

LES OLIGO-ÉLÉMENTS DANS L'ANANAS (Cu, Fe, Mn, Zn)

par J. MARCHAL

Institut français de Recherches fruitières Outre-Mer

LES OLIGO-ELEMENTS DANS L'ANANAS

par J. MARCHAL (IFAC)

Fruits, Apr. 1971, vol.26, n° 4, p.263-277

RESUME - Dans la feuille D de l'ananas, pour les pays considérés, il n'a pas été possible de mettre en évidence des teneurs en cuivre ou en zinc ayant pu avoir un effet limitant.

Le fer et le manganèse ne peuvent être dissociés. Les déficiences en chacun de ces deux éléments dépendent plus de leurs proportions relatives que de leur teneur propre. À la déficience en manganèse correspondent de fortes teneurs en fer, le rapport Fe/Mn dépasse une valeur de 10,5. La déficience en fer apparaît pour des valeurs du rapport Fe/Mn inférieures à 0,4.

Les symptômes de carences de l'ananas en différents éléments, et particulièrement en certains oligo-éléments, étaient plus ou moins bien connus ; les cultures en hydroponique les ont précisés (20). De telles cultures sur milieu artificiel sont réalisées à l'IFAC depuis environ 8 ans en Côte d'Ivoire et plus récemment en Martinique.

D'autre part, des techniques d'analyse plus pratiques (absorption atomique en particulier) que celles de la chimie classique, permettent de déterminer couramment Cu, Fe, Mn, Zn.

Dans cette note nous nous proposons d'étu-

dier les résultats de ces analyses en rappelant tout d'abord les caractères essentiels de ces oligo-éléments dans la plante en général.

Nous nous sommes plus particulièrement intéressé au fer et au manganèse. Malheureusement, excepté quelques plants cultivés sur solution, nous n'avons pas de résultats d'essais d'apports d'oligo-éléments ayant pu marquer sur le terrain. Pour de nombreux auteurs les effets d'apports d'oligo-éléments sur différentes plantes sont difficiles à mettre en évidence, très souvent des symptômes de déficience peuvent ne pas affecter le rendement.

LES OLIGO-ÉLÉMENTS (Cu, Fe, Mn, Zn), LE SOL ET LA PLANTE

● Cuivre

Dans le sol une partie du cuivre est retenue par les colloïdes comme K, Ca, Mg, une autre partie est très bien fixée en particulier à des

pH supérieurs à 5 (d'où risques de déficience en sol calcaire).

Les plantes peuvent cependant présenter des déficiences sur les sols acides, soit sableux et

pauvres en Cu, soit riches en matières organiques qui précipitent le cuivre. Il est absorbé sous forme Cu^{++} . En général la carence se traduit par une fanaison des organes jeunes.

Dans la plante on rencontre surtout le cuivre dans les chloroplastes où il est nécessaire pour la synthèse de précurseurs de la chlorophylle c'est un stimulateur de croissance et activateur d'enzymes (de la polyphénol oxydase par exemple) ; il catalyse l'oxydation par l'oxygène atmosphérique des substrats organiques des enzymes.

● Fer

Dans le sol il est très abondant, cependant seule une faible part est assimilable ce qui est souvent une cause de mauvaise croissance.

Le fer est absorbé sous forme de Fe^{++} (le plus actif et le mieux transporté) mais aussi de Fe^{+++} . L'absorption est liée à la concentration en ions H^+ près ou sur les racines (SIDERIS).

On rencontre donc des déficiences sur sols alcalins (calcaires) ou mal drainés ou même sur sols acides très riches en manganèse échangeable ; le fer reste à l'état ferrique, son absorption est plus difficile au niveau de la plante. Cu, Zn, Co et surtout Mn pourraient déplacer le fer des enzymes, dont il est un des constituants, et les rendre inactives (13).

La déficience en fer se traduit typiquement par une chlorose qui se généralise à partir des jeunes feuilles. C'est en effet un constituant des enzymes, il intervient dans la synthèse de la chlorophylle (la taille des chloroplastes se réduit avec une carence en fer) comme précurseur du noyau pyrrole et surtout il joue un grand rôle dans la respiration (constituant du groupe prosthétique du cytochrome cellulaire).

Des déficiences en K, P, Ca pourraient causer des symptômes de carence en fer (2) ou les accentuer, si le sol est réellement déficient en fer, ainsi chez la canne à sucre et le maïs, le fer s'accumule dans les noeuds et fait défaut dans les feuilles avec la carence en K.

● Manganèse

On le rencontre sous forme d'oxydes dans le sol (MnO : soluble et échangeable, fixé par l'argile et l'humus) ; certains oxydes insolubles

peuvent former des concrétions.

La carence en Mn se rencontre sur sols à pH supérieur à 6, saturés en Ca qui insolubilise Mn, ou sur sols très lessivables et réducteurs. Mn peut aussi être insolubilisé par la matière organique.

La carence se traduit par une chute de la photosynthèse, qui se rétablit très rapidement avec une pulvérisation de cet élément, car Mn intervient dans le système redox et dans les enzymes d'oxydation et de fixation de CO_2 (où Mg et d'autres métaux peuvent se substituer à Mn).

La réduction des nitrates est contrôlée par l'hydroxylamine réductase activée par Mn (14). S'il manque, les cellules utilisent plus NH_4^+ que NO_3^- .

En cas de défaut de Mn la teneur en fer s'accroît (15). Le fer trivalent, qui habituellement n'est pas trouvé dans la feuille, précipite dans les nervures. En cas d'excès de Mn on peut rencontrer une carence en fer. Un certain antagonisme Fe-Mn paraît donc intervenir. Le manganèse ne serait pas seul à pouvoir causer des déficiences en fer (5), mais aussi le zinc, le cadmium et le cobalt. L'excès de Mn n'est pas toujours lié à une carence en fer.

L'éclaircissement stimulerait l'absorption et affecte donc la carence. L'atténuation d'une carence en fonction de ce facteur est un phénomène connu, sur bananiers par exemple.

● Zinc

Abondant dans le sol il n'est échangeable qu'en faibles quantités, surtout si le pH s'élève. La déficience se rencontre donc surtout sur sols à pH supérieur à 6, où le zinc forme des composés insolubles avec Ca. On peut également la rencontrer sur sols plus acides mais lessivables.

Dans la plante il est absorbé sous forme bivalente bien mobile mais peut être précipité si P est abondant.

La déficience en Zn marque d'abord sur la teneur en auxines - car il en est l'activateur, en particulier de l'acide indol-acétique - avant d'avoir un effet morphologique visible à l'inverse de la déficience en Cu ou Mn qui ne provoque une diminution des auxines qu'à des stades de déficience morphologique avancée (6).

LE CUIVRE DANS L'ANANAS

● Déficience et excès : symptômes.

Déficience : elle a été trouvée sur sols sableux (10) et serait relativement courante. Cependant, dans la littérature, on ne rencontre pas une description précise des symptômes.

Aucun cas de déficience en Cu n'a été mis en évidence en plein champ dans les différentes stations de l'IFAC. Une confusion a longtemps été faite : une carence attribuée à la fois au zinc et au cuivre, le "crook neck" (2), en fait ne serait due qu'au zinc selon SANFORD. Cependant des expériences en cours à l'Anguédédou semblent démontrer qu'il s'agit bien d'une double déficience.

