

Effets du chaulage sur la culture de l'ananas (var. Cayenne lisse) dans un sol ferrallitique fortement désaturé.

J. GODEFROY, J.-J. LACOEUILHE et J. MARCHAL*

EFFETS DU CHAULAGE SUR LA CULTURE DE L'ANANAS (VAR. CAYENNE LISSE) DANS UN SOL FERRALLITIQUE FORTEMENT DESATURÉ

J. GODEFROY, J.-J. LACOEUILHE et J. MARCHAL (IRFA)
Fruits, oct. 1976, vol. 31, n° 10, p.

RESUME - Sur un sol ferrallitique fortement désaturé de basse Côte d'Ivoire, le chaulage a eu les effets suivants :

- l'indice d'instabilité structurale (I_s) n'est pas modifié. En revanche, l'indice de percolation (K) est diminué sans qu'une hypothèse plausible soit formulable
- la matière organique reste identique
- les pertes de calcium par lixiviation sont d'autant plus importantes que les apports sont élevés. La couverture du sol par un film de polyéthylène influence relativement peu ces pertes qui sont de 10 à 15 p. cent. Pour un sol de pH inférieur à 5, et de capacité d'échange faible (6 à 8 mé/100 g), il faut 1,5 t/ha de CaO pour élever le pH d'une unité. Un apport de 10 g/plant de dolomie permet de maintenir le calcium du sol à un niveau suffisant.

- le chaulage a un effet positif sur la rémanence des engrais magnésiens et potassiques. Les mêmes apports de dolomie (10 g) « stabilisent » la teneur du sol en Mg.

- le chaulage permet de limiter les risques de toxicité aluminique qui paraissent élevés à pH inférieur à 4,5.

Les effets sur la culture de l'ananas sont les suivants :

- la sensibilité au *Phytophthora* augmente rapidement à partir de pH 5
- un chaulage mal contrôlé entraîne un ralentissement et une hétérogénéité de la croissance, qui peut être perturbée (crook-neck) ou bloquée par un excès de calcium
- le poids moyen des fruits récoltés est maximum pour des pH compris entre 4,0 et 5,5. Le chaulage augmente l'acidité du fruit lorsque le pH est inférieur à 5 ce qui diminue la sensibilité à certaines maladies (taches noires, brunissement interne)
- le chaulage modifie fortement la nutrition calcique de l'ananas. L'utilisation de l'azote semble modifiée. Le calcium exerce un antagonisme assez faible sur le potassium mais diminue les teneurs en manganèse de la feuille D.

Dans les sols ferrallitiques de basse Côte d'Ivoire, le pH optimal pour l'ananas semble être compris entre 4,5 et 5,0.

Une caractéristique des sols ferrallitiques du sud de la Côte d'Ivoire, développés sur sables argilo-ferrugineux (sables tertiaires), est leur faible teneur en calcium (Ca échangeable inférieur à 1 mé/100 g) et leur acidité élevée (pH : 3,5 à 4,5). Bien que l'ananas soit une plante dont les besoins en cet élément soient relativement faibles : immobilisations de 80 à 100 kg de CaO/ha, (LACOEUILHE, 1974), et que cette culture s'accommode des sols acides, il nous a paru nécessaire de préciser les effets du chaulage sur ce type de sol. Dans ce but, deux essais ont été mis en place en 1968 (GODEFROY et col., 1971) afin d'étudier le rôle de l'amendement sur la croissance, la nutrition et la productivité de l'ananas, ainsi que son action sur les caractéristiques

physiques et chimiques du sol. D'autre part, pour essayer de dissocier le rôle du calcium en tant qu'élément nutritif et en tant qu'amendement du sol, on a effectué dans un traitement supplémentaire (5) des apports de sulfate de calcium.

CONDITIONS DE L'ETUDE

Sol.

Les essais, réalisés sur la station IRFA de l'Anguédédou, sont établis sur un sol ferrallitique fortement désaturé. La composition granulométrique est la suivante :

- argile	20 à 25 p. cent
- limon fin	2 à 5 p. cent
- limon grossier	1 à 2 p. cent

* - J. GODEFROY et J.-J. LACOEUILHE - IRFA - B.P. 1340

Abidjan (République de Côte d'Ivoire)

J. MARCHAL - IRFA/GERDAT - B.P. 5035 - 34032 MONTPELLIER
CEDEX (France)

- sable fin 20 à 25 p. cent
- sable grossier 45 à 55 p. cent

Les propriétés chimiques sont celles des sols de cette sous-classe qui se caractérise par : des teneurs en cations échangeables très faibles (moins de 1 m^é/100 g), un degré de saturation (moins de 20 p. cent) et un pH très acide (inférieur à 5,5). La composition moyenne du sol à la mise en place des essais (1968) est résumée dans le tableau 1.

Climat.

Il se caractérise par l'existence de deux saisons des pluies : la plus intense et la plus longue présente un maximum en juin, la plus courte est centrée sur octobre. Elles sont séparées par la petite «saison sèche» d'août-septembre. La grande saison sèche dure en moyenne de trois à cinq mois, comprenant décembre, janvier et février.

La **pluviosité** moyenne annuelle est voisine de 2 mètres. La **température** moyenne est élevée : 25,5°C et les variations mensuelles sont de faible amplitude : 2 à 4°C. Le **drainage** annuel est de l'ordre de 800 à 1.100 mm.

TRAITEMENTS

Essais A. Il comporte cinq traitements avec cinq répétitions (blocs de Fischer).

- 1 - témoin non chaulé
- 2 - chaux dose simple (1,5 t/ha de CaO)
- 3 - chaux dose double (3,0 t/ha de CaO)
- 4 - chaux dose quadruple (6,0 t/ha de CaO)
- 5 - sulfate de calcium, quantité de CaO équivalente au traitement 2.

Le chaulage est effectué à chaque cycle de production, soit en moyenne tous les dix-huit mois.

Dans les traitements 2, 3 et 4, la chaux est mélangée avant plantation à la **terre du billon**, puis celui-ci est recouvert de polyéthylène noir, après que l'on ait appliqué dans tous les traitements une fumure de fond : magnésienne (kiésérite), phosphatée à partir du deuxième cycle (phosphate d'ammonium) et le quart de la fertilisation potassique (sulfate de potassium).

Dans le traitement 5, les applications de sulfate de calcium sont faites en quatre fois : 1/4 de la dose est enfoui dans le billon comme pour la chaux, les trois autres apports

sont appliqués à l'aisselle des feuilles en cours de végétation. Ce traitement permet de mettre en évidence, par comparaison avec le témoin, le rôle du calcium en tant qu'élément nutritif, car il modifie peu la composition ionique du sol et le pH.

