

CULTURE SUR MILIEU ARTIFICIEL

Carences en K, Ca, Mg chez le bananier : analyse foliaire

par J.-J. LACOEUILHE et P. MARTIN-PRÉVEL

Institut français de Recherches fruitières Outre-Mer

CULTURE SUR MILIEU ARTIFICIEL
Carences en K, Ca, Mg chez le bananier :
Analyse foliaire

J.-J. LACOEUILHE et P. MARTIN-PRÉVEL (IFAC)

Fruits, apr. 1971, vol. 26, n° 4, p. 243-253.

RESUME - Les jeunes feuilles reçoivent préférentiellement le potassium et ne peuvent traduire qu'une déficience très accusée ; la carence s'est accompagnée de teneurs en K de l'ordre de 2,4 p. cent dans la "bande entière" de la F III. La nervure et l'étude des gradients fournissent de meilleures informations pour K.

La carence en calcium n'affecte, au champ, que de jeunes bananiers de premier cycle. Le niveau dans la "bande entière" de la F III semble alors voisiner 0,7 p. cent de Ca avec K/Ca supérieur à 7 ; mais la F I est un meilleur indicateur.

La carence en magnésium avec symptômes visuels a correspondu à moins de 0,22 p. cent de Mg dans la F III.

La somme des cations semble assez constante dans les jeunes feuilles mais sa faiblesse dans la F I est caractéristique de la déficience potassique. L'équilibre entre K, Ca, Mg est très important. L'antagonisme K-Ca y joue un rôle dominant. Avec l'âge la proportion de K diminue considérablement.

Après les carences en anions nous présentons maintenant les carences en cations et une conclusion d'ensemble. Les tableaux, les figures et les renvois bibliographiques nouveaux ont été numérotés à la suite de l'article précédent ().*

CARENCE EN POTASSIUM

L'influence de la déficience potassique sur la production est considérable. Elle est fréquente sur le terrain ; on sait d'ailleurs maintenant que la potasse est lessivée sous climat tropical (12). Les symptômes apparaissent sur les vieilles feuilles. La carence alternée a montré l'importance d'une nutrition potassique normale au moment de la différenciation florale.

Au point de vue analytique, il est nécessaire de se rappeler que, si les besoins en potas-

sium croissent régulièrement, la plante mobilise facilement ses réserves contenues dans le pseudo-tronc, les pétioles et les nervures. Les limbes en pleine activité régularisent leur teneur (21), mais dans l'évolution ultérieure de la carence, les vieilles feuilles mobilisent à leur tour leur potassium. Cela explique que les symptômes foliaires apparaissent brutalement et relativement tard dans le cycle, et sur les feuilles âgées. Ils évoluent très rapidement et deviennent irréversibles : on ne peut alors que stopper leur progression vers les jeunes feuilles.

(*) - Carences en N, P, S chez le bananier : analyse foliaire.
J.-J. LACOEUILHE et P. MARTIN-PRÉVEL.
Fruits, mars 1971, vol. 26, n° 3, p. 161-167.

- Effets sur les teneurs en potassium

En carence partielle, le stade de 204 jours correspond approximativement à l'apparition des symptômes foliaires. Le niveau du potassium dans la F III est alors de 2 p. cent environ pour la "bande entière" (1,8 p. cent pour la zone 1/3 et 2,4 p. cent pour la zone 2/3 : figure 8). Au même moment, la F I en contient encore 3,1 p. cent dans la "bande entière". La longévité des feuilles est diminuée depuis un certain temps déjà (19). Il est intéressant de noter qu'à 83 jours, soit quatre mois environ avant l'apparition des symptômes, les teneurs sont à peine plus élevées dans les jeunes feuilles (2,4 p. cent contre 2,0 p. cent dans la F III, 3,8 p. cent contre 3,1 p. cent dans F I). La teneur de ces jeunes feuilles est donc gravement diminuée avant que les symptômes n'apparaissent sur les vieilles feuilles.

En carence alternée, la courbe des longueurs de feuilles s'infléchit dès le premier apport de la solution totalement carencée, à trois mois. Un mois et demi plus tard, cette courbe reprend une allure normale bien que sa pente soit réduite par rapport au témoin. Les symptômes visuels n'apparaissent qu'après trois mois de carence. Pendant la première phase, le flux de potassium vers les feuilles les plus jeunes, dont les besoins sont les plus importants, est réduit et la croissance est très ralentie. Dans la deuxième phase, les jeunes feuilles sont menacées de ne plus avoir leur "minimum vital", la plante mobilise alors ses réserves qui permettent un renouveau de croissance jusqu'à leur épuisement; celui-ci correspond à l'apparition des symptômes.

L'ensemble de ces observations permet les remarques suivantes :

- Les jeunes feuilles ne sont pas les organes les plus sensibles pour tester le niveau de la

nutrition potassique. Elles ne peuvent révéler qu'un stade de déficience trop avancé pour intéresser l'agronome.

- Les feuilles les plus basses (les plus vieilles) seraient donc théoriquement plus intéressantes. Cependant elles ont des inconvénients très importants :

. le nombre de feuilles vivantes n'est pas constant et n'est pas uniquement fonction de la nutrition potassique (20) ;

. des feuilles en même position peuvent avoir des âges différents car le rythme d'émission varie avec de nombreux facteurs. Plus les feuilles sont basses, plus cette diversité peut s'accroître.

- Le bananier a des capacités énormes de stockage du potassium (21). Peu d'organes végétaux peuvent contenir plus de 20 p. cent de potassium dans leur matière sèche ! Sur le plan agronomique, la constitution de réserves potassiques abondantes pendant les premiers mois du cycle permet à la plante de conserver une certaine vitesse de croissance, si l'absorption devient ensuite insuffisante (sécheresse, mauvais état du système racinaire par exemple). Pour le diagnostic foliaire, il paraît donc logique d'"interroger" un organe où le potassium est mis en réserve ou bien un organe plus passif et moins régulé que les limbes : pétioles et nervures par exemple. On peut ainsi tester l'état des réserves de la plante et leur utilisation. Depuis cinq ans environ, l'IFAC complète le diagnostic foliaire du bananier par l'analyse de la nervure centrale (11).

