

Les oligo-éléments Cu, Fe, Mn, Zn dans le bananier

Niveaux foliaires et bilans

J. MARCHAL et P. MARTIN-PRÉVEL

Institut français de Recherches fruitières Outre-Mer

LES OLIGO-ELEMENTS Cu, Fe, Mn, Zn DANS LE BANANIER
NIVEAUX FOLIAIRES ET BILANS

J. MARCHAL et P. MARTIN-PRÉVEL (IFAC)

Fruits, Jul.-aug. 1971, vol. 26, n° 7-8, p. 483-500.

RESUME - L'analyse du limbe des feuilles I et III au stade végétatif ou de celui de l'avant-dernière feuille au stade récolte ne suffit pas toujours pour diagnostiquer un défaut de nutrition du bananier en certains oligo-éléments. Un excès de cuivre a été décelé par l'analyse d'organes conducteurs. Au moins dans les premiers stades, la déficience en zinc n'induit pas une diminution de teneur des limbes en cet élément mais une réduction de l'émission foliaire, accompagnée (en hydroponique) d'une élévation du phosphore.

L'excès de manganèse provoque des symptômes assez proches de ceux de la carence, dont les niveaux sont voisins de 25 ppm dans les zones 1/3 des feuilles I et III au stade végétatif. Les besoins quantitatifs en manganèse sont faibles. Ses mouvements dans la plante ont été étudiés par l'analyse de la fraction immédiatement soluble.

Les exportations en fer sont très réduites. Une déficience probable en cet élément paraît due à une carence du sol en phosphore et non pas au pH.

Dans le bananier comme dans toute plante, les oligo-éléments contrôlent la physiologie en intervenant, avant tout, comme catalyseurs de réactions. Malgré leur rôle essentiel, leur faible importance en quantité rend leur étude délicate. Chez le bananier, si d'assez nombreux travaux traitent des effets de leurs carences, très peu donnent d'indications sur les teneurs foliaires.

On se propose d'étudier l'importance de quatre de ces oligo-éléments (Cu, Fe, Mn, Zn) dans les limbes mais aussi dans les autres organes. D'une part on recherchera si les limbes

sont bien les organes convenant à leur diagnostic : ainsi, pour les éléments majeurs, les nervures donnent des indications plus précises sur la nutrition du bananier en cations. D'autre part on tentera de déterminer les niveaux pouvant être la cause de symptômes de déficience ou excès.

Le bilan des immobilisations en fer et manganèse a été établi au Cameroun occidental et en Martinique à différents stades de développement pour suivre leur évolution dans la plante et chiffrer les exportations.

MATÉRIEL ET MÉTHODE

La technique d'échantillonnage foliaire a été décrite dans une publication récente (10). Au stade de la différenciation florale, on prélève sur la feuille la plus jeune entièrement déployée (F I) et sur la F III, dans la partie la plus large du demi-limbe le premier déroulé, une bande que l'on découpe en deux échantillons : 1/3 le plus proche de la nervure, et 2/3 restants. Au stade récolte commerciale, on pratique le même découpage sur la feuille II, les émissions foliaires nettement bractéales n'étant pas comptées ; ces échantillons sont désignés par l'abréviation ADFC (avant-dernière feuille au stade coupe) 1/3 et 2/3.

En outre au Cameroun oriental, en particulier pour le dosage du cuivre et du zinc au stade coupe, ont été analysés : la partie de la nervure centrale de l'ADFC correspondant aux deux zones de limbe prélevées, un échantillon de la peau des fruits et un de leur pulpe. Soit au total sept organes ou échantillons différents (6).

Pour le fer et le manganèse on a profité de la réalisation d'une étude de bilans totaux au Cameroun occidental et en Martinique, suivant la méthode des essais sol-plante de 1965 (9), pour mesurer les immobilisations en ces deux

métaux. Dans l'essai du Cameroun, en plus du dosage de la teneur totale des éléments dans la matière sèche, la fraction immédiatement soluble du manganèse a été dosée, comme d'ailleurs celle de N, P, K, Mg (11). Cette analyse est effectuée sur la sève extraite soit par râpage et centrifugation (organes contenant suffisamment d'eau : racines, souche, gaines, hampe, feuilles immatures, peau des bananes), soit par broyage au mixer avec apport d'eau (organes peu aqueux : limbes, pétioles et nervures, pulpe des bananes).

Une autre partie des résultats provient de l'étude des carences obtenues artificiellement en Côte d'Ivoire (1). Pour chaque culture sur solution carencée en un élément, deux bananiers ont été utilisés et les prélèvements foliaires ont été effectués à 4 1/2 mois sur les feuilles I, II, III et celle intermédiaire entre la feuille III et la feuille vivante la plus ancienne : soit généralement la feuille VI, parfois la feuille V.

Dans tous les cas, éléments totaux ou solubles, les dosages sont effectués par photométrie d'absorption atomique après minéralisation des échantillons par voie sèche.

LE CUIVRE

Cet élément indispensable, mais en très faibles quantités, fait rarement défaut chez le bananier ; un seul cas de carence (mais collectif et durable) a été observé sur les tourbières du Nieké en Côte d'Ivoire (14).

- Niveaux foliaires courants

Au stade végétatif, les feuilles I et III prélevées sur le terrain ont des teneurs en cuivre comprises entre 8 et 15 ppm pour les zones 1/3 et 2/3, quel que soit le pays d'origine : Côte d'Ivoire, Antilles, Cameroun. En culture sur solution en Côte d'Ivoire (1), les teneurs sont de même ordre (tableau 1) ; le gradient 1/3 - 2/3 est cependant négatif alors qu'en champ il est positif.

Au stade coupe, les niveaux dans l'ADFC sont très faibles : 2 à 5 ppm, la zone 1/3 étant

la moins pauvre. Le cuivre diminue donc dans le limbe avec l'âge de la plante comme l'indiquent TWYFORD et WALMSLEY (17).

Tableau 1 - Teneurs en cuivre des limbes chez les bananiers 'Poyo' âgés de 4 1/2 mois. Cultures sur solutions, série oligo-éléments, tous traitements.

Cu (ppm de MS)	F I	F II	F III	F VI
1/3	5 - 14	5 - 25	8 - 16	5 - 11
2/3	5 - 10	4 - 10	5 - 14	5 - 9

- Excès de cuivre

Cependant les limbes ne sont pas les meilleurs organes de diagnostic de la nutrition en cuivre :

• Leurs niveaux toujours faibles ne permettent pas une grande précision de l'analyse.

• Le cuivre étant un stimulateur de croissance, les organes conducteurs ou en pleine croissance doivent être plus riches et plus sensibles ; ainsi les plus fortes teneurs observées par TWYFORD et WALMSLEY (17) sont, en période végétative, celles des feuilles non émergées et à maturité celles des gaines, hampe interne et inflorescence.

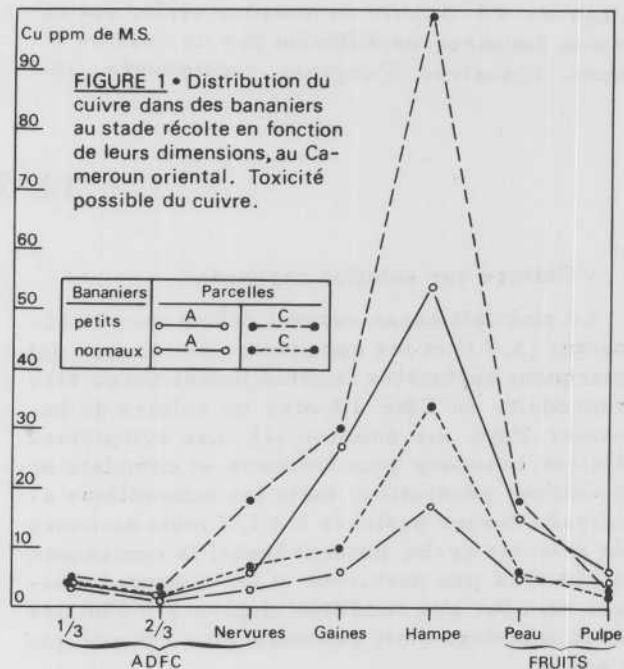
• La plus grande sensibilité d'organes autres que la feuille a été montrée au Cameroun oriental par l'échantillonnage de bananiers au stade coupe selon la méthode des sept organes, indiquée ci-avant.

Ces bananiers ont été cultivés à une même époque et dans les mêmes conditions sur trois parcelles voisines A, B, C dont l'analyse de sol était très différente (5). En particulier A était moins riche en phosphore mais plus riche en azote total. Sur ces trois parcelles, un certain nombre de bananiers ont eu leur croissance retardée et même des déformations morphologiques.

