

CULTURE SUR MILIEU ARTIFICIEL

Étude des carences minérales chez l'avocatier

II. ANALYSES FOLIAIRES

par J.-J. LACŒUILHE, P. MARTIN-PRÉVEL, J.-M. CHARPENTIER

*Institut Français de Recherches Fruitières Outre-Mer (I. F. A. C.).*CULTURE SUR MILIEU ARTIFICIEL
ÉTUDE DES CARENCES MINÉRALES
CHEZ L'AVOCATIER

II. — ANALYSES FOLIAIRES

par J.-J. LACŒUILHE, P. MARTIN-PRÉVEL
et J.-M. CHARPENTIER (I. F. A. C.)*Fruits*, vol. 23, n° 1, janv. 1968, p. 31 à 43.

RÉSUMÉ. — Sur de jeunes sauvageons d'avocatier cultivés sur sable de rivière arrosé de solutions complètes ou privées de N, P, S, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Cu, Zn, B ou Mo, on a prélevé trois types d'échantillons : feuilles jeunes, adultes et vieilles. Les teneurs en N, P, K, Ca, Mg ont été déterminées dans tous les échantillons prélevés, en Fe et Mn dans le plus grand nombre, en B dans quelques-uns.

Les résultats analytiques sont étudiés en raisonnant principalement sur le rapport entre chaque valeur trouvée et la valeur correspondante dans les feuilles du même âge chez le témoin de la même répétition de l'essai. On met ainsi en évidence les principales interactions entre éléments minéraux : leur sens, leur réciprocity ou non-réciprocity ; on rapproche les observations morphologiques des rôles connus des éléments minéraux dans les plantes. L'importance physiologique et agronomique de la phase d'utilisation des réserves du noyau est mise en évidence.

Les références obtenues pour les niveaux normaux et carenciels des huit éléments dosés dans la feuille d'avocatier sont dans l'ensemble en assez bonne concordance avec les données de la bibliographie.

Dans un précédent article (), les méthodes d'expérimentation et les symptômes visibles obtenus ont été décrits. On expose ici les résultats des analyses des feuilles qui complètent cette étude et permettent d'aborder les interactions entre les éléments minéraux.*

MODE D'ÉCHANTILLONNAGE

1. Malgré la faible taille des plants, on s'est efforcé d'y trouver des feuilles répondant le mieux possible aux normes d'EMBLETON citées par CHAPMAN (2), en

(*) Étude des carences minérales chez l'avocatier. I. — Croissance et symptômes, par J. M. CHARPENTIER et P. MARTIN-PRÉVEL, *Fruits*, vol. 22, n° 5, p. 213-237, 1967.

prenant des feuilles d'au moins deux mois d'âge. Dans la suite du texte ces feuilles seront appelées « diagnostic foliaire » (D. F.).

2. On appellera « jeunes feuilles » (J. F.) celles qui constituent les bouquets terminaux et sur lesquelles apparaissent les symptômes des carences en S, Ca, Zn, B.

3. On appellera « vieilles feuilles » (V. F.) des feuilles

émises peu après la mise en place des plants sur les solutions nutritives, mais ne présentant pas encore de caractères de sénilité, et sur lesquelles apparaissent notamment les symptômes des carences en K et Mg.

EXPRESSION DES RÉSULTATS D'ANALYSE

On a déterminé les cinq éléments N, P, K, Ca, Mg dans tous les échantillons prélevés, Mn et Fe dans le plus grand nombre d'entre eux et B dans quelques cas particuliers (nous sommes redevables de ces dosages de bore au concours gracieux de la Société Borax Français, dont nous tenons à remercier vivement le chef du Département agronomique M. QUILLON). Le poids trop faible des échantillons recueillis ne nous a pas permis de doser le soufre ni les autres oligo-éléments, comme il eût été souhaitable.

Chaque traitement comportait deux plants, dont les hauteurs au moment de la mise en pots étaient respectivement de 12 cm et 8 cm. Il ne s'agit donc pas

de deux répétitions vraies. Dans certains cas, la croissance des deux plants, l'apparition des symptômes et leur évolution ont été tellement différents, que la moyenne des deux individus ne correspond à rien. Nous avons donc préféré considérer chaque plant individuellement.

Le matériel végétal a été choisi aussi homogène que possible, mais aucun moyen ne nous permet de tester cette homogénéité. La différence de taille entre les deux plants au départ est due simplement à une plus ou moins grande rapidité de germination et de reprise de la plantule ; elle doit donc traduire des états différents des réserves du noyau et de leur utilisation. La carence n'est sans doute pas devenue effective en même temps dans les deux plants.

C'est pourquoi l'essentiel du raisonnement se fonde sur l'étude des résultats exprimés *en pour-cent des mêmes valeurs chez le plant témoin de même taille à l'origine* ; ceci pour les teneurs en chacun des éléments dans les lots de feuilles homologues (J. F., D. F. ou V. F.). Les figures 1 à 5, 7 à 11, 13 à 20, 22 à 23 visualisent ces résultats.

A. CARENCES EN ÉLÉMENTS MAJEURS

Cette série a été échantillonnée deux fois :

1° le 12 mai 1965, soit 5 mois environ après le repiquage sur sable et solutions nutritives des plants de semis ayant germé au préalable sur sable et eau pure. Les dimensions des plants n'ont alors permis d'y prélever que deux lots de feuilles : les D. F. et soit les J. F., soit les V. F., selon le faciès de la carence (et même uniquement les D. F. dans le cas de la carence azotée).

Les résultats de cette première série d'analyses sont donnés dans le tableau I et dans les figures 1 à 6.

2° le 4 août 1965, soit après 8 mois de croissance, quand il fallut interrompre l'essai parce que les plants devenaient trop grands pour les seaux de culture. On a alors prélevé les trois catégories de feuilles sur tous les plants. Les résultats font l'objet du tableau II et des figures 7 à 14.

CARENCE EN AZOTE

La carence en azote est celle qui se manifeste le plus rapidement ; sa courbe de croissance est la première à s'infléchir. La quantité de matière synthétisée est très faible ; l'absorption quantitative de tous les

éléments s'en trouve diminuée, mais d'une manière variable, ce qui modifie leurs équilibres par rapport au témoin.

Les teneurs en azote sont de moitié inférieures à celles du témoin, pour les trois catégories de feuilles. Les valeurs absolues situées entre 1,50 et 1,15 p. cent correspondent au *minimum en-dessous duquel les tissus foliaires d'un jeune sauvageon d'avocatier ne peuvent plus se constituer ou ne peuvent plus survivre* selon les cas.

Dans les jeunes feuilles, les teneurs en phosphore sont presque autant diminuées que les teneurs en azote, mais les écarts avec le témoin s'affaiblissent dans les D. F. et s'annulent dans les V. F., car chez le plant témoin la teneur en phosphore décroît au fur et à mesure que la feuille vieillit, tandis que chez le plant carencé en azote les feuilles se forment avec une teneur en phosphore qui est déjà celle des feuilles adultes. On peut penser que dans ce dernier cas la jeune feuille a des besoins moins importants en phosphore parce qu'elle se forme avec moins d'azote, donc moins de protéines. Le comportement du manganèse et du fer est assez analogue.

La teneur en potassium des J. F. et D. F. est peu

TABLEAU 1a
ANALYSE DES FEUILLES
SERIE ELEMENTS MAJEURS (Mai 1965)

		p. cent de M. S.					
		N	P	K	Ca	Mg	K/N
Témoin n° 3	JF	2,85	0,315	1,75	0,35	0,166	0,61
	DF	2,32	0,149	0,98	0,68	0,243	0,42
	VF	2,54	0,105	0,60	1,38	0,675	0,24
Témoin n° 22	JF	2,75	0,310	1,64	0,26	0,165	0,56
	DF	2,14	0,115	0,42	0,57	0,251	0,43
	VF	2,03	0,096	0,40	1,39	0,590	0,20
Azote n° 2 + 24	DF	1,15	0,088	1,01	0,73	0,448	0,88
-P n° 4	DF	1,47	0,055	1,29	0,31	0,157	0,88
	VF	1,66	0,050	1,74	0,67	0,330	1,05
-P n° 23	DF	1,50	0,052	1,26	0,43	0,255	0,84
	VF	1,71	0,049	1,30	0,85	0,420	0,73
-S n° 1	JF	1,39	0,175	1,95	0,71	0,394	1,40
	DF	1,62	0,106	1,46	0,90	0,480	0,90
-S n° 26	JF	1,67	0,144	1,75	0,48	0,332	1,05
	DF	1,99	0,135	0,99	0,91	0,645	0,50
-K n° 6	DF	1,80	0,087	0,70	0,40	0,203	0,39
	VF	1,46	0,050	0,65	0,92	0,427	0,45
-K n° 28	DF	1,45	0,075	0,97	0,43	0,190	0,67
	VF	1,86	0,058	0,69	0,95	0,497	0,37
-Ca n° 7	JF	2,13	0,135	0,95	< 0,05	0,730	0,45
	DF	1,81	0,125	0,73	0,13	1,8	0,40
-Ca n° 25	JF	2,29	0,212	1,51	< 0,05	0,570	0,66
	DF	1,65	0,120	1,16	< 0,05	0,55	0,70
-Mg n° 5	DF	2,15	0,125	1,23	0,97	< 0,04	0,57
	VF	2,07	0,100	0,99	2,32	0,097	0,48
-Mg n° 27	DF	2,42	0,132	1,33	1,11	0,04	0,55
	VF	2,45	0,115	1,05	2,35	0,120	0,43

affectée, mais on constate une accumulation de cet élément dans les vieilles feuilles ; en compensation ces dernières sont moins riches que le témoin en calcium, tandis que cet élément tend à s'accumuler dans les J. F. Le magnésium n'est pas affecté dans les V. F. mais est augmenté dans les D. F. et J. F.