Dans l'essai qui nous intéresse, il était inconcevable de prélever les nervures. Nous pouvons cependant citer (tableau 3) les résultats d'une expérimentation ultérieure sur solution (22). Ils ne sont pas directement comparables, car la technique d'échantillonnage a été diffé-

Tableau 3 - Bilans en hydroponique : teneurs en potassium des pétioles + nervures et des limbes en totalité.

F III + F IV réunies	Pétioles + nervures		Limbes	
	Témoins	Carencés en K	Témoins	Carencés en K
Stade fleur	5,80	2,80	4,30	2,65
Stade mi-coupe	6,65	2,25	3,90	2,60
Stade coupe	6,00	1,65	3,50	1,85

rente, assez proche de celle employée pour les essais sol-plante (14) : l'ensemble des pétioles et nervures des F III et F IV formait un seul échantillon, de même l'ensemble de leurs limbes de la base à l'apex.

Plus les niveaux s'abaissent, plus le gradient des pétioles-nervures vers les limbes s'affaiblit. Pour les basses valeurs, il s'inverse ; les feuilles ne sont plus alimentées. L'intensité de ce gradient exprime donc l'intensité de la nutrition.

Le découpage de la bande prélevée en deux zones, 1/3 et 2/3, permet de remarquer que les teneurs diminuent en général de la nervure vers le bord extérieur du limbe. On observe par contre, dans le cas de la carence partielle, une inversion de ce gradient dès la F II et même à 83 jours. La zone marginale aurait donc une composition moins affectée par les variations de nutrition potassique ; par conséquent, pour la F III la zone 1/3 serait beaucoup plus sensible pour la détermination des besoins en potasse. Nous connaissons très peu de cas en champ où la zone 1/3 de la F III contient moins de 3 p. cent de potassium. Dans un cas extrême observé en Martinique, on a trouvé 1,82 p. cent dans la zone 1/3 et 1,25 p. cent dans la zone 2/3 : malgré les valeurs très faibles, le gradient conserve un signe normal. Il

est donc difficile de transposer au champ le résultat obtenu en culture sur solution, bien qu'il soit parfois vérifié. En fait, la culture sur solution a agi par substitution des cations à l'intérieur d'une somme constante, et la plante pouvait absorber des quantités pléthoriques de calcium en particulier, tout en conservant à sa disposition une certaine quantité de potassium de façon régulière. Ce n'est pas toujours le cas en champ, car de telles déficiences apparaissent le plus souvent sur des sols complètement désaturés.

- Effets sur les autres éléments

L'azote, dans les jeunes feuilles, augmente nettement à 204 jours (fig. 6) ; le rapport K/N est donc très faible. Le phosphore n'est guère modifié (fig. 7). Le calcium est naturellement beaucoup augmenté dès le jeune âge du plant, mais surtout pour les vieilles feuilles et à 204 jours (fig. 9). Il en est de même pour le magnésium (fig. 10). La somme des cations est diminuée pour la F I, surtout quand la carence se fait le plus ressentir (fig. 11). Pour les F II, F III et feuille la plus basse il y a peu de modification, mais l'augmentation observée dans la feuille intermédiaire traduit l'accumulation prématurée du calcium et du magnésium.