- Au stade végétatif, la feuille III des bananiers les plus petits de la parcelle A, la première et la plus atteinte par ces anomalies, tend à être plus riche en cuivre : 11 ppm dans la zone 1/3 et 21 dans la zone 2/3, contre 10 et 15 ppm pour les parcelles B ou C.

- A la récolte les bananiers les plus petits des trois parcelles - élimination faite des plants les plus atteints qui n'ont pu être échantillonnés - sont les plus riches en cuivre dans tous les organes analysés et tout particulièrement dans les organes de conduction : gaines et hampe. La figure 1 ne montre que les résultats des parcelles A et C ; les observations morphologiques comme les augmentations des teneurs en cuivre, étaient atténuées dans la parcelle B.

Ces résultats indiquent d'une part que les organes de conduction, gaines et hampe, doivent permettre un diagnostic plus précis du cuivre grâce à leurs teneurs toujours supérieures à celles du limbe (bananiers normaux ou non) et à une plus grande sensibilité, la différence entre grands et petits bananiers étant plus nette dans ces organes ; d'autre part qu'il y aurait chez les petits bananiers un excès de cuivre ayant un effet toxique. A la récolte, la parcelle C, alors la plus affectée par la réduction de croissance, est aussi la plus riche en cuivre. Il est d'ailleurs connu que pour différentes



plantes en culture sur solution l'excès de cuivre provoque une réduction de croissance (15).

Les causes hypothétiques de cet excès de cuivre dans les bananiers peuvent être diverses :

- excès dans le sol : malheureusement le cuivre n'y a pas été dosé ;
- interaction entre phosphore et cuivre dans le sol et la plante : la parcelle A est la moins riche en phosphore, la parcelle B est la plus riche ;
- interaction entre le cuivre et l'ensemble phosphore-manganèse dans la parcelle D, dont les bananiers sont particulièrement pauvres en manganèse.

- Culture sur solution carencée en cuivre

Les symptômes observés par M. MOITY sur le terrain (14) n'ont pas donné lieu à analyses, les traitements préventifs s'étant généralisés dans toute la zone affectée avant que notre laboratoire ne soit convenablement équipé. La culture sur solution totalement carencée en cuivre (1) n'a pas pu reproduire ces symptômes, observés exclusivement dans les tourbières du Nieké et peut-être tributaires de leurs conditions particulières : acidité, produits organiques de dégradation. Elle n'a provoqué qu'un affaiblissement général de la plante, surtout visible en deuxième génération. A

l'âge de 4 1/2 mois en premier cycle, les niveaux foliaires ne diffèrent pas de ceux du témoin. L'analyse d'organes conducteurs, im-

praticable dans les conditions de l'étude, aurait peut-être fourni quelques indications malgré l'absence de symptômes définis.

LE ZINC

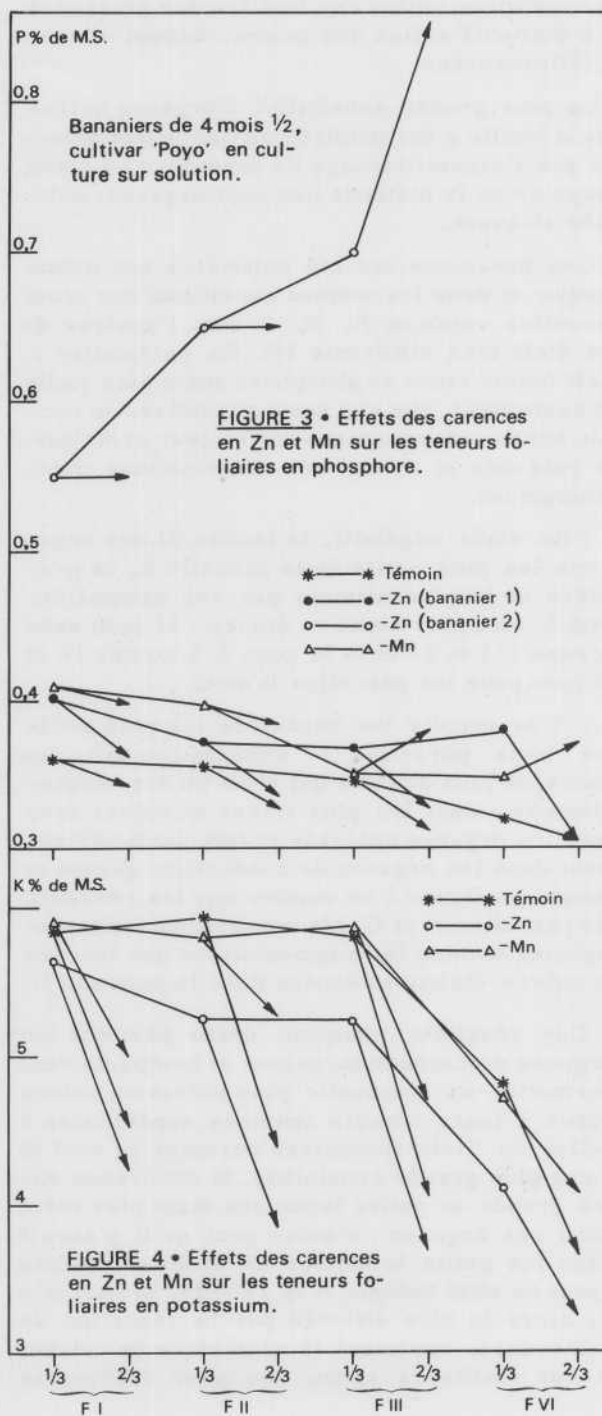
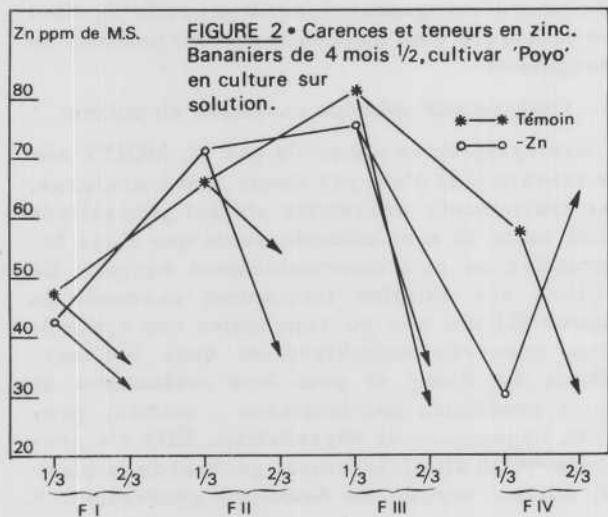
- Culture sur solution carencée

Le zinc fait assez souvent défaut chez le bananier (3, 13) et les symptômes de carence qui marquent surtout les feuilles jeunes ont pu être reproduits en Côte d'Ivoire en culture de bananier Poyo sur solution (1). Les symptômes étaient beaucoup plus intenses et complets en deuxième génération, mais les échantillons analysés furent prélevés à 4 1/2 mois au cours du premier cycle, pendant lequel la croissance a été très peu perturbée et les niveaux foliaires en zinc peu modifiés (figure 2); l'un des deux bananiers était cependant plus retardé que l'autre.

Si l'on compare les teneurs foliaires en zinc des bananiers cultivés sur solutions carencées en divers oligo-éléments, les uns ayant provoqué l'apparition de symptômes nets, (bore, manganèse, zinc) les autres non (cuivre, molybdène, fer), on constate que :

- la carence en zinc abaisse le plus les niveaux de cet élément dans la feuille I zone 1/3.

- les carences des autres oligo-éléments, cuivre en particulier, diminuent encore plus le zinc dans les feuilles plus âgées.



En champ nous avons pu vérifier que les niveaux foliaires en zinc de bananiers présentant des symptômes typiques de carence n'étaient pas ou étaient peu modifiés. Or cette carence provoque une réduction de l'émission foliaire et un ralentissement de la croissance qui pourraient donc causer une régulation de la distribution en zinc : la diminution de la masse de zinc disponible abaisse la masse végétale synthétisée et le niveau est sensiblement maintenu.

Par contre, en culture en solution, la suppression totale du zinc a un effet très marqué sur l'absorption du phosphore (figure 3). Cette interaction négative déjà mise en évidence chez d'autres plantes (2) est très nette chez le bananier présentant les symptômes les plus accentués dès le premier cycle, bien que ses teneurs en zinc ne soient pas inférieures. Le potassium, pour sa part, diminue, indépendamment de l'intensité des symptômes (figure 4), avec élévation antagonique du magnésium.