Les symptômes ont été obtenus et très bien observés en Côte d'Ivoire en culture sur solution (18). Les premiers symptômes apparaissent sur les feuilles les plus âgées. Les feuilles sont vert clair, étroites, à forme très nettement en gouttière, à bords ondulés, leur apex est nécrosé et se vrille. Au stade récolte la plupart des feuilles sont tombantes avec une couleur rouge lie de vin à la pliure. Les racines sont courtes à très courtes et à chevelu très réduit. Le plant a un aspect rachitique.

Dès le 3^e mois les plants carencés en Cu sont en retard par rapport au témoin, légèrement moins que dans le cas de la carence en K laquelle marque le plus. Ce caractère ira en s'accroissant. La plante consomme très peu d'éléments (de K en particulier).

Excès de cuivre en culture sur solution : des plants recevant une solution 10 fois plus concentrée en Cu que le témoin, soit l'équivalent

de 100 kg de Cu SO₄ par ha et pour 60.000 pieds (19), après 6 mois ont un niveau de croissance moyen, les feuilles sont longues, vert pâle, à zones rougeâtres. Sur 3 plants, 2 ont fleuri et donné des fruits rougeâtres de 580 g.

● Analyses foliaires

Echantillons prélevés en plein champ. A la suite des différentes analyses (tableau 1) effectuées sur des échantillons prélevés dans différents pays, soit dans des essais soit dans des plantations présentant des symptômes de déficience en divers éléments (N, P, K, Mg, Fe, Mn), nous notons que :

- aucun des éléments pouvant être déficients n'a d'effet sur la teneur en Cu,

- lorsque la feuille D est échantillonnée en 3 parties (base, milieu de la partie verte, reste de la feuille), la base est toujours la plus riche,

- la teneur en cuivre est indépendante de l'âge des plantes (entre 3 et 9 mois), de la saison, de la situation géographique,

- dans un test d'apport de Fe, Cu, Zn en Martinique, un à un ou ensemble, la teneur en cuivre n'est pas modifiée et se situe vers 10 ppm,

- au Cameroun les dosages effectués sur 2 variétés (Cayenne locale et G 32-33) ne permettent pas de les distinguer.

En conclusion, pour des teneurs comprises entre 5 et 17 ppm de la matière sèche dans la feuille D entière, on doit se situer à des niveaux suffisants en cuivre.

Dans la base (échantillon hawaïen) STEYN en

TABLEAU 1 - Teneurs en cuivre de la feuille D de l'ananas variété Cayenne lisse, dans différents pays (résultats exprimés en ppm de matière sèche)

	Feuille D entière	Feuille D		
		Base	Milieu	Reste
Martinique	8-10	11-18	7-14	10-12
Amérique du Sud	9-13			
Côte d'Ivoire	5-17			
Sénégal		8-14	7-10	
Cameroun	5-13	8	9	9

1961 indique des teneurs comprises entre 8,6 à 11,5 ppm de matière sèche pour des plants sans symptômes.

Plants cultivés en hydroponique. En Côte d'Ivoire, dans la feuille D de plants cultivés sur solution équilibrée et complète, les teneurs en cuivre ne paraissent pas liées à l'âge (tableau 2). Des carences totales en oligo-éléments et en particulier (tableau 2), réalisées à partir de rejets très petits (moins de 25 g) pour éliminer les réserves de ceux-ci, montrent bien la teneur la plus faible en cuivre pour la carence en cet élément (7 ppm).

Cette valeur de 7 ppm est la plus faible trouvée en culture sur solution en Côte d'Ivoire, mais malheureusement les symptômes observés antérieurement (18) ne sont pratiquement pas apparus et la croissance a été normale: seules les feuilles étaient plus minces et tendaient à être en gouttière (20), il semblerait que l'on se trouve juste à la limite de la déficience et dans ce cas en culture sur solution - dans les conditions de l'expérimentation - 7 ppm est la teneur limite. Confirmant les observations du terrain, les carences en Fe - Mn, mais aussi en B et Zn, n'affectent pas la nutrition en Cu alors que la carence totale en Mo tendrait à élever le niveau (mais sans qu'il y ait excès).

Le cas de la carence en Zn est intéressant à comparer à celle du cuivre (tableau 3): outre un niveau nettement plus faible en Zn, la carence en cet élément donne la teneur la plus faible en cuivre (carence en Cu exceptée). Inversement la carence en cuivre provoque une

élévation du niveau du zinc par rapport au témoin et aux autres traitements. Ce résultat pourrait expliquer le "crook neck" (17) que l'on attribuait à une déficience en Zn et Cu et qui, récemment, a été reproduit avec une déficience en Zn seul (SANFORD et coll.). Dans le "crook neck" il y aurait déficience primaire en zinc qui induirait une déficience secondaire en cuivre (déficience ou plus exactement diminution d'absorption de Cu). Les apports de Cu et Zn associés ne peuvent donc être que bénéfiques mais, si le sol est suffisamment pourvu en cuivre, une application de Zn seul devrait suffire.

La culture sur solution carencée en cuivre qui n'a pas permis d'obtenir de symptômes typiques, n'a pas modifié l'absorption des éléments majeurs (tableau 3), si ce n'est une légère diminution de P dans les conditions de l'expérimentation.

En Martinique, le mode de culture étant différent: culture directement sur la solution, alors qu'en Côte d'Ivoire les racines sont soutenues par du polystyrène et rythme d'alimentation différent, les teneurs s'abaissent à 5 ppm avec la solution complète (tableau 2) qui provoque un développement normal des plants.

Il faut rappeler qu'en culture sur solution avec une forte concentration de cuivre des symptômes apparaissent. Il y a donc un seuil de toxicité en cuivre alors que pour le potassium, par exemple, plus la solution est riche, plus la feuille et la plante sont riches en K.

LE ZINC DANS L'ANANAS

● Symptômes de carence

Les carences en zinc chez l'ananas se rencontrent sur les mêmes types de terrain que pour le cuivre (sols sableux, délavés). Aux Hawaï, sur sol contenant 2,6 ppm de Zn, l'ananas a une croissance normale; au-dessous de 1 ppm les symptômes apparaissent (7): tout d'abord les jeunes feuilles sont marbrées et boursoufflées sur leur face supérieure, celles qui ne sont pas marbrées prennent une courbure marquée. La production de fruits est très retardée.

Sur solution nutritive en Côte d'Ivoire il n'a

pas été possible d'obtenir nettement ces symptômes, bien que la chute de niveau dans la feuille soit très nette (tableau 3). Les feuilles ont des marbrures irrégulières ou des décolorations jaune orangé en plaques ou zones apparaissant tardivement sur les bords, l'apex étant desséché, avec de petits points de nécrose (20).

Il a été observé que dans la serre de culture une Diaspine envahissait systématiquement les plants sur solution carencée en Zn et provoquait l'apparition de taches rondes indélébiles sur les feuilles.