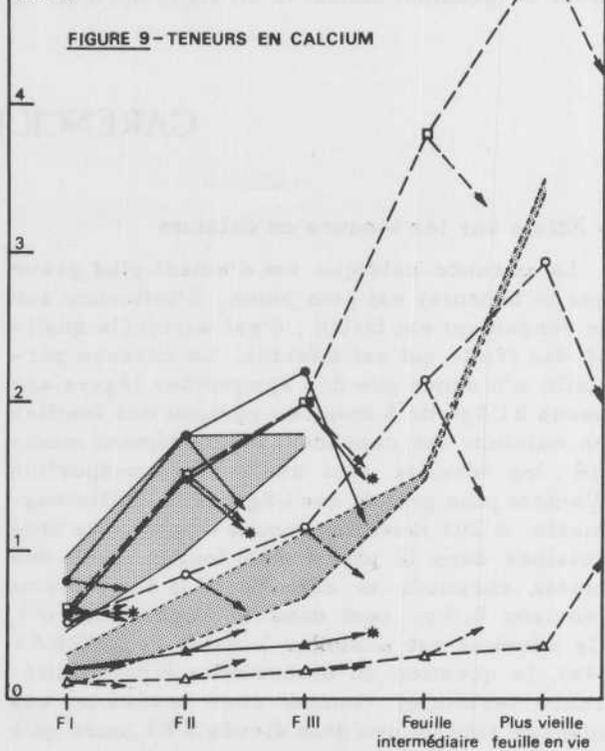
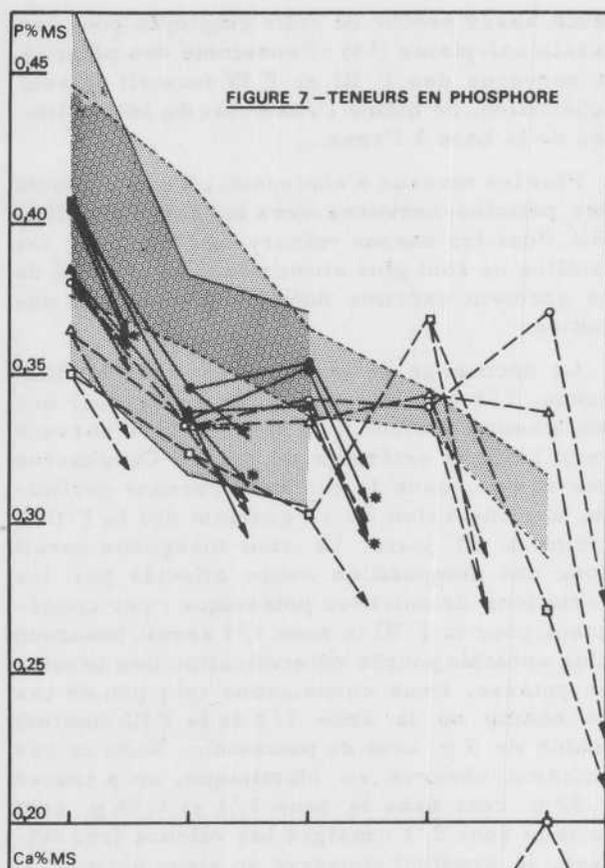
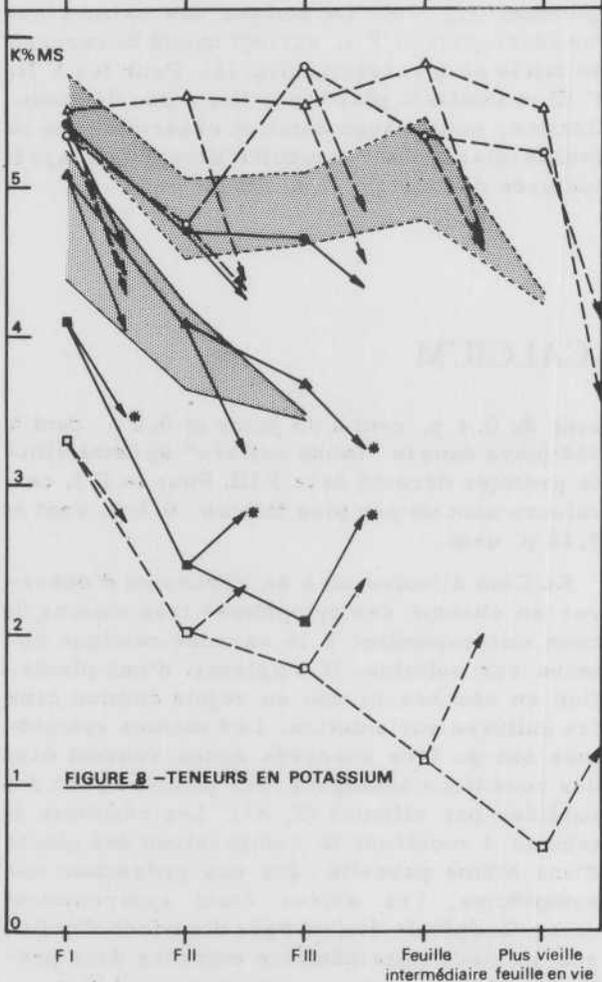
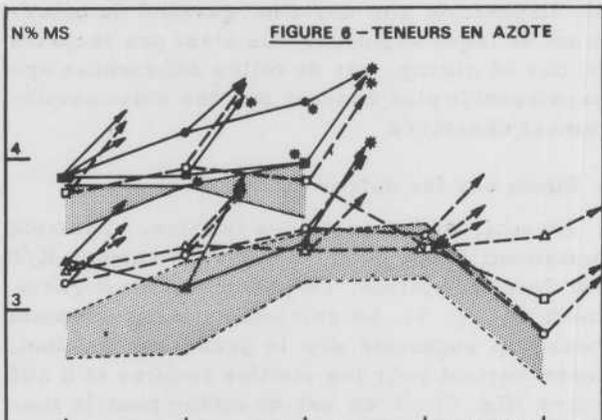
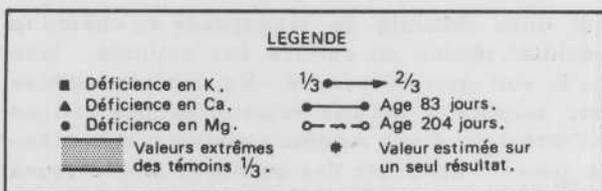
CARENCE EN CALCIUM