- Niveaux en zinc dans les feuilles

Au stade végétatif en culture hydroponique, les niveaux en zinc, même sur solution carencée, suivent un gradient négatif (de la zone 1/3 à la zone 2/3) et sont plus élevés qu'au champ, où les feuilles I et III ont des teneurs identiques avec gradient 1/3 - 2/3 positif :

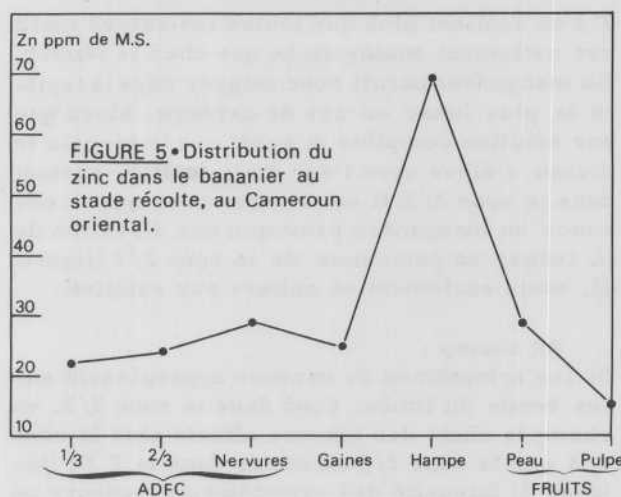
- au champ F I ou F III 1/3 · 18 à 36 ppm
- 2/3 · 26 à 43 ppm

Ce gradient est variable au stade récolte, analysé seulement au champ, avec des minima plus faibles qu'en phase végétative :

- au champ ADFC 1/3 · 11 à 30 ppm
- 2/3 · 7 à 55 ppm

- Distribution du zinc dans le bananier (figure 5).

Si la hampe est l'organe le plus riche de la



plante, les teneurs des limbes sont cependant suffisantes pour permettre une analyse précise du zinc. Il n'est toutefois pas possible de juger si ces limbes sont assez sensibles aux variations de nutrition en zinc, la recherche de la déficience en cet élément par diagnostic foliaire n'ayant été effectuée que sur ceux-ci et sans grand succès ; d'autres organes l'auraient peut-être mise en évidence. Le zinc étant un activateur des enzymes responsables de la synthèse des précurseurs de l'auxine (tryptophane), les organes en pleine croissance, en particulier les méristèmes, pourraient être les plus sensibles à la déficience ; au stade végétatif, les feuilles immatures devraient donc mieux convenir au diagnostic. A la récolte, seuls les fruits peuvent être le siège d'une certaine croissance, mais la pulpe est l'organe le plus pauvre de la plante.

Cependant, si l'élévation de teneur en phosphore vient à se confirmer, le rapport P/Zn dans le limbe pourrait être un bon indice de la déficience en zinc.

LE MANGANÈSE

- Carence

Sur solution :

La carence en manganèse du bananier n'est pas très rare en champ, sur sols à pH élevé (elle peut être provoquée par un surchaulage) ou sur sols très lessivables. Elle a pu être reproduite

très fidèlement en hydroponique (1). Ses effets sur les niveaux foliaires en manganèse sont alors très marqués et en accord avec les symptômes observés (tableau 2, figure 6). Les feuilles adultes les plus actives F II et F III, les premières atteintes, sont les plus pauvres ; la

F I en contient plus que toutes les autres mais est nettement moins riche que chez le témoin. Le manganèse paraît donc migrer vers la feuille la plus jeune en cas de carence, alors que sur solution complète et aussi sur le terrain le niveau s'élève avec l'âge de la feuille, surtout dans la zone 2/3. Il est à remarquer que la carence en manganèse provoque une élévation de la teneur en potassium de la zone 2/3 (figure 4), mais seulement en culture sur solution.

Au champ :

Si les symptômes de carence apparaissent sur les bords du limbe, donc dans la zone 2/3, en champ la chute des teneurs affecte plus la zone 1/3 que la zone 2/3 au moins dans la F III (tableau 3). Intensité des symptômes et teneurs en manganèse sont en bonne corrélation. Une carence accusée en champ ou sur solution induit des teneurs foliaires identiques dans la F III 1/3. Les niveaux probables de carence sont donc voisins de :

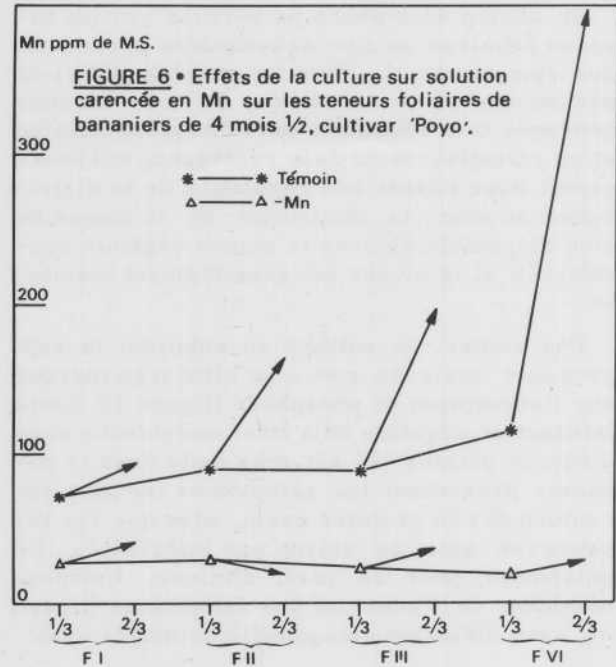


Tableau 2 - Teneurs foliaires en manganèse de bananiers, cultivar 'Poyo', en culture sur solution

Mn (ppm de matière sèche)	F I		F II		F III		Feuille intermédiaire (VI ou VII)	
	1/3	2/3	1/3	2/3	1/3	2/3	1/3	2/3
Témoin	70	93	90	162	88	216	116	395
Carence en Mn	27	39	32	20	23	38	22	25
Excès de Mn sans toxicité	475	350	1134	1425	1560	3100	2130	5500
	892	700	1320	2500	1210	3100	2281	4500

Excès de Mn : les deux bananiers cultivés dans les mêmes conditions et bien qu'ayant un développement et une croissance très comparables, ont des teneurs en Mn très élevées mais différentes d'un cas à l'autre.

Tableau 3 - Carences et niveaux foliaires en manganèse.
Bananiers au stade végétatif.

Mn (ppm de matière sèche)	F I		F III	
	1/3	2/3	1/3	2/3
Carence en Mn				
- culture sur solution (Côte d'Ivoire) plants de 4 1/2 mois	27	39	23	38
- au champ (Côte d'Ivoire) stade différenciation florale symptômes très accusés			21	125
symptômes peu prononcés			50	115
- symptômes peu prononcés au Cameroun oriental (stade différenciation florale)	41	80	65	122

- 27 ppm pour la F I zone 1/3
- 23 ppm pour la F III zone 1/3

Au Cameroun oriental, la déficience en manganèse est assez fréquemment constatée à l'analyse sans doute par suite de la richesse calcaïque des sols de cette zone bananière. Mais ses symptômes visibles sont très atténués, probablement à cause de la faible luminosité : on a pu observer, dans les cultures sur solution que la chlorose manganique s'accroît avec l'intensité lumineuse. Dans un seul cas, avec carence simultanée en soufre, on a relevé un feuillage vert jaune pâle avec aspect granuleux de la pigmentation chlorophyllienne.

- Toxicité

Si la toxicité manganique a été rencontrée dans quelques cas au champ, il n'a pas été possible de la produire dans l'expérience de culture hydroponique citée bien que les bananiers traités aient reçu 20 fois plus de manganèse que les témoins jusqu'à 3 mois, puis 50 fois plus par la suite. A ces doses les niveaux foliaires s'élèvent très largement (tableau 2), mais on n'observe ni symptômes ni effets sensibles sur les teneurs en autres éléments.

Ces fortes teneurs en manganèse sans symptôme apparent d'excès se retrouvent au stade différenciation florale ou au stade coupe sur les plantations de Martinique dont les sols sont les plus riches en manganèse (tableau 4). Toutefois il n'a pas été encore possible de prouver que, à de tels niveaux, le manganèse n'a pas d'effet sur la récolte par exemple.

La corrélation sol-plante est bonne pour le manganèse, surtout pour les zones 1/3, quelle que soit la teneur du sol. Cet élément est toujours relativement élevé en Martinique (tableau 4) où, à notre connaissance, aucun cas de déficience n'a été signalé sur bananier. Cependant, sur montmorillonites, le coefficient d'assimilation du manganèse par la plante paraît plus élevé que sur les autres sols :

rapport $\frac{\text{Mn de la feuille}}{\text{Mn du sol}}$ plus fort.

Au Cameroun occidental, dans la plaine de Tiko, deux parcelles voisines plantées à la même date en bananiers du cultivar 'Grande Naine' ont présenté une croissance inégale : excellente sur l'une d'elles, elle était beaucoup plus irrégulière et moins belle sur l'autre. Probablement moins bien drainée, celle-ci présentait, surtout sur les bananiers les plus at-

tardés, des décolorations marginales en dents de peigne assez semblables à celles de la carence en manganèse ; mais au lieu de s'étendre régulièrement sur le pourtour du limbe, elles se cantonnaient à certaines portions de la marge et affectaient plus particulièrement le demi-limbe dernier déroulé. Ces bananiers ont été échantillonnés, mais selon la règle le prélèvement a porté sur le demi-limbe premier déroulé des F I et F III vers le stade différenciation florale.