Essai B. Initialement, cet essai constituait un sous-traitement du précédent : la moitié des plants de chaque parcelle recevait du bore en pulvérisations foliaires. Cet élément n'ayant manifesté aucune action, à partir du troisième cycle (mai 1971) le sous-traitement a été utilisé pour étudier l'arrière-action du chaulage. Dans tous les traitements, y compris le témoin, on a supprimé la couverture de polyéthylène et enfoui dans les billons aux replantations (mai 1971, septembre 1972, mars 1974) 10 g de dolomie par plant (615 kg/ha). Cet amendement, utilisé comme fertilisant magnésien, apporte 125 kg de MgO et 185 kg de CaO à l'hectare. D'autre part, à partir du quatrième cycle (septembre 1972) on a apporté 2,3 t/ha de soufre dans le traitement 5. Ce soufrage avait pour but d'acidifier le sol, afin d'étudier la réaction de la plante aux pH très fortement acides (inférieurs à 4,0).

ACTION DU CHAULAGE SUR LES CARACTÉRISTIQUES STRUCTURALES ET CHIMIQUES DU SOL

Structure.

La structure est caractérisée par deux indices, proposés par S. HENIN et ses collaborateurs (1958) : l'**indice d'instabilité structurale** (I_s) qui donne une représentation de la résistance des agrégats sous l'action de l'eau et l'**indice de percolation** (K) qui mesure la vitesse de filtration de l'eau sur échantillon remanié.

L'**indice d'instabilité** ne met en évidence aucune différence entre les traitements, que l'on considère les valeurs de I_s ou celles des divers tests qui servent à le calculer : taux d'agrégats stables à l'eau (Aga, Age, Agb) ou dispersion des éléments fins (A + L maximum). En revanche, on observe une diminution de l'**indice de percolation** dans les parcelles chaulées. Ce résultat, contraire à ce que l'on pouvait attendre des effets du chaulage, se confirme toutes les années dans les deux essais, et pour toutes les répétitions, ce qui exclut tout cas fortuit (tableau 2). Aucune hypothèse plausible ne permet d'interpréter cette action de la chaux.

On notera que le recouvrement des billons avec un film de polyéthylène (essai A) a un effet bénéfique sur la vitesse

TABLEAU 1 - Composition chimique initiale du sol.

	matière organique			complexe absorbant m ^é /100 g					pH	P ₂ O ₅ assimilable DYER p. cent
	C p. mille	N p. mille	C/N	Ca	Mg	K	CEC	V p. cent		
1968	12,2	0,76	16	0,7	0,2	0,1	7,4	15	4,3	0,02

TABLEAU 2 - Indice de percolation K en cm/heure.

Traitements	non chaulé		chaulé			P.P.D.S.		Coefficient de variation p. cent
	1	5	2	3	4	5 p. cent	1 p. cent	
Essai A 1973	8,0	7,2	6,7	6,0	5,9	0,9	1,3	9
		NS	**	**	**			
1974	7,8	8,0	6,0	5,9	6,1	1,2	1,7	13
		NS	**	**	**			
1975	5,8	5,4	2,6	3,1	3,3	0,4	0,6	8
		NS	**	**	**			
Essai B 1973	4,9	4,5	3,6	3,5	3,8	0,8	1,0	14
		NS	**	**	**			
1974	3,5	2,8	1,8	1,7	2,3	1,0	1,4	30
		NS	**	**	**			
1975	4,8	3,9	2,8	2,5	2,6	0,7	0,9	15
		*	**	**	**			

Différences significatives par rapport au témoin (1)

* : P = 5 p. cent ; ** : P = 1 p. cent

de filtration de l'eau, donc sur la structure du sol.

Matière organique.

Les apports de calcium n'ont pas d'influence sur les teneurs du sol en matière organique et en azote total, ni sur les valeurs des rapports C/N.

Dans une précédente étude (GODEFROY, 1974), nous avons montré le rôle complexe du calcium sur le bilan humique. Cet élément agit dans deux sens opposés : d'une part il améliore le rendement de la transformation des résidus de culture en humus, d'autre part il accroît l'activité microbiologique du sol et favorise ainsi la biodégradation de cet humus. Dans nos conditions expérimentales, il semble donc que ces deux facteurs s'équilibrent.

Complexe absorbant.

Les teneurs en calcium extractible à l'acétate d'ammonium sont sensiblement proportionnelles aux quantités de chaux apportées (figure 1). En l'absence de lixiviation, un épandage de 1 t/ha de CaO localisé sur le billon accroît la teneur en Ca de l'horizon supérieur (0-25 cm) de 2 mé/100 g et il faut 3 t/ha de CaO pour saturer en cations le complexe absorbant dont la capacité d'échange cationique (CEC) est de l'ordre de 7 mé/100 g ; ces résultats expérimentaux correspondent bien aux calculs théoriques. Précisons qu'il n'y a aucun intérêt à élever le degré de saturation du complexe absorbant à une valeur supérieure à 50 p. cent, car le pH dépasse alors la valeur considérée comme optimale (cf. paragraphe : Importance du Phytophthora). Compte-tenu du mode d'application du sulfate de calcium (1/4 de la dose enfouie et 3/4 mis à l'aisselle des feuilles) le traitement 5 modifie peu la réaction du sol : les écarts avec le témoin sont inférieurs à 0,2 unité pH.

Une estimation des pertes en calcium dans l'horizon 0-25 cm des parcelles chaulées montre qu'elles sont d'autant plus importantes que les quantités épandues sont élevées. En revanche, la proportion de CaO lixivié (pertes/apports) n'est pas significativement différente entre les traitements. Les pertes annuelles sont de 10 à 12 p. cent (moyenne de six années) sous couverture de polyéthylène et de 12 à 15 p. cent (moyenne de trois années) lorsque les billons ne sont pas protégés. On notera, d'une part les fortes variations pour un même traitement entre les répétitions (coefficients de variation : 15 à 25 p. cent), d'autre part que la lixiviation n'est pas sensiblement augmentée par la suppression du film plastique.