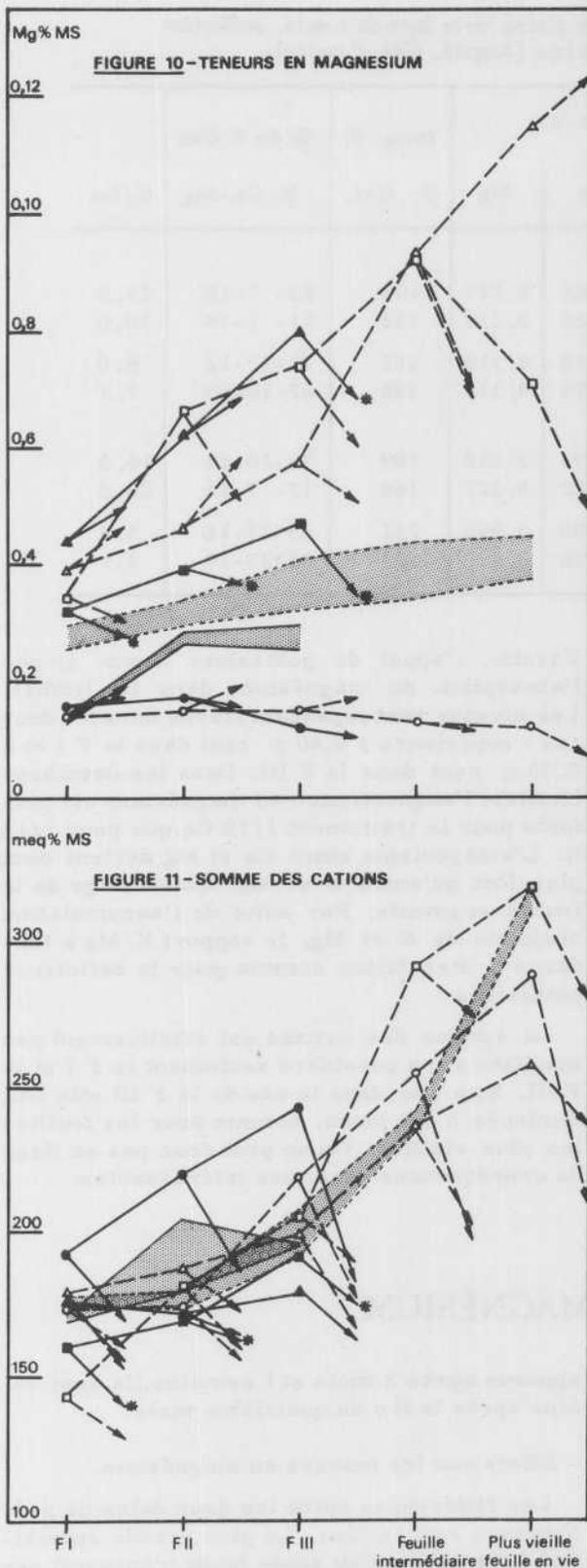
- Effets sur les teneurs en calcium

La carence calcique est d'autant plus grave que le bananier est plus jeune. L'influence sur le rendement est faible ; c'est surtout la qualité des fruits qui est affectée. La carence partielle n'a donné que des symptômes légers apparus à l'âge de 6 mois. Le contenu des feuilles en calcium est cependant profondément modifié : les niveaux sont abaissés en proportion d'autant plus grande que l'âge de la feuille augmente. A 204 jours, on trouve des teneurs très voisines dans la plus vieille feuille en vie des plants carencés et dans la F II des témoins (environ 0,5 p. cent dans la "bande entière"). Ce résultat est analogue à celui de MURRAY (16), la question du niveau mise à part (différence variétale). Comme chez le témoin, ces niveaux sont un peu plus élevés à 83 jours qu'à 204 jours. Chez les plants carencés, les teneurs

sont de 0,4 p. cent à 83 jours et 0,2 p. cent à 204 jours dans la "bande entière" du demi-limbe premier déroulé de la F III. Pour la F I, ces valeurs sont un peu plus faibles : 0,2 p. cent et 0,12 p. cent.

En Côte d'Ivoire, on a eu l'occasion d'observer en champs des symptômes très voisins de ceux correspondant à la carence calcique obtenue sur solution. Il s'agissait d'une plantation en souches et non en rejets comme dans les cultures sur solution. Les mêmes symptômes ont pu être observés assez souvent dans des conditions analogues ; des photos en ont été publiées par ailleurs (2, 21). Les résultats du tableau 4 montrent la comparaison des plants d'une même parcelle : les uns présentant des symptômes, les autres étant apparemment sains. Ces plants étaient âgés d'environ 4 mois, soit un stade intermédiaire entre les deux prélèvements effectués en culture sur solution.





La comparaison des plants avec et sans symptômes montre clairement que le calcium est en cause, surtout si on considère le rapport K/Ca. Les niveaux du calcium sont, pour la F I, assez voisins de ceux de la carence partielle sur solution. Par contre, les teneurs de la F III sont nettement plus élevées en champ, mais le rapport K/Ca est plus élevé chez les plants atteints.

La présence des symptômes semble donc liée à la faiblesse du niveau de calcium dans la F I, plutôt qu'à la diminution, pourtant beaucoup plus spectaculaire, dans les vieilles feuilles. Il est vrai que les symptômes sont visibles dès le stade cigare et que leur évolution ultérieure se limite à la nécrose des plages primitivement chlorotiques, les déformations étant, elles aussi, irréversibles. Notons que les témoins, dont la teneur de la F I à 204 jours est de 0,20 p. cent, ont présenté à 6 mois environ de légères décolorations marginales internervaires, identiques à celles du traitement 1/10 Ca.

Il semble donc que des teneurs inférieures à 0,25 p. cent de calcium dans la F I soient insuffisantes en premier cycle, quel que soit l'âge de la plante. Pour les cycles suivants, on sait que les niveaux en général et celui du calcium en particulier sont plus faibles. Il paraît donc préférable de compléter le diagnostic du calcium en considérant ses rapports avec les autres éléments. Dans la F III, le niveau de carence se situe vers 0,7 p. cent avec K/Ca supérieur à 7.

- Effets sur les autres éléments

L'azote est diminué à 83 jours, le niveau étant identique à celui de 204 jours qui est normal. Comme pour les jeunes plants d'avocattiers (7), on observe une diminution du niveau d'azote, surtout aux premiers stades de la croissance. Nous avons alors signalé que la fourniture d'azote uniquement sous forme de nitrates pouvait être la cause de ce résultat (nécessité de Ca pour assimiler les nitrates). Les formules de solution ont d'ailleurs été transformées depuis pour l'avocatier et le bananier.

Le phosphore est relativement peu modifié. Les niveaux sont un peu plus faibles que la normale pour les jeunes feuilles et un peu plus élevés pour la dernière feuille, sans que ce résultat puisse être exploité pratiquement.

Le potassium est l'élément le plus affecté, mais contrairement à l'azote, la modification -

Tableau 4 - Composition foliaire de bananiers de pleine terre âgés de 4 mois, présentant ou non les symptômes de carence calcique (Azaguié, Côte d'Ivoire).

	p. cent de m. s.					meq. %	% de S. Cat	K/Ca
	N	P	K	Ca	Mg	S. Cat.	K-Ca-Mg	
Avec symptômes								
F I 1/3	3,86	0,254	6,32	0,268	0,247	195	83- 7-10	23,6
2/3	4,18	0,267	4,80	0,160	0,252	152	81- 5-14	30,0
F III 1/3	4,35	0,221	5,98	0,750	0,318	217	71-17-12	8,0
2/3	4,80	0,232	4,42	0,575	0,312	168	67-18-15	7,7
Sans symptômes								
F I 1/3	3,91	0,289	6,50	0,393	0,280	209	79-10-11	16,5
2/3	4,72	0,290	4,94	0,222	0,327	164	77- 7-16	22,3
F III 1/3	4,05	0,220	5,98	1,100	0,398	241	63-23-14	5,4
2/3	5,23	0,235	4,30	0,878	0,426	189	58-23-19	4,9

une augmentation - est plus faible à 83 jours. A 204 jours, au moment où les symptômes sont visibles, la F I conserve une teneur du même ordre de grandeur, mais le niveau du potassium ne diminue pas avec l'âge des feuilles : la plus âgée contient autant de potassium que la F I. C'est donc l'accumulation du calcium dans les vieilles feuilles qui provoque, au moins pour une part importante, la migration du potassium avec l'âge. Avec la carence le rapport K/Ca varie donc moins en fonction de l'âge des feuilles et reste fort. La feuille du bananier 'Poyo' ne peut pas contenir plus de 5,5 p. cent de potassium, quel que soit son âge, dans la "bande entière" utilisée pour l'analyse foliaire.