TABLEAU 2 - Teneurs en cuivre de la feuille D d'ananas cultivés sur solutions nutritives (valeurs minimales et maximales en ppm de matière sèche)

		2,5 mois	5,5 mois	Hormonage (5,5 à 6 mois)
Côte d'Ivoire - Solutions équilibrées (rejets normaux)		10-21	8-15	11-17
Rejets de moins de 25 g	- Carences totales Témoin			9,5
	0 Cu			7,0
	0 Zn			8,0
	0 Fe			9,0
	0 Mn			9,0
	0 Mo			11,5
	0 B			10,0
Martinique - Carences totales (rejets normaux)				
Témoin Témoin				5
0 P, 0 Ca, 0 Mg, 0 Fe				7

TABLEAU 3 - Culture en hydroponique à partir de rejets de moins de 25 g (Côte d'Ivoire). Carences totales en oligo-éléments. Analyses de la feuille D à l'hormonage

	p. cent M. S.					ppm M. S.			
	N	P	K	Ca	Mg	Zn	Cu	Mn	Fe
Témoin	0,90	0,206	2,80	0,166	0,214	24	0,5	7,8	121
0 Cu	0,90	0,189	2,75	0,164	0,226	29	7,0	5,9	100
0 Zn	0,92	0,223	2,98	0,156	0,220	13	8,0	6,5	86
0 Mn	1,48	0,323	4,47	0,187	0,251	26	9,0	4,8	89
0 Fe	1,07	0,344	3,62	0,167	0,230	23	9,0	10,4	55
0 B	1,06	0,225	3,11	0,151	0,195	26	10,0	7,5	86
0 Mo	0,95	0,202	2,83	0,147	0,205	25	11,5	6,5	145

● Analyses foliaires

Echantillons prélevés au champ (tableau 4).

Selon LYMAN et DEAN (7) les parties méristématiques, et en particulier la base des feuilles, sont les plus sensibles et ont les teneurs les plus élevées en zinc dans la feuille D, en liaison avec le rôle du zinc comme activateur d'auxines : caractère que nous avons retrouvé - excepté au Sénégal où le milieu de la feuille est souvent plus riche que la base (tableau 4). Les analyses sont effectuées soit sur la feuille D entière, soit sur la base, le milieu de la partie verte et le reste de la feuille D.

Effets de l'âge de la plante

En Côte d'Ivoire sur sol très lessivé, sa-

bleux, sans apport de zinc mais sans symptômes, les teneurs les plus faibles, comprises entre 12 et 26 ppm, sont trouvés chez les plants les plus jeunes (3 mois et demi). Par contre, au Cameroun, des plants d'âges différents, sur un même terrain, à la même époque, ont des teneurs voisines : de 12 à 16 ppm à une date et de 18 à 20 ppm à une autre date : la variation paraît plutôt liée à un facteur climatique que nous n'avons pas encore mis en évidence.

Effets de l'altitude

Au Cameroun, dans une culture d'ananas en altitude (1.000 m) avec faible luminosité et fortes pluies, la croissance est lente, les plants sont chétifs et chlorotiques. Cultivés avec les

TABLEAU 4 - Teneurs en zinc de la feuille D de l'ananas, variété Cayenne lisse, dans différents pays. Minima et maxima rencontrés (en ppm de matière sèche).

	Feuille D entière	Feuille D		
		Base	Milieu	Reste
Martinique : avec déséquilibre Fe/Mn	24-44	24-52 65	18-31 23	21-41 21
Amérique du Sud	20-48			
Côte d'Ivoire				
au champ	12-29			
hydroponique (sans carence)	17-39			
Sénégal		26-37	24-51	
Cameroun				
chlorose	8-11			
croissance normale	12-34			
Valeurs de LYMAN et DEAN (Hawai)				sommet feuille
plants âgés de 12 mois				
- sans symptômes		25	8	6
- carencés fortement en zinc		8	5	8
plants de 10 mois				
- début de symptômes de carence en zinc		16	9	12

mêmes engrais, les mêmes modes de culture, à la même époque, à l'altitude 0 (recevant le moins de pluie) et à l'altitude 700, les plants ont un bon développement. On constate (tableau 5) que, les teneurs en Cu étant les mêmes d'une situation à l'autre, le zinc diminue avec l'altitude ainsi que Fe et Mn. La chlorose, à 1.000 m d'altitude, se traduit également par de faibles teneurs en N, K et Mg : il semble que ces derniers éléments doivent être mis en cause plutôt que le fer et le manganèse, qui restent en proportions normales entre eux, ou le zinc, qui est cependant aux niveaux les plus faibles que nous avons analysés (minimum : 8 ppm, maximum : 13 ppm), il en sera de même pour le manganèse (mais avec un rapport Fe/Mn normal). Ces caractères traduisent une malnutrition générale de la plante.

Cette diminution des niveaux en Fe, Mn, Zn avec l'altitude, (en même temps N, K, Mg diminuent également avec apparition de chlorose seulement à 1.000 m d'altitude) pourrait être expliquée en liaison avec divers facteurs : le sol et sa richesse en oligo-éléments ; la pluviosité de plus en plus élevée (avec un maximum admis par l'ananas qui se situerait entre 700 et 1.000 m d'altitude) ; la luminosité de plus en plus réduite qui diminue l'assimilation.

En fonction des facteurs climatiques il paraît probable que les niveaux critiques normaux peuvent être diminués puisque à 700 m d'altitude, avec des teneurs plus faibles que ceux-ci en N et Mg surtout, la croissance est normale.

La diminution d'absorption des oligo-éléments peut être aussi un facteur secondaire de celle des éléments majeurs.

Interaction des oligo-éléments.

En Martinique, à une carence en Fe due à un déséquilibre du rapport Fe/Mn, les teneurs en Fe et Mn étant élevées, est liée une forte élévation du zinc dans la base seule (tableau 4). Or, selon SCHAPPELLE (12), une forte teneur en Zn peut induire une chlorose en fer. Il est donc possible que le zinc soit la cause principale de cette chlorose observée.

Des essais d'apports de Zn, seul ou combiné au Fe (tableau 6), montrent que le fer associé au zinc favorise l'absorption de ce dernier et que les niveaux en Zn sont très comparables dans les 2 situations (d'un même pays) bien que les niveaux en Fe et Mn soient très différents (ainsi qu'en éléments majeurs qui sont déficients dans la situation 2) ; enfin, les niveaux sans apport de Zn (ou de Fe) sont cer-

TABLEAU 5 - Variations de teneurs en oligo-éléments avec l'altitude au Cameroun (en ppm de matière sèche)

Altitude		Zn	Cu	Fe	Mn	Observations
0 m Tiko	moyenne	15	6	213	138	développement normal
	mini-maxi	12-20	5-7	137-326	79-275	
700 m (Lysoka)	moyenne	12	6	167	100	N K Mg faibles (inférieurs au seuil critique, développement normal)
	mini-maxi	9-19	5-7	140-222	82-136	
1000 m (Buea)	moyenne	10	6	135	54	N K Mg encore plus faibles, chlorose
	mini-maxi	8-13	5-6	110-184	38-69	

TABLEAU 6 - Apports de Fe et Zn (sulfates en pulvérisations). Teneurs de la feuille D en Fe, Zn, Mn (ppm)

	Situation 1			Situation 2		
	Fe	Zn	Mn	Fe	Zn	Mn
Témoin	69	22	300	118	23	67
Fe + Zn	102	31	287	186	33	61
Fe	90	23	307	201	29	65
Zn	84	26	285	121	27	66
moyenne	86	26	295	156	28	65

tainement au-dessus du niveau critique pour Zn, ces apports n'ayant pas eu d'effet sur la récolte.

