brûlures de sel marin) dans une plantation antillaise de bord de mer, avec cette

fois présence simultanée de fanaison-éclair ; l'analyse des bananiers organe par organe a encore révélé une carence potassique aiguë avec excès de magnésium et de calcium : sur ce sol riche à l'excès en bases échangeables, la chaux et la magnésie bloquent l'assimilation de la potasse.

CONCLUSIONS

a) Reconnaissance des signes de carence en bananeraie.

Les deux exemples que nous venons d'étudier montrent de quelle prudence on doit faire preuve pour interpréter les symptômes décelés dans une plantation. Avant tout, il nous faut mettre en garde le praticien contre l'erreur fréquente, due parfois à une mauvaise terminologie, de *confusion entre les effets et les causes*. Parce que la carence azotée provoque un pâlissement généralisé du feuillage, on appellera facilement « faim d'azote » toute difficulté de croissance qui s'accompagne de cette pâleur ; or il peut s'agir en réalité de tout autres phénomènes (carences en micro-éléments, etc.). Parce que le « bleu » était guéri en Guinée avec de la magnésie, l'habitude a parfois été prise de considérer comme interchangeables les termes « bleu » et « carence en magnésium » ; certains parlent ainsi de « bleu » lorsqu'ils observent des symptômes magnésiens sur les feuilles uniquement, tandis que, faute de plus ample information jusqu'à ce jour, de la magnésie était apportée à des sols qui en contiennent déjà trop.

Les symptômes visibles ne sont que la traduction lointaine, par toute une série d'intermédiaires, du trouble qui les provoque. A bien y réfléchir, il est admirable que les mécanismes vitaux de la plante soient, malgré leur souplesse, assez reproductibles pour qu'on puisse se fier à des manifestations résultant d'actions aussi complexement imbriquées ; le rôle des études sur milieu artificiel est d'accumuler des informations de base qui devront être le plus possible *recoupées par d'autres données expérimentales obtenues sur le terrain* : analyse du sol et de la plante, guérisons dûment contrôlées, etc. (Ainsi L. GUIMBERTEAU a confirmé les premiers symptômes de notre carence en soufre au moment même où nous les obtenions : dans une plantation ne recevant que de l'urée et du chlorure de potasse depuis quelques années, le retard de coloration des plus jeunes feuilles a été guéri par un retour temporaire aux sulfates d'ammoniaque et de potasse).

Mais il ne faut pas *chercher sans discernement des ressemblances* entre tout symptôme observé au champ et ceux des carences. Les causes possibles d'anomalies de croissance ou de coloration sont d'ordres divers, la nutrition minérale n'est que l'une d'elles et ne doit pas être considérée isolément. C'est pourquoi, dans la pratique, on devra toujours examiner l'état d'ensemble d'une plantation déficiente : parasites, conditions climatiques, eau, historique lointain et récent, en se guidant de préférence sur un traité simple mais complet de la culture bananière (4, 6).

b) Essentialité de N, P, S, K, Ca et Mg.

Ces six éléments sont tous absolument nécessaires à la vie végétale ; on ne peut donc pas, au sens strict, prétendre que l'un soit plus essentiel que les autres. Mais le déroulement respectif des six carences apporte quelques informations sur la nature de cette essentialité.

L'absence d'azote ne perturbe pas profondément le développement de la plante ; elle l'empêche de franchir le stade floral parce qu'elle ralentit jusqu'à la stopper toute activité de crois-

sance. Les composés azotés ont, en effet, une présence universelle dans la vie végétale ; au lieu d'être spécifiques de telles ou telles fonctions, ils sont essentiels dans tous les processus vitaux. Comme une fraction seulement de l'azote ayant servi à la synthèse de matière vivante est réutilisable, le ralentissement de croissance (et de coloration du feuillage) est immédiat, et il se poursuit comme une fonction exponentielle tendant asymptotiquement vers zéro.

Après l'azote, c'est le *magnésium* dont la carence a eu les effets les plus dépressifs ; mais l'absence de magnésium s'est au contraire manifestée sous l'aspect d'un violent dérèglement, conséquence des rôles surtout catalytiques et beaucoup plus spécifiques de cet élément. Le *soufre* s'est montré encore plus spécifique, son absence n'affectant que les organes jeunes chez lesquels elle induisait des troubles métaboliques entravant la formation de la chlorophylle, avant de perturber puis stopper l'activité du point végétatif.

La carence en *calcium* a été la plus marquante au début avec la carence en azote ; mais comme elle n'a été que partielle ensuite les désordres dus à l'absence de cet élément n'ont pu se manifester pleinement ; de même dans la carence en *phosphore*. Nous nous garderons donc de comparer les effets de ces deux carences avec ceux des quatre autres.

