

CULTURE SUR MILIEU ARTIFICIEL

Étude des carences minérales chez l'avocatier

I. CROISSANCE ET SYMPTÔMES

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

Institut Français de Recherches Fruitières Outre-Mer

Témoin — N — Mg — Ca — K

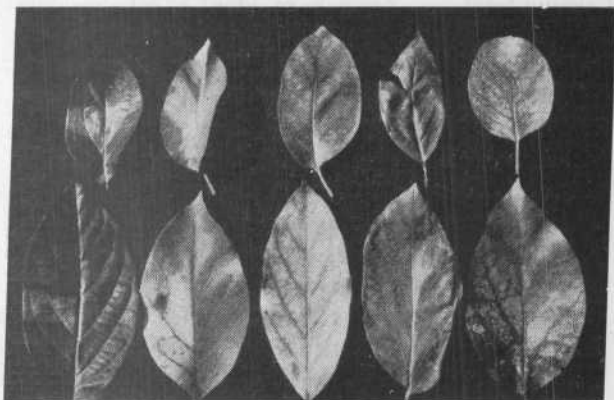


PHOTO 1. — Principales carences réalisées sur plants greffés de variété 'Booth 8'.

CULTURE SUR MILIEU ARTIFICIEL.

ÉTUDE DES CARENCES MINÉRALES CHEZ L'AVOCATIER

I. CROISSANCE ET SYMPTÔMES

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

Fruits, vol. 22, n° 5, mai 1967, p. 213 à 233.

RÉSUMÉ. — Méthode de culture de l'avocatier, sauvageon ou jeune plant greffé, sur sable arrosé de solutions nutritives, jusqu'à l'âge de 8-10 mois. Choix des formules nutritives.

Croissance du témoin et des plants carencés en N, P, S, K, Ca, Mg, B, Mn, Zn, Cu, Fe et Mo.

Description, accompagnée de nombreuses photographies, des symptômes de carences en N, P, S, K, Ca, Mg, B, Mn, Zn, Cu. Pour Fe on n'a obtenu que de légers symptômes; la carence en Mo n'a pu être obtenue avec la technique utilisée. Pour certains éléments majeurs, l'intensité ou l'expression des symptômes diffère selon qu'il s'agit d'un sauvageon, exploitant encore les réserves de son noyau, ou d'un plant déjà greffé donc autonome.

Tableau synoptique des onze carences réalisées.

Application à la fertilisation des jeunes avocats produits en pépinière.

La culture de l'Avocatier prenant actuellement une certaine importance dans les pays francophones, il nous a semblé indispensable d'approfondir et de préciser nos connaissances sur la physiologie de cette plante et en particulier d'entreprendre l'étude de la symptomatologie des troubles de la nutrition.

Ceux-ci sont assez bien connus mais d'après des études parfois fort anciennes, donc éventuellement susceptibles de quelques confusions d'origine méthodologique comme cela s'est produit pour la carence calcique du bananier (9) et difficiles à consulter pour le public : les descriptions sont éparpillées dans des documents très divers, tous de langue anglaise. Plutôt que de réaliser une revue de littérature équivalente à celle que l'on peut trouver au chapitre Avocatier dans l'excellent et volumineux ouvrage « Fruit Nutrition » (5, 7) dont l'édition 1954 ne décrivait ni la carence en soufre ni la carence en calcium (*), il s'imposait d'obtenir des observations et des documents photographiques de première main. Une partie seulement de ces derniers figure dans les pages ci-après, mais une édition plus complète et sous forme de diapositives en couleurs est en préparation.

C'est ainsi qu'à la station IFAC d'Azaguié (Côte d'Ivoire) nous avons poursuivi les études débutées par V. FURON. Nous avons étudié au cours des années 1963, 1964, 1965 :

(*) A l'heure où nous mettons sous presse, nous recevons l'édition 1966 qui donne de la carence calcique une description moins complète que la nôtre et mentionne la carence en soufre comme encore inconnue.

— les carences en éléments majeurs sur plants greffés (1963) et sur jeunes plants de semis (1964-1965) ;

— les carences en oligo-éléments sur jeunes plants de semis (1964-1965).

Nous rendons compte ci-dessous des résultats de ces études. En plus de la description des symptômes de carences visibles, nous interpréterons dans un article ultérieur les résultats des analyses foliaires effectuées, et nous donnerons ici un aperçu des principaux problèmes concernant la fumure de l'Avocatier au stade multiplication et sur verger de type industriel.

I. MATÉRIELS ET MÉTHODES

1. DISPOSITIFS

A) BACS DE CULTURE

Pour la détermination des principaux symptômes de carences en éléments majeurs ou mineurs, études ayant constitué ce premier travail, nous nous sommes limités aussi bien sur plantules de semis que sur jeunes plants greffés à une durée de culture ne dépassant pas dix mois.

Aussi n'avions-nous pas besoin de bacs de culture très volumineux. On a donc utilisé des seaux en plastique d'un volume utile de 14 l. Un trou ménagé sur un côté, à la base de la paroi des seaux, permettait un drainage correct.

En un an, un avocatier de semis peut atteindre un développement important : à 8 mois nos témoins atteignaient respectivement 109, 120, 115 et 130 cm de hauteur et leur système racinaire occupait la totalité du seau. On peut donc considérer que ce volume, suffisant pour les 8 premiers mois de culture, devient par la suite rapidement insuffisant. Pour une expérimentation de plus longue durée on pourrait d'abord utiliser des poubelles en plastique de 150 à 200 l, puis des buses en béton enterrées dont le volume beaucoup plus important serait fonction de la durée d'expérimentation : cf. travaux sur bananier (3, 10).

Les bacs de culture en plastique n'ont pas besoin d'une protection interne, mais l'utilisation de buses en béton nécessite une protection isolant parfaitement le milieu de croissance des racines. Celle-ci peut être réalisée soit par des enduits épais type « rubson », soit par la pose d'une housse interne en polyéthylène épais, soit par une plastification des parois beaucoup plus onéreuse mais parfaitement réalisable.

B) SUPPORT

Le support peu onéreux qui nous avait donné satisfaction en expérimentation sur bananier, le sable de

« marigot », a été repris. Son analyse effectuée lors des études sur bananiers était la suivante :

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 meq pour 100 g.
pH	6,3
Densité apparente.	1,65

Comme nous avons travaillé sur des volumes beaucoup plus réduits, le sable de tous les traitements a été lavé à l'acide suivant la technique déjà employée pour le bananier, le volume d'acide utilisé par seau étant bien sûr en rapport avec le volume du sable à traiter.

Pour éviter le colmatage du trou de drainage on y dispose un grillage plastique puis des graviers de taille décroissante.

C) L'EAU

Les quantités d'eau utilisées étant peu importantes, on a utilisé exclusivement l'eau de « marigot » passée au déminéraliseur et de 300 à 400 000 ohms/cm²/cm de résistivité.

D) DISPOSITION SUR LE TERRAIN

Ne disposant pas des crédits nécessaires à la mise en place d'un dispositif enterré analogue à celui utilisé pour bananier, nous avons simplement placé chaque seau sur une brique de 10 cm d'épaisseur posée sur le fond sableux d'un grand germeoir de pépinière, le bord supérieur des seaux dépassant de 10 cm le niveau du

bac enterré. Les parois des seaux non enterrés étaient donc soumises à un certain échauffement. Il ne nous a pas semblé en cours d'expérimentation que cet échauffement ait eu des conséquences fâcheuses sur le développement des plants. Mais il est bien certain qu'un dispositif enterré plaçant le milieu de croissance des racines en équilibre thermique avec le sol avoisinant aurait été préférable.

Pour la poursuite de nos expérimentations nous envisageons sérieusement la mise en place d'un dispositif enterré permettant la récupération des solutions, analogue à celui utilisé pour le bananier.

E) MODE D'ALIMENTATION

Le mode d'alimentation utilisé est le procédé classique d'irrigation par-dessus à solution perdues : on prépare le volume de solution nutritive nécessaire pour une semaine dans un récipient en plastique et on arrose chaque jour avec un volume convenable de cette solution.

Cette technique, concevable pour des plants de petite taille dont les besoins en eau sont faibles, ne peut être utilisée pour des plants plus développés car les volumes de solution nutritives deviendraient trop importants. La technique utilisée sur bananier — celle où l'on administre chaque semaine aux plants une dose de solution mère concentrée et où l'on arrose deux fois par jour avec de l'eau seule — serait alors préférable.

Avec le procédé employé, il n'a pas été nécessaire de faire varier les quantités journalièrement apportées en fonction des besoins des plants et des conditions climatiques. Tout au long de l'expérimentation nous avons rarement observé un déficit hydrique, même sur les plants les plus développés ; si tel était le cas, un appoint d'eau déminéralisée était donné.

Les seaux étant de faible volume, les vitesses de drainage facilement contrôlables ont été très normales.

2. CHOIX DES FORMULES NUTRITIVES

Les données bibliographiques sur la culture d'avocats en hydroponique sont peu abondantes et peu concordantes. On admet en général que les formules convenant aux Citrus conviennent également aux avocats ; toutefois la bibliographie de cette plante fait allusion fréquemment à la toxicité du sodium et aussi du potassium sur les jeunes plants (8). Nous donnons dans le tableau ci-dessous quelques formules de solutions complètes en ce qui concerne les éléments majeurs :

— la formule toutes plantes de HOAGLAND et ARNON n° 1 utilisée au Maroc par J. CASSIN sur agrumes et en Californie par HAAS et BRUSCA sur avocatier (6) ;

— la formule utilisée en pépinière commerciale à la Station de Recherches Agronomiques INRA-IFAC de Corse (11) ;

— la formule de CURTIS (4) pour Citrus et Avocats ;

— l'une des formules de BINGHAM (Californie) qui a surtout étudié la carence magnésienne et le *Phytophthora* chez l'avocatier (1) ;

— les deux formules que nous avons établies après réflexions sur ces données et sur leurs conditions d'emploi.