Par contre des apports de zinc et de cuivre mélangés auraient un effet dépressif sur le niveau foliaire de Zn chez l'ananas et les agrumes (16) par rapport à des plants ne recevant ni Zn ni Cu.

Cultures en hydroponique

Bien que les symptômes observés en solution carencée totalement en Zn, avec de petits rejets de moins de 20 g, ne soient pas typiques, le niveau foliaire s'abaisse de 24 à 13 ppm (tableau 3).

Les carences en autres oligo-éléments (Cu, Mn, Fe, Mo, B) ne modifient pas les niveaux

de Zn par rapport au témoin. Si avec la carence en Zn, ni la croissance des plants, ni le niveau des éléments majeurs ne sont modifiés par rapport au témoin, par contre Fe et Mn diminuent (liaison Fe, Mn et Zn ?).

Avec des rejets normaux (300-400 g) dans un test conduit sur 16 plants cultivés sur solution complète, les teneurs en zinc varient indépendamment de l'âge, 33 ppm à 2,5 mois, 19 ppm à 4,5 mois, 29 ppm à 5,5 mois : les niveaux les plus faibles correspondent à une période chaude (janvier). Si la culture est effectuée sur des solutions moitié moins concentrées, pour tous les éléments majeurs seulement, les niveaux foliaires en N, P, K, Ca, Mg sont diminués, mais ceux de Zn, Cu, Fe, Mn ne sont pas modifiés : leur absorption paraît donc indépendante de la concentration en éléments majeurs.

LE FER ET LE MANGANESE DANS L'ANANAS

Dans la suite de ce chapitre nous verrons qu'il n'est pas possible de raisonner sur la teneur foliaire d'un seul de ces 2 éléments, il est

nécessaire de comparer leurs proportions, sinon les conclusions sont erronées et contradictoires. C'est pourquoi nous avons préféré étu-

dier ces 2 éléments ensemble pour éviter les renvois dans le texte.

● Symptômes de déficience.

Fer

Les symptômes sont courants, en fonction de la teneur en Mn et du pH du sol, et ont été très souvent cités. Nous décrirons ceux observés en culture sur solution en Côte d'Ivoire (18) et en Martinique (4) semblables aux symptômes observés sur le terrain.

La chlorose se développe très tôt à partir des jeunes feuilles, de couleur jaune verdâtre avec une coloration rosâtre à la base. Deux mois plus tard la chlorose est générale, la croissance est ralentie. Le plant fleurit, mais tardivement, en floraison naturelle (à 14 mois) et la fleur se dessèche; en floraison provoquée un fruit de petite taille (environ 500 g), rouge, se développe sur un long pédoncule, avec une couronne jaunâtre importante (225 g). Les extrémités des feuilles chlorosées se dessèchent. Les racines sont peu nombreuses, assez longues, à courtes ramifications, disposées en "arêtes de poisson" sur toute la longueur.

La carence réalisée à partir de petits rejets (20) fait apparaître transitoirement un aspect grillagé de la feuille, symptôme trouvé couramment sur le terrain. Les feuilles sont vert clair avec les nervures et de petites lignes perpendiculaires à celles-ci plus foncées.

Manganèse.

La description de symptômes sur le terrain n'a pas encore été faite et paraît rare. Cependant, au Cameroun, dans un secteur à sol pauvre en Mn et où la déficience en cet élément a été observée chez le bananier et confirmée par l'analyse foliaire (8), une déficience en manganèse chez l'ananas a pu être déterminée.

Une chlorose, bien que moins intense que pour une déficience en fer, avait été attribuée à cet élément, or l'analyse montrera (voir plus loin) que les feuilles sont très riches en fer mais pauvres en Mn, il est nécessaire d'ajouter que dans ce cas les nervures aussi étaient chlorotiques alors qu'elles restent vertes avec la chlorose ferrique. La variété locale de Cayenne n'a pas présenté de symptômes alors que la variété G 32-33 nouvellement introduite était atteinte (tableau 8). Ces deux variétés cultivées dans d'autres zones du Cameroun ont des teneurs identiques en Mn et Fe, qu'elles

soient normales ou subdéficientes en fer. La variété G 32-33 serait donc plus sensible au défaut de Mn.

La luminosité est très importante, moins elle est intense, plus les symptômes de déficience en Mn sont atténués: or, au Cameroun, cette luminosité est faible et c'est pourquoi aussi en culture sur solution, sous abri, les symptômes paraissent souvent peu typiques et réduits à un léger jaunissement des feuilles dans les derniers stades selon CIBES (1). Au contraire, en Côte d'Ivoire, les symptômes sont apparus dans les plus jeunes stades et les feuilles atteintes ont reverdi par la suite; les bords des feuilles sont décolorés avec des marbrures brunes sur la face inférieure et des taches de rouille en bandes de 1 mm parallèles au bord du limbe (20). Les nervures face inférieure de la feuille sont vert jaunâtre et proéminentes, la face supérieure a les bords légèrement décolorés.

● Analyses foliaires

La gamme des teneurs en fer et manganèse dans la feuille D est très étendue et ce ne sont pas avec les plus faibles teneurs que sont observés les symptômes (tableau 9). Ces teneurs vont, pour l'ensemble des pays où des prélèvements ont été faits :

- pour le fer : de 50 à 1.000 ppm (et même 1.560 dans la base),
- pour le manganèse : de 29 à 1.300 ppm (1.500 dans la base).

Effet du pH du sol sur les teneurs foliaires.

En Côte d'Ivoire des apports de calcaire, avec ou sans bore, sur sables très lessivés, ont provoqué :

- dans le sol une élévation très significative du Ca et du pH : pH 4,2 sans Ca - à pH 6,96 2 mois après et 6,42 10 mois après l'apport de 10 t/ha de CaCO₃,
- dans la feuille D, outre une élévation de Ca, Mn diminue très nettement (tableau 7) : sur sol déjà pauvre en Mn, Ca provoque une insolubilisation plus ou moins intense de Mn. Le fer, par contre, paraît peu sensible à cette évolution du pH : au moment du traitement de floraison (8,5 mois), les parcelles ayant reçu du calcaire donnent les feuilles D les plus riches en fer par l'antagonisme possible à la diminution de Mn.

TABLEAU 7 - Essai Bore-Calcium sur sables tertiaires de Côte d'Ivoire
Evolution des teneurs (ppm) en Fe et Mn de la feuille D en fonction de
l'âge et des apports de Ca

Age des plants → Teneurs en ppm/MS ↓		3, 5 mois		5, 5 mois		7, 5 mois		8, 5 mois	
		Mn	Fe	Mn	Fe	Mn	Fe	Mn	Fe
0 t	CaCO ₃ 0 Bore	132	191	92	100	102	139	79	118
	0, 2 g/pied B ₂ O ₃	147	228					85	116
10 t/ha	CaCO ₃ 0 Bore	98	200	59	95	72	115	63	138
	0, 2 g/pied B ₂ O ₃	94	201					66	141

Effets d'apports de fer et zinc (tableau 6).

Le fer, apporté seul ou avec Zn, élève la teneur foliaire en fer sans effet sur le niveau du manganèse qui est très différent d'une situation à l'autre (295 et 65 ppm).