Le manque d'azote dans la solution nutritive et par suite dans la plante, limite, par ordre décroissant, l'absorption des éléments N, P, Mn, Fe, K, Ca, Mg. La quantité totale de P absorbée est plus diminuée que la production de matière vivante, d'où tendance aux teneurs en P inférieures au témoin ; tandis que les teneurs en cations tendent dans l'ensemble à augmenter, leur absorption n'étant pas diminuée autant que la production de matière vivante.

Les jeunes feuilles sont peu actives et le déséquilibre minéral y est accru. On voit sur le tableau II que chez les plants carencés en azote, les feuilles des divers âges différent peu les unes des autres : c'est-à-dire que les jeunes feuilles possèdent déjà les caractères de sénilité (excepté pour la teneur en potassium, qui au contraire ne décroît pas comme d'habitude à l'approche de la sénescence) ; leur durée de vie est plus courte et la balance entre les différents ions évolue

TABLEAU 1b
SERIE ELEMENTS MAJEURS (Mai 1965)
COMPOSITION DES FEUILLES EXPRIMEE EN
P. CENT DU TEMOIN CORRESPONDANT

		N	P	K	Ca	Mg
-N n° 2 + 24	DF	50	59	103	107	184
-P n° 4	DF	63	37	132	46	65
	VF	65	48	240	49	49
-P n° 23	DF	70	45	137	75	99
	VF	84	51	325	61	71
-S n° 1	JF	49	56	111	203	237
	DF	60	71	149	132	198
-S n° 26	JF	61	46	107	185	201
	DF	93	117	108	160	257
-K n° 6	DF	78	58	72	59	84
	VF	57	48	108	67	63
-K n° 28	DF	68	65	105	75	76
	VF	92	60	172	68	84
-Ca n° 7	JF	75	43	54	£	440
	DF	78	84	84	19	5700
-Ca n° 25	JF	83	68	92	£	345
	DF	77	104	126	0,5	225
-Mg n° 5	DF	93	84	125	143	£
	VF	82	95	165	168	14
-Mg n° 25	DF	113	104	144	195	£
	VF	121	120	263	169	21

moins au cours de la vie de la feuille. C'est un phénomène assez analogue à ce qu'on peut observer dans certains pays où l'alimentation humaine manque de protéines.

CARENCE EN PHOSPHORE

La croissance des plants est très diminuée ; leur hauteur après huit mois de carence n'est supérieure que de 10 cm à celle des plants carencés en azote. Le phosphore est aussi essentiel que l'azote à la vie végétale.

Les teneurs en phosphore sont de l'ordre de 50 p. cent de celles du témoin. Aux deux prélèvements, elles ne descendent pas au-dessous de 0,045 p. cent de matière sèche dans les D. F. ni dans les V. F. ; cette valeur correspond donc au *phosphore de constitution*, qui ne peut être réutilisé dans d'autres parties de la plante — du moins tant que la feuille reste en vie. Les phosphates étant essentiels dans l'assimilation chlorophyllienne, la carence en P est extrêmement grave : la plante ne peut pas stocker toute l'énergie nécessaire à son métabolisme.

Les teneurs en azote sont également diminuées, relativement moins chez les vieilles feuilles que chez

TABLEAU II a
ANALYSE DES FEUILLES - SERIE ELEMENTS MAJEURS (Août 1965)

		p. cent de M. S.					p. p. m.		
		N	P	K	Ca	Mg	K/N	Mn	Fe
Témoïn n° 3	JF	2,65	0,240	1,44	0,66	0,237	0,54	45	58
	DF	2,36	0,105	0,68	1,21	0,379	0,29	89	46
	VF	2,22	0,092	0,50	2,25	0,610	0,23	143	48
Témoïn n° 22	JF	2,33	0,139	0,95	0,53	0,203	0,41	29	49
	DF	2,10	0,105	0,86	0,92	0,270	0,41	59	53
	VF	1,86	0,079	0,52	1,97	0,640	0,28	160	56
-N n° 2	JF	1,50	0,118	1,22	1,04	0,425	0,81	40	43
	DF	1,40	0,089	0,89	1,50	0,510	0,64	71	42
	VF	1,15	0,140	1,29	1,09	0,590	1,12		
n° 24	JF	1,31	0,105	1,01	0,79	0,349	0,77	22	15
	DF	1,25	0,072	0,65	1,06	0,470	0,52	30	25
	VF	1,20	0,075	0,99	1,24	0,630	0,83		
-P n° 4	JF	1,54	0,073	1,34	0,57	0,250	0,87	232	47
	DF	1,49	0,046	1,23	0,55	0,310	0,83	269	38
	VF	1,61	0,048	1,49	0,69	0,330	0,93	215	50
n° 23	JF	1,48	0,056	1,11	0,56	0,228	0,75	219	43
	DF	1,54	0,044	0,94	0,72	0,248	0,61	228	36
	VF	1,66	0,044	0,87	0,72	0,280	0,52		
-S n° 1	JF	2,58	0,240	1,31	0,81	0,382	0,51	39	31
	DF	2,52	0,195	1,30	1,01	0,464	0,52	72	34
	VF	2,22	0,160	0,62	2,70	#1,5	0,28	133	36
n° 26	JF	2,75	0,249	1,69	0,50	0,298	0,61	19	84
	DF	2,50	0,227	1,19	0,88	0,502	0,48	39	58
	VF	2,13	0,145	0,50	1,95	#1,5	0,23	83	84
-K n° 6	JF	1,84	0,080	0,33	0,65	0,252	0,18	107	45
	DF	1,60	0,063	0,28	0,63	0,283	0,18	82	47
	VF	1,34	0,042	0,30	0,85	0,390	0,22	83	32
n° 28	JF	1,63	0,071	0,65	0,60	0,196	0,40	91	41
	DF	1,50	0,048	0,45	0,70	0,244	0,30	115	39
	VF	1,71	0,051	0,65	0,29	0,390	0,38	184	44
-Ca n° 7	JF	2,36	0,174	1,21	traces	#0,9	0,51	110	60
	DF	2,38	0,150	1,03	0,050	#1,0	0,43	128	48
	VF	2,30	0,130	0,78	0,405	#2,5	0,34	133	64
n° 25	JF	2,30	0,185	1,36	traces	0,600	0,59	58	63
	DF	2,19	0,109	0,92	0,050	#0,8	0,42	118	59
	VF	2,14	0,093	0,78	0,190	#2,5	0,36	234	63
-Mg n° 5	JF	2,77	0,276	1,53	1,00	0,045	0,55	42	73
	DF	2,14	0,142	1,44	2,10	0,020	0,67	57	60
	VF	1,73	0,097	1,19	3,50	0,050	0,69	198	52
n° 27	JF	2,90	0,260	1,36	1,07	0,040	0,47	36	45
	DF	2,50	0,154	1,33	2,16	0,020	0,53	56	48
	VF	2,11	0,107	1,25	4,10	0,040	0,59	198	49

TABLEAU II b
SERIE ELEMENTS MAJEURS (Août 1965)
ANALYSES DES FEUILLES EXPRIMEES
EN P. CENT DU TEMOIN CORRESPONDANT

		N	P	K	Ca	Mg	Mn	Fe
-N n° 2	JF	57	49	85	158	179	89	74
	DF	59	85	131	124	135	80	91
	VF	52	152	258	48	97		
n° 24	JF	56	75	106	149	172	76	31
	DF	59	69	76	115	174	51	47
	VF	64	95	190	63	98		
-P n° 4	JF	58	30	93	86	105	516	81
	DF	63	44	180	45	82	302	83
	VF	73	52	298	31	54	150	104
n° 23	JF	64	40	117	106	112	755	88
	DF	73	42	109	78	92	386	68
	VF	89	56	167	37	44		
-S n° 1	JF	97	100	91	123	161	87	53
	DF	107	186	191	83	122	81	74
	VF	100	174	124	120	>250	93	75
n° 26	JF	118	179	178	94	147	66	171
	DF	119	216	138	96	186	66	109
	VF	115	184	96	99	>250	52	150
-K n° 6	JF	69	33	23	100	106	234	77
	DF	68	60	41	52	75	102	102
	VF	60	46	60	38	64	58	67
n° 28	JF	70	51	68	113	124	314	84
	DF	71	46	52	76	90	195	74
	VF	92	65	125	15	61	115	79
-Ca n° 7	JF	89	73	84	£	>400	244	103
	DF	101	143	151	4	264	144	104
	VF	104	141	156	33	>400	93	133
n° 25	JF	99	133	143	£	296	200	129
	DF	104	104	107	5	296	200	111
	VF	115	117	150	10	>400	146	113
-Mg n° 5	JF	104	115	106	152	19	93	126
	DF	91	135	212	174	5	64	130
	VF	78	105	238	156	8	139	108
n° 27	JF	124	187	143	201	20	124	92
	DF	119	147	155	235	7	95	91
	VF	113	135	240	208	2	124	88

les D. F. et J. F. On sait que les phosphates sont nécessaires à toutes les enzymes flavoprotéïques pour la réduction des nitrates (NICHOLAS).