Les analyses se caractérisent essentiellement par le niveau très élevé du manganèse dans toutes les feuilles malades ; il est déjà fort chez les bananiers sains (tableau 5). Ce cas pourrait donc préciser le niveau de l'excès de manganèse en champ pour le type de sol de cette plantation, excès qui paraît se traduire par des symptômes voisins de ceux de la déficience. Les valeurs sont moins élevées que dans certaines plantations martiniquaises, mais le fer est à des niveaux faibles dans la zone 2/3 surtout (parcelles malades ou saines) : ce déséquilibre Mn/Fe localisé pourrait être la cause immédiate des symptômes, qui sont répartis selon les trajets préférentiels du manganèse dans le tissu foliaire.

Les teneurs fortes en manganèse et faibles en fer sont accompagnées d'un déficit en magnésium : résultat qui confirme la complémentarité du magnésium et du manganèse. Cet ensemble de facteurs provoque une mauvaise croissance des bananiers d'où une mauvaise utilisation et une accumulation de l'azote. Les plants sains sont probablement à la limite d'apparition des symptômes.

- Teneurs foliaires limites du bananier en manganèse

Les valeurs rencontrées chez des bananiers à croissance normale au stade différenciation florale et au stade récolte en Côte d'Ivoire, Martinique, Cameroun oriental (tableau 6) sont en relation directe avec la richesse du sol en manganèse ainsi que nous l'avons déjà indiqué en Martinique (tableau 4). En Côte d'Ivoire, les déficiences sont observées sur sols sableux ou tourbeux très lessivés ; sur sols plus lourds, les niveaux s'élèvent très largement.

Au Cameroun oriental, la tendance à une faiblesse générale en Mn du bananier n'est pas due à un défaut de manganèse total du sol, mais à une insuffisance de son absorption sous l'effet d'un pH élevé et de teneurs exagérées en cal-

Tableau 4 - Le manganèse dans le sol et dans le bananier en Martinique. Bananiers au stade différenciation florale (F I et F III) et au stade récolte (ADFC). Résultats exprimés en ppm.

Types de sol	Sol			ADFC 1/3			ADFC 2/3			F I 1/3			F I 2/3			F III 1/3			F III 2/3		
	Moy.	Min	Max	Moy	Min	Max	Moy	Min	Max	Moy	Min	Max	Moy	Min	Max	Moy	Min	Max	Moy	Min	Max
Cendres	61	30	95	421	105	1815	876	356	1645	235	140	375	471	262	784	295	242	370	593	245	870
Allophanes	79	38	165	587	230	780	1527	780	4620	391	257	727	680	470	780	426	224	658	880	430	1230
Brun rouille	151	64	318	786	375	1820	2082	1035	3800	539	268	1160	1130	640	2200	670	475	1500	1349	870	2450
Ferrallitiques	195	86	394	1191	420	2800	3031	1270	6300	668	144	1490	1247	164	2650	900	208	2090	1798	398	4053
Montmorillonites	126	92	160	849	400	1630	2246	1130	3640	616	375	824	976	870	1320	723	514	925	1487	1200	1960
Alluvions	213	194	238	1353	750	2030	3363	1910	5000	1067	730	1404	1663	1300	2025	1574	1228	1920	2875	1850	3900
Ensemble	114	30	394	871	105	2800	2210	356	6300	586	140	1490	1028	164	2650	765	208	2090	1497	245	4053

Tableau 5 - Toxicité éventuelle du manganèse au Cameroun occidental. Bananiers du cultivar 'Grande Naine' au stade différenciation florale.

		p. cent de M. S.					ppm de M.S.		
		N	P	K	Ca	Mg	Mn	Fe	
parcelle de bananiers sains	F I	1/3	3,13	0,270	5,19	0,360	0,231	470	97
		2/3	3,61	0,283	3,95	0,313	0,320	740	108
	F III	1/3	3,66	0,208	4,94	0,720	0,242	956	133
		2/3	4,18	0,215	3,63	0,598	0,330	1.890	133
parcelle avec bananiers malades	F I	1/3	3,50	0,276	5,70	0,461	0,200	625	113
		2/3	3,94	0,276	4,28	0,370	0,276	1.150	106
bananiers avec symptômes	F III	1/3	4,00	0,205	5,05	0,850	0,215	1.300	106
		2/3	4,68	0,216	3,76	0,719	0,288	2.640	102

Tableau 6 - Teneurs limites en manganèse chez des bananiers à croissance normale, au champ. Stades différenciation florale et récolte.

Mn (ppm de M. S.)	F I		F III		ADFC	
	1/3	2/3	1/3	2/3	1/3	2/3
Côte d'Ivoire	96- 250	100- 330	225- 300	360- 820	225- 980	440-3150
Martinique (sols pouvant être très riches en Mn assimilable : jusqu'à 394 ppm)	140-1500	164-2650	208-2090	245-4053	105-2800	356-6300
Cameroun oriental (tendance générale à la déficience)	60- 110	110- 140	85- 150	160- 370	54- 527	156-1360
Madagascar					910-1160	2100-2780

Tableau 7 - Apports de S, K, Ca, Mg, P à doses élevées. Effets sur le pH du sol et les teneurs foliaires en Mn (ppm de M.S.). Bananier cultivar 'Grande Naine', Cameroun oriental.

Traitements : a = supplément d'urée Sous-traitements : b = dose normale d'urée	Sol pH	2ème cycle Stade récolte		3ème cycle Différenciation florale				
		ADFC 1/3	ADFC 2/3	I		III		
				1/3	2/3	1/3	2/3	
Témoin	a	6,12	190	660	105	175	140	310
	b	6,36	150	450	77	144	100	240
+ S 0,5 kg/pied	a	5,57	560	1.300	195	290	270	610
	b	5,72	380	1.150	165	243	220	470
+ K 2 kg/pied KCl	a	5,96	300	900				
	b	6,28	230	650				
+ Ca 2,2 kg/pied chaux agricole	a	7,21	130	390				
	b	7,58	100	350				
+ Mg 0,6 kg/pied magnésie calcinée	a	6,94	190	560				
	b	7,22	140	420				
+ P 1,25 kg/pied phosphate bicalcique	a	6,31	190	750				
	b	6,34	140	470				

cium. Une expérience d'apports à fortes doses de N, P, K, Ca, Mg ou S (12) a provoqué des variations de pH : plus celui-ci diminue, plus les feuilles s'enrichissent en manganèse (tableau 7).

- Distribution du manganèse dans le bananier

Manganèse total :

Les carences ont montré que les limbes, au moins la zone 1/3, réagissaient aux variations de nutrition en cet élément. Ce sont encore les teneurs des limbes, toutes feuilles réunies, qui évoluent le plus au cours du développement : elles sont les plus élevées de tous les organes et augmentent avec l'âge de la plante.