Dans le premier cas les apports de fer ne sont pas suffisants pour élever assez le niveau du fer qui, comme nous le verrons plus loin, est déficient par rapport au manganèse. S'il y avait antagonisme de compétition Fe-Mn, quand Fe augmente, Mn aurait dû diminuer, or il n'évolue pas et la déficience en Fe par rapport à Mn aurait diminué d'autant. L'antagonisme de compétition Fe-Mn paraît ne marquer que dans certaines limites.

Le fer apporté dans 2 situations différentes n'a pas eu d'effet sur la récolte mais, dans un des deux cas, il était déjà suffisant sans apport et, dans l'autre, même avec apport, il reste déficient.

Effets d'apports de phosphore dans une zone déficiente en P.

Ils ont été observés en Guadeloupe dans une zone où une carence en P a été mise en évidence d'abord chez le bananier (3), puis chez l'ananas (11), dans un essai d'apports de phosphore sur sol déficient en P, mais aussi en Fe mais riche en Mn.

Une déficience en P, K ou Ca pourrait causer des symptômes apparents de carence en fer (21) et, en cas d'excès de P dans le sol, Mn serait complexé et inassimilable. Dans la plante un excès de P empêcherait une bonne mobilité de Mn et le précipiterait.

Dans cet essai d'apport de P, en pulvérisations mensuelles, la feuille D échantillonnée est divisée en 3 parties : base, milieu de la partie verte, reste de la feuille. Le milieu pour

Fe et Mn ne donnent pas d'indications précises, la base et le reste permettent de mieux suivre l'évolution de ces éléments. Dans cet essai, mais aussi pour les autres cas où ce type d'échantillonnage a été pratiqué, on a fait les constatations suivantes :

- la base est plus riche en fer mais plus pauvre en Mn que le reste de la partie verte, le milieu étant plus variable ;

- en cas de déficience en fer, surtout peu prononcée, la base paraît moins sensible ; le reste de la feuille semble très comparable à la feuille entière ;

- l'extrémité des feuilles est certainement très riche en Mn : base et milieu sont plus pauvres que le reste, il y a donc toutes chances que ce soit la partie distale la plus riche et qui élève donc les teneurs du reste de la feuille.

Dans la figure 1 nous avons cherché à établir les relations entre P et Mn d'une part, et P et Fe d'autre part dans le reste de la feuille D et, dans la figure 2, les mêmes relations dans la base, dans l'essai d'apport de P en Guadeloupe. Avec l'âge P augmente régulièrement sauf à la dose 0 de P où le niveau de carence (9) se maintient.

Fe et Mn diminuent régulièrement avec l'âge quand il y a carence en P (dose 0).

Avec apports de P (1,88 ou 3,75 g P₂O₅/plant) le manganèse, tout comme avec la carence en P, diminue avec l'âge puis, à des teneurs supérieures à 0,10 - 0,12 p. cent en P, la courbe s'inverse et Mn augmente dans le reste de la feuille. Or ces teneurs en P correspondent apparemment au niveau critique de cet élément (9). Dans la base, du fait surtout de la plus forte augmentation de P, l'inversion de la courbe est moins nette, elle paraît se situer vers 0,15 p. cent, alors que pour cette

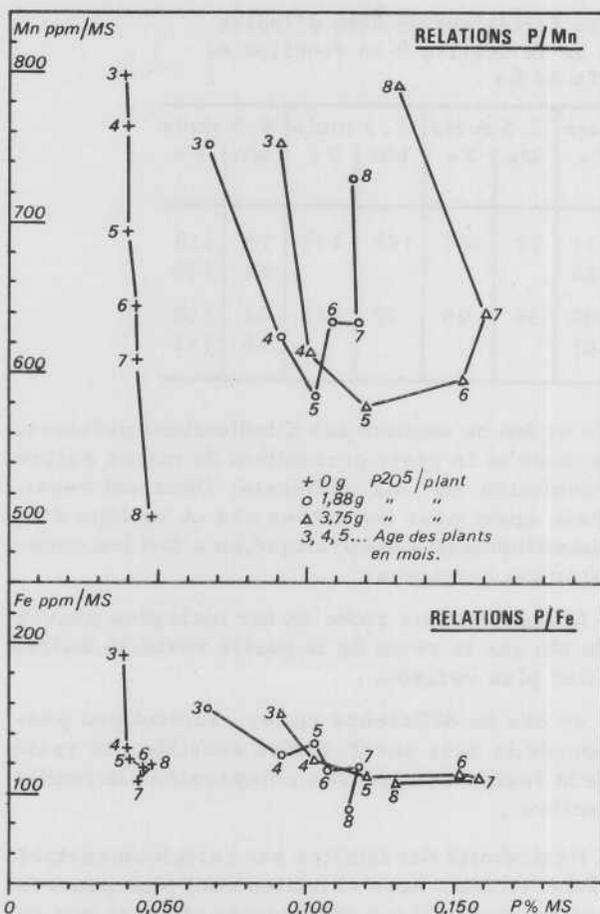


FIGURE 1- ESSAI PHOSPHORE-GUADELOUPE. RESTE DE LA FEUILLE D (PARTIE VERTE).

partie le niveau critique serait plutôt situé à 0,20 p. cent.

Aux deux doses de P, les niveaux en Mn sont très comparables, surtout quand cet élément diminue et il est alors plus faible que lorsqu'il y a carence (dose 0).

P a été apporté en pulvérisations, et le sol ne s'est pas enrichi en cet élément (9) : s'il y a interaction P-Mn, elle se situe donc certainement dans les feuilles. L'assimilation de Mn est améliorée quand P est à des niveaux optima et croît avec des teneurs croissantes en P au-dessus du niveau critique.

Il est plus délicat de mettre en évidence une action de P sur Fe dans le reste de la feuille principalement, où la diminution de Fe paraît s'atténuer quand P est au-dessus du niveau critique. Ce caractère est peut-être un peu plus net dans la base qui est plus pauvre en fer quand

elle reçoit du phosphore, pour les 4 premiers prélèvements (ainsi que le reste de la feuille pour les 2 premiers). Cette diminution de Fe peut s'expliquer par un effet de dilution : il y a apport de Fe SO₄ en même quantité sur des plants moins développés avec la carence en P, d'où concentration de cet élément dans une masse végétale moins importante.

Bien que les plants aient reçu des pulvérisations de Fe SO₄, l'élévation de Mn avec P croissant va accentuer la déficience en Fe par rapport à Mn, le rapport Fe/Mn diminue encore, alors que selon WALLACE et HEWITT (21) la déficience en P causerait les symptômes de déficience en Fe. Mais il ne faut pas oublier que dans ce cas il y a déjà déficience du sol en fer.

Liaison Fe - Mn.

Dans la figure 3 sont regroupées les valeurs de Fe et Mn analysées dans diverses zones géographiques (Antilles, Amérique du Sud, Cameroun, Côte d'Ivoire, Sénégal) à différentes saisons et dans des essais ou des plantations divers. Pour cet ensemble de facteurs nous n'avons pu mettre en évidence d'action sur Fe ou Mn, le pH et la richesse en Fe-Mn du sol paraissant seuls avoir une influence.