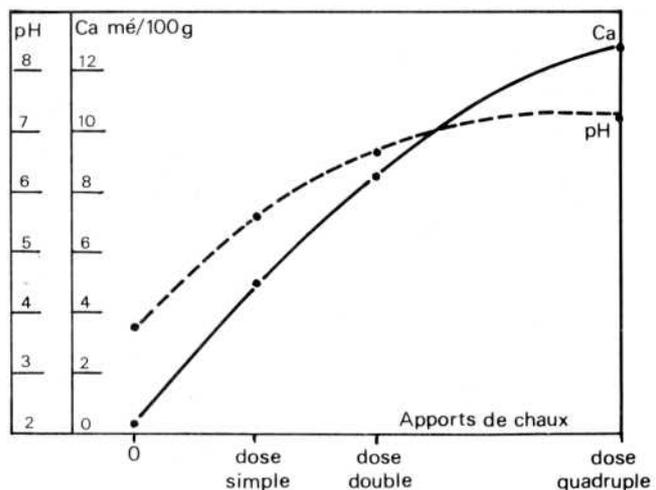


Fig. 1 • EVOLUTION DU CALCIUM EXTRACTIBLE A L'ACÉTATE D'AMMONIUM N et du pH. Horizon 0,25 cm. Moyenne de quatre années (1972-1975).

L'évolution du calcium dans le sol du traitement témoin de 1972 à 1975 montre qu'en culture sans polyéthylène, un apport de 10 g de dolomie par plant (185 kg/ha de CaO) à chaque replantation (septembre 1972 et mars 1973) permet de maintenir une teneur en Ca échangeable «équilibrée» (tableau 3).

Le chaulage a une action positive sur la rémanence des engrais magnésiens (teneurs moyennes en Mg échangeable supérieures de 30 à 40 p. cent) à condition, toutefois, que les apports de chaux ne soient pas supérieurs aux quantités qui peuvent être fixées sur le complexe organo-minéral sous forme cationique (tableau 4). On observe un effet identique de Ca sur la rétention du potassium et cela quel que soit le degré de saturation en cations du complexe absorbant (augmentation de K échangeable de 30 à 40 p. cent dans les traitements 2 ou 3 et de 70 p. cent dans le traitement 4).

Des résultats dans le même sens de l'action du chaulage sur la mobilité du potassium et du magnésium ont été

signalés en France par CLAIRON (1969) dans les sols acides du sud-ouest atlantique ; les mécanismes susceptibles d'expliquer cet effet bénéfique du chaulage sont assez mal éclaircis. Au prélèvement du mois de juin 1968, effectué quatre mois après la première application de chaux et avant la saison pluvieuse, les teneurs en K et Mg sont identiques dans tous les traitements, ce qui prouve qu'il ne s'agit pas d'une augmentation des fractions échangeables, mais bien d'une réduction de la lixiviation. Dès le mois de février 1969, après une saison des pluies, les niveaux des parcelles à faible teneur en Ca (traitements 1 et 5) sont significativement inférieurs.

En culture sans polyéthylène et sans chaulage préalable, un apport de 10 g de dolomie (1 g de MgO) par plant à chaque replantation, permet de «stabiliser» la teneur du sol en Mg échangeable (tableau 3).

En relation avec l'enrichissement en calcium et avec l'accroissement du coefficient de saturation, l'acidité du sol

TABLEAU 3 - Évolution de Ca et Mg échangeables dans le traitement témoin. Horizon 0 à 25 cm

Essai B	février 1972	février 1973	février 1974	février 1975	PPDS 5 p. cent	coefficient de variation p. cent
Ca mé/100 g	0,52	0,74 *	0,61	0,62	0,14	16
Mg mé/100 g	0,36	0,43 *	0,29	0,30	NS	35

* La teneur plus élevée en 1973 est due à l'épandage de dolomie de septembre 1972, effectué après la grande saison des pluies.

TABLEAU 4 - Action du chaulage sur la rémanence des engrais magnésiens et potassiques.

Traitements	non chaulé		chaulé			P.P.D.S.		coefficient de variation p. cent
	1	5	2	3	4	5 p.cent	1 p.cent	
Essai A : moyennes des années 1969 à 1975								
Mg échangeable mé/100 g	0,61	0,63 NS	0,81 **	0,64 NS	0,61 NS	0,12	0,16	16
K échangeable mé/100 g	0,13	0,15 NS	0,17 *	0,18 *	0,22 **	0,04	0,06	20
Degré saturation complexe absorbant p. cent	13	22	73	saturé				
Essai B : moyennes des années 1972 à 1975								
Mg échangeable mé/100 g	0,35	0,35 NS	0,49 **	0,49 **	0,38 NS	0,10	0,13	15
K échangeable mé/100 g	0,16	0,17 NS	0,21 **	0,21 **	0,27 **	0,03	0,04	9
Degré saturation complexe absorbant p. cent	15	19	39	68	sat.			

Différences significatives par rapport au témoin (1) : * P = 5 p. cent ; ** P = 1 p. cent

TABLEAU 5 - Valeurs des pH - Essai A.

Traitements	1	2	3	4
1971	4,1	5,7	6,5	7,0
1972	3,7	6,0	6,8	7,3
1973	3,8	5,4	6,5	7,0
1974	3,7	5,7	6,6	7,2
1975	3,8	5,3	6,6	7,3
écarts maximaux	0,4	0,7	0,3	0,3

diminue avec les quantités de chaux épandues ; les courbes du pH sont de type exponentiel (figure 1). En l'absence de lixiviation et pour un sol dont le pH est inférieur à 5, il faut 1,5 t/ha de CaO pour élever le pH d'une unité.

Les résultats du tableau 5 montrent que, compte tenu de la lixiviation de CaO, le pH du sol, pour un même traitement, varie dans des limites assez étroites, généralement inférieures à 0,5 unité, cela malgré des chaulages répétés.

Dans l'essai B où les dernières applications de chaux remontent au mois d'août 1969, on observe encore en 1975 une arrière-action non négligeable des traitements. Les valeurs des pH sont respectivement de : 4,1 (témoin), 4,8 (2), 5,4 (3), 6,7 (4).

Il y a des corrélations extrêmement étroites entre les rapports : cations extractibles à l'acétate d'ammonium (S')/capacité d'échange cationique (CEC) et les pH (tableau 6).

Phosphore.

Le chaulage ne modifie pas les teneurs en phosphore assimilable (DYER) ; les niveaux sont en relation avec les engrais phosphatés appliqués. Précisons que l'extraction de P assimilable se faisant dans une solution à pH acide : 2,0 (acide citrique à 2 p. cent), cette analyse ne traduit pas obligatoirement l'assimilabilité du phosphore au niveau des racines de la plante.

Aluminium.