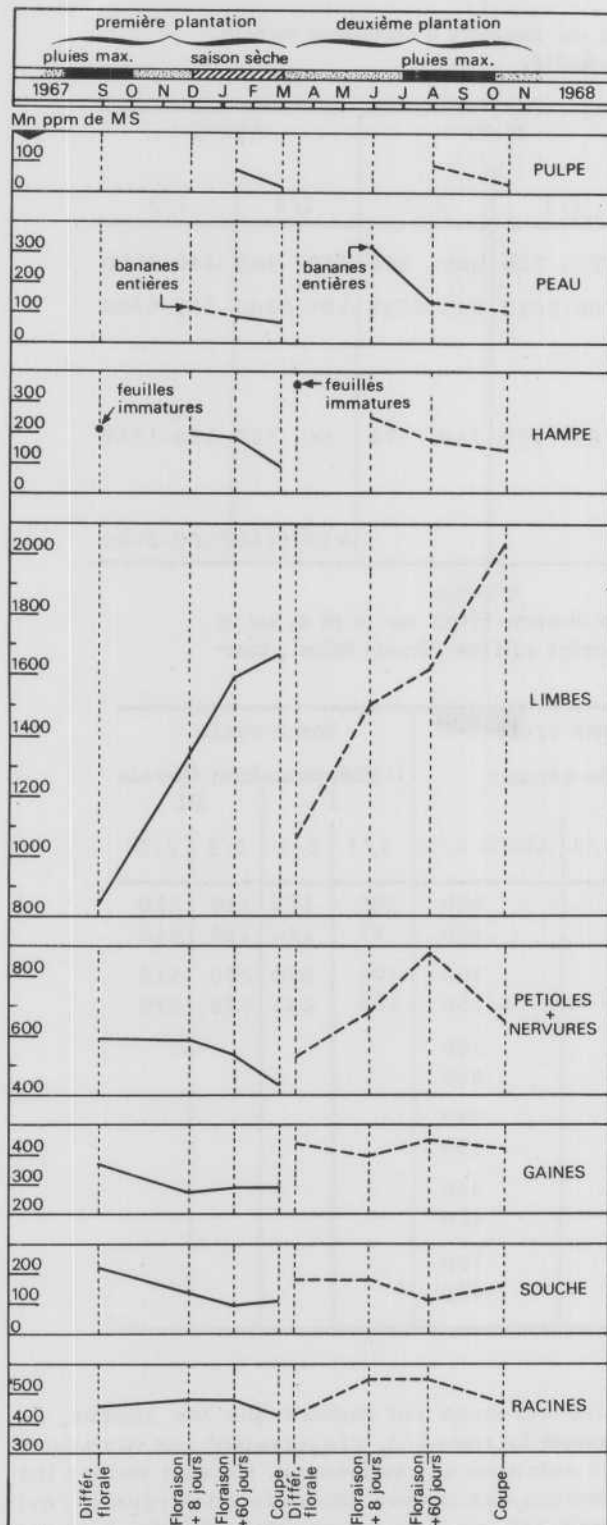


FIGURE 7 • Variations des teneurs en Mn total des différents organes du bananier, cultivar 'Grande Naine', au Cameroun occidental, en fonction du stade de développement et de la date d'échantillonnage.

L'exemple cité (figure 7) est celui du bilan réalisé sur le cultivar 'Grande Naine' au Cameroun occidental, dans une zone d'altitude où la croissance du régime est lente (11). Mais, dans une plaine côtière de Martinique, à croissance rapide, une étude semblable sur le même cultivar montre la même évolution.

La pulpe, la peau et la hampe, organes les plus jeunes, sont également les plus pauvres et les fruits s'appauvrissent avec l'âge. Les autres organes, limbes exceptés, varient contrairement d'un cas à l'autre.

Au Cameroun et en Martinique, les bananiers étudiés ont été plantés à deux dates sur les mêmes terrains : la croissance s'est ainsi effectuée sur le même sol sous des conditions climatiques différentes, sans que l'évolution du manganèse soit modifiée.

Au Cameroun occidental, les bananiers de la deuxième date de plantation ont poussé dans de meilleures conditions grâce à l'irrigation en saison sèche. Ils sont toujours les plus riches excepté dans les racines, souches, pétioles et nervures au stade différenciation florale (figure 7). Mais à ce stade la première plantation se trouve en saison de pluies alors que pour les stades suivants elle subira la saison sèche. La seconde, au cours de ces stades ultérieurs, reçoit au contraire le maximum de pluie sous une luminosité faible : ces deux facteurs pourraient intervenir sur l'absorption du manganèse.

En Martinique les bananiers ont été échantillonnés pendant deux cycles successifs ; en premier cycle, seul le stade récolte a été prélevé sur les deux dates de plantation. La deuxième date de plantation est toujours plus pauvre, sans relation discernable avec la climatologie ; ainsi au stade différenciation florale les bananiers ayant reçu le moins d'eau sont les plus riches, mais c'est l'inverse au stade récolte. Du premier au deuxième cycle, tous les organes s'enrichissent en manganèse, excepté dans un cas : celui des limbes au stade récolte, dont les teneurs passent de 1.300 à 1.050 ppm sur la deuxième date de plantation.

Les niveaux au Cameroun sont toujours plus élevés qu'en Martinique. Cela peut être lié à la nature du sol : argilo-limoneux d'origine volcanique récente dans le premier cas, montmorillonitique dans le deuxième. Malheureusement le manganèse n'a pas été analysé dans ces sols.

Manganèse immédiatement soluble.

Il n'a été dosé qu'au Cameroun occidental ; les teneurs sont exprimées en ppm par rapport à la masse d'eau contenue dans chaque organe (figure 8).

On retrouve la même tendance que pour le manganèse total, moins accentuée sauf dans les limbes ; mais les teneurs sont plus élevées à la deuxième date. Par contre manganèse soluble et total n'évoluent pas toujours dans le même sens. Ainsi les limbes s'enrichissent continuellement en manganèse total alors que la partie soluble diminue de la floraison jusqu'à 60 jours après ce stade. Le manganèse prélevé dans le sol et qui vient s'accumuler surtout dans les limbes semble donc être redistribué de là aux autres organes : cette chute de leur manganèse immédiatement disponible coïncide avec les besoins élevés des fruits et hampe en croissance. Ensuite et jusqu'à la récolte, ces mêmes organes tendent à perdre de cet élément, ils n'ont donc plus besoin de puiser dans le réservoir constitué par les limbes, et les teneurs en manganèse soluble de ceux-ci s'élèvent à nouveau.

Les trois organes les plus jeunes de la plante (peau, pulpe, hampe) auront le rapport Mn soluble/Mn totale plus élevé, indépendamment de la saison (figure 9).

Le manganèse ne paraît avoir une certaine part comme constituant de la matière végétale que dans les limbes et racines, où moins de 30 p. cent sont immédiatement solubles (figure 9); peut-être aussi dans les pétioles et nervures, mais les résultats sont contradictoires entre les deux dates. Malgré cette faible proportion de manganèse soluble dans les limbes, ils en constituent le réservoir le plus important du fait de leur masse de Mn total élevée.

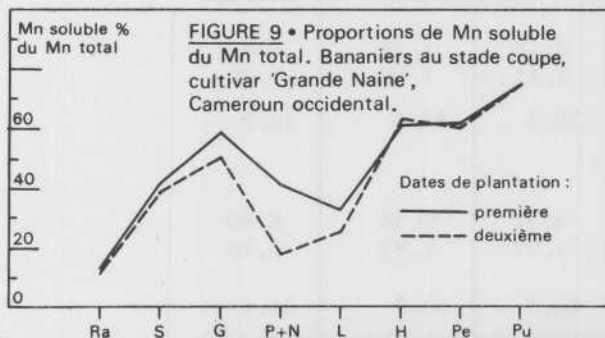


FIGURE 9 • Proportions de Mn soluble du Mn total. Bananiers au stade coupe, cultivar 'Grande Naine', Cameroun occidental.

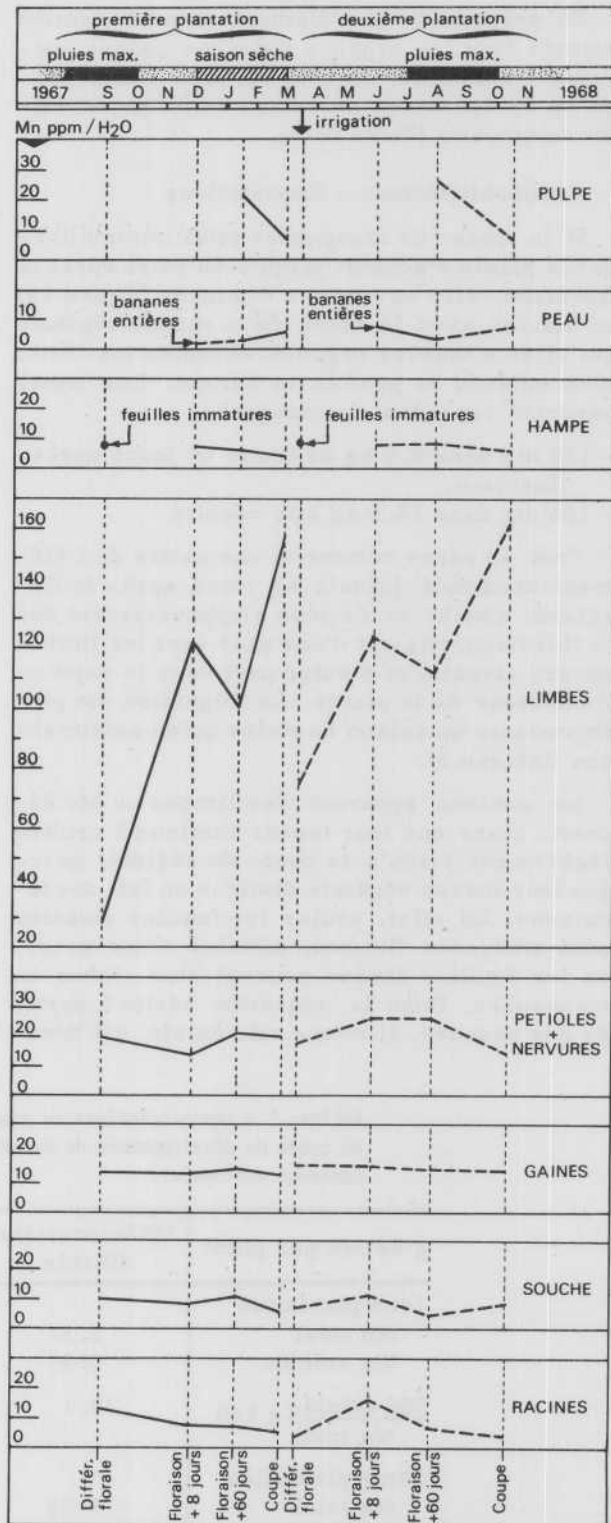


FIGURE 8 • Variations des teneurs en Mn immédiatement soluble des différents organes du bananier, cultivar 'Grande Naine' au Cameroun occidental. Comparaison entre les deux dates de plantation.