Outre la grande variation possible des teneurs en Fe et Mn, signalée plus haut, nous voyons également que le rapport Fe/Mn varie de 17,2 à 0,1 environ.

Pour les teneurs en Mn inférieures à 200 ppm celles de Fe tendent à s'élever : tendance pouvant faire penser à un antagonisme de compétition Fe-Mn limité à ces valeurs de Mn.

Pour les teneurs en Mn supérieures à 200 ppm, celles du Fe tendraient à augmenter (mais moins que Mn).

Déficience en fer.

Sur le terrain les cas où les plants présentaient des symptômes de déficience en fer, reconnus d'après les cultures sur solution, sont assez nombreux ; les analyses montrent que ces symptômes correspondent toujours à des niveaux relativement élevés en Mn et pas toujours les plus faibles en fer. Plus Mn s'élève et plus Fe augmente, mais parfois insuffisamment, d'où symptômes de déficience en fer. Il ne faut donc pas considérer la teneur absolue du fer, mais sa proportion par rapport au manganèse : la déficience en fer paraît être provo-

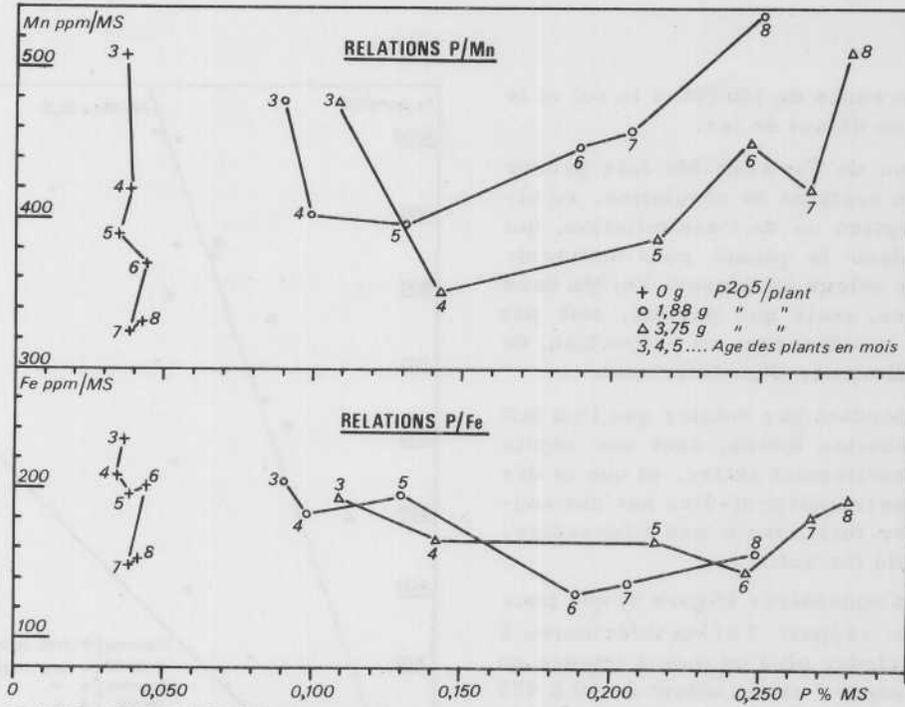
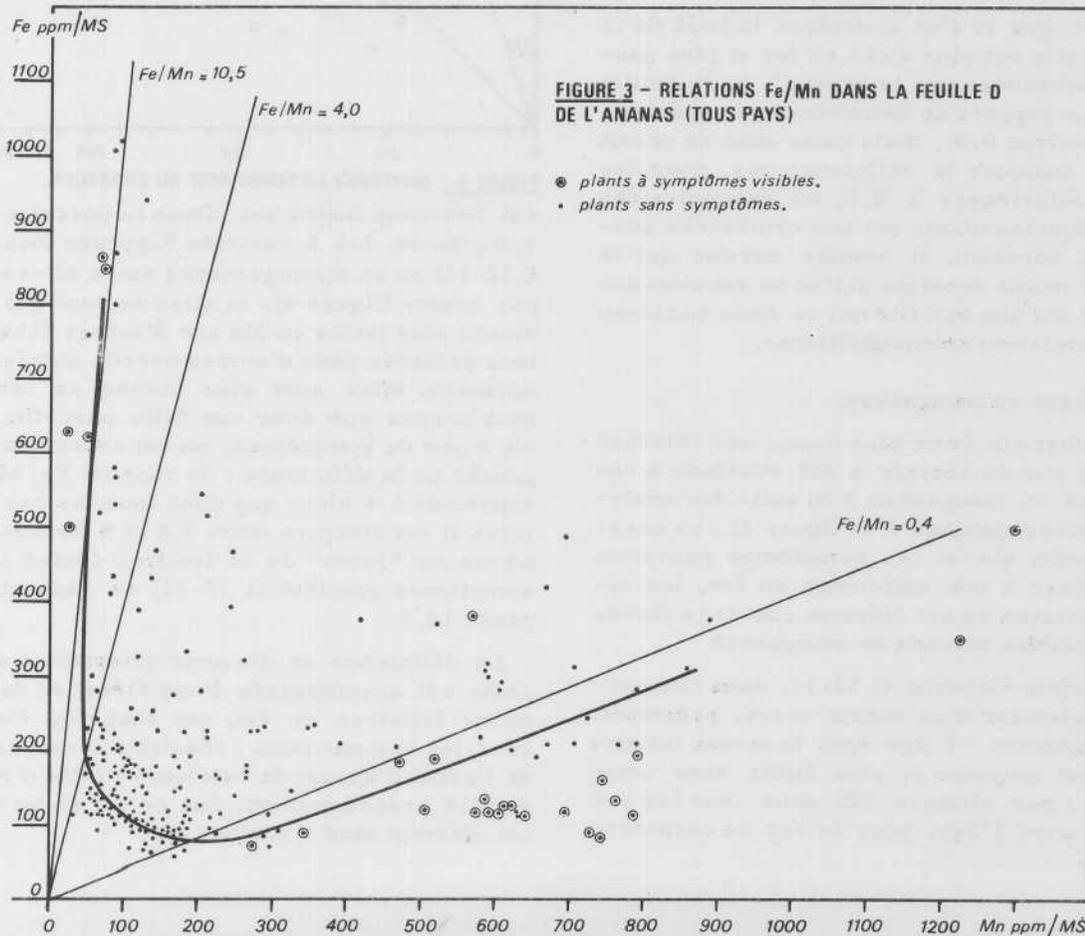


FIGURE 2 - ESSAI PHOSPHORE-GUADELOUPE. BASE DE LA FEUILLE D.



quée plus par un excès de Mn (dans le sol et la plante) que par un défaut de fer.

L'augmentation de Fe avec Mn fait penser qu'il y aurait un système de régulation, au niveau de l'absorption ou de l'assimilation, qui interviendrait dans la plante pour maintenir normalement la valeur du rapport Fe/Mn dans certaines limites, mais que parfois, soit par excès de Mn ou insuffisance, en proportion, de Fe, ce rapport diminue, d'où déficience.

Il ne faut cependant pas oublier que l'on fait un dosage d'éléments totaux, dont une partie seulement est réellement active, et que la déficience en fer se traduit peut-être par une augmentation du fer total, mais pas nécessairement par celle du fer actif.