Le magnésium est augmenté lui aussi, mais cette augmentation est plus nette à 83 jours. Dans les premiers stades, c'est donc le magnésium qui peut suppléer au manque de calcium.

Ensuite, l'appel de potassium limite un peu l'absorption du magnésium dans les limbes. Les niveaux sont cependant élevés dans les deux cas : supérieurs à 0,40 p. cent dans la F I et à 0,55 p. cent dans la F III. Dans les dernières feuilles, l'augmentation du magnésium est plus forte pour le traitement 1/10 Ca que pour 1/10 K. L'antagonisme entre Ca et Mg devient donc plus fort qu'entre K et Mg, quand l'âge de la feuille augmente. Par suite de l'accumulation conjointe de K et Mg, le rapport K/Mg a tendance à être faible comme pour la déficience potassique.

La somme des cations est relativement peu modifiée si on considère seulement la F I et la F III, bien que dans le cas de la F III elle soit diminuée à 83 jours, comme pour les feuilles les plus vieilles. On ne peut donc pas en tirer de conséquences pratiques intéressantes.

CARENCE EN MAGNÉSIUM

Les symptômes se développent à partir des vieilles feuilles. La carence entraîne la mort. Si elle est limitée dans le temps (carence alternée), elle a toujours des effets catastrophiques, quel que soit l'âge où elle se produit. Si elle est limitée quantitativement (carence partielle : un quart de la dose normale), les symptômes sont surtout importants au stade jeune ;

apparus après 2 mois et 1 semaine, ils sont bénins après la fin du quatrième mois.

- Effets sur les teneurs en magnésium.

Les différences entre les deux dates de prélèvement sont faibles. La plus grande sensibilité à la carence au stade jeune n'apparaît pas

à l'analyse foliaire. Pour toutes les feuilles, les teneurs atteignent au maximum 0,16 p. cent dans la "bande entière". Les teneurs restent sensiblement constantes avec l'âge des feuilles, mais les F I et F II ont les valeurs les plus "élevées" (0,16 p. cent de m. s.) contrairement à tous les autres traitements. On peut cependant remarquer que les plants témoins ont des teneurs encore plus basses, au moins pour ce qui est de la F I (0,13 p. cent dans la zone 1/3) au stade de 83 jours. A ce moment-là, le calcium est assez élevé (0,7 p. cent) dans le même échantillon. Le potassium se trouve, lui, à 4,8 p. cent. La solution témoin est donc déséquilibrée en Ca-Mg pour les premières semaines de la culture et pendant un temps assez court, puisqu'aucun symptôme de déficience magnésienne n'est apparu après 2 mois, comme dans le cas des plants véritablement carencés. La F I seule est en cause, les feuilles de rang plus élevé ont des teneurs normales. On a déjà signalé, à propos du calcium, que l'équilibre de la solution témoin utilisée ne semblait pas parfaitement adapté au stade de 200 jours. Les formules de solutions (puisque'il y en a maintenant deux dont l'une pour le départ de la végétation) ont d'ailleurs été modifiées.

La carence dite partielle ou 1/4 Mg n'était pas la seule à utiliser le quart de la dose normale de magnésium : les traitements 1/4 Mg + K et 1/4 Mg + Ca étaient dans le même cas, mais compensaient différemment la diminution du magnésium (cf. Tableau 1, dans l'article précédent). Les teneurs en magnésium sont un peu plus élevées pour le traitement avec compensation par le calcium seul : au niveau de l'absorption, l'antagonisme exercé par le potassium sur le magnésium est donc plus fort que celui du calcium. Comme pour la carence partielle, les teneurs évoluent peu de la première à la dernière feuille. Elles sont pratiquement identiques pour la F I et la F III (0,22 p. cent pour le traitement + Ca et 0,19 p. cent pour le traitement + K) ; les symptômes foliaires étaient identiques à ceux de la carence partielle, bien que ces teneurs soient plus élevées.

En conclusion, les symptômes foliaires caractéristiques étaient visibles pour des teneurs

inférieures ou égales à 0,22 p. cent de magnésium dans la "bande entière" du demi-limbe de la F III. La F I et la F III avaient, dans ce cas, des teneurs identiques, mais on a pu voir que la F I peut contenir moins de magnésium sans qu'il y ait de symptômes, pendant les premières semaines de la végétation, si la F III contient plus de 0,25 p. cent.

- Effets sur les autres éléments.

L'azote n'est pas modifié, sauf une légère accumulation dans les F II et F III à 83 jours. Il en est de même pour le phosphore avec une légère augmentation dans les dernières feuilles.

Comme dans le cas de la déficience calcique, l'accumulation du potassium augmente avec l'âge. A 200 jours, toutes les feuilles ont à peu près la même richesse en potassium, soit environ 5 p. cent en moyenne. A 83 jours, les niveaux sont identiques pour la F I, mais ils diminuent dans les feuilles de rang supérieur. L'accumulation du potassium est cependant déjà sensible (F II et F III sont identiques), de façon plus nette que pour la carence calcique, dont les niveaux sont de plus inférieurs au même âge.

L'influence sur le calcium est différente de ce qu'on a pu observer dans la carence potassique. En particulier, les résultats diffèrent suivant le stade : les niveaux sont beaucoup plus faibles à 200 jours qu'à 83 jours, où ils sont un peu plus élevés que dans la carence potassique. Cela confirme l'évolution de la faculté d'absorption du bananier vis-à-vis du calcium et du potassium : prépondérance du calcium pour les premiers stades, puis du potassium pour la suite.

La somme des cations est augmentée nettement au stade jeune de 83 jours, surtout si on considère la zone 1/3. A 203 jours, elle se différencie peu de celle des autres traitements. Dans les vieilles feuilles, elle est intermédiaire entre la carence potassique où elle est la plus élevée et la carence calcique où elle est la plus faible.