L'essai 1964-1965 a été mis en place avec la formule 1963 ; quelques symptômes rappelant la carence magnésienne ou une toxicité potassique étant apparus, on a adopté à partir de janvier 1965 la dernière formule dite PMP 1964, qui s'est avérée satisfaisante. Les constatations faites par ailleurs sur les réserves potassiques du noyau justifient cet aménagement de la formule pour la culture d'avocats de semis.

L'essai 1963 portait sur des plants greffés avant le début de l'étude, ayant donc épuisé depuis longtemps les réserves du noyau du sauvageon.

TABLEAU I.

Exemples de formules complètes en méq-g/l

	No ₃ ⁻	Po ₄ ⁻⁻⁻	So ₄ ⁻⁻	TOTAL ANIONS	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	TOTAL CATIONS
Hoagland 1	15	3	4	22	6	10	4	20
I. F. A. C. Corse . . .	14,5 (*)	1,05	3	18,55	2	6	3,5	11,5 + 0,35 Na
Curtis	7	1	2	10 + 0,1 Cl	2	6	2	10 + 0,1 Na
Bingham	5	3	2	10	1	5	2	8
PMP 1963	10,5	1,5	4	16	3	8	4	15
PMP 1964	10,5	1,5	4	16	2	8	5	15

(*) dont 3 sous forme ammoniacale.

Pour les oligo-éléments, les formules proposées diffèrent tout autant; les concentrations ci-dessous, adoptées depuis le début, paraissent convenables :

Sulfate ferreux.	10 p. p. m. (+ 0,5 p. p. m. d'acide ascorbique)
Sulfate de zinc.	0,85 p. p. m.
Sulfate de manganèse	0,85 p. p. m.
Acide borique.....	0,85 p. p. m.
Sulfate de cuivre	0,18 p. p. m.
Molybdate de sodium	0,18 p. p. m.

(Soit les mêmes concentrations que pour les bananiers.)

A partir de ces formules de base, les formules carencées ont été établies selon les principes déjà mis en œuvre pour les cultures hydroponiques de bananiers et d'ananas :

1) Pour les carences en éléments majeurs, l'élément supprimé est remplacé par les deux autres ions du même groupe, proportionnellement à leur concentration initiale respective, c'est-à-dire en sorte que le rapport entre ces deux éléments et le rapport anions/cations ne soient pas modifiés.

2) Pour les carences en oligo-éléments on supprime simplement le sel apportant l'élément considéré.

3. CONDUITE DE L'ESSAI

A) MATÉRIEL VÉGÉTAL

Le matériel végétal utilisé pour les diverses études réalisées de 1963 à 1965 a été successivement :

— de jeunes plants greffés, variété 'Booth 8', ne dépassant pas 80 cm de haut (carences en éléments majeurs 1963),

— de jeunes plantules de semis de 8 et 12 cm de haut au moment de la mise en place, variété 'Lula', auxquelles on avait conservé le noyau (carences en éléments majeurs 1964-1965),

— de jeunes plantules de semis de 6 à 8 cm, variété 'Lula', mais pour lesquelles le noyau avait été soit réduit soit supprimé (carences en oligo-éléments 1964-1965).

Les 28 plants de notre expérimentation 1964-1965 se répartissaient comme suit :

1) Carences en éléments majeurs : mises en place le 3-12-64.

N^{os} 1 à 7 : plantules de 12 cm, avec noyau.

N^{os} 22 à 28 : plantules de 8 cm, avec noyau.

2) Carences en oligo-éléments : mises en place le 15-12-64.

N^{os} 8 à 14 : plantules de 8 cm, avec noyaux réduits.
N^{os} 15 à 21 : plantules de semis de 6 à 7 cm sans noyau.

Ce matériel végétal (plantules issues de germoirs) a été choisi aussi homogène que possible mais aucun moyen ne nous permet de tester avec sûreté cette homogénéité. Nous avons utilisé la hauteur de la plantule comme critère de sélection mais les différences de taille observées peuvent être dues simplement à une plus ou moins grande rapidité de germination et de reprise traduisant des états différents des réserves du noyau et de leur utilisation. C'est ainsi que l'observation nous montre bien que les différences de taille à la mise en place n'ont pas eu de répercussion sur la croissance et le développement des différents traitements et en particulier des témoins; et que ce n'est pas toujours le plant auquel on avait supprimé le noyau qui a présenté le développement le plus faible ou porté les symptômes de carence les plus intenses.

Pendant tout le temps de la reprise, ce matériel très sensible aux coups de soleil a été ombragé. Les plants à noyau supprimé ont présenté un départ plus lent mais, assez souvent, ce retard a par la suite été comblé.

B) ALIMENTATION EN SELS ET EN EAU

Les apports minéraux ont débuté dès la transplantation des plantules et ont été régulièrement poursuivis jusqu'à l'arrachage des plants.

La dose hebdomadaire, de 10 litres de solution nutritive diluée par plant, était répartie en deux arrosages quotidiens de 1 430 cm³ l'un le matin, l'autre le soir, en général suffisants pour une alimentation hydrique normale.

Pour des plants greffés on a parfois été obligé de pratiquer des apports supplémentaires d'eau déminéralisée à certaines périodes particulièrement chaudes.

C) LUTTE ANTI-PARASITAIRE

Tout au long de nos expérimentations, nous n'avons eu à déplorer que des attaques de pucerons pouvant entraîner cloquage et déformations sur jeunes feuilles. On y a remédié très facilement par des pulvérisations à 1 % de parathion.

D) OBSERVATIONS

La première donnée observable à laquelle on pense est bien sûr la hauteur des plants.

Mesurée une fois par mois elle permet d'établir les courbes de croissance des différents plants. Mais en

aucun cas la hauteur d'un arbre ne suffit à caractériser sa croissance. En effet son développement latéral, son développement en volume sont largement indépendants de cette mesure. C'est ainsi que les plants carencés en magnésium, bien qu'ayant toujours eu une taille égale ou supérieure aux témoins, ont présenté un développement moindre. A l'arrachage leur poids était d'environ 25 p. cent plus faible que celui des témoins. Pour les plants carencés en soufre la différence atteignait 50 p. cent.

En plus de la hauteur, qui demeure malgré tout une indication, on doit observer, toujours par comparaison avec les témoins, l'importance des ramifications secondaires, leur caractère normal ou anormal, le volume de l'arbre, le développement des méristèmes et des jeunes bouquets foliaires, les feuilles, leurs position, dimensions, port et forme, la coloration du feuillage, les diverses nécroses sur feuilles ou rameaux et tous autres symptômes morphologiques ou de coloration particuliers qui peuvent être provoqués par l'état carenciel. En fin d'expérimentation, la pesée du végétal et de ses différents organes permet d'établir un bilan comparatif reflétant assez exactement la malnutrition subie.

Par ailleurs les analogies entre diverses carences

doivent être notées car elles peuvent être dues à une simple convergence, mais aussi indiquer des interactions entre éléments.

E) PRÉLÈVEMENTS FOLIAIRES

L'analyse foliaire en cours de végétation complète utilement toutes les observations précédentes.

Elle doit de préférence s'adresser à différents étages foliaires et principalement à celui touché par la carence. Le diagnostic pratiqué a porté :

1) Sur les feuilles correspondant le mieux possible aux *normes d'EMBLETON* citées par CHAPMAN (2); on a prélevé des feuilles d'au moins 2 mois d'âge.

2) Sur les *jeunes feuilles* des bouquets terminaux touchés en particulier par les carences en soufre, calcium zinc, bore.

3) Sur les *vieilles feuilles*, ne présentant pas encore de caractère de sénilité, touchées par les carences en potassium et magnésium.

Les résidus de noyaux, et des noyaux frais ont également été analysés.

Nous présenterons les résultats dans un deuxième article.

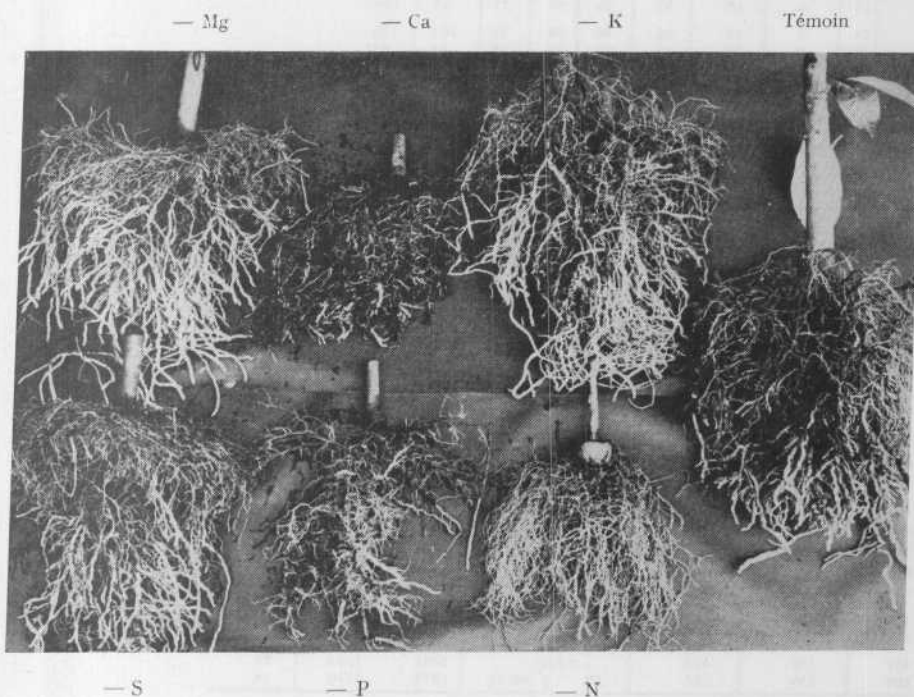


PHOTO 2. — Systèmes racinaires des principales carences sur saugeons de variété 'Lula', à huit mois.