L'effet le plus considérable est l'augmentation du potassium, l'écart avec le témoin devenant de plus en plus important avec l'âge de la feuille. A l'époque du premier échantillonnage, après 5 mois de carence, alors que les plants — K ne présentaient pas de symptômes de carence potassique on avait conclu des premières analyses qu'une déficience en phosphore (constatée à l'analyse également sur les — K) accélérât l'exploitation des réserves potassiques du noyau. Un noyau d'avocat contient en effet environ 1,4 g de K (tableau IV), ce qui est important. Mais au moment du deuxième échantillonnage la carence potassique était décelable sur les plants — K, les réserves du noyau étaient donc épuisées comme en attestent le tableau III et l'absence de résidus de noyau chez les deux plants

— P; cependant les feuilles de ces deux plants sont toujours plus riches en potassium que celles des témoins, dès qu'elles ne sont plus toutes jeunes. Ce phénomène déjà observé par FULMER (5) ne peut s'expliquer uniquement par les réserves du noyau.

En fait les tableaux I et II montrent que chez les — P les feuilles gardent toute leur vie la teneur en K (normale) qu'elles avaient au stade jeune, alors que chez le témoin elles vont s'appauvrissant graduellement en prenant de l'âge. Le faible niveau de phosphore dans la feuille modifie profondément ses capacités de synthèse et lui fait conserver son potassium au lieu de le perdre en même temps que ses métabolites; cette non-migration du potassium est rendue possible — à moins qu'elle ne soit même provoquée — par une absorption de cet élément moins diminuée que la synthèse de matière vivante. La déficience phosphorée facilite donc relativement l'absorption du potassium.

TABLEAU III
ANALYSE DES RESIDUS DES NOYAUX (Août 1965) *

	en p. cent de M. S.				
	N	P	K	Ca	Mg
Témoin n° 3	1,59	0,082	3,53	0,370	0,220
- N n° 2	0,63	0,077	1,31	0,465	0,125
n° 24	0,60	0,075	1,65	0,520	0,110
- S n° 1	1,77	0,106	3,08	0,328	0,255
n° 26	1,26	0,067	1,49	0,270	0,170
- K n° 28	1,85	0,070	0,20	1,66	0,242
- Mg n° 7	1,43	0,077	0,81	1,65	0,035

* - Seuls figurent les noyaux qui ont permis de constituer un échantillon. Les autres avaient disparu.

TABLEAU IV
ANALYSE DE NOYAUX FRAIS
(Résultats en g d'élément par noyau)

Matière sèche	N	P	K	Mg
145,25	0,89	0,081	1,39	0,078
133,75	1,02	0,096	1,39	0,074
143,25	1,17	0,083	1,26	0,076
118,50	0,89	0,071	1,27	0,063
173,75	1,61	0,148	1,65	0,102
158,50	0,95	0,087	1,49	0,071

Complémentaire à cette persistance du potassium, le calcium et le magnésium augmentent beaucoup moins que la normale avec l'âge des feuilles ; d'où en pour-cent du témoin, une diminution qui va s'accroissant.

Les teneurs en manganèse sont considérablement augmentées. Au champ, le meilleur remède contre la toxicité du manganèse est les scories, qui apportent le phosphore et régularisent le pH du sol : les phosphates de manganèse sont pour la plupart très peu solubles. Par contre les teneurs en fer sont peu affectées, tendant à une légère diminution.

CARENCE EN SOUFRE

Les symptômes carentiels se manifestent sur les jeunes feuilles, comme dans le cas du calcium. Il est généralement admis que S et Ca sont des éléments relativement peu mobiles, ou qui en tout cas migrent difficilement des organes âgés vers les jeunes feuilles.

On trouve à l'analyse des différences importantes entre les deux prélèvements.

Après 5 mois de carence, N et P sont diminués, surtout chez les jeunes feuilles (celles qui portent les symptômes) et les cations sont augmentés : peu pour K, de 100 p. cent pour Ca chez les J. F., de plus de 100 p. cent pour Mg chez les J. F. et D. F. Ces caractéristiques

sont assez voisines de ceux de la carence en azote.

Après 8 mois de carence, N redevient voisin des témoins, P est doublé dans les feuilles adultes et nettement augmenté dans les feuilles jeunes ou âgées. K est fortement augmenté aussi, surtout dans les V. F., mais Ca revient aux niveaux des témoins et Mg n'est plus que de 50 p. cent supérieur à ces derniers. Mn et Fe sont peu et irrégulièrement affectés.

Il est difficile de trouver une explication à ces résultats, faute d'avoir pu déterminer le soufre dans ces mêmes échantillons ; d'autant plus que le métabolisme du soufre dans les plantes est mal connu. La croissance des plants — S a été moins retardée que celle des — N, — P, — Ca, — K, car cet élément est moins nécessaire aux processus de la croissance ; son rôle le plus évident intervient dans la formation des pigments chlorophylliens, et il entre dans la constitution de certaines protéines.

CARENCE EN POTASSIUM

Les symptômes sont apparus assez tardivement et ils étaient encore légers au moment de la destruction des plants, après 8 mois de carence. Dans une expérience antérieure, sur plants greffés, donc repiqués dans les pots de culture sans noyau, on avait pu observer des symptômes beaucoup plus rapidement. Nous avons déjà vu que le noyau contient environ 1,4 g de potassium ; la solution témoin apporte 1,17 g de K par semaine, mais avec la technique des solutions perdues une faible part seulement de cet apport est susceptible d'être assimilée, tandis que les pertes sur les réserves du noyau doivent être très faibles. Ceci explique qu'après 5 mois de culture sur solution carencée on ait trouvé des feuilles normalement pourvues en K avec un rapport K/N supérieur à celui du témoin.

Après 8 mois de carence, la teneur en potassium des feuilles actives n'est plus que la moitié de celle du témoin, alors que les vieilles feuilles sont peu affectées, comme dans le cas de la carence en P. Il est frappant par ailleurs que les effets sur l'azote, le phosphore, le calcium et le magnésium sont pratiquement identiques aux deux prélèvements.

Mais il faut observer que la source de phosphore dans la solution — K était du phosphate bicalcique, remplaçant le phosphate mono-potassique de la solution témoin. Le bicalcique était utilisé à une concentration théorique très inférieure à sa limite de solubilité : 0,86 g pour 10 l de solution (solubilité : 0,02 p.

cent à 24,5° C, soit 2 g pour 10 l). Mais il était apporté sous forme solide à la surface du sable, l'arrosage quotidien avec la solution nutritive devant assurer la dissolution. En fait ce sel a été très peu assimilé et une forte déficience en phosphore s'est superposée à la carence potassique ; la nutrition phosphorée a joué comme facteur limitant de la croissance : les plants — K se sont développés un peu plus que les — P (cf. tableau II et graphique 1 de l'article précédent), jusqu'à ce que les teneurs en P de leurs feuilles tombent aux mêmes minima vitaux que dans la carence en P (tableau II ci-après). Le plant n° 6 a dû bénéficier d'une meilleure solubilisation de son bicalcique que le n° 28, d'où une croissance beaucoup moins entravée, avec des teneurs en P toujours du même ordre, et des teneurs en K moitié moindres de celles du n° 28 puisque les mêmes réserves du noyau ont été réparties dans une masse végétale plus importante. Le noyau de ce n° 6 a disparu, alors que celui du n° 28 subsistait encore à l'arrachage, mais presque complètement vidé de son potassium (tableau III).

Dans les études à venir il faudra donc apporter le phosphore sous une autre forme : essayer d'abord de dissoudre le bicalcique dans la solution, sinon choisir le phosphate d'ammoniaque comme source phosphorée pour le témoin comme pour les carences. Le remplacement du phosphate monopotassique par le phosphate monosodique est à proscrire en raison de la sensibilité au sodium des jeunes avocatiers.

L'équilibre minéral observé dans les plants — K est donc principalement influencé par l'absorption limitante de P, parce que le K du noyau a longtemps suffi à l'alimentation potassique de la plante. Nous avons déjà rappelé que la photosynthèse est l'anabolisme du phosphore, et on sait d'autre part que les fortes concentrations de potassium diminuent la respiration, probablement en inhibant les enzymes qui détruisent les carbohydrates. Avant l'exploitation totale des réserves potassiques du noyau, la photosynthèse et la respiration qui seraient toutes deux diminuées dans la plante, influent sur la synthèse protéique et par là sur l'azote assimilé, d'où diminution de la teneur des feuilles en azote.