RELATIONS ENTRE LES CATIONS

On a vu que la carence en chacun des trois cations K, Ca et Mg a de profondes répercussions sur les deux autres. L'examen des niveaux isolés de l'ensemble des résultats donne, certes, un premier aperçu pour l'interprétation en vue du diagnostic foliaire ; mais on peut obtenir des renseignements complémentaires en examinant l'ensemble des cations et les rapports existant entre eux.

- Somme des cations

Résumons les effets des traitements carenciels sur la somme K + Ca + Mg (exprimés en milliéquivalents pour 100 g de matière sèche) :

- Elle est relativement constante avec l'âge de la plante dans les feuilles de même rang.

- Dans les vieilles feuilles, cette somme est d'autant plus élevée que le niveau du calcium l'est lui-même. Une somme de cations faible exprime une déficience en calcium. Si elle est élevée, il peut s'agir d'une déficience en potassium. L'absence d'un traitement - K + Mg dans notre essai oblige à faire quelques faibles restrictions devant une généralisation peut-être exacte.

- Dans les jeunes feuilles la déficience potassique se manifeste par un gradient très fort de la somme des cations de la F I à la F III, à cause de la faiblesse de cette grandeur dans la F I. Pendant les trois premiers mois, la déficience magnésienne s'est manifestée par une somme des cations élevée dans la F I (supérieure à 160 meq. p. cent dans la "bande entière") et la F III (230 meq. p. cent). Si l'on compare les trois déficiences en Mg : remplacement par K ou Ca seul (déséquilibres cationiques) ou partagé entre K et Ca (carence dite partielle), ce phénomène apparaît d'autant plus net que la plante est bien alimentée en potassium ; le rapport K/N est alors d'autant plus élevé.

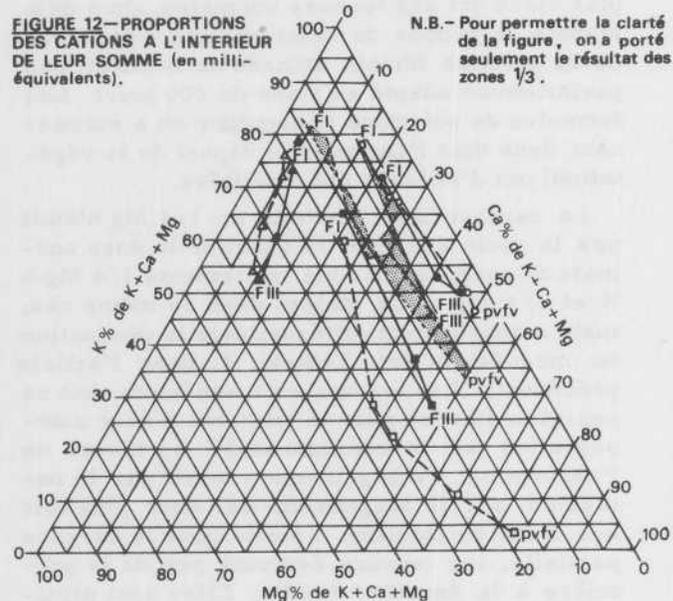
La F I bénéficie d'un courant préférentiel du potassium. Il n'en est pas de même pour le calcium, dont le niveau, tout en subissant l'influence de la composition du milieu nutritif, varie dans des limites beaucoup plus étroites. Dans la F I et vraisemblablement dans les feuilles immatures, le calcium ne peut pas compenser la déficience des autres cations. Les antagonismes intercationiques au niveau

de la feuille ne peuvent s'établir que lorsqu'elle est déroulée (13). Il y aurait donc régulation hormonale de l'assimilation du calcium par la feuille, au moins jusqu'à ce stade.

- Proportions entre cations.

La répartition des cations à l'intérieur de leur somme est également intéressante à considérer.

Sa variation en fonction de l'âge des feuilles apparaît nettement si on compare les trois carences partielles. On obtient en effet un faisceau de courbes (fig. 12) dont le sommet est situé dans la partie du triangle représentatif



correspondant au maximum de K et dont la limite est une droite, parallèle à l'axe Mg = 0, représentant la carence magnésienne. Avec l'âge, la part du potassium dans les feuilles diminue en suivant ces courbes, jusqu'à 5 p. cent pour les plus vieilles feuilles de la carence en K et jusqu'à 45 p. cent environ pour les mêmes feuilles des carences en Ca et Mg. La courbe moyenne, constituée par la carence en K, montre que la diminution du potassium avec l'âge est d'abord compensée en parts égales par Ca et Mg, puis Ca compense la diminution absolue de K et la diminution relative de Mg. Le processus de vieillissement des feuilles est lié

à celui de l'accumulation du calcium, qui est soumise à la nutrition potassique.

Contrairement au magnésium, dont la part s'abaisse légèrement (de 7,5 à 3,5 p. cent de la somme) avec l'âge de la feuille dans la carence magnésienne, celle du calcium réussit à augmenter de 3,5 à 12 p. cent dans les conditions de la carence calcique. Sur le plan métabolique, la part du calcium doit donc obligatoirement augmenter avec l'âge. L'accumulation de cet élément dans les feuilles est progressive et régulière ; elle semble se faire par un processus indépendant de ceux qui concernent K et Mg, puisque la somme des cations augmente normalement avec l'âge, comme les teneurs absolues et relatives de calcium. L'antagonisme entre calcium et potassium ne peut avoir lieu que si ces deux éléments sont impliqués dans les mêmes processus ; il ne viendrait que s'ajouter à l'accumulation normale du calcium.