Parmi celles-ci, la carence en *potassium* a été la dernière à se manifester et la seule à permettre la différenciation d'une inflorescence. Doit-on en conclure que le potassium est « moins essentiel » au bananier que l'azote, le magnésium et le soufre ? D'un point de vue formel, on notera que le bananier s'est montré capable d'utiliser au maximum les réserves de potassium contenues dans le matériel végétal initial, beaucoup plus importantes que les réserves en autres éléments ; il a donc été moins carencé en fait. Du point de vue pratique, la production d'un régime impropre à la consommation n'offre pas plus d'intérêt que l'absence de fructification.

L'essentialité du potassium est de même nature que celle de l'azote, elle consiste en un *effet de masse* qui conditionne le niveau de productivité ; tandis que les éléments à rôles plus spécifiques sont indispensables au franchissement de ce qu'on pourrait appeler des *seuils vitaux*, au-delà desquels leur effet s'atténue. La suite de notre expérimentation, en carences partielles ou alternées, devrait apporter des précisions sur ces divers aspects de l'essentialité.

Les photos illustrant cet article sont de J.-M. Charpentier, à l'exception des n^{os} 8 et 9 dues à P. Martin-Prével.

BIBLIOGRAPHIE

- BRUN (J.). — Le « bleu » du bananier en Guinée française. *Fruits*, vol. 7, n° 7, p. 324-329 (1952).
- BRUN (J.) et CHAMPION (J.). — Le « bleu » du bananier en Guinée française. *Fruits*, vol. 8, n° 6, p. 266-269 (1953).
- CHAMPION (J.). — Indications préliminaires sur la croissance du bananier 'Poyo'. *Fruits*, vol. 16, n° 4, p. 191-194 (1961).
- CHAMPION (J.). — Le bananier. Éd. Maisonneuve et Larose, Paris (1963), 263 p.
- CHAMPION (J.), LOSOIS (P.) et MONNET (J.). — Le matériel végétal utilisable en plantations bananières. Influence sur la végétation et les rendements. *Fruits*, vol. 17, n° 6, p. 280-283 (1962).
- CHARPENTIER (J. M.) et GODEFROY (J.). — La culture bananière en Côte d'Ivoire. Éd. I. F. A. C., Paris (1963), 186 p.
- COÏC (Y.), LESAIN (C.) et LE ROUX (F.). — Comparaison de l'influence de la nutrition nitrique et ammoniacale combinée ou non avec une déficience en acide phosphorique, sur l'absorption et le métabolisme des anions-cations et plus particulièrement des acides organiques chez le maïs. *Ann. Physiol. Vég.*, vol. 3, n° 3, p. 141-163 (1961).
- DEULLIN (R.). — Mesure de la couleur de la pulpe de la banane en phase préclimactérique. *Fruits*, vol. 18, n° 1, p. 23-26 (1963).
- DUGAIN (F.). — Les analyses de sol et le « bleu » du bananier. Commun. 1^{re} Réunion internat. Banan. F. A. O. et C. C. T. A., Abidjan (1960).
- DUMAS (J.). — Détermination d'une feuille-origine pour l'étude des bananiers cultivés. *Fruits*, vol. 13, n° 5, p. 211-224 (1958).
- FREIBERG (S. R.) and STEWARD (F. C.). — Physiological investigations on the banana plant. III. Factors which affect the nitrogen compounds of the leaves. *Annals of Botany*, vol. XXIV, n° 93, p. 147-157 (1960).
- LOUÉ (A.). — Étude des carences et des déficiences minérales sur le cacaoyer. Éd. Institut Français du Café et du Cacao, Paris (1961), 63 p.
- MARTIN-PRÉVEL (P.). — Les éléments minéraux dans le bananier et dans son régime. *Fruits*, vol. 17, n° 3, p. 123-128 (1962).
- MARTIN-PRÉVEL (P.) et CHARPENTIER (J.-M.). — Différences dans les symptômes de carences en éléments majeurs suivant leur mode d'obtention (cas du bananier). *Bull. Soc. Franç. Physiol. vég.*, vol. 8, n° 4, p. 117-122 (1962).
- MOITY (M.). — La carence en cuivre des « tourbières du Niéky » (Côte d'Ivoire). *Fruits*, vol. 16, n° 8, p. 399-401 (1961).
- MURRAY (D. B.). — Deficiency symptoms of the major elements in the banana. *Tropical agriculture*, vol. 36, n° 2, p. 100-107 (1959).