L'aluminium échangeable est extrait dans une solution de chlorure de potassium normal. L'avantage de cette méthode

est que l'extraction de Al^{+++} se fait à un pH voisin de celui du sol (0 à plus 0,5 unité). On peut donc considérer que les valeurs obtenues ont une signification agronomique. La courbe de la figure 2 montre que la teneur en aluminium est nulle ou très faible lorsque le pH est égal ou supérieur à 5 ; en dessous de cette valeur Al^{+++} croît très rapidement. Si l'on considère qu'il y a des risques de toxicité aluminique lorsque Al^{+++} est supérieur à 50 ppm, il est souhaitable de maintenir le pH à une valeur supérieure à 4,5.

Oligo-éléments.

Les oligo-éléments (Cu, Zn, Fe, Mn, Mo) ont été extraits dans une solution d'acide acétique à 2,5 p. cent et pH : 2,5, méthode assez couramment utilisée, parmi les nombreuses qui existent, pour déterminer les fractions dites « assimilables » ou « utilisables ». Celle-ci comme les autres méthodes chimiques, ne donne que des indications très grossières sur les possibilités « réelles » d'assimilation par la plante de ces éléments, le pH de la solution d'extraction étant très différent de celui du sol. Ces déterminations ont surtout une

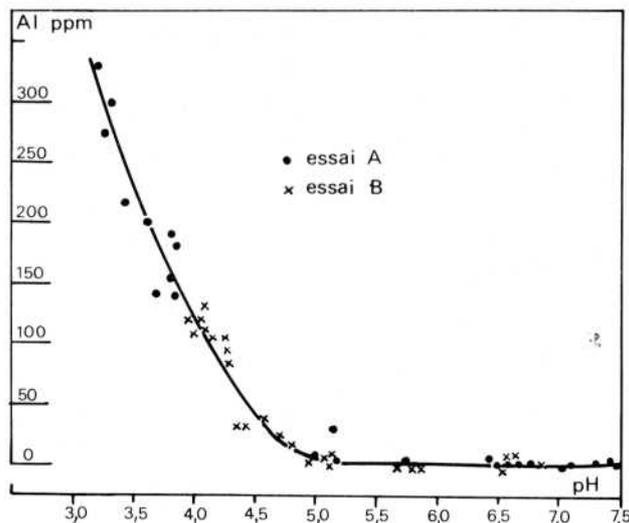


Fig. 2 • RELATIONS ENTRE LES TENEURS EN ALUMINIUM ECHANGEABLE ET LES pH (1975). Extraction à ClK N; rapport terre/solution = 10.

TABLEAU 6 - Étude des régressions : pH (y) et S'/CEC p. cent (x)

	Essai A		Essai B	
	coefficient de corrélation «r»	équation des droites de régression	coefficient de corrélation «r»	équation des droites de régression
1972	0,99	y = 0,022 x + 3,15	0,98	y = 0,025 x + 4,17
1973	0,99	y = 0,025 x + 3,50	0,99	y = 0,027 x + 3,75
1974	0,96	y = 0,020 x + 3,71	0,98	y = 0,025 x + 4,17
1975	0,97	y = 0,024 x + 3,70	0,99	y = 0,030 x + 3,74

significatif à la probabilité 1 p. cent pour «r» supérieur à 0,51

valeur relative, par exemple pour comparer divers types de sol, ou comme dans ces essais, différents traitements. Du point de vue agronomique des teneurs très élevées ou très faibles peuvent permettre de présumer une toxicité ou une carence et d'orienter les recherches.

Les teneurs en zinc varient très fortement dans les diverses parcelles et dans un même traitement (valeurs extrêmes 0 à 16 ppm, coefficient de variation : 136 p. cent). Il n'y a pas de relations entre les apports de chaux et le Zn extractible (tableau 7) ni entre Zn et pH (figure 3).

Le fer « assimilable » est significativement plus élevé dans les parcelles les plus pauvres en calcium (1A et 5A) (tableau 7) ; pour les 40 parcelles analysées Fe varie de 3 à 34 ppm.

Il n'y a pas de liaison étroite entre Fe et pH, on observe seulement que les valeurs maximales correspondent aux sols les plus acides (figure 3).

Le chaulage tend à augmenter les teneurs en manganèse (tableau 7), mais il n'y a pas de relation étroite entre Mn et pH. A l'inverse du fer, les valeurs les plus élevées s'observent dans les parcelles où le pH est voisin de la neutralité (figure 3) ; la solubilité de Mn diminuant avec l'accroissement du pH, ce résultat traduit une réduction de la lixiviation du manganèse dans les parcelles qui ont reçu les doses de chaux les plus fortes.

Le dosage du cuivre et du molybdène dans l'extrait acétique ne permet pas de mettre en évidence la présence de ces éléments dans les sols de ces essais.

TABLEAU 7 - Teneurs en oligo-éléments (ppm) dans les différents traitements en 1975

Traitements	1 A	5 A	1 B	5 B	2 B	2 A	3 A	4 A	coefficient de variation p. cent	PPDS 5 p. cent
Ca extractible à l'acétate d'ammonium	0,1	0,4	0,6	1,0	1,8	3,4	7,4	12,1		
Zinc	3,7	1,4	0,6	0,8	4,0	4,0	2,6	4,3	136	NS
Fer	21	27	16	12	12	14	16	14	28	3,0
Manganèse	5	7	5	5	7	7	9	12	38	1,7