La proportion de l'élément immédiatement soluble dans les organes foliaires (gaines, pétioles + nervures, limbes) est plus faible lorsqu'ils sont prélevés en saison de pluies et à faible luminosité (2ème date).

- Immobilisations - Exportations

Si la masse de manganèse total immobilisée par la plante s'accroît jusqu'à 60 jours après la floraison, elle va ensuite diminuer (figure 10) en liaison avec la chute de la masse végétale qui affecte tous les organes, exceptés les fruits bien entendu et parfois la hampe. Les fruits perdront cependant du manganèse :

- 128 mg dans 8,9 kg de fruits 60 jours après floraison,
- 106 mg dans 16,0 kg à la récolte.

Tout se passe comme si une partie de l'élément accumulé jusqu'à 60 jours après la floraison, souche et racines s'appauvrissant dès la floraison, migrait d'une part vers les limbes encore vivants, et d'autre part vers le rejet ou l'extérieur de la plante. La migration est plus importante en saison de pluies qu'en saison sèche (tableau 8).

Le contenu apparent des limbes en Mn décroît, alors que leur teneur continue à croître légèrement jusqu'à la coupe du régime, parce que leur masse végétale diminue du fait des fanaisons. En effet, seules les feuilles vivantes sont analysées (limbes, pétioles + nervures) ; or les feuilles fanées peuvent être riches en manganèse. Donc la migration réelle à partir de ces organes, si même elle existe, est beau-

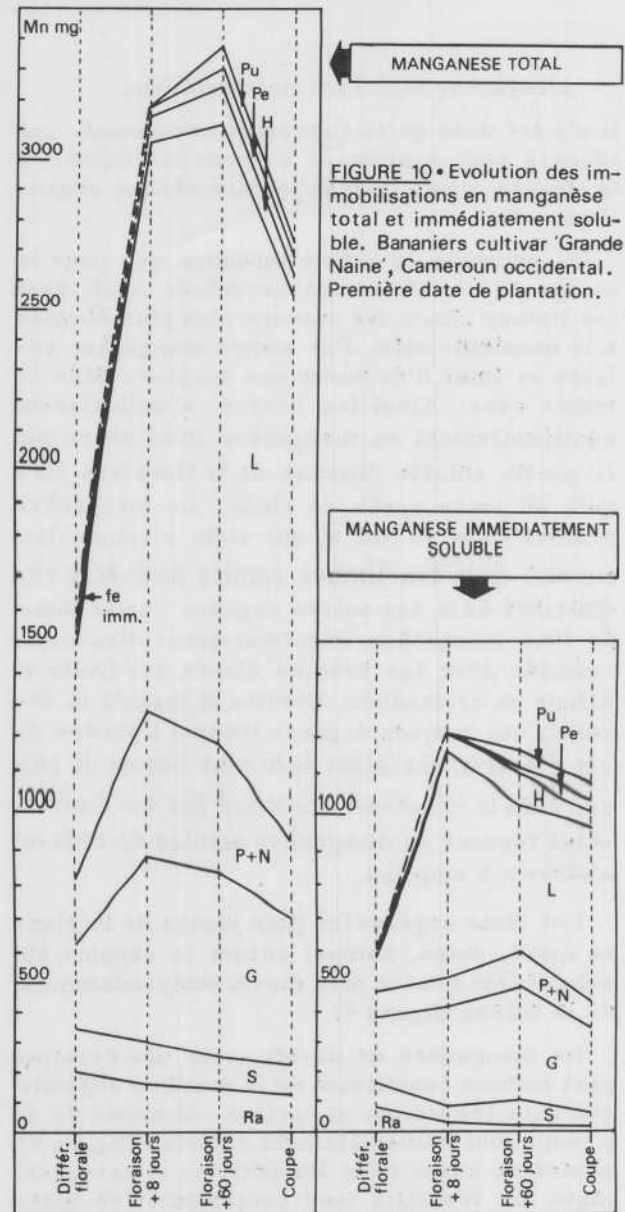


FIGURE 10 - Evolution des immobilisations en manganèse total et immédiatement soluble. Bananiers cultivar 'Grande Naine', Cameroun occidental. Première date de plantation.

Tableau 8 - Immobilisations en manganèse total et en manganèse soluble au cours du développement de bananiers du cultivar 'Grande Naine' au Cameroun occidental.

g de Mn par plant	Différenciation florale	Floraison + 8 jours	Floraison + 60 jours	Récolte
1ère plantation				
Mn total	1,51	3,14	3,38	2,84
Mn soluble	0,59	1,21	1,17	1,08
$\frac{\text{Mn soluble}}{\text{Mn total}} \times 100$	39,1	38,5	34,4	38,2
2ème plantation				
Mn total	1,28	4,30	4,52	3,40
Mn soluble	0,53	1,77	1,57	1,16
$\frac{\text{Mn soluble}}{\text{Mn total}} \times 100$	40,9	40,1	34,7	34,0

coup plus faible ; le mouvement essentiel se fait certainement vers les feuilles vivantes puis fanées. La masse immobilisée à la coupe est donc sous-estimée ; il est possible que de 60 jours après floraison à la récolte elle continue même d'augmenter légèrement.

La proportion du manganèse soluble par rapport au manganèse total évolue dans le même sens (tableau 8). De la différenciation florale à 60 jours après floraison elle diminue : donc l'insolubilisation du manganèse, qui doit plutôt correspondre à une inactivation qu'à une assimilation prédomine sur son absorption. Puis jusqu'à la récolte, en saison de pluies (2ème date), l'intervalle de temps est plus long, si bien que la migration a pu être plus importante : la proportion de la fraction soluble diminue encore ; alors qu'en saison sèche, avec un intervalle plus court, la migration n'est pas terminée : la proportion augmente et le manganèse total comme le manganèse soluble baissent moins.

Du premier au deuxième cycle, la quantité totale de manganèse tend à diminuer dans le cas particulier où nous avons pu la calculer ; mais dans ces bananiers les teneurs des limbes, organe le plus riche, diminuaient. Normalement les poids et les teneurs en manganèse augmentent en deuxième cycle dans tous les organes.

Les différences entre les immobilisations et les exportations au Cameroun occidental et en Martinique sont très certainement en relation directe avec la nature du sol (tableau 9).

Une fertilisation manganique basée sur le principe de restitution serait très réduite puisque dans les deux cas étudiés les fruits exportent environ 100 à 350 g de manganèse par ha. La hampe du régime n'est pas incluse dans ce total : après découpage des mains, elle peut faire retour au sol. Rappelons qu'en cas de déficience, on recommande d'apporter en pulvérisation 50 kg/ha de sulfate de manganèse, soit 10 kg/ha de manganèse pur.

Tableau 9 - Immobilisations et exportations en manganèse total. Bananiers cultivar 'Grande Naine', densité 2.000 plants/ha.

	Immobilisations (Mn total)				Exportations		
	g par plant		kg par ha		g par plant sans hampes	kg par ha	poids moyen de fruit/plant (kg)
	avec racines	sans racines	avec racines	sans racines			
Cameroun occidental							
Récolte en saison sèche	2,8	2,7	5,6	5,4	0,11	0,21	16,0
en saison pluies (1er cycle)	3,4	3,3	6,8	6,6	0,17	0,34	21,2
Martinique							
Récolte en 1er cycle		2,0		4,0	0,06	0,13	14,5
en 2ème cycle		1,9		3,8	0,07	0,15	19,7

LE FER

- Déficience

Si la carence en fer n'a pas encore été reproduite sur le cultivar 'Poyo' en hydroponique en Côte d'Ivoire, elle a été obtenue à Porto-Rico (16) et reconnue sur différents sols calcaires (Hawaï, Israël, Jamaïque) ou même sur sols très acides (pH < 4,5). Mais nous n'avons

pas encore rencontré de tels sols dans les zones bananières étudiées.

Dans le cas des bananiers 'Poyo' cultivés sur solution totalement carencée en fer, mais sans apparition de symptômes, les teneurs foliaires à 4 1/2 mois sont très comparables à celles des témoins ; la zone 2/3 de la F III tend mêm-

me à s'enrichir : Dans un des deux plants la feuille intermédiaire s'appauvrit très nettement mais sans effet morphologique :

zone 1/3 : 85 ppm au lieu de 193 chez le témoin

zone 2/3 : 134 ppm au lieu de 228 chez le témoin.