Comme dans la carence phosphorique seule, les niveaux du calcium (sauf dans les J. F.) et du magnésium (sauf dans les D. F.) sont diminués. La réciproque de l'antagonisme de K sur Ca et Mg n'a donc absolument pas joué, au contraire, d'où forte diminution de la somme des cations dans toutes les catégories de feuilles. C'est le manque de phosphore qui doit

diminuer l'absorption des alcalino-terreux, probablement par l'intermédiaire de leurs transporteurs.

On retrouve également l'effet de la carence phosphorique sur les teneurs en manganèse, bien que leur augmentation soit ici moins accusée et limitée aux J. F. et D. F. Les niveaux du fer restent cette fois encore peu affectés et en légère diminution.

CARENCE EN CALCIUM

Comme dans le cas de la carence en soufre, l'analyse foliaire donne des résultats différents aux premier et second prélèvements. Il sera intéressant, dans une étape ultérieure, de suivre l'absorption des différents éléments par une étude du bilan des solutions.

L'effet principal de la carence en calcium est, avec la très forte diminution des teneurs en calcium, l'augmentation spectaculaire des teneurs en magnésium, qui sont quadruplées. Phosphore et potassium sont diminués dans les jeunes feuilles au premier prélèvement, et aussi au deuxième chez le plant le plus marqué (n° 7 : plant de 12 cm à l'origine). La principale différence entre les deux prélèvements concerne l'azote, qui est diminué à 5 mois mais peu affecté à 8 mois : le manque de calcium limite l'absorption de l'azote surtout au début du développement de la plante. Si, comme l'a signalé FLORELL (4), le calcium favorise la formation des mitochondries, la réduction des nitrates se ferait surtout par voie photochimique, au moins au cours des premiers mois. Les travaux déjà anciens de SKOK (9) et BURSTRÖM (1), par exemple, ont en effet montré que les plantes carencées en calcium ne peuvent pas assimiler les nitrates. Et SKOK en particulier a obtenu des symptômes beaucoup plus légers et une croissance supérieure de 60 p. cent en remplaçant les nitrates par de l'urée. Ceci serait aisé à vérifier chez l'avocatier.

GAUCH (6) a également signalé qu'une plante cultivée sur milieu carencé en calcium pouvait assimiler une quantité appréciable de nitrate si le niveau de magnésium était suffisamment faible. Cela semble se vérifier ici : le plant le plus affecté par la carence calcique est celui dont les feuilles sont les plus riches en magnésium. Mais il est plus vraisemblable qu'il s'agit seulement d'une toxicité du magnésium qui, on le sait par ailleurs, provoque la mort des méristèmes terminaux.

Les autres symptômes observés : réduction des entre-nœuds, petitesse des feuilles à port érigé et parfois asymétriques, sont sans doute les conséquences de la propriété qu'a le calcium d'augmenter l'élasticité des cellules.

Le fer et surtout le manganèse, dont le calcium entrave l'absorption, voient leurs concentrations augmenter dans le cas de carence calcique.

CARENCE EN MAGNÉSIUM

A l'inverse de la carence en calcium, la carence en magnésium diminue peu la croissance : les poids d'organes sont relativement peu affectés, et la hauteur du plant n° 27 était même supérieure à celle des témoins (cf. article précédent). Pourtant le magnésium est l'un des principaux activateurs des réactions enzymatiques dans leur ensemble ; mais il peut probablement être plus facilement remplacé par d'autres métaux dans ces rôles. Le magnésium intervenant dans la constitution de la chlorophylle ne représente qu'une très faible part de cet élément dans la plante.

Les éléments dont les teneurs sont les plus modifiées sont, avec le magnésium lui-même, Ca et K.

L'augmentation du calcium, réciproque de l'aug-

mentation de Mg dans la carence en Ca, montre chez l'avocatier que ces deux éléments utilisent probablement les mêmes sites au moment de leur absorption, puis les mêmes transporteurs.

Relativement au témoin, l'augmentation du potassium est surtout importante chez les vieilles feuilles, de façon assez analogue à ce que nous avons constaté dans la carence en phosphore. Ici le niveau du phosphore est identique à celui du témoin au premier prélèvement, mais il est augmenté au deuxième. Il est possible cependant que ces deux remarques ne soient pas contradictoires ; MAZELIS et STUMPF (8) ont en effet montré que l'ion Mg^{++} était nécessaire, parmi d'autres facteurs, pour l'incorporation du phosphore en A. T. P. ; les plants carencés en Mg, bien que riches en phosphore total peuvent être pauvres en composés phosphorylés à haute énergie, qui sont les composés du phosphore les plus utiles.

Les niveaux d'azote, manganèse et fer, sont peu modifiés par rapport au témoin.

B. CARENCES EN OLIGO-ÉLÉMENTS

Un seul échantillonnage a été fait après 8 mois de carence. Dans la plupart des cas, il est difficile de tirer des conclusions certaines, aussi nous nous bornerons à quelques remarques.

RÉSULTATS

TENEURS EN AZOTE

Chez ces six carences, l'azote est toujours augmenté par rapport au témoin, dans les jeunes feuilles ; surtout chez les carences en cuivre et en bore qui ont provoqué les plus fortes réductions dimensionnelles. Pour cette raison le rapport K/N dans ces jeunes feuilles est diminué, sauf dans le cas des carences en bore et en fer à cause de leur richesse en potassium. Seules certaines vieilles feuilles sont un peu plus pauvres en azote que chez le témoin.

TENEURS EN PHOSPHORE

Les jeunes feuilles sont aussi plus riches en phosphore. Une exception : le plant n° 17, le moins développé des deux carencés en manganèse. Les feuilles D.F. se situent de part et d'autre du témoin, le plant pour

lequel on a conservé une partie du noyau se trouvant également au-dessus du témoin. L'augmentation est particulièrement nette dans le cas de la carence en cuivre.

TENEURS EN POTASSIUM

Les résultats les plus sensibles sont l'augmentation du potassium chez les jeunes feuilles dans le cas des carences en bore et en fer. Cette augmentation existe également chez les vieilles feuilles de la carence en manganèse, où on retrouve avec moins de netteté les résultats des carences en phosphore et en magnésium.

TENEURS EN CALCIUM

Pour les jeunes feuilles, elles sont en général diminuées, particulièrement dans le cas de la carence en bore. Au contraire, elles sont augmentées si la solution nutritive ne contient pas de fer ou de manganèse, effet réciproque de celui que nous avons relevé dans la carence en calcium.

TENEURS EN MAGNÉSIUM

Augmentées dans la carence en cuivre et chez les jeunes feuilles dans la carence en manganèse, elles

sont diminuées chez les plants carencés en fer et en molybdène.

TENEURS EN MANGANÈSE

Elles sont, naturellement, fortement diminuées pour la carence en cet élément. Elles sont augmentées par contre dans le cas des carences en fer, en zinc et en cuivre, ainsi que chez l'un des deux plants de la carence en bore, cela surtout chez les vieilles feuilles.

TENEURS EN FER

Comme pour le manganèse, elles sont surtout augmentées dans le cas des carences en zinc et en cuivre et chez l'un des deux plants carencés en bore. Mais elles ne sont pratiquement pas diminuées par l'absence de fer dans la solution nutritive. Rappelons que les symptômes observés ont été extrêmement bénins.

TENEURS EN BORE

Pour le dosage de cet élément on a dû réunir en un échantillon unique les feuilles homologues provenant des deux répétitions de chaque traitement sur lequel l'analyse a été faite. Les résultats sont donnés dans le tableau VI.

TABLEAU VI
DOSAGES DE BORE (p. p. m.)

	T (série éléments majeurs)	- Ca	T (série oligo-éléments)	- B
JF	25	25	24	11
DF	40	22	22	11
VF	20	34	16	11

(Déterminations aimablement prises en charge par le Département agronomique de la Société "Borax Français" et réalisées par le "Syndicat pour l'Amélioration des Sols")

La valeur 11 p. p. m. correspond donc au minimum au-dessous duquel la feuille meurt. On voit que si la carence en bore diminue les teneurs foliaires en calcium, la carence calcique ne modifie nullement, dans le cas de l'avocatier, les teneurs foliaires en bore. La similitude des effets sur le port de la plante (raccourcissement des entre-nœuds et ramification anarchique) et sur la forme des feuilles chez les deux carences est donc sans doute imputable au déficit calcique dans les deux cas ; le manque de bore étant responsable des nécroses de l'écorce, des nervures et des bouts de feuilles, que l'on n'observe pas dans le cas de la carence calcique.

DISCUSSION

Les symptômes sont rarement apparus en même temps sur les deux plants observés, qui présentaient en général un développement très différent l'un de l'autre. Seuls les deux plants carencés en cuivre ont eu une croissance assez parallèle et des symptômes simultanés : leur analyse concorde justement assez bien. Pour les autres carences, il est souvent difficile de relier entre elles les divergences révélées par l'analyse foliaire d'une part, par la croissance et la symptomatologie d'autre part.