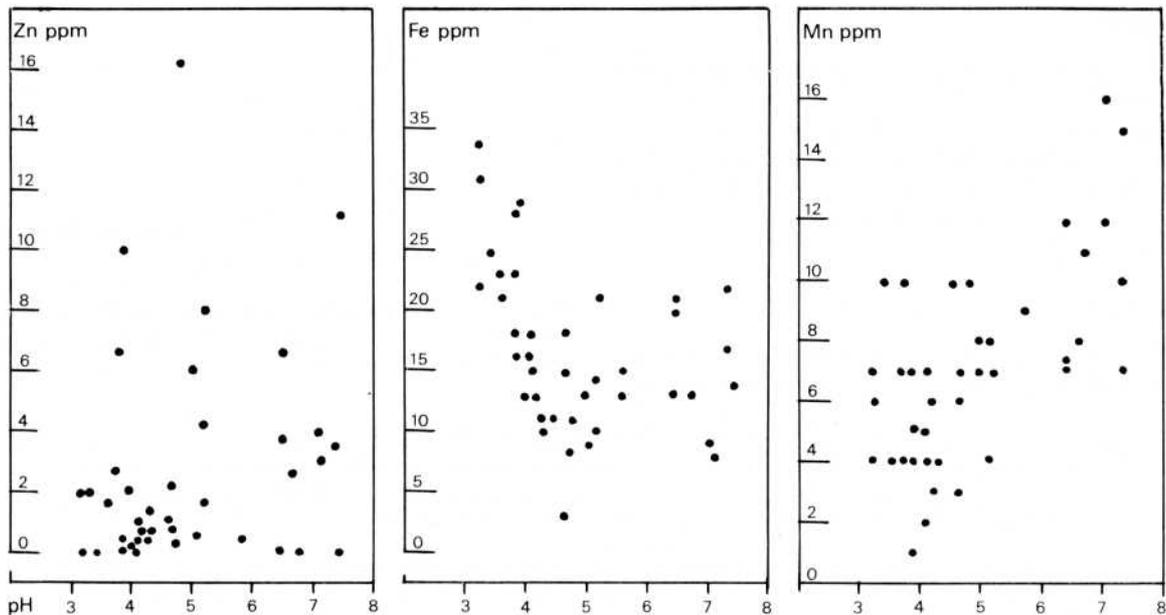


Fig. 3 • RELATIONS ENTRE LES TENEURS EN OLIGO-ELEMENTS EXTRACTIONNELS A L'ACIDE ACETIQUE A 2,5 P. CENT ET LES PH (1975).

ACTION DU CHAULAGE SUR LA PRODUCTIVITÉ DE L'ANANAS

Importance du Phytophthora.

Une plantation de l'essai B en mars 1974 avec des cayeux de 300 g a mis en évidence le lien existant entre les risques de pourriture à *Phytophthora* et le chaulage. Un mois après la plantation le pourcentage de pieds pourris augmente très rapidement lorsque le pH du sol s'élève au-dessus de 5,0 (figure 4). La sensibilité des plants est également augmentée après l'induction florale.

Cette première conséquence du chaulage est extrêmement grave car la pourriture du cœur est une des maladies les plus redoutées de l'ananas. La lutte est en effet très astreignante et d'un coût élevé. Les apports de chaux doivent donc être totalement proscrits lorsque les risques sont importants (plantation des couronnes, forte pluviosité, sols lourds se ressuyant mal).

Ce résultat peut être rapproché de certaines observations qui peuvent être faites couramment dans les exploitations ivoiriennes

- après déforestation, les pourritures de plants sont plus fréquentes aux endroits où le bois des endains a été brûlé,
- après l'induction florale avec l'acétylène, il en est de même. C_2H_2 étant préparé à partir de carbure de calcium, on introduit de la chaux dans le cœur de la rosette, au cours de cette opération.

Au champ, il est difficile de dissocier l'action du Ph de celle du calcium, car, dans ce type de sol, le pH est étroitement lié à la teneur en Ca. D'autre part, en Côte d'Ivoire, les terres les moins acides et les plus riches en calcium correspondent souvent à des sols lourds et peu perméables ; les conditions de milieu sont donc doublement favorables au développement du *Phytophthora* (GODEFROY, 1975). Il faut mentionner, par ailleurs, le cas des terres volcaniques du Cameroun (sols bruns eutrophes) très riches en calcium

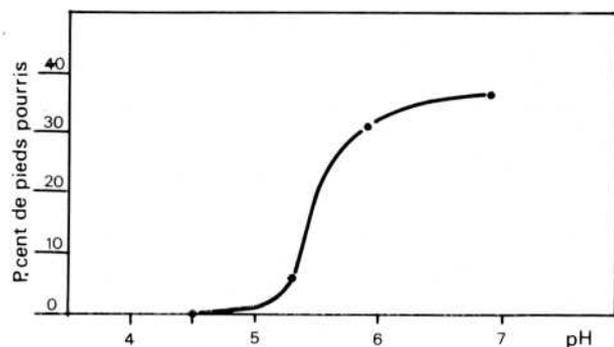


Fig. 4 • INFLUENCE DU pH DU SOL SUR LE PHYTOPH-THORA.

(15 à 20 mé/100 g d'échangeable) et à pH faiblement acides (6,0 à 6,5), dans lesquelles l'importance du *Phytophthora* est beaucoup plus faible que dans les sols ferrallitiques de Côte d'Ivoire.

Conditions expérimentales des deux essais.

Nous n'examinerons ici que les récoltes obtenues en 1975 à partir des plantations effectuées en 1974, qui sont représentatives des cycles successifs. Dans les deux cas, on a utilisé des cayeux de 300 g provenant de parcelles extérieures et homogènes. En dehors des éléments apportés au moment de la plantation (cf. paragraphe : Traitements) l'azote et la potasse ont été pulvérisés en solution sur le feuillage.

Essai A. Plantation le 5 mars, dix pulvérisations égales à fréquence croissante fournissant 8 g N et 20 g K_2O par plant. L'induction florale a été faite à l'acétylène en décembre 1974, soit neuf mois après la plantation. Les fruits ont été récoltés du 22 mai au 9 juillet 1975.

Essai B. Plantation le 15 mars 1974 après les observations mentionnées au paragraphe précédent ; sept pulvérisations égales à fréquence croissante fournissant 4 g N et 10 g K_2O par plant. L'induction florale par l'acétylène a été faite début novembre, soit six mois et demi après la plantation. La récolte des fruits destinés à l'exportation à l'état frais a donc eu lieu un mois plus tôt que dans l'essai A, avec un cycle plantation-récolte plus court.

Dans les deux essais, plusieurs pulvérisations de captafol ont été faites après la plantation et l'induction florale pour limiter les pourritures des plants. Chacune des cinq répétitions a été constituée de 120 plants observés.

Action sur la croissance.

Le chaulage agit sur la croissance sous deux aspects : la croissance individuelle des feuilles et leur rythme d'apparition (tableau 8).

Le chaulage a un effet favorable sur la croissance de la feuille avec la dose la plus faible, mais il devient dépressif aux doses supérieures. Le rythme d'apparition des feuilles est peu influencé dans l'essai A et un peu plus dans l'essai B. Par contre, la diminution du pH au-dessous de 4,0 du traitement 1 au traitement 5, entraîne une diminution de presque 10 p. cent du nombre de feuilles de la plante au moment de l'induction florale.