II. CROISSANCE DE L'AVOCATIER SUR MILIEU SYNTHÉTIQUE

Pour les diverses expérimentations conduites jusqu'à ce jour, on ne peut pas dire que nous ayons obtenu une parfaite homogénéité de croissance pour les deux plants du même traitement. La croissance des plants d'une même carence, de même que l'apparition

des symptômes et leur évolution ont souvent été assez différents d'un plant à l'autre. Sans doute le potentiel des plants repiqués a-t-il constitué le facteur d'hétérogénéité principal. De plus on s'explique parfois assez mal la différence d'intensité atteinte par une

CROISSANCE DANS LES DIVERSES CARENCES

TABLEAU II

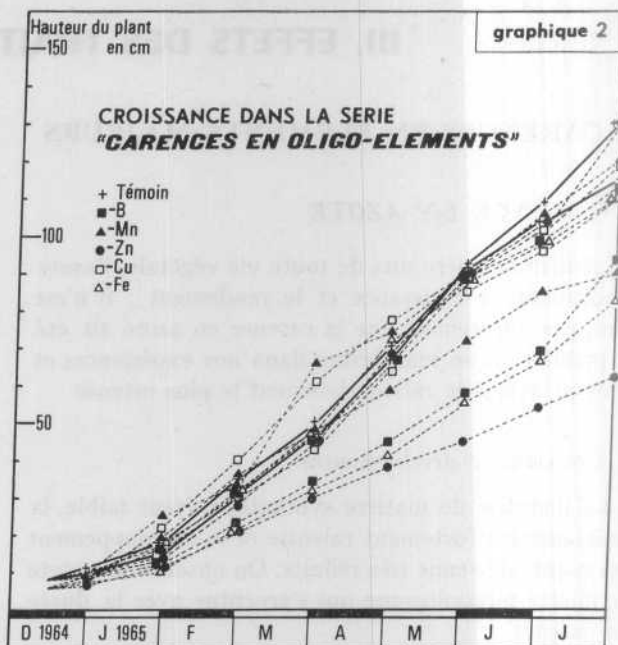
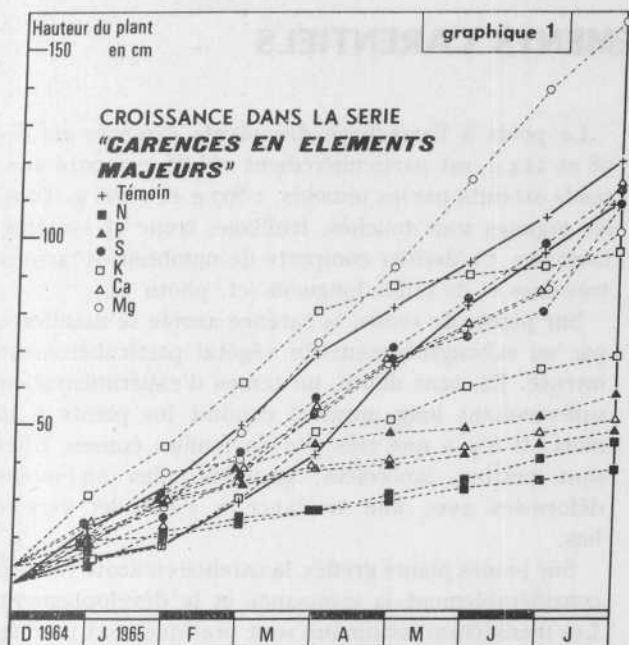
Hauteur des plants depuis la cicatrice des noyaux.

Traitements	n°	1er janvier	1er février	1er mars	1er avril	1er mai	1er juin	1er juillet	1er août
T	3	15	19	29	42	65	82	91	109
	22	22	33	49	69	81	93	105	120
N	2	19	20	24	27	31	35	41	45
	24	13	21	25	27	30	33	35	38
P	4	18	31	39	45	47	49	52	58
	23	20	30	34	38	39	42	45	48
S	1	24	31	42	47	70	83	98	113
	26	16	25	37	53	67	74	80	109
K	6	31	44	61	80	87	90	92	96
	28	14	19	39	48	51	60	65	68
Ca	7	24	30	34	37	40	43	48	51
	25	17	23	38	55	66	76	86	114
Mg	5	19	37	40	53	66	75	86	101
	27	19	29	48	72	92	115	139	157
T	11	11	18	35	49	70	91	103	115
	16	9	15	31	47	68	92	109	130
B	9	9	12	23	34	45	57	69	83
	15	8	16	31	46	67	89	99	113
Mn	10	10	25	43	66	79	91	106	120
	17	8	19	35	48	59	72	85	100
Zn	14	9	13	29	46	68	90	103	130
	18	7	12	21	30	38	45	54	62
Cu	13	10	15	30	43	64	85	96	110
	20	8	22	40	61	77	89	103	119
Fe	12	10	17	32	46	71	89	99	110
	21	8	11	21	32	41	56	67	82
Mo	8	11	18	34	51	72	93	112	138
	19	9	16	30	45	63	87	108	127

TABLEAU III

Poids des divers organes à l'arrachage (6/8/1965).

Traitements	n°	Poids feuilles	Poids tronc + rameaux	Poids syst. racinaire	Poids noyau résid.		Poids total plante	Pivot	
					frais	sec		Poids	longueur
T	3	607	550	710	30	28,56	1867	150	23
	22	647	661	700	néant		2008	140	14,5
N	2	28,9	17,6	67,5	26	24,71	114	néant	
	24	22,6	19	57	45	42,89	98,6	12	10
P	4	45,1	54,6	109,3	néant		209,2	35	16
	23	27,9	37	66,5	néant		131,4	12	7
S	1	162	223	461	40	38,87	886	63,5	21
	26	284	249	250	60	60,76	843	65	18,5
K	6	230	225	456	néant		911	65	25
	28	89	71	145	31	29,69	336	36	9
Ca	7	92	103	152	néant		347	25	5
	25	252	221	171	néant		644	65	14
Mg	5	437	350	615	néant		1402	121	22
	27	607	559	365	40	38,90	1571	125	15



même carence sur deux plants qui au départ semblaient posséder la même vigueur végétative.

1. CROISSANCE DES TÉMOINS

Pour nos témoins, même si les potentiels des diverses plantules étaient différents au départ, le rythme de croissance et l'intensité du développement ont été par la suite sensiblement équivalents d'un plant à l'autre, en tout point comparables à ceux de beaux plants de pépinière. Huit mois après repiquage, nos témoins mesuraient 109, 120, 115 et 130 cm. Leur port et leur développement en volume étaient très normaux. A tous les niveaux on pouvait noter la présence de plusieurs rameaux secondaires eux-mêmes correctement fournis. Le feuillage était d'un beau vert foncé, les jeunes feuilles étant cependant plus pâles, normalement teintées par les anthocyanes (cf. photo 7). Tiges, rameaux et feuillage étaient parfaitement sains.

En janvier 1965, l'apparition de symptômes sur vieilles feuilles, symptômes attribués à la toxicité du potassium, nous a conduit à adopter la formule PMP 1964 moins riche en cet élément. Par la suite cette formule nous a donné satisfaction. Ceci nous amène naturellement à penser que le noyau joue un rôle d'autant plus important, au stade jeune, que ses réserves en potassium sont grandes, et qu'il nous faut considérer en culture hydroponique, comme d'ailleurs

en pépinière, deux phases de croissance bien distinctes :

- La phase d'utilisation des réserves du noyau.
- La phase de croissance du plant à partir des solutions nutritives.

Pour la phase fructifère parfaitement réalisable sur sable, un aménagement de la formule PMP 1964 dans le sens de l'augmentation du potassium serait sans doute nécessaire.

2. CROISSANCE DES PLANTS CARENCÉS

Deux tableaux résumant :

- La hauteur des plants mesurée chaque mois à partir de la cicatrice des noyaux (tableau II).
- Le poids des divers organes à l'arrachage (6-8-65) pour la série carences en éléments majeurs (tableau III).

Les deux graphiques en annexe donnent les courbes de croissance des plants des diverses carences en éléments majeurs et en oligo-éléments obtenues sur plants de semis.

L'expérimentation sur plants de semis a été interrompue le 6-8-65 après 8 mois de culture, les témoins commençant à être gênés par le faible volume des bacs de culture. La photo 2 montre les systèmes racinaires d'une partie des plants.

III. EFFETS DES TRAITEMENTS CARENTIELS

A. CARENCES EN ÉLÉMENTS MAJEURS

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 nos expériences et y ait provoqué le rabougrissement le plus intense.

a) Croissance et développement.

La quantité de matière synthétisée étant faible, la croissance est fortement ralentie et le développement des plants de semis très réduits. On observe une sorte de misère physiologique qui s'accroît avec la durée de carence.