Le plant carencé en bore n° 9 a eu une croissance très inférieure à celle du n° 15 et des symptômes beaucoup plus accusés ; pourtant c'est chez le n° 15 que l'on observe les plus grandes différences de teneurs en calcium et par suite en Mn et Fe. Il est vrai que nous n'avons pas pu distinguer les teneurs en bore de ces deux plants. Par contre, chez les carencés en zinc, le plant le plus petit (n° 14) et le seul à avoir manifesté des symptômes francs, est celui dont les feuilles sont les plus riches en P, Ca et Mg et les plus pauvres en K. Chez les carencés en manganèse, le plant le plus petit et le plus affecté par les symptômes (n° 17), n'est pas le plus pauvre en manganèse ; mais c'est celui qui présente la plus forte augmentation des cations alcalino-terreux, dont l'équilibre avec Mn serait donc le facteur décisif.

Cependant, les symptômes de carences en oligo-éléments se manifestent en général sur les feuilles jeunes, et c'est là que l'on constate les modifications les plus intéressantes. Chez cette catégorie de feuilles, parfois même chez des feuilles plus âgées, les teneurs en azote et phosphore semblent augmentées dans tous les cas ; cela paraît refléter leur difficulté de croissance : l'utilisation de N et P ne suit pas le rythme d'absorption de ces éléments.

Mais il n'en est pas de même pour les cations. En considérant uniquement les jeunes feuilles, on observe que :

— pour la carence en bore, l'augmentation du potassium correspond à une diminution notable du calcium et faible du magnésium. On sait que d'une manière habituelle la déficience en bore entrave l'absorption du calcium.

— pour la carence en cuivre : augmentation du potassium et du magnésium chez un des plants, le calcium restant inchangé.

— pour la carence en manganèse : augmentation du calcium (surtout) et du magnésium et diminution du potassium ; on sait que certains des rôles cataly-

tiques du manganèse et du magnésium sont interchangeables.

— pour la carence en fer : augmentation du potassium et du calcium avec diminution du magnésium.

On voit que les interrelations entre les trois cations

ne sont pas identiques dans les jeunes feuilles et ne se ramènent pas à de simples effets d'antagonismes : ceux-ci jouent au moment de l'absorption des éléments par la racine, beaucoup moins à l'intérieur de la feuille.

TABLEAU Va
SERIE OLIGO-ELEMENTS - RESULTATS DES ANALYSES

		en p. cent de M. S.						p. p. m		
		N	P	K	Ca	Mg	S Cat*	K/N	Mn	Fe
Témoin n° 11	JF	1,69	0,120	1,09	0,56	0,200	72,3	0,65	60	66
	DF	1,59	0,095	0,74	1,02	0,305	94,0	0,47	88	77
	VF	1,74	0,083	0,61	1,74	0,700	160,1	0,35	247,5	61
n° 16	JF	1,52	0,140	0,97	0,71	0,248	80,8	0,64	42	65
	DF	1,79	0,134	0,95	1,61	0,450	141,8	0,53	78	65
	VF	1,83	0,130	0,71	2,13	0,710	183,1	0,39	143	44
-Mo n° 8	JF	1,80	0,125	0,90	0,55	0,200	67,0	0,50	40	75
	DF	1,76	0,096	0,80	1,05	0,262	94,5	0,46	102	87
	VF	1,63	0,077	0,57	1,75	0,550	147,3	0,35	212	79
n° 19	JF	1,67	0,150	1,12	0,43	0,202	66,8	0,67	35	62
	DF	1,96	0,111	0,64	1,04	0,303	93,3	0,33	94	65
	VF	1,98	0,095	0,54	1,82	0,580	152,5	0,27	258	65
-Zn n° 14	JF	1,96	0,120	1,02	0,72	0,271	84,3	0,52	75	60
	DF	1,98	0,100	0,67	1,85	0,440	145,9	0,34	143	102
	VF	1,57	0,077	0,40	2,24	0,600	171,6	0,25	212	83
n° 18	JF	1,76	0,190	1,21	0,59	0,229	74,3	0,69	56	93
	DF	2,01	0,110	1,04	0,97	0,300	99,8	0,52	150	62
	VF	2,06	0,096	0,95	1,44	0,430	131,7	0,46	310	62
-B n° 9	JF	2,22	0,188	1,52	0,51	0,229	78,3	0,72	52	58
	DF	2,38	0,127	1,05	0,94	0,370	104,3	0,44	85	63
	VF	1,98	0,102	0,77	1,34	0,428	121,0	0,39	140	67
n° 15	JF	2,24	0,190	1,44	0,44	0,225	77,4	0,64	60	73
	DF	2,00	0,089	0,73	1,20	0,342	106,9	0,37	193	81
	VF	1,77	0,077	0,48	1,65	0,580	142,5	0,27	279	62
-Cu n° 13	JF	2,63	0,185	0,90	0,30	0,211	55,5	0,34	48,5	83
	DF	2,43	0,184	0,80	1,19	0,495	120,6	0,33	167,5	96
	VF	1,81	0,105	0,41	2,90	1,0	238,5	0,23	500	76
n° 20	JF	2,61	0,172	1,31	0,70	0,345	97,0	0,50	69	76
	DF	2,25	0,156	1,37	1,68	0,690	175,8	0,61	257,5	70
	VF	1,68	0,095	0,97	2,12	0,820	198,2	0,58	367	69
-Mn n° 10	JF	2,05	0,146	1,13	0,54	0,249	76,5	0,55	8	63
	DF	2,55	0,111	0,91	1,12	0,363	109,2	0,36	13	59
	VF	2,10	0,099	0,86	1,24	0,455	121,4	0,41	29	59
n° 17	JF	2,00	0,105	0,77	1,82	0,365	140,8	0,38	18	50
	DF	2,17	0,103	0,94	1,44	0,354	125,2	0,43	8	69
	VF	1,83	0,090	0,98	2,13	0,580	179,3	0,54	68	75
-Fe n° 12	JF	1,85	0,124	1,84	0,78	0,180	101,0	1,00	60	54
	DF	1,84	0,135	1,09	0,70	0,232	82,0	0,59	10	63
	VF	1,97	0,103	0,58	2,00	0,510	156,9	0,29	250	57
n° 21	JF	1,94	0,194	1,47	0,62	0,187	94,2	0,76	60	65
	DF	2,05	0,105	0,71	1,30	0,289	107,0	0,35	130	68
	VF	1,57	0,084	0,67	2,82	0,670	213,3	0,43	280	50

* - S Cat = somme des cations K, Ca, Mg en milliéquivalents pour 100 grammes.

TABLEAU Vb
SERIE OLIGO-ELEMENTS
EN P. CENT DU TEMOIN CORRESPONDANT

		N	P	K	Ca	Mg	SCat	Mn	Fe
-Mo n° 8	JF	107	104	83	98	100	93	67	114
	DF	111	101	108	103	86	100	116	113
	VF	94	93	94	101	79	92	86	130
n° 19	JF	110	107	116	61	82	83	95	
	DF	110	83	68	65	68	66	121	100
	VF	108	73	76	86	82	83	180	148
-Zn n° 14	JF	116	100	93	129	136	117	125	90
	DF	125	106	91	161	144	155	163	133
	VF	91	93	66	129	86	107	86	136
n° 18	JF	116	136	125	83	93	92	133	143
	DF	112	82	110	60	65	71	192	95
	VF	113	74	134	68	61	72	217	141
-B n° 9	JF	131	157	140	91	115	108	87	88
	DF	150	134	142	92	121	111	97	82
	VF	114	123	126	77	61	76	57	110
n° 15	JF	147	136	149	62	91	96	143	112
	DF	112	67	77	75	76	76	247	125
	VF	97	59	68	78	82	78	195	141
-Cu n° 13	JF	156	154	83	54	106	76	81	126
	DF	153	194	108	117	162	128	190	125
	VF	104	127	67	167	140	149	202	125
n° 20	JF	172	123	135	99	138	120	164	117
	DF	126	116	144	104	153	124	330	108
	VF	92	73	137	100	115	108	257	157
-Mn n° 10	JF	122	122	103	97	125	106	13	96
	DF	161	117	123	110	119	116	15	77
	VF	121	119	141	72	65	76	12	97
n° 17	JF	132	75	80	256	147	174	43	77
	DF	121	78	99	90	79	89	10	106
	VF	100	70	138	100	82	98	47	171
-Fe n° 12	JF	110	103	169	139	90	140	100	82
	DF	116	142	147	69	76	87	(11)	82
	VF	113	124	95	115	73	100	101	93
n° 21	JF	128	139	152	109	71	117	143	100
	DF	115	79	75	81	65	76	167	105
	VF	86	65	95	132	95	117	196	114

C. CONCLUSIONS

Nous avons dû nous limiter pour l'analyse foliaire des deux essais (éléments majeurs et oligo-éléments), à l'analyse de 5 à 8 éléments selon le cas. Le but premier de cette étude était l'observation des symptômes carentiels : l'analyse minérale n'a été qu'un complément.

Elle a fourni cependant des références sur les niveaux normaux et carentiels de plusieurs de ces éléments dans la feuille d'avocatier (feuilles appelées D. F.), dont la comparaison avec les données de la bibliographie (3) est en général satisfaisante.