Le chaulage, surtout à la dose la plus forte, conduit par ailleurs à une croissance anormale d'un nombre plus ou moins important de plants. Ceux-ci ont un aspect penché d'où l'appellation « crook-neck » (TISSEAU, 1959). Les feuilles sont épaisses, cassantes : elles montrent un étranglement parfois très accentué avec disparition localisée (voir photos). La cassure est parfois complète au niveau de l'étranglement. Le cœur de la rosette a alors le même aspect

TABLEAU 8 - Action du chaulage sur la croissance - Essai A

Traitements	5	1	2	3	4	PPDS 5 p. cent
Analyse de sol en janvier 1975						
pH	3,4	3,8	5,3	6,6	7,3	
Ca extractible à CH ₃ CO ₂ NH ₄ (mé/100 g)	0,4	0,1	3,4	7,4	12,1	
Feuilles apparues de la plantation à l'induction florale	33,7	36,6	35,1	34,2	34,7	1,6
Feuilles apparues pendant le mois précédant l'induction florale	5,5	6,2	6,0	5,8	6,1	0,4
Poids de la feuille D au moment de l'induction florale (g)	83	86	99	85	81	7,6

que si elle avait été «broutée», ou bien il ressemble à un petit chou. En général, la croissance peut ensuite redémarrer à partir d'un ou deux bourgeons latéraux. Si ce stade limite n'est pas atteint les plants courbés reprennent un aspect normal quatre mois après la plantation ou plus, suivant les cas. On a pu observer dans diverses plantations que la pluviosité, la couverture du sol, les quantités de chaux et l'équilibre cationique du sol semblent les principaux facteurs influençant la durée des symptômes. L'analyse des feuilles D (assez difficiles à prélever sur les plants atteints) n'a pas montré de différences notables entre les plants sains ou malades d'un même traitement. Cependant les symptômes ont disparu après des pulvérisations de cuivre et de zinc seuls ou en mélange (TISSEAU, 1959).

Les tissus très sensibles ont été gravement brûlés (solution de sulfate à 1 p. cent) mais les nouvelles feuilles sont apparues normales.

Action sur la récolte.

Le poids moyen des fruits récoltés donne une réponse analogue à celle observée sur la croissance : effet favorable de la première dose de chaux et effet défavorable des doses supérieures. La figure 5 montre la relation entre le poids du fruit et le pH du sol en février 1975 pendant la croissance du fruit. Les deux essais A et B se complètent assez bien si

l'on effectue une translation pour corriger la longueur différente des cycles. La même relation se trouve si l'on considère le poids des yeux (fruits élémentaires). Il semble donc que le pH optimum soit, dans les conditions de l'essai, situé aux environs de 4,5. La baisse de rendement, lorsque le pH devient inférieur à 4, peut être attribuée à une toxicité de l'aluminium comme cela a été mentionné ci-dessus, mais d'autres éléments tels que le molybdène pourraient attein-

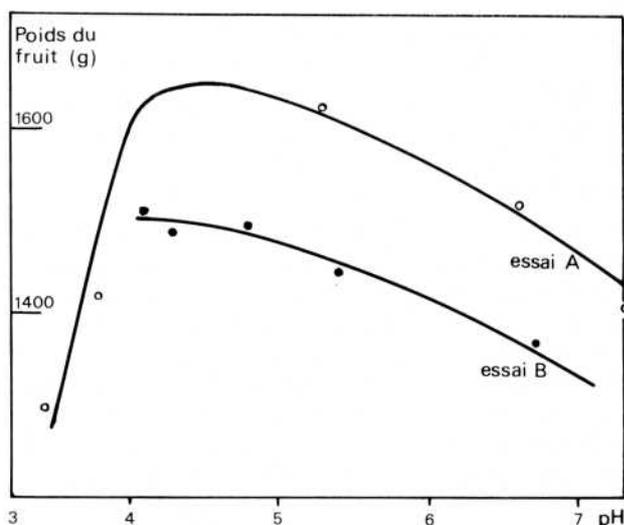


Fig. 5 • RELATIONS pH/POIDS DU FRUIT.

TABLEAU 9 - Essai A - Récolte de mai 1975.

Traitements	5	1	2	3	4	PPDS 5 p. cent
Poids fruit récolté (kg)	1,29	1,42	1,62	1,52	1,41	0,08
Rendement réel (t/ha)	70,3	77,9	88,8	80,9	63,5	
Répartition par calibre						
gros fruits (p. cent)	0,2	2,3	6,9	5,1	6,1	
fruits 4/4 (p. cent)	28,6	38,8	53,4	48,7	44,0	
fruits 3/4 (p. cent)	61,1	51,9	35,4	42,1	42,2	
fruits 1/2 (p. cent)	7,3	5,6	3,5	2,8	4,6	
petits fruits (p. cent)	2,8	1,4	0,8	1,3	3,1	
poids couronne (g)	260	277	309	280	249	NS

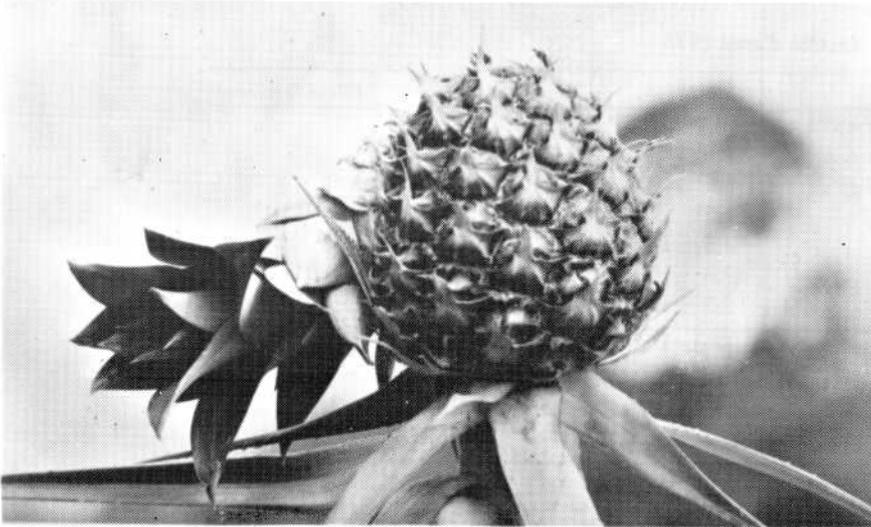


Photo 1. Attaque précoce de *Penicillium* avec déformation du fruit.