Pour les plants de semis, si au cours des deux premiers mois de végétation la hauteur diffère peu de celle des témoins, les écarts croissent par la suite considérablement.

Les courbes de croissance des deux plants carencés en N sont les premières à s'infléchir et par la suite l'allongement mensuel de chaque plant est particulièrement réduit. Mais ce n'est pas seulement la réduction de la croissance en taille qui illustre véritablement les effets de la carence azotée, c'est aussi l'absence de ramifications secondaires, le manque de développement latéral de l'arbre. Nos carencés en azote n'ont toujours présenté qu'une tige principale sans ramifications secondaires (photo 3).

Le poids à l'arrachage des plants carencés en N, 98 et 114 g, est particulièrement réduit, comparé aux poids atteints par les témoins, 1 867 g et 2 008 g. Tous les organes sont touchés, feuillage, tronc et système racinaire. Ce dernier comporte de nombreuses racines très fines et de faible longueur (cf. photo 2).

Sur plants de semis, la carence azotée se manifeste par un rabougrissement du végétal particulièrement intense. Et, sans doute, un temps d'expérimentation suffisamment long aurait-il conduit les plants à la mort. Il n'y a que très peu de feuilles émises. Elles sont petites, lancéolées, gaufrées, plus ou moins déformées avec une tendance à s'enrouler vers le bas.

Sur jeunes plants greffés, la carence en azote ralentit considérablement la croissance et le développement. Les méristèmes terminaux sont pratiquement inhibés. Les feuilles sont en gouttière dans le sens de leur longueur et s'incurvent plus ou moins vers le bas.

b) Aspect et coloration des tissus.

A 2 mois d'âge les plants de semis présentent déjà la pâleur caractéristique de la carence azotée, chlorose qui va s'accroître et se généraliser à tous les organes du végétal au fur et à mesure du vieillissement des plants. Les vieilles feuilles sont jaune-vert, les jeunes jaune-vert rosé. Nervures, pétioles, rameaux et jeunes troncs sont également chlorotiques. Le ton mat de la chlorose azotée diffère du ton brillant de la chlorose en soufre.



PHOTO 3. — Carence en azote. PHOTO 4. — Carence en phosphore. PHOTO 5. — Carence en soufre (à gauche) et témoin (à droite).
Sur sauvageons de variété 'Lula' âgés de 5 mois.

Sur plant greffé s'installe également une chlorose qui s'accroît avec le temps (cf. photo 1).

Sur le fond chlorotique des feuilles apparaissent n'importe où, soit des plages blanchâtres, soit une ponctuation ou de petites taches rougeâtres, qui se nécrosent peu à peu, pouvant entraîner la sénescence et la chute des plus vieilles feuilles.

On note également la sensibilité du feuillage aux coups de soleil ainsi qu'au parasitisme d'origine fongique.

Toutes ces données sont en bonne concordance avec celles de la bibliographie (5, 7), qui ajoute seulement parfois : écorce brun-rougeâtre, et précise que la carence azotée sur le terrain se manifeste plus fréquemment soit après de fortes pluies, soit sur arbres extrêmement chargés en fruits.

2. CARENCE EN PHOSPHORE

Comme pour la carence azotée la courbe de croissance des plants carencés en phosphore s'infléchit très rapidement à deux mois d'âge et son tracé est quasi parallèle aux courbes de croissance des plants carencés en N, mais cependant légèrement en dessus (10 cm de hauteur en plus à 8 mois).

La carence en phosphore réduit très fortement la croissance des plants de semis et bloque pratiquement tout développement chez des plants greffés. Comme pour la carence en azote, les plants de semis ne possèdent qu'une tige verticale portant peu de feuilles sans aucun rameau latéral (photo 4).

A l'arrachage à 8 mois, le poids des plants est très réduit, 98 et 114 g, tous les organes étant fortement touchés dans leur développement. On note alors que les cotylédons du noyau ont disparu, alors qu'il subsistent encore chez certains plants. Cela prouve une intense utilisation de leurs réserves.

Au fur et à mesure que le temps de carence se prolonge, les émissions de feuilles se ralentissent et deviennent très espacées, mais elles restent de taille normale. La croissance du bourgeon terminal est pratiquement inhibée.

Mis à part ce retard de croissance qui va en s'accroissant avec l'âge, les premiers symptômes notés sont le port particulier du feuillage et sa coloration vert foncé à tendance bleutée. L'ensemble du feuillage est pratiquement incliné à 45° vers le sol, principalement pour les feuilles les plus vieilles. Cette inclinaison est due au fléchissement des pétioles mais aussi de la base même des feuilles. Les feuilles se disposent « en tuile »



PHOTO 6. — Carence en phosphore : feuilles retombantes « en tuiles », vert bronzé.

PHOTO 7. — Bouquet terminal d'un témoin.

PHOTO 8. — Bouquet terminal d'un plant carencé en soufre.

Sauvageons de variété 'Lula' âgés de 5 mois.

les bords latéraux s'enroulant vers la face inférieure, les marges foliaires étant plus ou moins ondulées (photo 6).

Le feuillage de coloration vert foncé à tendance bleutée — symptôme classique de la carence phosphorée, déjà relevé sur ananas et bananier — devient assez rapidement vert-jaune sale avec des reflets gris violets ou bronze. Cette coloration particulière, peu visible sur les photos, est très caractéristique de la carence en phosphore sur avocatier. Puis apparaît une pigmentation blanchâtre de part et d'autre des nervures centrales et secondaires. En même temps le feuillage semble très sensible aux coups de soleil, principalement les parties de feuille les plus exposées, les zones plus ombragées restant plus vertes (Ceci explique que les travaux anciens cités par (5) et (7) aient donné des brûlures apparaissant n'importe où sur les feuilles comme trait le plus caractéristique de la carence phosphorée).

Tous ces symptômes foliaires sont plus accentués sur vieilles feuilles que sur jeunes. Au fur et à mesure que la carence s'installe, il y a, sur vieilles feuilles, début de nécrose de la pigmentation des bords de nervures, alors qu'apparaissent une ponctuation ainsi que quelques plages nécrotiques brun-rouge. Ces nécroses ne gagnent pratiquement pas en surface mais les plus vieilles feuilles tombent le plus souvent.

Les descriptions données par la bibliographie (5, 7) concordent parfaitement avec ces observations, toutefois elles ne mentionnent pas l'aspect « en tuile » mais parfois des feuilles « plus petites et plus rondes ».

3. CARENCE EN SOUFRE

La croissance et le développement des plants carencés en soufre sont pratiquement comparables à ceux des témoins si l'on en juge par la taille et le volume atteints en 8 mois par les plants (voir aussi la photo 5, prise à 5 mois 1/2). Mais si l'on considère le bilan en poids de l'usine végétale, à l'arrachage (8 mois), on se rend compte que les quantités de matière synthétisée ont été beaucoup plus faibles — respectivement 886 et 843 g pour les deux plants, c'est-à-dire moins de la moitié des poids atteints par les témoins — tous les organes étant également touchés par la carence : densité de frondaison, grosseur des tiges et rameaux, épaisseur des feuilles.

Sur avocats de 3 mois d'âge, la carence en soufre est déjà très nette. Elle se manifeste par la chlorose accentuée des jeunes feuilles (limbes + nervures) des bouquets terminaux, jeunes feuilles qui sont parfaitement jaunes avec quelquefois une tendance jaune

rosé. Mais c'est un jaune brillant très nettement différent du ton mat de la chlorose azotée (photos 5 et 8). Quand ces feuilles sont en position intermédiaire elles reprennent de la coloration et passent au vert-jaune, la chlorose étant plus accentuée vers l'extrémité de la feuille, les parties basales restent plus vertes surtout si elles sont ombragées.

Les vieilles feuilles peuvent rester parfaitement vertes mais peuvent également être touchées par la carence, principalement leur extrémité.

A cette chlorose s'ajoutent la minceur et la fragilité particulière des jeunes feuilles. Elles sont souvent plus petites que la normale et quelquefois déformées. Toutes les jeunes feuilles (pétioles et base des limbes) qui s'infléchissent vers le bas donnent aux bouquets terminaux de chaque rameau un aspect retombant contrastant avec les bouquets terminaux érigés des témoins (photos 7 et 8). Le poids faible atteint par l'ensemble du végétal à l'arrachage est une conséquence de la minceur des feuilles et de la fragilité des rameaux et de la tige principale, qui par ailleurs ne présentent guère de différence en croissance et développement avec les témoins.

Au fur et à mesure que la carence se prolonge, elle s'affirme, la chlorose devenant de plus en plus pâle, mais on ne peut pas dire qu'elle gagne l'ensemble du végétal. Quelques nécroses apparaissent à l'extrémité des vieilles feuilles. A 8 mois, la carence est sévère mais on ne peut prévoir quel aurait été le résultat final si nous avions poursuivi l'état de carence.

Une fois de plus on a pu se rendre compte de l'importance du soufre pour un autre de nos fruitiers et de son rôle particulièrement spécifique. Son absence n'affecte que les organes jeunes chez lesquels elle

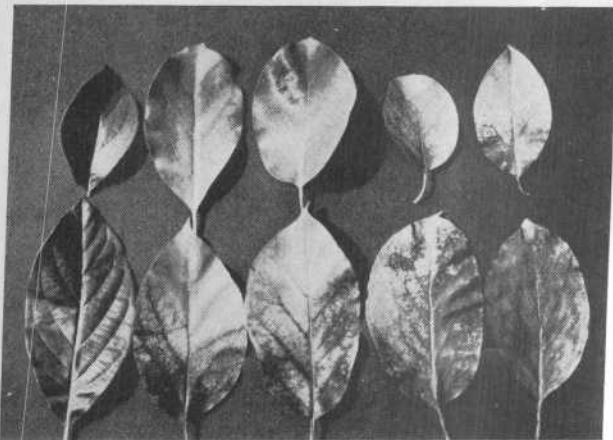


PHOTO 9. — Divers stades de la carence potassique sur plants greffés de variété 'Booth 8'. A gauche, deux feuilles d'un témoin.

induit des troubles métaboliques entravant la formation de la chlorophylle.