Les feuilles du bananier ont donc, suivant leur âge, des besoins bien définis en chacun des trois cations, mais elles peuvent s'accommoder plus ou moins bien d'équilibres très variés : les trois carences partielles couvrent plus de la moitié du triangle représentatif (fig. 12). Les feuilles d'un même rang couvrent une surface de forme très vague, d'autant plus grande que le rang de la feuille est plus élevé. Pour la F III par exemple, on a les variations suivantes :

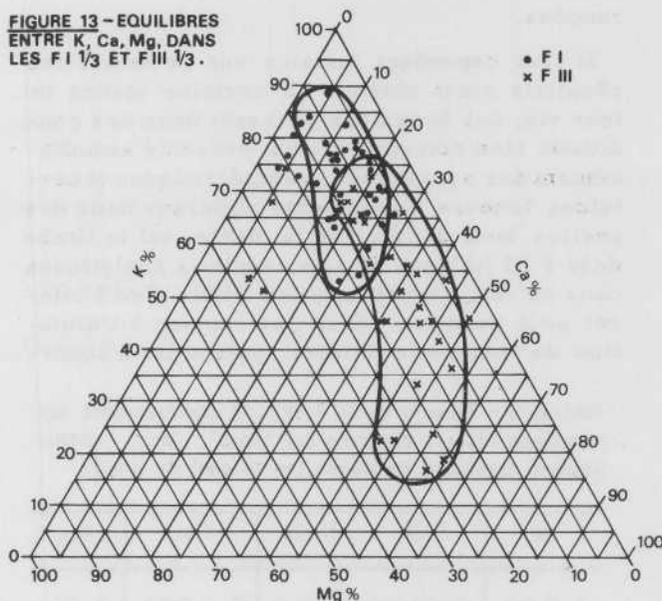
K = 18 - 75 p. cent

Ca = 5 - 59 p. cent

Mg = 4 - 37 p. cent

Il s'agit de limites, puisque ces variations sont observées dans le cas de plantes déficientes en l'un ou l'autre des éléments, mais on est bien loin du palmier à huile (23) par exemple. On se souvient qu'il a été impossible de reproduire, dans cette expérience, les conditions du "bleu" lié à la déficience magnésienne, malgré la diversité des trois traitements déficients en magnésium, diversité qui se retrouve à l'ana-

FIGURE 13 - EQUILIBRES ENTRE K, Ca, Mg, DANS LES F I 1/3 ET F III 1/3.



lyse foliaire avec des expressions très diverses de l'antagonisme K-Ca. De la même façon, on n'a pas relevé de différences notables entre les traitements 1/10 K et - K + Ca, bien que la somme des cations dans la feuille ait pu être accrue par une absorption supplémentaire du calcium.

Cependant, la surface couverte par les feuilles de même rang peut se réduire à... une banane assez grossière (fig. 13), si on exclut les points figurant la carence calcique. Cette banane a son pédicelle au voisinage du sommet K = 100 p. cent et repose sur le côté Mg = 0. La moitié proche du pédicelle exprime un antagonisme exclusivement entre potassium et calcium. Dans l'autre côté, le potassium est faible et la part du magnésium peut augmenter. Par conséquent, le bananier se caractérise par un antagonisme très puissant du potassium sur le magnésium et par un autre antagonisme, réciproque celui-là entre potassium et calcium.

CONCLUSION

Nous avons déjà exposé en plusieurs occasions notre conception de l'orientation de la fertilisation, au moyen de trois types d'investigations : étude agronomique, diagnostic foliaire et analyse pédologique. Les diagnostics

analytiques doivent, en principe, permettre une intervention avant l'apparition des symptômes visuels. C'est pourquoi il était intéressant de compléter par l'analyse foliaire l'observation des symptômes obtenus sur solutions ca-

rencées.

Il faut cependant insister sur la nature des résultats ainsi obtenus : à certains stades de leur vie, des bananiers poussant dans des conditions bien déterminées ont présenté simultanément des symptômes caractéristiques et certaines teneurs en éléments minéraux dans des parties bien définies de la plante, tel le limbe de la F III (tableau 5). Les résultats analytiques dans ce cas, constituent une limite dont l'intérêt peut paraître réduit par rapport à l'ambition du diagnostic foliaire, puisqu'ils n'apportent

Tableau 5 - Teneurs de la F III (*) correspondant aux symptômes visuels observés sur 'Poyo', pour chaque élément considéré isolément (en p. cent de m.s.).

N	P	K	Ca	Mg
2,0 **	0,08 ***	2,4	0,7 ***	0,22

* = bande de 15 à 20 cm de largeur prise sur le demi-limbe premier déroulé et au niveau de la largeur maximum.

** = en période de différenciation florale

*** = observé au champ.

tent qu'une confirmation à des observations visuelles. Les réactions du bananier aux différents facteurs, nutritifs ou autres, étant peu différenciées, cet effet n'est ni négligeable, ni superflu. Un intérêt supplémentaire réside dans la confrontation de nos résultats avec ceux d'autres chercheurs, notamment MURRAY.

Pour l'azote, il est impossible de fixer un niveau correspondant à la carence, sans tenir compte de la diminution des teneurs en fonction de l'âge du plant. La nutrition azotée est très importante en période de différenciation florale. La carence alternée a montré qu'une teneur de 2 p. cent, dans la "bande entière" du demi-limbe premier déroulé de la F III, a des effets particulièrement néfastes. En période de différenciation florale, la carence partielle, dont les effets ont été très atténués, a mis en évidence que le même échantillon doit avoir, à 5 mois, une teneur au moins égale à 3 p. cent pour que le plant ait une croissance normale.

La carence partielle en phosphore n'a pas beaucoup marqué, mais un cas examiné en Guadeloupe a permis de situer le niveau de carence à 0,08 p. cent de phosphore P dans la F III (même type d'échantillon).

Les jeunes feuilles ne sont pas les parties de

la plante les plus sensibles pour détecter la carence en potassium, étant donné le courant préférentiel vers les organes jeunes et la mobilité de cet élément dans la plante. Le diagnostic de la nutrition potassique, à un instant donné, gagne à compléter l'analyse des feuilles par celle des nervures ; il en est de même pour l'ensemble des cations. Des symptômes ont été observés pour une teneur de 2,4 p. cent dans la F III (même type d'échantillon). Un caractère important de la carence potassique est la faiblesse de la somme des cations dans la F I.