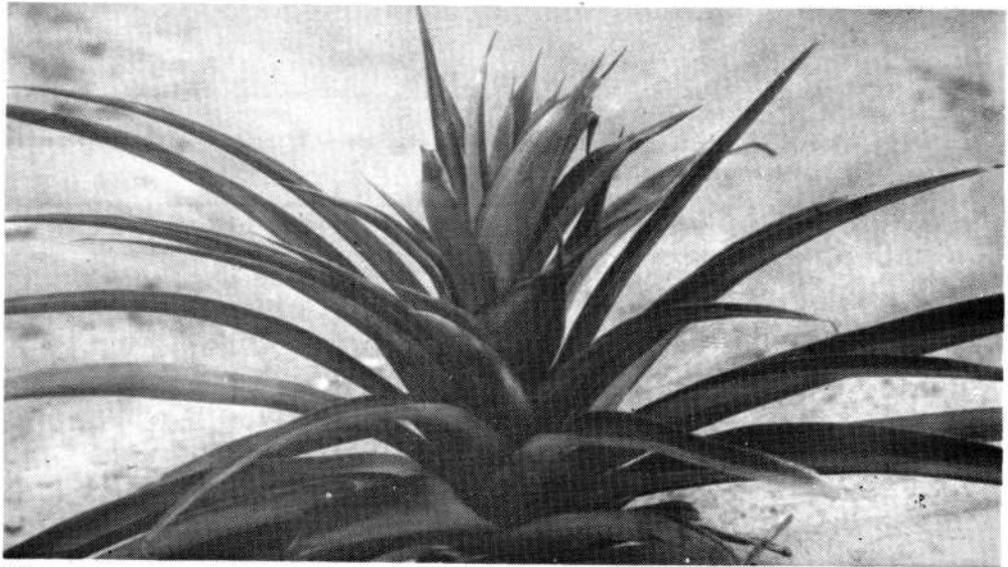


Photo 2. Plant ayant souffert d'un excès de calcium en saison sèche.



Photo 3. Détail de la rosette de feuilles des plants souffrant d'un excès de calcium.

TABLEAU 10 - Essai B - récolte d'avril 1975

Traitements	1	5	2	3	4	PPDS 5 p. cent
Analyse de sol en janvier 1975						
pH	4,1	4,3	4,8	5,4	6,2	
Ca échangeable (mé/100 g)	0,6	1,0	1,8	3,6	6,7	
Poids fruit récolté * (kg)	1,51	1,49	1,49	1,45	1,37	0,10
Poids oeil (g)	13,5	13,5	12,9	13,4	11,8	
Acidité (mé/100 g)	7,8	7,9	8,5	8,4	8,4	NS
Extrait sec (°Brix)	15,3	15,6	15,6	15,2	14,9	0,4

* fruit avec couronne réduite pour l'exportation en frais.

TABLEAU 11 - Analyse des fruits de l'essai A, récoltés en 1975.

Traitements	5	1	2	3	4	PPDS 5 p. cent
poids moyen fruit (g)	1,30	1,32	1,58	1,47	1,35	NS
poids moyen oeil (g)	11,5	12,8	13,8	13,4	13,1	
Acidité (mé/100 g)	7,0	6,9	7,9	7,5	7,9	0,4
extrait sec (°Brix)	16,1	15,9	15,9	15,9	15,8	NS
diamètre coeur (mm)	31	32	33	34	33	1,3

TABLEAU 12 - Essai A - Composition minérale de la feuille D entière au moment de l'induction florale.

Traitements	5	1	2	3	4	PPDS 5 p. cent
azote (p. cent MS)	1,98	1,84	1,56	1,48	1,59	0,19
phosphore (p. cent MS)	0,174	0,174	0,192	0,185	0,194	0,015
soufre (p. cent MS)	0,210	0,176	0,158	0,154	0,121	0,030
potassium (p. cent MS)	4,58	4,43	4,28	4,52	4,50	0,29
calcium (p. cent MS)	0,161	0,135	0,388	0,457	0,495	0,068
magnésium (p. cent MS)	0,091	0,092	0,174	0,170	0,155	0,023
Fer (ppm)	332	192	212	191	205	107
manganèse (ppm)	54	55	40	20	13	15

dre un niveau proche de la déficience. A l'inverse, pour les pH les plus élevés, on a vu que des apports de cuivre et du zinc peuvent avoir un effet favorable.

Si on considère les rendements réels à l'hectare, l'action des pH élevés apparaît plus nettement encore à cause des plants déformés ou atteints de *Phytophthora* qui n'ont pas donné de fruits. Les pH supérieurs à 6 sont en définitive les plus défavorables dans les conditions de l'essai. La répartition des fruits selon leur diamètre confirme cette observation en montrant une plus grande hétérogénéité de la récolte.

L'analyse des fruits (tableau 11) montre un effet favorable du chaulage sur l'acidité qui est augmentée ; l'extrait sec n'est, par contre, pas modifié. Ce résultat peut être rapproché de la diminution des taches noires du fruit (GUÉROUT, 1974) et de la sensibilité au brunissement interne (TEISSON, 1975).

Action sur la nutrition minérale de la plante (tableau 12).

Les teneurs en calcium du sol sont évidemment largement modifiées par les apports au sol, mais les teneurs foliaires sont peu modifiées au-dessus de 4 mé de Ca pour 100 g de sol, surtout en saison humide.

Le calcium exerce un effet antagoniste faible sur le potassium et un peu plus marqué sur le magnésium (MARTIN-PRÉVEL, 1962 ; LACOEUILHE et GICQUIAUX, 1971) qui est tempéré par l'action du chaulage sur la rémanence du potassium et du magnésium dans le sol (cf. paragraphe : Complexe absorbant). Cet effet se manifeste très nettement dans les feuilles par la diminution rapide des teneurs en magnésium avec l'âge des plants (figure 6). Les teneurs, au moment de l'induction florale, sont très faibles sans chaulage. En définitive, la somme des cations dans la feuille est augmentée par le chaulage, ce qui est probablement à l'origine de l'amélioration de l'acidité du fruit.



Photo 4. Aspect des jeunes feuilles de la rosette des plants atteints.