Cette carence n'avait jamais été décrite sur avocatier.

4. CARENCE EN POTASSIUM

Les croissances et développements de nos deux plants de semis carencés en potassium ont été nettement différents d'un plant à l'autre : à 8 mois l'un des plants mesurait 68 cm et l'autre 96 cm.

Les deux courbes de croissance sont parallèles et leur décalage traduit bien les différences de développement observées ; à l'arrachage (8 mois) les poids des plants sont différents l'un de l'autre — 911 g et 336 g — très inférieurs à ceux des témoins.

Le fléchissement des courbes de croissance observé au 5^e mois de végétation sur les deux plants correspond à l'apparition des premiers symptômes de carence, mais à 8 mois ceux-ci sont encore très légers.

Il semble donc que quelque phénomène soit venu perturber l'évolution de nos carences en potassium.

L'analyse foliaire démontrera qu'une malnutrition phosphatée est intervenue comme facteur limitant la croissance, et que les différences de développement entre les deux plants carencés en K peuvent s'expliquer par une meilleure utilisation du phosphore apporté. Par ailleurs, la complète utilisation des réserves en potassium du noyau a pu également retarder l'apparition des premiers symptômes de malnutrition.

Dans l'expérience antérieure conduite sur plants greffés l'apparition des symptômes avait été beaucoup plus rapide. Ils intéressent les vieilles feuilles qui jaunissent rapidement, soit par plages, soit en totalité. Ce jaunissement est suivi d'une nécrose ponctiforme ou en plages, de coloration brun-rouge débutant principalement à la base des feuilles. Cette nécrose gagne rapidement les pétioles, chemine le long de la nervure principale et des nervures secondaires, et s'étend à la feuille toute entière qui prend une allure roussie caractéristique (photo 9). La feuille tombe souvent avant que la nécrose ait gagné la totalité du limbe, le pétiole étant alors totalement sec.

La carence ayant été poursuivie sur un temps insuffisamment long, les symptômes n'ont pas gagné vers les feuilles plus jeunes.

FURR et coll., puis HAAS, cités par (5) et (7), ont observé des brunissements analogues, et aussi des mouchetures brun clair et des plages chlorotiques internervaires pouvant conduire à des perforations du limbe.

5. CARENCE EN CALCIUM

Les deux plants de semis carencés en calcium ont présenté des développements différents (photo 10). Pour l'un croissance et développement ont été considérablement réduits. Pour l'autre la carence, bien que manifeste, n'a que peu perturbé l'allongement. A 8 mois l'un mesure 51 cm de haut alors que l'autre a une taille de 114 cm très comparable à celle des témoins. Les poids à l'arrachage, 347 et 644 g, sont très faibles et en rapport avec les différences de taille des deux plants carencés.

Pour l'un des plants la courbe de croissance est très infléchiée et suit pratiquement les courbes des carences en phosphore. L'autre croît beaucoup plus en hauteur mais présentera un développement latéral très réduit.

A deux mois d'âge, c'est à dire aussi rapidement que chez les carences en N et S, la carence en calcium commence à se manifester. Elle intéresse principalement les organes jeunes chez lesquels elle induit une croissance et un développement anarchiques et désordonnés.

On note sur le plant le plus atteint par la carence que la croissance en taille est considérablement ralentie.

Les émissions foliaires sont abondantes mais les entre-nœuds extrêmement courts. Le bourgeon terminal des rameaux voit sa croissance pratiquement stoppée. Quelquefois il meurt. Les bourgeons latéraux de l'aisselle des feuilles se développent alors en abondance mais donnent rarement des rameaux qui vont avoir une croissance effective. La plupart du temps ils sont stoppés au stade très jeune, sèchent et tombent avec les feuilles, dégagant les tiges où l'on peut voir les cicatrices très rapprochées les unes des autres. Quand ils prennent un certain développement ils ne tardent pas à être inhibés et le même phénomène que sur la tige principale se reproduit alors.

On peut ainsi observer le développement particulièrement anarchique des jeunes organes et la constitution à l'extrémité de chaque rameau d'une rosette de feuilles lancéolées très fournie (photo 10).

Les feuilles sont très petites, lancéolées, pointues et érigées, très serrées les unes contre les autres. Elles sont souvent en forme de gouttière en V très prononcé, quelque fois asymétriques et en forme de faucille. Elles peuvent être déformées par de profondes échancrures des demi-limbes, percées de trous réguliers ou par des boutonnières de contour irrégulier. Elles sont souvent très gaufrées avec des marges ondulées.

Cette croissance désordonnée n'a pu être observée



10

que sur un plant. L'autre plant, bien que présentant des symptômes foliaires typiques, n'a jamais atteint un tel dérèglement de croissance.

Sur ces jeunes feuilles une chlorose principalement apicale est visible très tôt. Elle gagne progressivement vers les espaces internervaires et s'étend vers le bas de la feuille. Elle est suivie d'une nécrose brun rougeâtre qui a tendance à rester marginale et apicale mais qui peut également s'étaler vers les espaces internervaires chlorotiques. En même temps, les espaces internervaires se parsèment d'une ponctuation nécrotique brun-rouge se transformant rarement en nécroses généralisées. Les feuilles ne sont jamais atteintes en totalité par les nécroses.

Les plus vieilles tombent, dénudant la base des rameaux où l'on peut parfaitement observer le raccourcissement des entre-nœuds.

Sur plant de semis et sur sable lavé à l'acide, la croissance du plant le plus touché par la carence est pratiquement stoppée.

Sur plants greffés, on a pu également observer les mêmes symptômes sur feuilles (photo 12), l'inhibition des méristèmes terminaux et le raccourcissement des entre-nœuds, mais les dérèglements observés ne sont pas comparables à ceux vus sur plants de semis.

La carence calcique est donc d'une extrême gravité pour l'avocatier. Les analyses foliaires préciseront mieux l'importance du dérèglement physiologique provoqué par la carence et apporteront certains éclaircissements sur la nature même des symptômes.

Les données bibliographiques disponibles sur la carence calcique (5,7) ne mentionnent que des brûlures apicales et des feuilles plus petites que la normale.



11

6. CARENCE EN MAGNÉSIUM

Les deux plants carencés en magnésium ont présenté une croissance en hauteur comparable à celle des témoins. A 8 mois, un des plants carencés mesure 37 cm de plus que les témoins. Nous l'avons déjà dit, la hauteur ne suffit pas pour caractériser la croissance d'un plant. L'examen des poids à l'arrachage nous montre que malgré une hauteur sensiblement supérieure à celle des témoins les quantités de matière

12

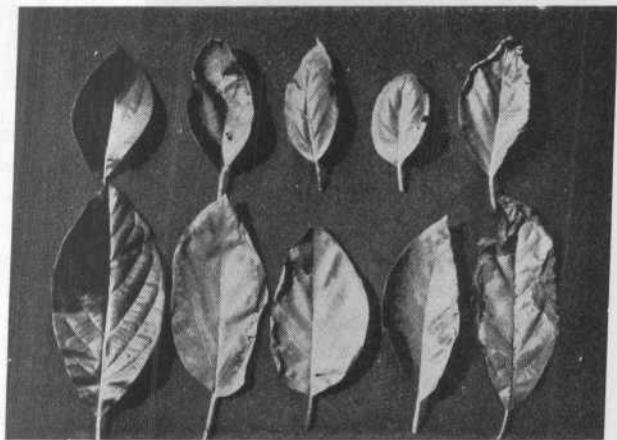


PHOTO 10. — Deux aspects de la carence en calcium, comparés à un témoin ; noter l'extrême raccourcissement des entre-nœuds sur le plant du milieu. Sauvageons de 'Lula' âgés de 5 mois.

PHOTO 11. — Carence en calcium sur sauvageon de 'Lula' (plant de gauche de la photo 10).

PHOTO 12. — Carence en calcium sur plants greffés de variété 'Booth 8'. A gauche, deux feuilles d'un témoin.

synthétisée par les plants carencés en magnésium ont été au moins de 25 p. cent inférieures. Le développement des plants en volume a été plus faible, les plants présentant moins de rameaux secondaires.

Pour l'un des plants, celui qui atteindra la taille la plus élevée, la courbe de croissance est très régulière. Pour l'autre elle s'infléchit vers le 3^e mois pour ensuite reprendre une allure croissante normale. Ce fléchissement correspond peut être au début de la carence.

Les symptômes intéressent principalement les vieilles feuilles (photo 13). Sur plants de 2 mois 1/2 on note déjà de très légers symptômes, mais à partir de 3 mois 1/2-4 mois d'âge ceux-ci deviennent très nets. La carence consiste en une chlorose internervaire diffuse qui s'affirme lentement (photo 15). Elle débute près de la nervure centrale et progresse dans les espaces internervaires vers les bords de la feuille. Une bande de limbe de 2 à 4 mm de large reste cependant parfaitement verte de part et d'autre de la nervure principale et des nervures secondaires principales (photo 14; les différences d'aspect avec la photo 15 révèlent aussi une influence variétale sur la physionomie de la carence magnésienne). Au milieu des espaces internervaires, le tracé des nervures secondaires reste également vert pendant un certain temps. Mais quand la carence s'affirme la totalité des espaces internervaires est alors chlorotique (cf. photo 1). La partie basale de la feuille est moins touchée par la carence que son extrémité.