Les teneurs en azote sont inférieures à 1,5 p. cent chez les plants carencés en cet élément, donc effectivement en-dessous du seuil 1,6 p. cent donné par EMBLETON. Les teneurs normales, celles des témoins, diffèrent entre les séries éléments majeurs et éléments mineurs, qui ont été réalisées à des époques à peine décalées et avec des solutions identiques : 2,35 et 2,10 p. cent dans le premier cas, 1,6 et 1,8 dans le second, qui correspond parfaitement aux normes admises par EMBLETON (1,6-2,0 p. cent). Ces différences s'expliquent sans doute par le fait que les plantules de la série éléments majeurs avaient été repiquées avec leur noyau, tandis que celui-ci avait été supprimé dans la série oligo-éléments, dont les plants ont ainsi pu perdre plus rapidement un caractère juvénile responsable des teneurs en azote supérieures aux normes. Il ne faut pas oublier que celles-ci ont été établies pour des arbres adultes, et pour des feuilles un peu plus âgées que nos D. F.

La carence en phosphore correspond bien à des teneurs en cet élément inférieures à 0,05 p. cent, comme indiqué par EMBLETON, et le niveau normal obtenu (0,095 à 0,13 p. cent) se situe lui aussi dans les normes de cet auteur : 0,08 à 0,25 p. cent.

Le potassium avec 0,7 à 0,9 p. cent se situe vers la limite inférieure de l'optimum cité (0,75-2,0 p. cent) ; il est possible que la formule de solution utilisée soit un peu faible en potassium, pour les raisons qui ont été données plus haut, mais les influences des conditions de végétation (climat de la Côte d'Ivoire, alimentation par solutions) peuvent également être importantes. En effet, les plants carencés en potassium ont peu souffert de cette déficience elle-même et couvrent des teneurs voisines : 0,6-0,7 p. cent, très supérieures au seuil de carence 0,35 p. cent d'EMBLETON.

Par contre, pour le calcium et le magnésium nos plants carencés sont bien venus se placer, avec 0,05 p. cent de Ca ou 0,02 p. cent de Mg, très en-dessous des seuils de carence indiqués (respectivement 0,5 et 0,15 p. cent). Les niveaux des témoins, 0,9 à 1,6 p. cent de Ca et 0,27 à 0,45 p. cent de Mg, se trouvent comme pour P et K vers la limite inférieure des normes d'EMBLETON (1,0 à 3,0 p. cent de Ca, 0,25 à 0,80 p. cent de Mg). Il en va de même pour le fer (témoin : 46 à 77 p. p. m., normes : 50 à 200 p. p. m.) et pour le manganèse (témoin : 59 à 89 p. p. m., normes : 30 à 500 p. p. m.).

Le bore se place même en-dessous des normes (témoin : 22 à 40 p. p. m., normes : 50 à 100 p. p. m.) ; pour cet élément les résultats sont moins facilement comparables, eu égard à la diversité des méthodes de dosage ; cependant nous pourrions envisager d'augmenter sa concentration dans notre solution nutritive témoin. Les carences en B avec 11 p. p. m., en Mn avec 8 à 13 p. p. m., se situent bien vers les limites de déficience données par EMBLETON (10 à 20 p. p. m. pour le premier, 10 à 15 pour le second) ; pour Fe nous avons vu qu'il n'y avait pour ainsi dire pas eu de carence réelle, donc les 63 à 70 p. p. m. obtenus ne contredisent pas les limites 20-40 p. p. m. indiquées par cet auteur.

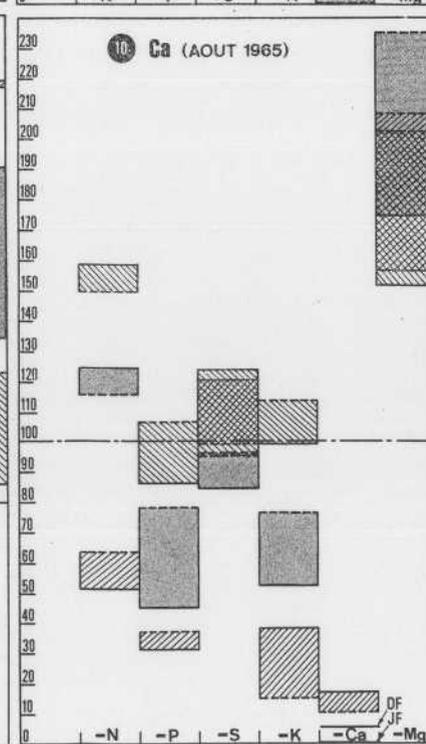
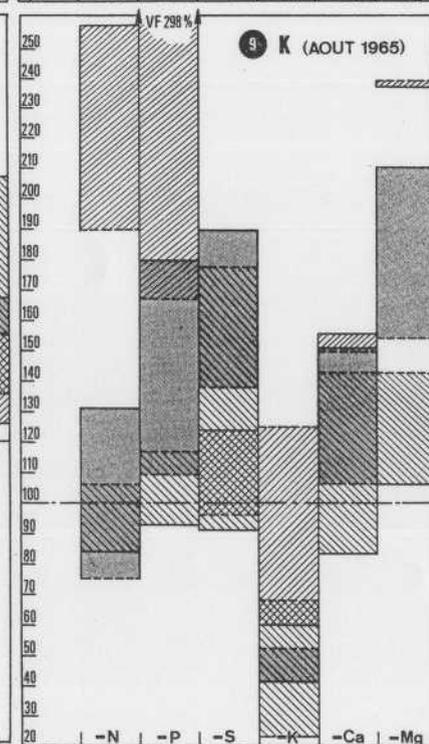
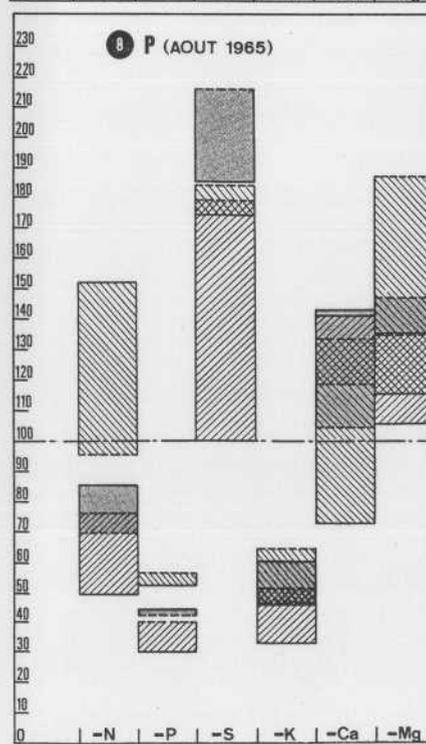
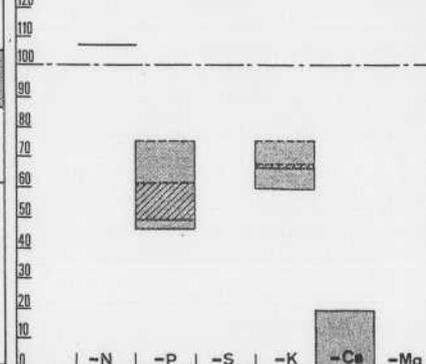
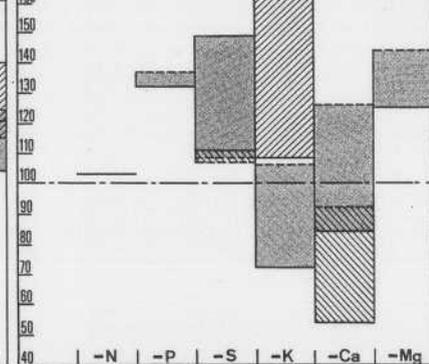
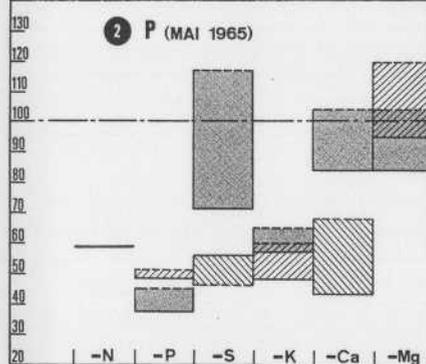
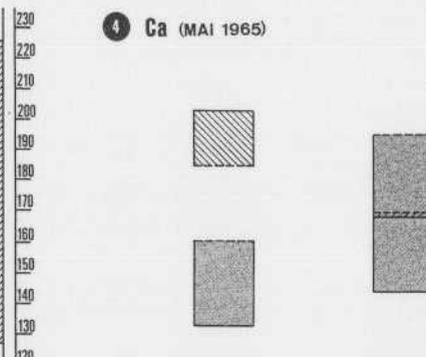
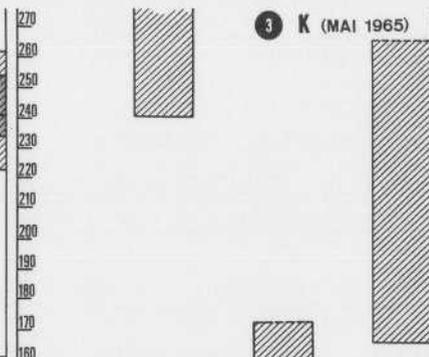
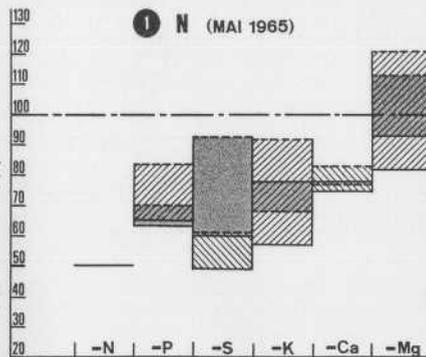
Le fait que pour les sept éléments P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, B (et même pour N chez la série oligo-éléments) les résultats des témoins se situent toujours dans la partie inférieure des normes admises ou même un peu en dessous, mais jamais dans leur partie supérieure, ne doit pas surprendre. Il ne s'agit guère d'un caractère de jeunesse des plants ou de leurs feuilles, car aux faibles valeurs de Ca et Mg devraient alors correspondre des valeurs plus élevées de P et K (comme pour N dans la série éléments majeurs). Mais EMBLETON lui-même présente sa grille comme « tentative », et les maxima indiqués paraissent avoir été évalués assez larges, englobant probablement la zone des consommations de luxe ou à tout le moins s'en rapprochant. La végétation très rapide des plants en hydroponique, fruit d'un équilibre entre les divers éléments de la solution satisfaisant à quelques détails près, s'est traduite par une utilisation intense des éléments absorbés, tout à l'opposé de la consommation de luxe pour aucun d'entre eux.