Sur le terrain il est possible, mais non certain, qu'une carence en phosphore du bananier en Guadeloupe, dont l'identification ne fait pas de doute, ait été accompagnée d'une déficience en fer (4). Le sol était totalement dépourvu de phosphore assimilable (tableau 10). Les plantes avaient un feuillage vert pâle, alors qu'en culture sur solution la carence en phosphore provoque une coloration vert foncé. Mais les niveaux foliaires en fer sont les plus faibles que nous ayons rencontrés, nettement inférieurs à ceux des bananiers de bel aspect poussant dans une parcelle voisine au sol moins riche en fer. Chez ces derniers, la teneur la plus faible est de 91 ppm (tableaux 10 et 11).

Cette déficience en fer de la plante pourrait être un effet secondaire de la déficience en phosphore assimilable du sol. Dans cette même zone des ananas ont présenté également des symptômes de déficience en fer, qu'il y ait carence en phosphore ou que cette dernière soit corrigée par des apports de cet élément (8), réalisés directement à la plante et non pas au sol. Si le bananier se comporte comme l'ananas, c'est donc à l'entrée de la racine et non au cours du transport dans la plante que le défaut de phosphore freinerait l'absorption du fer.

Contrairement aux résultats d'autres plantes et de l'ananas en particulier (7), on n'a pu déterminer aucune relation entre les teneurs en fer des limbes et le fer assimilable du sol en Martinique, ni même entre les teneurs en fer et en manganèse dans les limbes du bananier.

- Distribution du fer dans le bananier - Immobilisations et exportations.

Dans une même parcelle, les feuilles d'âge différent (F I et F III) ou de bananiers à des stades différents (différenciation florale et récolte) sont assez généralement à des niveaux très comparables.

Cette observation est confirmée par les bilans du fer obtenus dans l'étude menée au Cameroun occidental. La richesse des organes paraît dépendre plus de la saison que de l'âge de la plante ; les niveaux tendent à s'élever en saison de pluies (figure 11). En Martinique

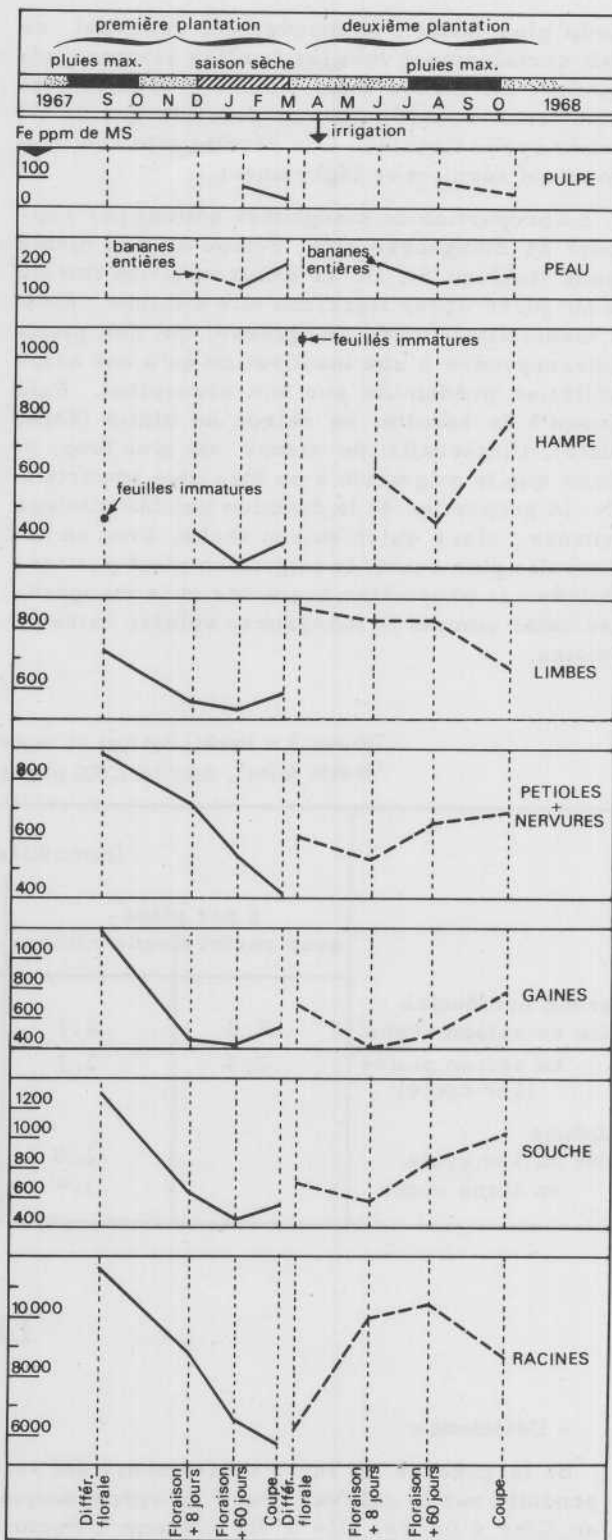


FIGURE 11 • Variations des teneurs en fer des différents organes du bananier, cultivar 'Grande Naine', au Cameroun occidental, en fonction du stade de développement.

Tableau 10 - Carence en phosphore probablement accompagnée d'une déficience en fer. Bananiers de 4 1/2 mois en Guadeloupe.

	parcelle avec bananiers sains	parcelle avec bananiers carencés en P
Feuilles : Fe (ppm de M. S.)		
F I 1/3	106	80
F 2/3	99	79
F III 1/3	99	82
2/3	91	78
Sol :		
Fe "assimilable" (ppm)	2,6	7,5
P ₂ O ₅ "assimilable" citrique (ppm)	40	0
pH	5,80	5,25

Tableau 11 - Teneurs minimales et maximales en fer de bananiers à croissance normale dans différentes localisations.

Fe (ppm de M. S.)	Stade différenciation florale				Stade récolte	
	F I		F III		ADFC	
	1/3	2/3	1/3	2/3	1/3	2/3
Cameroun	96-140	106-147	106-143	132-202	120-315	140-320
Côte d'Ivoire			109-116	110-180	130-180	130-190
Guadeloupe	106	99-105	96-118	91-104		
Madagascar					115-125	113-125
Martinique	100-220	100-316	100-290	100-300	105-260	120-400

Tableau 12 - Immobilisations totales en fer aux différents stades en fonction de la date de plantation de bananiers, cultivar 'Grande Naine', au Cameroun occidental.

Fe (g plant)	Différenciation florale	Floraison + 8 jours	Floraison + 60 jours	Coupe
1ère date de plantation				
avec racines	7,46	6,08	4,72	4,49
sans racines	2,60	3,06	2,69	2,86
2ème date de plantation				
avec racines	2,72	6,08	7,45	6,73
sans racines	1,54	3,43	4,05	4,12

seuls les stades différenciation florale en saison de pluies, et récolte en saison moins humide, ont été prélevés au premier cycle ; cette tendance se retrouve alors pour la plupart des organes. Mais au deuxième cycle les niveaux moins élevés varient très peu d'un stade à l'autre.

Les racines, organes les plus riches, immobilisent la plus grande part du fer tout au long du cycle (figure 12) ; mais leur stock est aussi le plus variable en fonction de la saison sans que cela influe beaucoup sur le contenu du reste de la plante ; les migrations semblent se produire surtout entre sol et racines dans un sens ou l'autre (en fonction de l'humidité ?). Par exemple entre le stade différenciation florale et le stade floraison de la première date de plantation, les racines s'appauvrissent plus que le reste du bananier ne s'enrichit (tableau 12).

A la récolte, les immobilisations sont donc très variables en fonction du sol d'une part et du climat d'autre part (tableau 13). Les besoins de la plante sembleraient diminuer avec l'âge de la plantation, du moins dans le seul cas étudié en Martinique.

Les exportations par les fruits suivent les mêmes variations mais, pour les deux pays étudiés et le cultivar 'Grande Naine', elles restent très limitées : de 0,38 à 0,73 kg/ha.

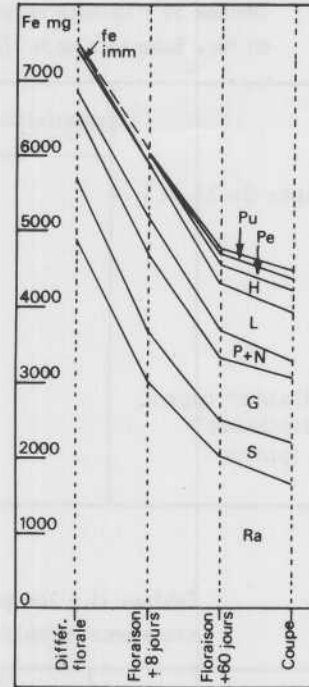


FIGURE 12 • Evolution des immobilisations en fer. Bananiers cultivar 'Grande Naine', Cameroun occidental.