Très tôt, au milieu de ces espaces internervaires chlorotiques, se développent de nombreux points nécrotiques brun-rouge qui correspondent à des nécroses superficielles du tissu palissadique.

La chlorose magnésienne qui débute sur les vieilles feuilles gagne peu à peu vers les plus jeunes. A 8 mois l'ensemble du feuillage est touché, mais même à cet âge, la croissance est assez peu perturbée. Seules les vieilles feuilles qui tombent commencent à dénuder la base du tronc et des principaux rameaux.

Au moment de la sénescence et de la chute des feuilles il y a inversion des symptômes. Les nervures principales et secondaires et tout le tissu resté jusqu'alors vert deviennent très rapidement jaune d'or, tandis que les espaces internervaires reverdissent légèrement. A ce stade les points nécrotiques signalés plus haut sont particulièrement bien visibles. Puis les nervures principales et secondaires se nécrosent par place et au bout de quelques jours la feuille tombe

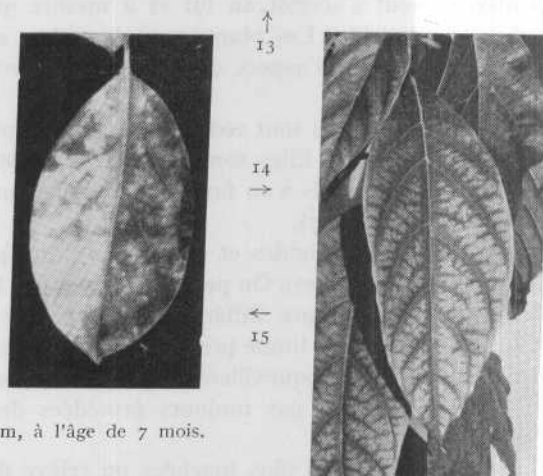


PHOTO 13. — Partie inférieure d'un sauvageon de 'Lula' carencé en magnésium, à l'âge de 7 mois.

PHOTO 14. — Carence en magnésium sur sauvageon de variété 'Lula'.

PHOTO 15. — Carence en magnésium sur plant greffé de variété 'Booth 8'.

sans être au préalable nécrosée. Cette inversion des symptômes correspond au phénomène de sénescence.

Les descriptions citées par la bibliographie (5, 7) recourent bien toutes ces observations, mais mettent en garde contre les ressemblances accusées présentées par certains aspects des carences en magnésium, manganèse et zinc.

B. CARENCES EN OLIGO-ÉLÉMENTS

1. CARENCE EN BORE.

Les courbes de croissance des deux plants de semis carencés en bore ont été régulières mais l'un d'eux a présenté un développement beaucoup plus important que l'autre : 113 cm au lieu de 83 cm de hauteur, taille comparable à celle des témoins. Néanmoins le volume et la densité du développement des plants ont été bien inférieurs à ceux des témoins.

La carence en bore s'est manifestée rapidement, à 3 mois 1/2 sur le plant le moins développé et vers 4 mois 1/2 sur l'autre. Les symptômes observés ont été de même nature, mais beaucoup plus accentués sur le plant le plus petit.

Comme la carence en calcium, la carence en bore intéresse les organes très jeunes, qui sont l'objet d'un dérèglement important. On observe principalement le raccourcissement des entre-nœuds et l'inhibition des méristèmes qui, le plus souvent, conduit les bourgeons terminaux à la mort. Certains bourgeons latéraux se développent alors jusqu'à donner des rameaux de 10 à 15 cm de longueur, les autres étant inhibés très précocement. Sur ces rameaux secondaires développés se reproduit alors le même phénomène. La croissance et le développement sont ainsi fortement perturbés. Le dérèglement s'accroît au fur et à mesure que la carence s'intensifie. Les plants sont branchus et les rameaux prennent l'aspect de « balais de sorcière » (photo 16).

Les feuilles émises sont réduites en taille, quelquefois très fortement. Elles sont de type lancéolé, très pointues, quelquefois « en faucille », le plus souvent déformées (photo 17).

Les limbes sont rigides et cassants et quelquefois déchirés (boutonniers). On peut y observer des taches ou plages chlorotiques différemment réparties ainsi que des nécroses sur limbe principalement en bout des feuilles qui se « recroquevillent ». Ces nécroses en bout de feuilles ne sont pas toujours précédées de chloroses.

Sur les feuilles les plus touchées on relève des né-



PHOTO 16. — Aspect d'un plant carencé en bore : ramifications et raccourcissement des entre-nœuds. Sauvageon de variété 'Lula'.

PHOTO 17. — Détail de la carence en bore : déformations et nécroses des feuilles, débourement de bourgeons latéraux.



croscs de nervures. En plus de cette mortification des zones de croissance, on note la distorsion de rameaux et l'existence de tiges cavernueuses avec des nécroses superficielles de l'écorce.

PHOTO 18. — Aspect d'un plant carencé en cuivre. Sauvageon de variété 'Lula'.

La carence en bore telle que nous venons de la décrire, description concordant en tous points avec les données bibliographiques (5, 7), nous apparaît comme d'une extrême gravité. Carence en bore et carence en calcium présentent certains symptômes communs : la mortification des zones de croissance, l'inhibition des méristèmes terminaux, le développement anarchique des bourgeons latéraux et l'aspect « en balais de sorcière » des différents rameaux. Ces analogies sont frappantes. Aussi reprendrons-nous l'hypothèse émise par d'autres chercheurs selon laquelle la carence en bore limiterait l'absorption du calcium.

2. CARENCE EN CUIVRE

Les courbes de croissance en hauteur des deux plants de semis carencés en cuivre sont très régulières et très voisines de celles des témoins. Mais le volume atteint par les plants est très réduit (photo 18).

La carence en cuivre intéresse également les organes jeunes et en particulier les méristèmes terminaux.

Jusqu'à 4 mois d'âge la croissance est à peu près normale ; cependant on note déjà le manque de développement latéral des arbres qui n'ont pratiquement pas de rameaux secondaires. Le port est élancé. Les feuilles, bien que de longueur à peu près normale sont lancéolées (photo 18). Tous ces symptômes vont en s'accroissant au fur et à mesure du vieillissement des plants.

Vers 5 mois d'âge apparaissent sur jeunes feuilles des nécroses apicales, nécroses qui se développent sans chlorose préalable. Les extrémités des feuilles nécrosées se recroquevillent, mais la nécrose gagne très peu en surface vers la base de la feuille. Ces feuilles tombent précocement, dénudant ainsi l'extrémité de la tige principale et des rameaux secondaires. La teinte du feuillage est vert foncé mat et les jeunes feuilles sans anthocyanes.

Au fur et à mesure que la carence s'installe on note le raccourcissement progressif des entre-nœuds. La croissance du bourgeon terminal de la tige principale et des rameaux secondaires est inhibée et tous les bourgeons latéraux de l'aisselle des feuilles pour la plupart déjà tombées se développent. Mais ils ne donneront que des ébauches de rameaux ne dépassant pas 5 ou 6 cm, rameaux dont la croissance va être rapidement inhibée par la carence (photo 19). Les ébauches

PHOTO 19. — Carence en cuivre : détail d'une pousse terminale.

18



19



foliaires des bourgeons restent réduites à l'état d'écaillés dont les extrémités sèchent sans se développer. Quelques-unes tombent mais le bourgeon dont la croissance est stoppée ne meurt pas.

A l'arrachage, à 8 mois, la croissance est pratiquement stoppée.

Les descriptions données par la bibliographie (5, 7), moins complètes sur certains points, ajoutent que le premier symptôme de la carence en cuivre est la proéminence des nervures, qui deviennent ensuite brun rougeâtre, cette coloration pouvant parfois déborder sur le limbe.

3. CARENCE EN MANGANÈSE

La courbe de croissance en hauteur d'un plant est très normale et très voisine de celle des deux témoins. L'autre s'infléchit vers 3 mois 1/2 et avec le temps les différences de taille avec les témoins s'accroissent. Ce fléchissement correspond peut-être à un début d'action de la carence. Les volumes atteints par les arbres sont très inférieurs à ceux des témoins.

La carence en manganèse est apparue beaucoup plus tardivement que la majorité des autres carences. Les premiers symptômes apparaissent vers 7 mois sur les jeunes feuilles du plant le moins développé. Sur l'autre plant les symptômes seront plus tardifs et beaucoup plus légers. Ils consistent en une chlorose jaune vert sale du fond de la feuille, les nervures principales et secondaires ainsi qu'une bande étroite de part et d'autre d'elles restant vertes (photo 20). La chlorose s'étend uniformément à toute la feuille, le tracé des nervures restées vertes étant flou. Quand



PHOTO 20. — Carence en manganèse sur sauvignon de 'Lula'.

la carence s'accroît, le fond chlorotique de la feuille devient plus jaune et peu de nervures secondaires restent vertes.

A 8 mois, au moment de l'arrachage des plants, on note le raccourcissement des entre-nœuds et une légère mortification des zones de croissance avec distorsion des jeunes rameaux issus de bourgeons latéraux. Il y a formation d'un bouquet de rameaux à développement plus ou moins anarchique. A l'arrachage aucune nécrose n'était encore apparue.