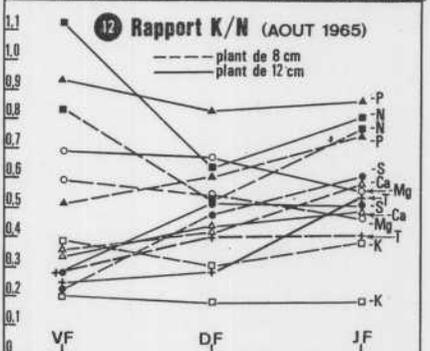
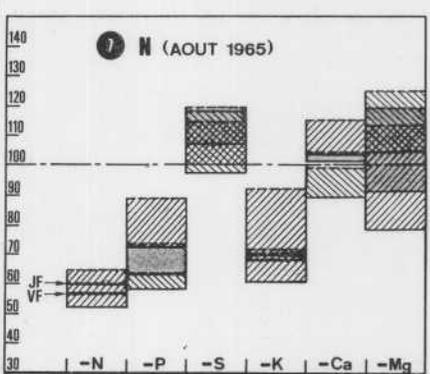
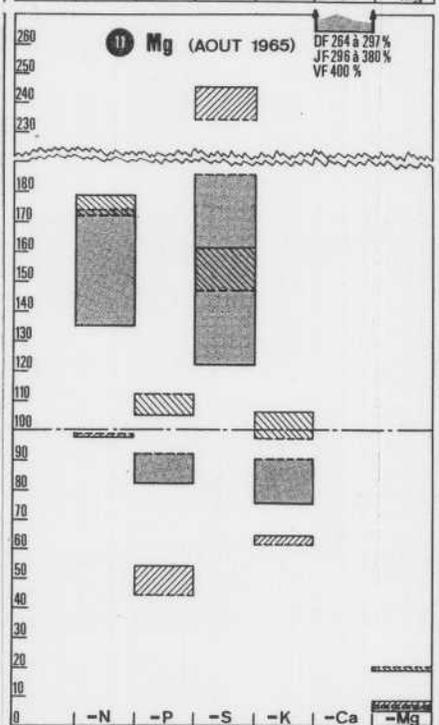
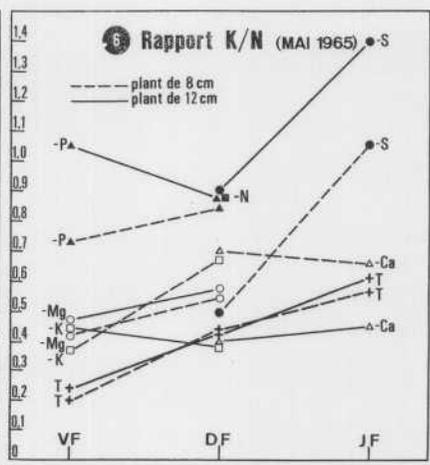
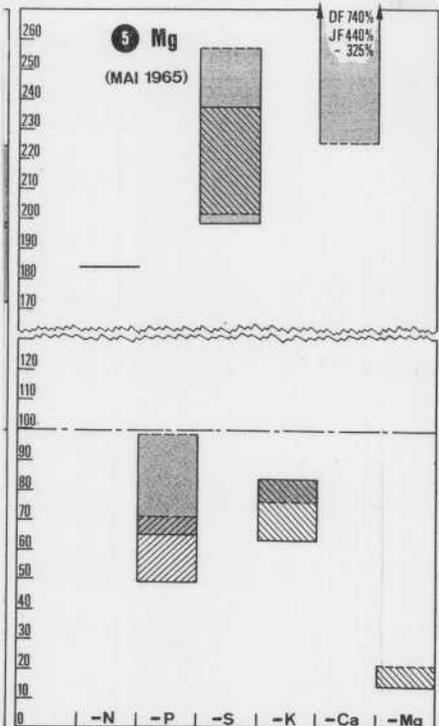
Cette étude a également montré quelles sont les *conséquences de carences totales sur l'équilibre minéral des feuilles* de jeunes plants.

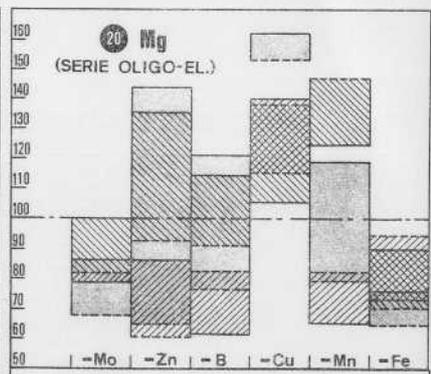
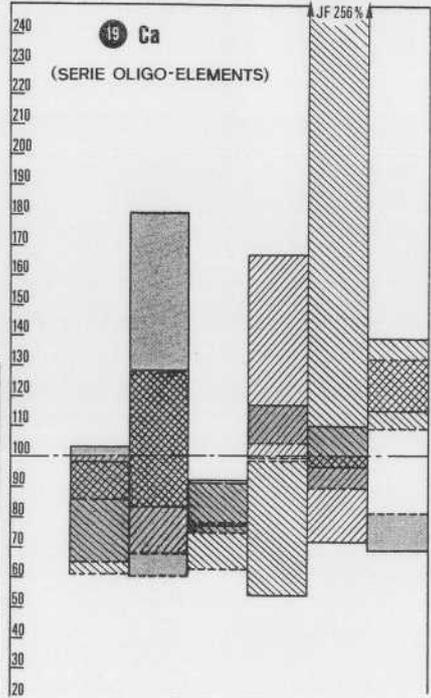
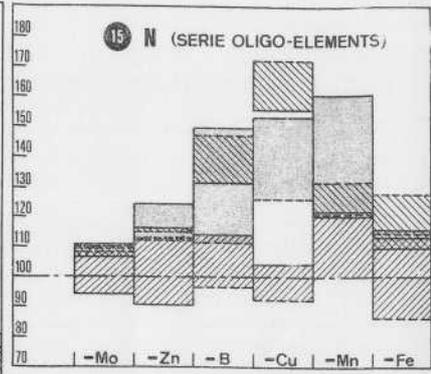
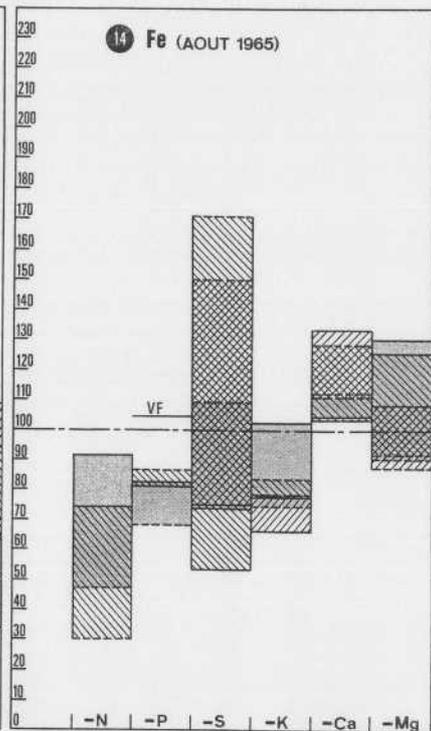
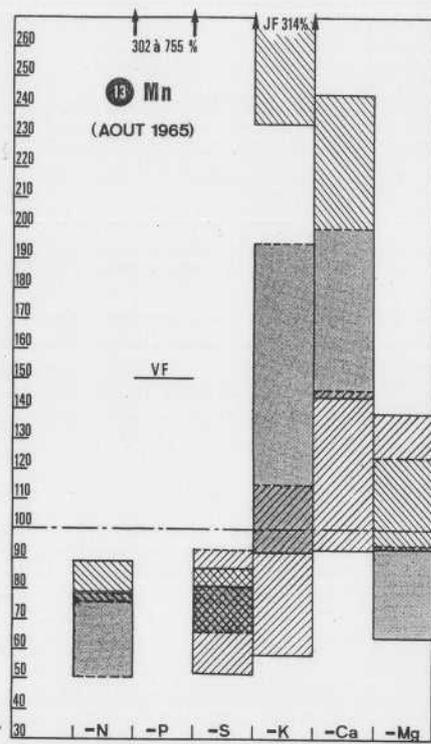
Cependant l'analyse minérale se borne à la constatation de certains résultats, d'autres ayant d'ailleurs pu nous échapper, et ne permet absolument pas de les expliquer sans l'aide de travaux antérieurs. Les données analytiques obtenues dans ces expériences de carences totales sur plantes entières peuvent faire progresser la pratique du diagnostic foliaire, comme l'ont déjà montré les résultats d'autres chercheurs, en particulier par la mise en évidence des principales interactions, de leurs sens, de leur réciprocité ou non-réciprocité.