Tableau 13 - Immobilisations totales et exportations en fer au Cameroun occidental et en Martinique. Bananiers cultivar 'Grande Naine'.

	Immobilisations, fruits compris				Exportations		
	g par plant		kg par ha		g par plant	kg par ha	poids moyen de fruits/plant kg
	avec racines	sans racines	avec racines	sans racines			
Cameroun occidental							
Récolte en saison sèche	4,5	2,9	9,0	5,8	0,26	0,52	16,0
Récolte en saison des pluies 1er cycle	6,7	4,1	13,4	8,2	0,34	0,67	21,2
Martinique							
Récolte en 1er cycle		3,2		6,4	0,36	0,73	14,5
en 2ème cycle		1,9		3,8	0,19	0,38	19,7

CONCLUSION

Cette étude a permis de mettre en évidence quelques caractères des quatre oligo-éléments: Cu, Fe, Mn, Zn chez des bananiers cultivés dans des conditions très différentes : soit en hydroponique avec ou sans apport de ces éléments, soit simplement en champ d'exploitation. Les résultats pourront servir de base à des travaux destinés à mettre en évidence le rôle d'un de ces éléments. Ainsi au Cameroun oriental on suspecte le manganèse, qui est régulièrement faible dans cette zone, d'intervenir dans la manifestation de la pulpe jaune. On a pu déterminer les besoins quantitatifs du bananier en manganèse; ils sont faibles, mais il est important de noter qu'il ne faut pas se baser uniquement sur la quantité exportée, car durant la croissance les immobilisations sont importantes. D'autre part les besoins théoriques de la plante ne doivent pas être confondus avec ceux de la culture où il y a interaction avec le sol.

L'analyse du manganèse immédiatement soluble dans les divers organes du bananier a donné quelques indications sur l'insolubilisation et les mouvements de cet élément dans la plante. La sève n'a pas une concentration uniforme; il y a donc des échanges actifs d'un organe à l'autre.

L'observation de symptômes sur le terrain doit nécessairement être complétée par l'ana-

lyse: ainsi l'excès de manganèse aurait pu être confondu avec une déficience. Mais l'analyse du limbe ne suffit pas toujours: ainsi pour le cuivre, l'excès n'est nettement décelable que dans les organes conducteurs; peut-être en est-il de même pour la carence? Pour le zinc on ne peut pas encore dire si le diagnostic foliaire au sens strict suffit, mais la carence en cet élément n'induit pas obligatoirement une diminution des niveaux du zinc total dans le limbe. Au moins quand les symptômes ne sont pas à leur degré maximum, la réduction du volume foliaire permet le maintien d'une concentration pratiquement normale. En revanche, il peut y avoir une forte augmentation de la teneur en phosphore. Il est possible qu'avec des symptômes plus accusés on trouve des niveaux de zinc plus faibles; toutefois il faudrait doser le zinc réellement actif dans la plante, et sans doute s'adresser à des organes plus jeunes.

Seul le niveau foliaire de carence en manganèse a pu être déterminé avec certitude au cours des travaux décrits, c'est d'ailleurs la déficience la plus courante parmi celles des quatre métaux étudiés dans les pays où l'IFAC travaille actuellement. Une déficience probable en fer a été détectée, indépendante du pH (habituellement on la rencontre sur sols à pH élevés ou très acides), mais paraissant liée à une carence du sol en phosphore.

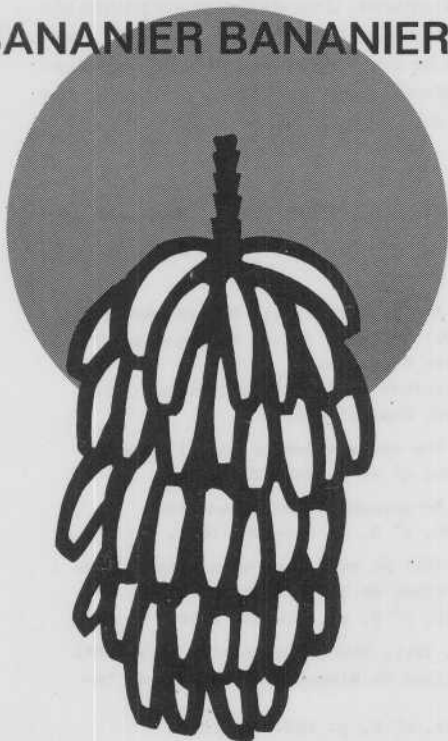
BIBLIOGRAPHIE

- 1 - CHARPENTIER (J.M.) et MARTIN-PREVEL (P.). Cultures sur milieu artificiel: carences atténuées ou temporaires en éléments majeurs, carences en oligo-éléments chez le bananier.
Fruits, vol. 20, n° 10, p. 521-557, 1965.
- 2 - DARTIGUES (A.) et LUBET (E.). Résultats d'expérimentations culturales sur la carence et la toxicité du zinc dans quelques sols du sud-ouest.
Bulletin de l'A.F.E.S., n° 5, p. 19-31, 1968.
- 3 - JORDINE (C.G.). Metal deficiencies in bananas.
Nature, n° 194, p. 1160-1163, 1962.
- 4 - IACOEUILHE (J.J.) et GODEFROY (J.). Un cas de carence en phosphore en bananeraie.
Fruits, à paraître.
- 5 - MARCHAL (J.), MARTIN-PREVEL (P.) et IACOEUILHE (J.J.). Analyses foliaires du test culture bananière après ananas. Déficit en potasse - Cameroun.
R.A. IFAC, 1969, doc. 137.
- 6 - MARCHAL (J.), IACOEUILHE (J.J.), MARTIN-PREVEL (P.) et JEANTEUR (P.) et MELIN (Ph.). Pratique du diagnostic foliaire du bananier.
18e Congrès international de l'Horticulture, Tel-Aviv, mars 1970, Com. n° 295.
- 7 - MARCHAL (J.). Les oligo-éléments chez l'ananas.
Fruits, vol. 26, n° 4, p. 263-277, 1971.
- 8 - MARCHAL (J.). Le phosphore chez l'ananas.
Fruits, vol. 26, n° 3, p. 189-206, 1971.
- 9 - MARTIN-PREVEL (P.) et coll. Les essais sol-plante: une méthode d'étude de la fertilité.
Fruits, vol. 20, n° 4, p. 157-169, 1965.
- 10 - MARTIN-PREVEL (P.), IACOEUILHE (J.J.) et MARCHAL (J.). Orientations du diagnostic foliaire du bananier.
Fruits, vol. 24, n° 3, p. 153-161, 1969.

- 11 - MARTIN-PREVEL (P.). Aspects dynamiques des éléments minéraux dans la production végétale : travaux sur bananier.
in : *Potassium symposium*, vol. 9, 1970
éd. : Institut international de la Potasse, Berne, Suisse (sous presse).
- 12 - MELIN (Ph.). Effets de forts apports minéraux sur le bananier.
Fruits, vol. 25, n° 11, p. 763-766, 1970.
- 13 - MOITY (M.). La carence en zinc sur le bananier.
Fruits, vol. 9, p. 354, 1954.
- 14 - MOITY (M.). La carence en cuivre des tourbières du Niéky (Côte d'Ivoire).
Fruits, vol. 16, p. 399-401, 1961.
- 15 - REUTHER (W.) et LABANAUSKAS (C.K.). Cooper in : *Diagnostic criteria for plants and soils*. University of California, 1966.
- 16 - SAMUELS (G.) et CIBES-VIADE (H.). Mineral deficiency symptoms of bananas.
Caribbean Food Crops Soc. Proc., p. 67-72, 1964.
- 17 - TWYFORD (I.T.) et WALMSLEY (D.). The status of some micronutrients in healthy Robusta Banana plants.
Proc. Agric., Trinidad, vol. 25, n° 4, p. 307-315 1968.



BANANIER BANANIER BANANIER BANANIER BANANIER BANANIER



TRAITEMENTS DU SOL

contre charançons :	HEXAPOUDRE 25	25 % d'HCH
	HEXAFOR 50	50 % d'HCH
contre nématodes :	NEMUL	75 % de DBCP
	D 209 concentré	1200 g/l d'EDB

TRAITEMENTS DE LA VEGETATION

contre chenilles :	THIMUL 35	350 g/l d'endosulfan
	VIRICUIVRE FOG	50 % de cuivre micronisé poudre mouillable miscible à l'huile
contre la cercosporiose :	VIRIFOG G	pâte huileuse 25 % de cuivre
	FONGIFOG G	pâte huileuse 40 % de zinèbe
désherbage :	KARTRIL T	diuron + ATA + thiocyanate de soude - dose recommandée : 8 kg/ha
engrais foliaire :	ACTIGIL	