La bibliographie (5, 7) fait état de symptômes que nous n'avons pas observés : des taches chlorotiques dispersées entre les nervures, jaunes pâles à blanchâtres, pouvant même brunir et se nécroser ; puis les espaces internervaires deviennent entièrement chlorotiques, comme nous l'avons observé, les grosses nervures restant seules vertes à la fin.

4. CARENCE EN FER

La croissance en hauteur d'un des plants carencés en fer est très comparable à celle des témoins. La hauteur de l'autre plant est beaucoup plus réduite.

Pour les deux plants le volume des arbres est inférieur à celui atteint par les témoins. On observe moins de rameaux secondaires, principalement chez le plant le moins développé.

La carence en fer a commencé à se manifester à partir du 7^e mois sur les jeunes feuilles mais n'a pas été suffisamment accentuée pour que l'on puisse donner



PHOTO 21. — Carence en zinc sur sauvignon de 'Lula'.

une bonne définition des symptômes. Les jeunes feuilles sont vert pâle ou jaunâtre, la base de la feuille restant en général un peu plus verte. Les nervures gardent leur coloration normale et dessinent sur le fond chlorotique de la feuille un fin tracé vert. Quand la carence s'accroît la chlorose s'intensifie, et les nervures des feuilles les plus atteintes perdent leur coloration.

La carence n'ayant pas été poursuivie suffisamment longtemps, celle-ci n'a intéressé que les jeunes feuilles et on n'a pas observé de nécroses. D'après les données bibliographiques (5, 7), il faut d'ailleurs une carence très sévère pour que, après l'extension de ces symptômes, on observe des brûlures apicales et marginales ; normalement les zones décolorées reverdissent quand la feuille devient adulte.

5. CARENCE EN ZINC

Les courbes montrent qu'un des plants a eu une croissance en hauteur comparable à celle des témoins

mais que pour l'autre celle-ci a été très réduite. Sur ce dernier, le développement en volume a été très faible, alors que celui du plant le plus développé a été quasi normal.

Les symptômes de carence sont apparus à 6 mois d'âge et seulement sur ce dernier plant. Ils consistent en une chlorose jaune vert pâle des jeunes feuilles. On ne note pas de déformation de feuilles mais elles sont plus petites que la normale. Aux extrémités des rameaux il y a raccourcissement des entre-nœuds et départ de nombreux bourgeons latéraux, d'où formation d'une rosette entièrement chlorotique (photo 21).

La carence n'ayant pas été poursuivie suffisamment longtemps l'évolution et la progression des symptômes n'a pu être suivie. D'après la bibliographie (5, 7), la formation de rosettes et la réduction des dimensions des feuilles correspondent déjà à une carence sévère ; mais à côté de feuilles uniformément décolorées on observe une panachure (chloroses internervaires) et, parfois, une forme recourbée sur des feuilles très réduites.

IV. TABLEAU SYNOPTIQUE DES PRINCIPALES CARENCES MINÉRALES DE L'AVOCATIER

1. SYMPTÔMES GÉNÉRALISÉS

CARENCE EN AZOTE

Chlorose généralisée avec accentuation sur les vieilles feuilles. Coloration jaune-vert pâle et mat des feuilles, à tendance rosée sur les plus jeunes. Plages presque blanches qui sont le siège de nécroses. Rameaux et pétioles chlorotiques.

Croissance ralentie et développement fortement réduit. Tiges et rameaux fluets. Feuilles petites, gaufrées, s'enroulant vers le bas sur jeunes plants, ou en V sur plants plus âgés. Nanisme des jeunes plants.

2. SYMPTÔMES SUR JEUNES FEUILLES

CARENCE EN SOUFRE

Chlorose sur jeunes feuilles qui reverdissent partiellement lorsqu'elles sont plus vieilles. Coloration jaune d'or, jaune rosé uniforme et brillante des jeunes feuilles. Les feuilles intermédiaires sont vert-jaune, plus touchées à leur extrémité qu'à leur base. Les vieilles

feuilles sont vert-pâle à vert, quelquefois chlorotiques à leur extrémité. En carence sévère on note quelques nécroses en bout de vieilles feuilles.

Jeunes rameaux fluets et minceur des feuilles confèrent au feuillage une fragilité particulière. Port retombant des feuilles des bouquets terminaux.

Croissance en hauteur quasi normale mais volume et poids de l'arbre réduits de moitié par rapport à la normale.

CARENCE EN CALCIUM

Croissance et développement de l'arbre fortement réduits. Mortification des zones de croissance. Développement anarchique et désordonné des méristèmes terminaux des rameaux. Raccourcissement des entre-nœuds. Inhibition et quelquefois mort des bourgeons terminaux, et développement des bourgeons latéraux qui le plus souvent meurent, séchent et tombent. Quelques-uns se développent mais le plus souvent sont inhibés très tôt.

A l'extrémité de chaque rameau principal, constitution d'une importante rosette de petites feuilles lancéolées, très serrées les unes contre les autres du

fait du raccourcissement extrême des entre-nœuds, plus ou moins asymétriques, quelquefois en « faucille ». Elles sont déformées par de profondes échancrures marginales et percées soit de trous soit de boutonnières. Quelques nécroses sur nervures.

Chlorose marginale principalement apicale qui gagne vers les espaces internervaires et vers le bas de la feuille. Puis nécroses brun rougeâtre restant le plus souvent marginales. Les vieilles feuilles et quelques jeunes bourgeons tombent, dénudant la base des rameaux.

CARENCE EN BORE

Croissance et développement de l'arbre fortement réduits. Mortification des zones de croissance. Développement anarchique et désordonné des méristèmes terminaux. Raccourcissement des entre-nœuds. Inhibition et souvent mort des bourgeons terminaux, développement des bourgeons latéraux qui, le plus souvent, sont précocement inhibés. Croissance branchue des plants, distorsion de leurs rameaux et « balais de sorcière ». Tiges cavernueuses et nécroses superficielles de l'écorce.

Feuilles réduites, lancéolées, quelquefois « en faucille », plus ou moins déformées. Limbes rigides et cassants, gaufrés et souvent déchirés en boutonnières. Taches ou plages chlorotiques et nécroses en bout des jeunes feuilles qui se « recroquevillent ».

CARENCE EN ZINC

A l'extrémité des rameaux, raccourcissement des entre-nœuds et disposition des jeunes feuilles en rosette. Elles sont plus petites que la normale mais le plus souvent non déformées.

Coloration jaune-vert des jeunes feuilles dont les nervures d'abord vertes s'estompent rapidement. Le reste de l'arbre est de coloration normale.

CARENCE EN CUIVRE

Allongement normal mais volume de l'arbre fortement réduit.

Les jeunes feuilles lancéolées, où apparaissent des nécroses en bout sans chlorose préalable, voient leur extrémité se « recroqueviller ». Elles tombent précocement, dénudant les extrémités des rameaux. Coloration vert foncé mat du feuillage. Pas de chlorose particulière.

Sur les rameaux, raccourcissement des entre-nœuds. Inhibition du bourgeon terminal. Développement de

tous les bourgeons latéraux de l'aisselle des feuilles, qui se développent plus ou moins, mais sont tous inhibés précocement.

CARENCE EN MANGANÈSE

Chlorose vert-jaune à jaune-vert des espaces internervaires des jeunes feuilles, les nervures bordées d'une étroite bande de tissu restant vertes. Leur tracé est flou. Quand la carence s'accroît, la chlorose devient plus jaune et peu de nervures restent alors vertes.

CARENCE EN FER

Chlorose vert pâle, jaunâtre, du fond des jeunes feuilles, les nervures principales et secondaires, très fines, gardant leur teinte verte. En carence sévère la feuille devient presque blanche et les nervures perdent leur coloration.

3. SYMPTÔMES SUR VIEILLES FEUILLES

CARENCE EN MAGNÉSIUM

Croissance en taille quasi normale mais développement en volume réduit par rapport à des plants normaux.

Chlorose sur vieilles feuilles débutant près de la nervure centrale et progressant dans les espaces internervaires vers les bords de la feuille. Les bords de la nervure principale et des nervures secondaires principales restent verts sur 2 à 4 mm de large. La chlorose d'abord diffuse, s'affirme et gagne en surface la totalité des espaces entre les nervures secondaires principales. De vert-jaune pâle elle devient jaune d'or et ses contours sont très nets. Pas de larges nécroses mais de nombreux points nécrotiques brun-rouge apparaissent au milieu des espaces chlorotiques. La sénescence des vieilles feuilles est accélérée.

La chlorose magnésienne gagne vers les plus jeunes feuilles et en carence sévère peut intéresser tout le feuillage de l'arbre.

CARENCE EN PHOSPHORE

Réduction de croissance et de développement importante.

La croissance du bourgeon terminal est pratiquement inhibée. Il reste latent ou pousse très peu de

feuilles, de dimensions normales mais inclinées à 45° vers le sol, inclinaison due au fléchissement des pétioles. Feuilles en « tuiles » à bords plus ou moins ondulés et enroulés vers la face inférieure. Rameaux fluets.

Le feuillage de coloration vert foncé à tendance bleutée devient rapidement vert sale avec des reflets gris-violet ou bronze. Puis, sur vieilles feuilles, de part et d'autre des nervures principales et secondaires principales, s'installe une ponctuation blanchâtre. Cette ponctuation se nécrose en même temps qu'apparaissent sur les demi-limbes ponctuation et plages nécrotiques.

Les feuilles tombent sans être gagnées totalement par la nécrose.