On peut considérer (figure 3) que pour des valeurs du rapport Fe/Mn inférieures à 0,4 il y a déficience plus ou moins intense en fer avec des teneurs en fer allant de 60 à 475 ppm et en Mn de 190 à 1.300 ppm dans la feuille D entière ou le "reste" de celle-ci.

A noter que si l'on considère la base de la feuille D, elle est plus riche en fer et plus pauvre en manganèse que le "reste", ou la feuille entière. Le rapport de déficience est supérieur à 0,4 (environ 0,8), mais cette zone ne paraît pas bien indiquer la déficience car, pour des valeurs inférieures à 0,8, on rencontre des feuilles dont les plants ont une croissance parfaitement correcte. Il semble normal que la base soit moins sensible si l'on se souvient que Fe et Mn ont une activité qui se situe au niveau de l'assimilation chlorophyllienne.

Déficience en manganèse.

Au Cameroun (voir plus haut), une chlorose reconnue sur le terrain a été attribuée à une déficience en manganèse à la suite des analyses foliaires (tableau 8 et figure 4) : on constate en effet que si les symptômes pouvaient faire penser à une déficience en fer, les niveaux foliaires en cet élément sont très élevés avec de faibles niveaux en manganèse.

La variété Cayenne G 32-33, dans une parcelle seulement d'un même carré, présentait des symptômes : à âge égal le niveau foliaire en Mn est toujours le plus faible dans cette parcelle ; par ailleurs Mn dans tous les cas diminue avec l'âge, pour le fer ce caractère

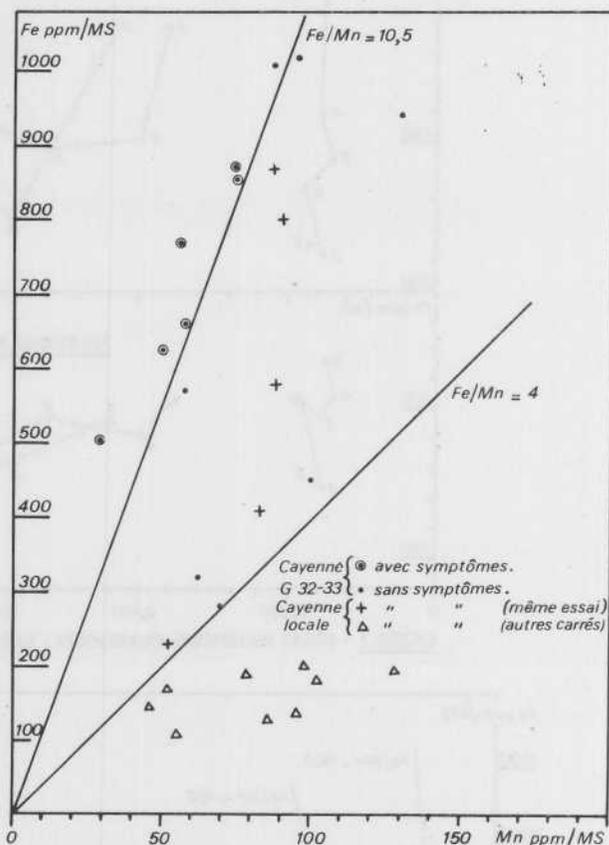


FIGURE 4 - DÉFICIENCE EN MANGANÈSE AU CAMEROUN.

est beaucoup moins net. Dans la parcelle sans symptômes, les 2 variétés (Cayenne locale et G 32-33) ne se distinguent pas entre elles mais, par contre (figure 4), si elles ne sont pas à un niveau plus faible en Mn que d'autres échantillons prélevés dans d'autres carrés absolument normaux, elles sont plus riches en fer : on peut penser que dans une telle parcelle, s'il n'y a pas de symptômes, on est cependant très proche de la déficience : le rapport Fe/Mn est supérieur à 4, alors que dans tous les cas normaux il est compris entre 0,4 et 4 (feuilles entières ou "reste" de la feuille). Quand il y a symptômes (variété G 32-33) ce rapport dépasse 10,5.

La déficience en Mn avec symptômes apparents est accompagnée d'une élévation des teneurs foliaires en Ca, qui sont déjà élevées avec les cas normaux : résultats à rapprocher de l'essai d'apport de calcium en Côte d'Ivoire signalé précédemment. Sur ce sol riche en Ca cet élément tend à bloquer Mn.

TABLEAU 8 - Cas de chloroses dues au manganèse (Cameroun)

Variété	Age	Mn (ppm)		Fe (ppm)	
		Parcelle avec symptômes	Parcelle sans symptômes	Parcelle avec symptômes	Parcelle sans symptômes
Variété G 32-33	3 mois	78	130	850	940
	4 mois	77	97	863	1.020
	6 mois	50	67	625	570
		58	70	650	280
	9 mois	29	87	500	1.008
Cayenne locale	3 mois		87		868
	4 mois		90		800
	6 mois		88		580
			83		408
	9 mois		52		234

● Cultures en hydroponiques - Carences totales en Fe et Mn

La culture à partir de très petits rejets (tableau 3), même sur solution non carencée en Mn, donne des feuilles D à niveau très faible en Mn (7,8 ppm chez le témoin) en liaison d'une part avec la faible concentration de la solution (Mn : 0,66 mg/litre - Fe : 2,8 mg/litre) et, d'autre part, avec la faiblesse des réserves du rejet. Des rejets de 300-400 g cultivés sur une même solution donnent des feuilles D contenant à 2,5 mois : 62 ppm et, à 5,5 mois : 16 ppm. Le rapport Fe/Mn paraît totalement déséquilibré, car le fer est pratiquement à des niveaux rencontrés couramment sur le terrain. Cependant, les plants ont une croissance normale : les oligo-éléments ne paraissent donc pas toujours être un facteur limitant de croissance. Avec la carence totale en Mn sur petits rejets, le niveau foliaire s'abaisse encore (4,8 ppm) et se traduit par une apparition de symp-

tômes relativement atténués. Il est probable que la luminosité réduite par la culture sous abri intervient pour réduire le développement des symptômes. Avec cette teneur en Mn de 4,8 ppm, les teneurs de tous les éléments majeurs se sont élevées : le défaut de Mn a limité la croissance, les éléments absorbés sont mal utilisés et les niveaux s'élèvent.

La carence totale en fer avec ce même type de rejets (moins de 25 g) abaisse nettement le niveau foliaire du fer (de 121 à 55 ppm) accompagné d'une légère élévation de Mn, en liaison avec la pauvreté de la solution, à 10,4 ppm. Cette carence est celle qui a le plus marqué sur le ralentissement de croissance de la plante (20) provoquant une élévation de P (surtout), N et K.

Les carences totales en Cu, Zn, B paraissent avoir un effet dépressif sur le fer, (la carence en Mo l'élèverait) ainsi que sur Mn, sauf la carence en B.

CONCLUSION

Cette étude des oligo-éléments dans l'ananas a permis d'une part de rappeler brièvement les symptômes de déficience de ces éléments et, d'autre part, de tenter de fixer les niveaux foliaires de chacun d'eux.

En cuivre et zinc, il n'est pas possible, dans l'état actuel des travaux de fixer leur niveau critique mais de donner les valeurs limites

rencontrées dans la feuille sans qu'apparemment ces éléments aient un rôle limitant.