Ainsi, en regroupant les observations effectuées dans les diverses carences, on constate que :

- la diminution de N entraîne la diminution de P et réciproquement ;
- P et Ca varient l'un et l'autre dans le même sens, avec un parallélisme déjà moins net ; et pour N et Ca on peut relever seulement une tendance aux variations parallèles, dénotant une interaction plus lâche ;
- la diminution de B entraîne celle de Ca, la diminution de P entraîne celle de Mg, mais l'inverse n'est pas vrai ;







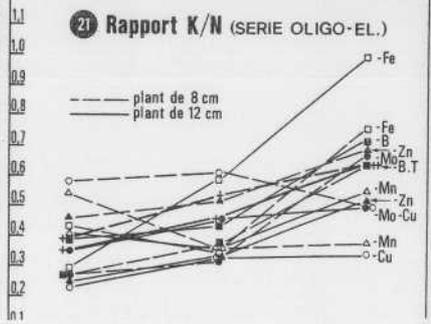
LEGENDE DES GRAPHIQUES 1 à 23

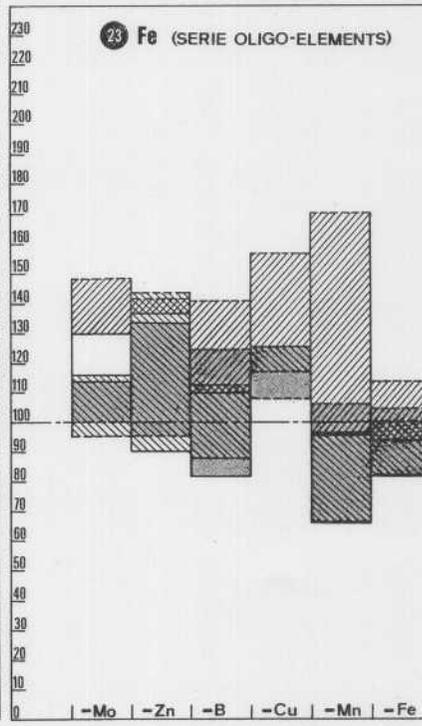
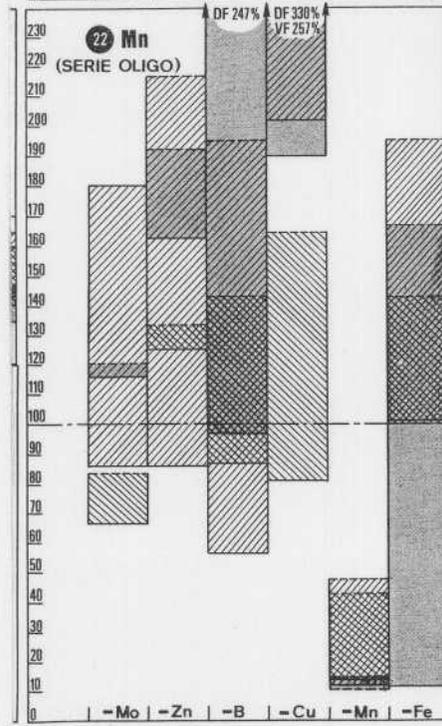
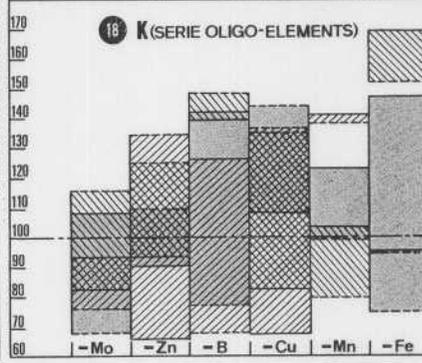
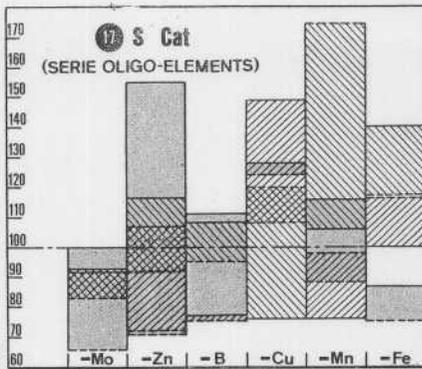
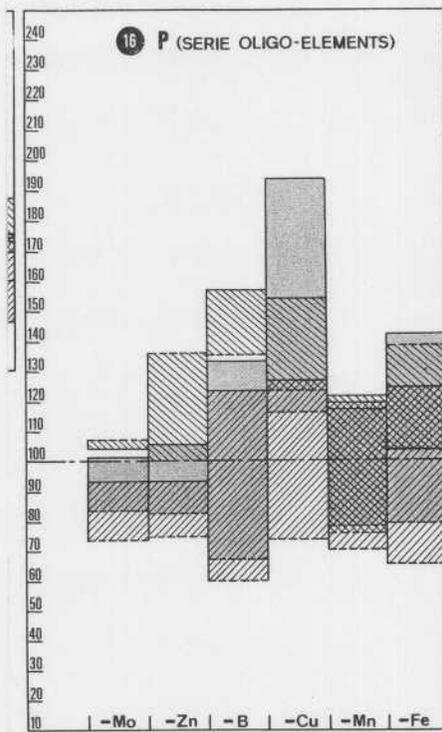
----- Valeur chez le plant de 8 cm
 ——— Valeur chez le plant de 12 cm

JF
 DF
 VF

les rectangles grisés indiquent l'âge des feuilles dont il s'agit: jeune feuille, vieille feuille et diagnostic foliaire.

----- 100% du témoin





- Ca et Mg se comportent en antagonistes presque parfaits ;
- Mg entraîne un mouvement inverse de K, Ca présente la même tendance lorsqu'il s'agit d'antagonisme secondaire (c'est-à-dire lorsque sa diminution est seulement une conséquence de celle de N, P ou B), mais K n'entraîne pas de mouvement opposé de Ca et Mg ;
- La déficience en P fait augmenter Mn, la déficience en Ca fait croître Mn et Fe, la réciproque est vraie pour Ca mais pas pour P.

Une telle étude conduit logiquement à étudier les rôles métaboliques de chacun des éléments minéraux, pour rechercher l'explication des résultats observés. Mais pour cela l'analyse minérale, même complétée par la détermination du soufre et de tous les oligo-éléments, ne pourrait suffire.

Par ailleurs, il apparaît nécessaire d'étudier plus précisément la phase d'utilisation des réserves du noyau, c'est-à-dire le début de la vie en pépinière, qui est important tant sur le plan agronomique que sur celui de la physiologie proprement dite.

BIBLIOGRAPHIE

1. BURSTRÖM (H.). — Studies on growth and metabolism of roots. X. Investigations of the calcium effect. *Physiol. Plantarum*, vol. 7, n° 2, p. 332-342 (1954).
2. CHAPMAN (H. D.). — Techniques proposées pour le prélèvement et la manutention des échantillons foliaires, *Fruits*, vol. 19, n° 7, p. 367-377 (1964).
3. EMBLETON (T. W.) et JONES (W. W.). — Avocado and Mango nutrition, in : *Nutrition of fruit crops : temperate, subtropical, tropical*. Ed. by N. F. Childers, New Brunswick (U. S. A.), 1966, p. 51-76.
4. FLORELL (C.). — The influence of calcium on root mitochondria *Physiol. Plantarum*, vol. 9, n° 2, p. 236-242 (1956).
5. FULMER (F. S.). — Variations in the phosphorus and potassium content of the foliage from Fuerte avocado groves, *Calif. Avocado Soc. Yearbook*, p. 93-100 (1945).
6. GAUCH (H. G.). — Mineral nutrition of plants. *Ann. Rev. of Plant Physiol.*, vol. 8, p. 31-64 (1957).
7. LYNCH (S. J.). — Avocado and Mango, in : *Mineral nutrition of fruit crops*. Ed. by N. F. Childers, New Brunswick (U. S. A.), 1954, p. 75-120.
8. MAZELIS (M.) et STUMPF (P. K.). — Fat metabolism in higher plants. VI. Incorporation of P³² into peanut mitochondrial phospholipids, *Plant Physiology*, vol. 30, n° 3, p. 237-243 (1955).
9. SKOK (J.). — *Plant Physiol.*, 16, p. 145-159 (1941).

P. L.
(6694)



Spiea
58 av. Kléber
Paris 16^e