CARENCE EN POTASSIUM

La carence en potassium intéresse les vieilles feuilles

qui jaunissent rapidement, soit en plages soit en totalité, les parties de limbes chlorotiques sont jaune à jaune d'or. Ce jaunissement est suivi d'une nécrose ponctiforme ou en plages brun-rouge, débutant à la base des feuilles. Cette nécrose gagne les pétioles, chemine le long des nervures et peut s'étendre à toute la feuille qui prend une allure roussie caractéristique. Souvent la feuille tombe avant nécrose complète.

N. B. — Notre expérimentation ayant été conduite sur un temps relativement court pour certaines carences (Zn, Mn, Fe, K), cette première description n'est que partielle ; on trouvera quelques indications complémentaires, tirées des travaux américains, à la fin de chacun des paragraphes du chapitre précédent. La carence en molybdène est encore inconnue à ce jour.

V. APPLICATION A LA MULTIPLICATION DE L'AVOCATIER EN PÉPINIÈRE

Dans ce qui précède nous avons vu qu'en hydroponique comme en pépinière on doit faire la distinction entre deux phases de croissance :

- la phase d'utilisation des réserves du noyau ;
- la phase d'alimentation extérieure du plant.

Au stade très jeune le sauvignon vit d'abord sur les réserves minérales de son noyau. Assez rapidement il pousse un système racinaire capable d'assurer sa nutrition à partir de la solution nutritive. Mais même alors, il continue d'épuiser son noyau, et l'utilisation de ses réserves est d'autant plus intense qu'il rencontre des conditions minérales défavorables. La distinction entre ces deux phases n'est pas nette. L'observation nous montre qu'en multiplication normalement fertilisée, les noyaux de certains plants disparaissent rapidement alors que d'autres persistent beaucoup plus longtemps. Cela peut prouver, la vigueur des jeunes plantules pouvant être nettement différente d'un plant à un autre, qu'une plantule vigoureuse pousse rapidement un système racinaire : celui-ci lui permet beaucoup plus tôt de s'affranchir partiellement des réserves du noyau, qui seront cependant utilisées mais beaucoup plus lentement.

Mais le fait que le jeune plant soit capable de vivre un certain temps sur les réserves de son noyau ne dispense pas de lui assurer une nutrition minérale normale au stade très jeune. En pépinière on recherche

une végétation rapide permettant d'obtenir en 8 mois un plant greffé de conformation harmonieuse. Aussi faut-il qu'aucune malnutrition, de quelque ordre qu'elle soit, ne vienne perturber croissance et développement.

D'après l'expérimentation décrite plus haut, tous les éléments minéraux sont absolument indispensables à la croissance, mais leur degré pratique d'essentialité est variable. Et ce sont surtout les déficiences en azote, calcium, phosphore et bore qui risquent d'avoir les conséquences les plus graves, en multiplication, car elles produisent un rabougrissement intense, ou occasionnent des dérèglements de croissance importants. La nutrition du jeune plant doit donc être satisfaisante en quantité et équilibrée. La formule PMP 1964 peut alors servir de modèle.

L'élevage de l'avocatier en pépinière peut être conduit de diverses façons, allant de la multiplication en pleine terre de plants qui seront livrés à racines nues, à la multiplication en pots de plastique sur milieu inerte en hydroponique pure.

La solution retenue en Côte-d'Ivoire, où des impératifs sanitaires commandent d'opérer de façon stérile pour éviter toute contamination par *Phytophthora cinnamomi*, est intermédiaire entre ces deux techniques.

Les noyaux sont mis à germer sur sable, en germoirs

stériles. Les plantules sont repiquées dans des pots de plastique contenant :

- soit un mélange à 50 % de sable et d'Humuci ;
- soit un mélange par 1/3 de sable, d'Humuci et de terre argilo-sableuse.

Ce support est au préalable désinfecté par la chaleur. L'Humuci est le produit résultant de la transformation des ordures ménagères de la ville d'Abidjan. Sa composition moyenne est de :

8 à 13 % de matière organique
4,1 % de CaO
8,1 % de K₂O
1 % de MgO
1,4 % de P₂O₅



PHOTO 22. — Plant de pépinière sous-alimenté en azote (à droite) comparé à un plant bien nourri : pâleur et faiblesse du système foliaire.

Notre support est donc de bonne richesse minérale. Le calcium, le phosphore et la potasse qu'il contient doivent normalement suffir pour les 8 mois que dure l'élevage en pépinière. Seule une fertilisation azotée (cf. photo 22) et magnésienne est alors nécessaire (car risque de déséquilibre K/Mg).

Le complément de fertilisation est apporté soit sous forme de solution diluée, soit sous forme d'engrais dont la pénétration sera assurée par une irrigation. En se basant sur la formule PMP 1964 et en tenant compte que le support possède déjà une certaine richesse en N et Mg, on peut apporter 1 g de N et 0,5 g de Mg par plant et par mois, jusqu'au quatrième mois. Au-delà, on passe à 1 g de N et 0,5 g de Mg par plant tous les 15 jours. Des pulvérisations d'oligo-éléments peuvent compléter utilement cette fertilisation.

A 8 mois le jeune plant est mis en place en verger familial ou en verger de type industriel. En verger familial il est peu tenu compte des qualités physico-chimiques du sol. En verger industriel, le *Phytophthora cinnamomi* étant l'ennemi principal, on conseille de

planter sur sol léger drainant bien et d'éviter les sols lourds plus favorables à la dispersion du champignon. Les sols sur sables tertiaires correspondent assez bien à ces exigences. Mais l'inconvénient est que ces sols sont en général minéralement pauvres.

On conseille donc de soigner particulièrement bien la mise en place et en particulier d'incorporer à la terre du trou une bonne quantité de fumier et une dose d'amendement calco-magnésien et phosphaté. Cette fertilisation de fond localisée au pied de l'arbre favorisera sa croissance durant les premières années. La fertilisation annuelle sera apportée aux deux périodes climatiques favorables, avril-mai et septembre-octobre, et comprendra tous les éléments N, P, K, Ca, Mg.

Les données sur la fertilisation de l'avocatier en phase de croissance et en phase fructifère sont sommaires et peu concordantes. Aussi se propose-t-on d'étudier en hydroponique et sur le terrain les formules convenant le mieux à ces deux phases. Ces études compléteront utilement nos connaissances sur la culture de l'avocatier.

BIBLIOGRAPHIE

1. BINGHAM (F. T.), ZENTMYER (G. A.) et MARTIN (J. P.). — Host nutrition in relation to *Phytophthora* root rot of avocado seedlings. *Phytopathology*, 1958, vol. 48, n° 3, p. 144-148.
2. CHAPMAN (H. D.). — Techniques proposées pour le prélèvement et la manutention des échantillons foliaires. *Fruits*, juil.-août 1964, vol. 19, n° 7, p. 367-377.
3. CHARPENTIER (J.-M.) et MARTIN-PRÉVEL (P.). — Carences atténuées ou temporaires en éléments majeurs. Carences en oligo-éléments chez le bananier. *Fruits*, nov. 1965, vol. 20, n° 10, p. 521-557.
4. CURTIS (D. S.). — Effect of oxygen supply in nutrient solution on avocado and citrus seedlings. *Soil Science*, 1949, vol. 67, p. 253 ; cité par HEWITT (E. J.) in : Sand and water culture methods used in the study of plant nutrition, tab. 19 B.
5. EMBLETON (T. W.) et JONES (W. W.). — Avocado and mango nutrition, in : Nutrition of fruit crops : temperate, sub-tropical, tropical « Fruit nutrition », Ed. by N. F. Childers, p. 51-76, New Brunswick (U. S. A.), 1966.
6. HOAGLAND (D. R.) et ARNON (D. I.). — The water-culture me-

thod for growing plants without soil. *Calif. Agric. Exp. Station, Circ. n° 347*, 32 p., 1950.

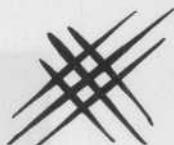
7. LYNCH (S. J.). — Avocado and mango, in : Mineral nutrition of fruit crops « Fruit nutrition ». Ed. by N. F. Childers, New Brunswick (U. S. A.), 1954, p. 79-120.

8. MARTIN (J. P.) et BINGHAM (F. T.). — Effect of various exchangeable cation ratios in soils on growth and chemical composition of avocado seedlings. *Soil Science*, 1954, vol. 78, n° 5, p. 349-360.

9. 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. Phytol. vég.*, 1962, vol. 8, n° 4, p. 117-122.

10. MARTIN-PRÉVEL (P.) et CHARPENTIER (J.-M.). — Symptômes de carences en six éléments minéraux chez le bananier. *Fruits*, mai 1963, vol. 18, n° 5, p. 221-247; Fertilité, n° 22.

11. VULLIN (G.). — Culture des jeunes plants de bigaradier en milieu contrôlé. *Fruits*, nov. 1961, vol. 16, n° 10, p. 521-523.



employez seul
ou en mélange

phospal

**ENGRAIS PHOSPHATÉ
CONCENTRÉ ÉCONOMIQUE**

Agents pour l'Afrique :

- SSEPC 22-24, Avenue Courbet, Dakar (Sénégal)
- STEPC Boulevard Antonetti, Abidjan (Côte d'Ivoire)
- SGEPC B. P. 284 Conakry (Guinée)
- SEPCAE rue Joffre, Douala (Cameroun)
- SEPCM 3, rue Estèbe, Tananarive (République Malgache)

INSECTICIDES

**ENGRAIS AZOTÉS
PHOSPHATES**

**ENGRAIS TERNAIRES
COMPLEXES GRANULÉS**

KUHLMANN

25, bd Amiral Bruix — PARIS (16^e)