Les besoins en calcium du bananier sont plus élevés au cours du premier cycle que des suivants ; les teneurs sont également plus élevées. Les besoins de la plante sont surtout importants en début de végétation et le manque de calcium peut alors être compensé en partie par le magnésium. Mais plus tard c'est le potassium qui devient dominant et, par suite d'un antagonisme très fort, il limite cet effet du magnésium. Les symptômes de carence correspondent à des teneurs inférieures à 0,25 p. cent dans la F I (même type d'échantillon). Le niveau est plus difficile à établir pour la F III ; des teneurs inférieures à 0,7 p. cent ont été observées au champ avec des symptômes caractéristiques, mais le rapport K/Ca est alors particulièrement élevé par suite de l'accumulation très forte du potassium.

La carence magnésienne a correspondu à des teneurs inférieures à 0,22 p. cent. Ce niveau est pratiquement constant, quel que soit le rang de la feuille. La F I semble être un mauvais index, car elle peut contenir moins de magnésium sans qu'il y ait apparition de symptômes à condition que la F III ait des teneurs supérieures.

D'une façon générale, les cations ne doivent pas être considérés seuls, mais dans leur ensemble. La somme des cations (en meq. p. cent) dans les jeunes feuilles ne fournit que peu d'indications, sauf dans la F I pour la carence potassique. Au champ, la somme des cations est souvent faible à cause d'un système racinaire défectueux ou fonctionnant mal. La répartition des cations à l'intérieur de leur somme a montré la prépondérance du potassium dans les feuilles jeunes et leur envahissement progressif par le calcium. L'antagonisme potassium-calcium est dominant dans les feuilles de même rang, mais il se complète par un fort antagonisme du potassium sur le magnésium qui s'efface seulement lorsque le potassium subit une action suffisamment forte du calcium.

BIBLIOGRAPHIE

1 à 17 : voir article précédent.

18 - BIDNER-BARHAVA (N), RAVIKOVITCH (S.). The influence of various soils on the mineral composition of banana leaves. *Ktavim*, vol. 8, n° 3, p. 255-272, 1958.

19 - BRZESOWSKY (W.J.) et VAN BIESEN (J.). Foliar analysis in experimentally grown Lacatan bananas in relation to leaf production and bunch weight. *Neth. J. Agri. Sci.*, vol.10, n°2, p.118-126, 1962.

20 - HO (C.T.). Etude de la corrélation entre les rendements en fruit et la teneur en potassium des feuilles de bananiers.

Fertilité, n° 33, p. 19-29, 1969.

21 - MARTIN-PREVEL (P.) et MONTAGUT (G.). Fonction des divers

organes dans l'assimilation de P, K, Ca, Mg.

Fruits, vol. 21, n° 8, p. 395-416, 1966.

22 - MARCHAL (J.), MARTIN-PREVEL (P.) et LACOEUILHE (J.-J.).

Bilans minéraux en hydroponique, Côte d'Ivoire 1966-67.

Réunion annuelle IFAC, doc. n° 130, 1969.

23 - PREVOT (P.) et OLLAGNIER (M.). Diagnostic foliaire du

palmer à huile et de l'arachide, in :

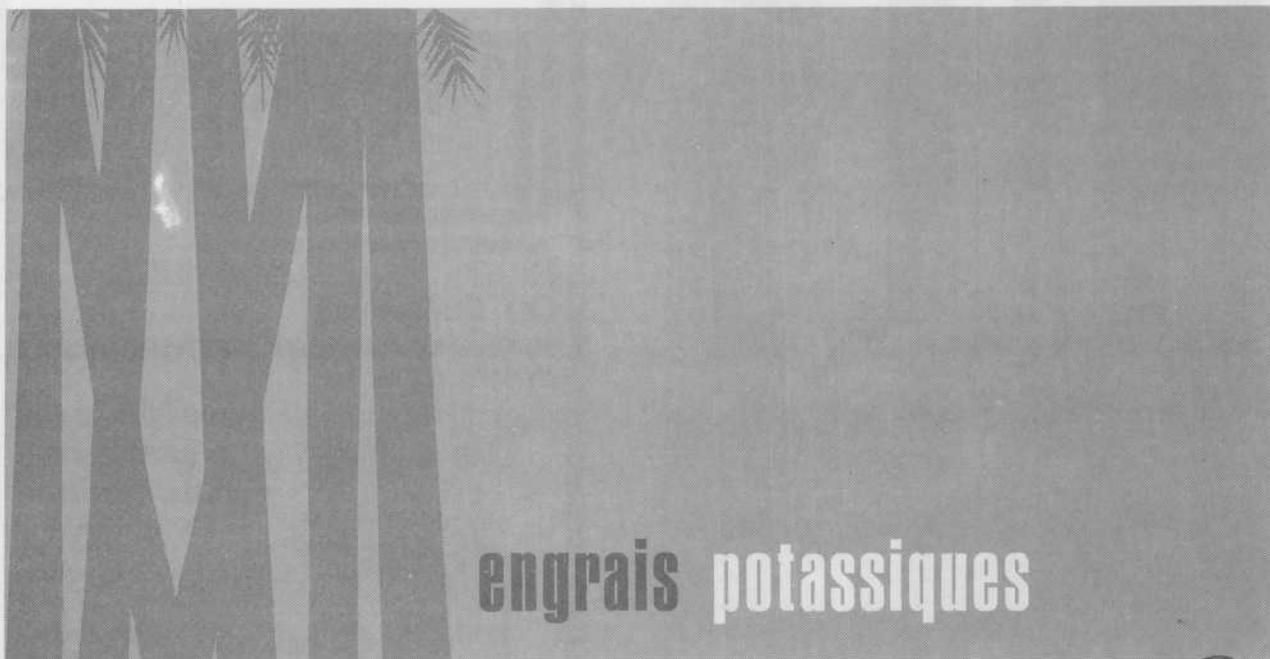
Plant Analysis and Fertilizer Problems, p. 239-261,

éd. IRHO, Paris 1964.

24 - ROOSE (E.) et GODEFROY (J.). Lessivage des éléments

fertilisants en bananeraie.

Fruits, vol. 23, n° 11, p. 580-584, 1968.



RENSEIGNEMENTS - DOCUMENTATION

SOCIÉTÉ COMMERCIALE DES POTASSES ET DE L'AZOTE

11, av. de FRIEDLAND - PARIS 8° - Tél. : 225-74-50 - Telex : 28 709 POTA-PARIS