Pour Cu ces teneurs sont comprises entre 5 et 21 ppm et pour Zn entre 8 et 48 ppm (feuille D entière).

Pour le fer et le manganèse, par contre, un certain nombre de caractères ont été mis en

évidence :

- Importance de la valeur du rapport Fe/Mn ; à des valeurs :
- a) inférieures à 0,4, avec Mn supérieur à 200 ppm, il y a déficience en fer ;
- b) comprises entre 0,4 et 4, l'alimentation en ces 2 éléments est normale ;
- c) comprises entre 4 et 10,5, il y a sub-déficience en Mn ;
- d) supérieures à 10,5 il y a déficience en Mn.

Ces résultats sont regroupés dans le tableau 9. On ne peut pas fixer un niveau critique pour Fe ou Mn, la déficience en l'un ou l'autre de ces éléments peut apparaître avec des teneurs en celui-ci plus élevées que chez des plants à croissance normale.

- L'antagonisme de compétition Fe/Mn ne paraît jouer qu'avec des teneurs en Mn inférieures à 200 ppm.

- La déficience en P limite l'absorption de Mn.

TABLEAU 9 - Les niveaux du manganèse et du fer dans le Feuille D de l'ananas dans différentes localisations (ppm de matière sèche)

	Déficience en Mn (symptômes visibles)	Risque de déficience en Mn (pas de symptômes)	Pas de symptômes	Déficience en Fer
Mn	29-78 (variété G 32-33)	52-130	38-700	190-1300
Fe	500-863	280-1008	50-590	60-475
Rapport Fe/Mn	supérieur à 10,5	compris entre 4 et 10,5	compris entre 0,4 et 4	inférieur à 0,4

BIBLIOGRAPHIE

- 1 - CIBES (H.) et SAMUELS (A.).
1. Mineral deficiency symptoms displayed by Red Spanish pineapple plants grown under controlled conditions.
Techn. Paper Puerto-Rico Agr. Exp. Sta. Rio Pedras n° 25, p. 1-32, 1958.
2. Sur cayenne lisse
Techn. Paper Puerto-Rico Agr. Exp. Sta. Rio Pedras n° 31, p. 1-30, 1961.
- 2 - DUNSMORE (J.R.). The pineapple in Malaya.
Malayan Agr. J., 40, p. 159-187, 1957.
- 3 - GODEFROY (J.) et LACOEUILHE (J.J.). Un cas de carence en phosphore sur bananier en plein champ à la Guadeloupe.
IFAC, Réunion annuelle, 1969, n° 136.
- 4 - GUYOT (A.) et MARTIAL (J.). Installation pour culture hydroponique d'ananas à Moutte (Martinique).
II - 1ère expérimentation : étude préliminaire de carences.
IFAC, Réunion annuelle 1970, n° 41.
- 5 - HEWITT (E.J.). Experiments on iron metabolism in plants.
I Some effects of metal induced iron deficiency.
Long Ashton Research Sta. Ann. Rept. 1948, p. 66-80, 1949.
- 6 - HEWITT (E.J.). Essential nutrient elements for plants
Plant Physiology a treatise.
Vol. III *Inorganic Nutrition of plants*, p. 150-360, 1969.
- 7 - LYMAN (C.) et DEAN (L.A.). Zn deficiency of pineapple in relation to soil and plant composition.
Soil Sci., 54, p. 315-324, 1942.
- 8 - MARCHAL (J.) et col. Diagnostic foliaire sur jeunes plantations de bananiers au Cameroun.
IFAC, Réunion annuelle, 1969, n° 122.
- 9 - MARCHAL (J.). Le phosphore chez l'ananas.
Fruits, mars 1971, vol.26, n°3, p. 189-206.
- 10 - MATHEWS (W.H.). Pineapples in Florida.
Univ. Florida Agr. Ext. Serv. Circ. 195 A, 1-13, 1962
- 11 - PY (C.) et col. Résultats complets de l'essai phosphore Sarde.
IFAC, Réunion annuelle 1970, n° 16.
- 12 - SCHAPPELLE (N.O.). The effect of pH of certain minor elements on the growth of pineapples in water cultures.
J. Agr. Univ. Puerto-Rico, 26, p. 63-72, 1942.
- 13 - SIDERIS (C.P.) et YOUNG (H.Y.). Growth and chemical composition of *Ananas comosus* in solution cultures with different Fe/Mn ratios.

Plant Physiology, 24, p. 416-440, 1949.

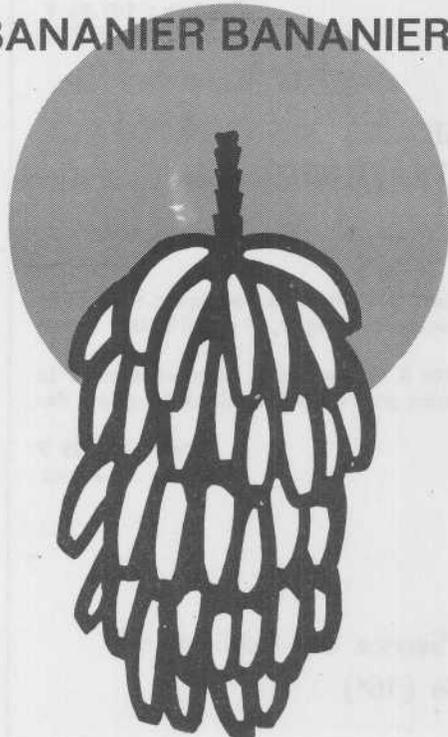
- 14 - SOMERS (I.I.) et col. The Fe/Mn ratio in relation to the respiratory CO₂ and deficiency toxicity in soybeans *Plant Physiol.*, 17, p. 317-320, 1942.
- 15 - SOMERS (I.I.) et SHIVE (J.W.). The Fe-Mn relation in plant metabolism. *Plant Physiology*, 17, p. 582-602, 1942.
- 16 - STEYN (W.J.A.) et EVE (D.J.). The Zn status of citrus and pineapples in the Eastern Cape. *S. Afric. J. Sci.* 52, p. 230-271, 1956.
- 17 - TISSEAU (M.A.). La déficience en Zn et Cu chez l'ananas, le crook-neck. *Fruits*, vol. 14, p. 363-367, 1969.
- 18 - TISSEAU (M.A.) et TISSEAU (Renée). Culture sur milieu artificiel. Observations sur la croissance et

les symptômes de carence de l'essai : "Floraison nutrition minérale de l'ananas".
IFAC, Réunion annuelle, 1963, n° 48.

- 19 - TISSEAU (M.A.) et TISSEAU (Renée). Situation des cultures hydroponiques d'ananas. *IFAC, Réunion annuelle 1965, n° 31.*
- 20 - TISSEAU (Renée). Symptômes de carences sur des plants d'ananas cultivés en hydroponique. II - Carences totales en oligo-éléments. *IFAC, Réunion annuelle 1970, n° 74.*
- 21 - WALLACE (T.) et HEWITT (E.J.). Studies on iron deficiency of crop : I Problems of Fe deficiency and the inter-relationships of mineral elements. *J. Pomol. Hort. Sci.*, 22, p. 133-161, 1946.



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**