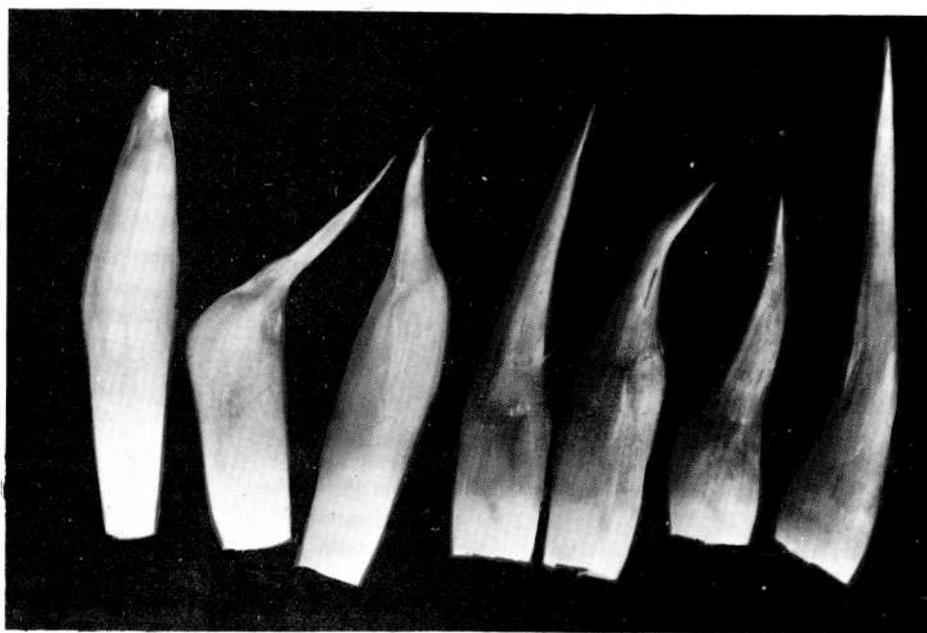


Photo 5. Aspect typique des feuilles de la rosette des plants atteints.

Photo 6. Détail d'une feuille : on constate une torsion accompagnée d'un flétrissement partiel terminal.

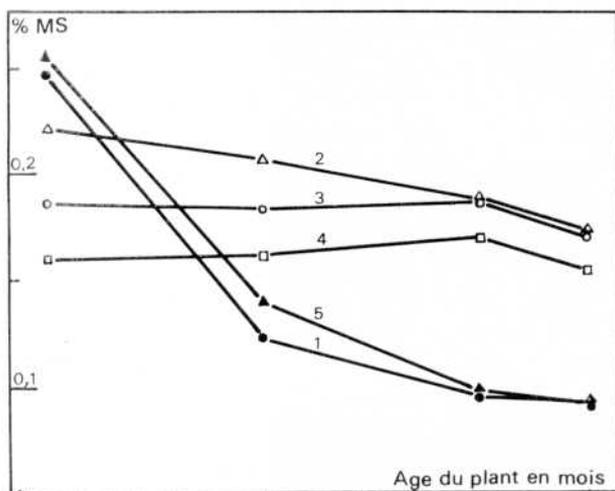


Fig. 6 • ESSAI A. EVOLUTION DES TENEURS EN MAGNÉSIUM DE LA FEUILLE D.

Les analyses d'oligo-éléments dans la feuille se sont limitées au manganèse et au fer. L'augmentation du pH du sol conduit à une diminution du manganèse dans la feuille. Bien que le nombre de valeurs expérimentées soit insuffisant, il est probable qu'il en soit de même lorsque le pH s'abaisse en dessous de 4. En revanche, les teneurs en fer sont peu modifiées et on note leur diminution très forte avec l'âge de la plante. En saison sèche, on a cependant pu observer dans le traitement 4 des symptômes foliaires intermédiaires entre les déficiences en K et Fe.

Les traitements ont également une action très nette sur les teneurs en azote total de la feuille. Aux pH les plus acides qui correspondent aux plus faibles teneurs en calcium échangeable, les teneurs en azote de la feuille sont les plus élevées. La masse d'azote contenue dans la feuille D (poids sec x teneur en N) est nettement plus grande dans le traitement 2 (120 mg) que dans les autres traitements (100 à 105 mg). Il semble qu'il aurait été particulièrement intéressant de distinguer les différentes formes de l'azote.

Les teneurs en phosphore et en soufre sont plus influencées par l'âge de la plante et les conditions climatiques que par les apports de sulfate de calcium puis de soufre dans le traitement 5 (essai A) et par le pH du sol ou sa richesse en calcium.

DISCUSSION - CONCLUSION

Dans les sols ferrallitiques, la diminution de l'indice de percolation par le chaulage peut contribuer à créer des conditions favorables au développement du *Phytophthora*. Toutes les observations faites au champ, notamment la sensibilisation des plants dont la floraison est induite par le

carbure de calcium, semblent montrer une influence directe du calcium sur l'importance de cette maladie. Dans ces conditions, un chaulage excessif et mal contrôlé entraîne une diminution des rendements et la lutte contre la pourriture des plants augmente sensiblement les frais culturaux. On peut estimer que le pH ne doit pas dépasser la valeur de 5,0 dans ces sols ferrallitiques. Avec couverture du sol par un film de polyéthylène, il faut 1,5 t/ha de CaO, localisé au billon, pour augmenter d'une unité le pH d'un sol lorsqu'il est inférieur à 5.

Un chaulage excessif peut, d'autre part, entraîner des concentrations en calcium localement trop élevées dans ces sols généralement pauvres en potassium. Une pluviosité très faible et (ou) la couverture du sol par un film de polyéthylène, accentuent le risque d'une absorption excessive de calcium par la plante, dont la croissance est anormale (crook-neck) ou bien est stoppée. Sans atteindre ces limites, la croissance des plants est plus lente et plus hétérogène.

A l'inverse, quand le pH s'abaisse au-dessous de 4, le poids moyen des fruits diminue très rapidement. Il y a donc intérêt à ce que le pH soit maintenu au-dessus de la valeur de 4,2 environ. Ces valeurs sont relativement peu fréquentes en pratique (10 à 15 p. cent), mais la fumure azote-potasse, qui représente des quantités importantes, contribue à la lixiviation des réserves du sol et à l'abaissement du pH (GODEFROY et col., 1972), quand elle est apportée au sol ou à l'aisselle des vieilles feuilles. De ce point de vue, les pulvérisations foliaires, qui nécessitent un fractionnement important des apports en cours de végétation, présentent des risques inférieurs. Sous climat tropical humide, l'acidification des sols est cependant un processus normal en culture intensive. Des amendements basiques sont donc nécessaires pour maintenir le pH au voisinage de 4,5. Des apports de 10 g de dolomie (2 g MgO - 3 g CaO) par plant permettent de « stabiliser » le sol à ce niveau.

Sur les sols ferrallitiques de basse Côte d'Ivoire, le pH optimum des sols pour la culture de l'ananas semble compris entre 4,5 et 5,0. Ces résultats confirment ceux obtenus dans d'autres conditions dans des pays tels que la Malaisie (TAY et WEE, 1972) l'Australie (BARNES, 1944), Porto-Rico (SAMUELS, 1962), Hawaï (COLLINS, 1960), la Jamaïque (TOPPER, 1952) ou la Guinée (MARTIN-PRÉVEL, 1962). A l'inverse, il faut citer le cas des sols volcaniques du Cameroun à pH de l'ordre de 6,0 à 6,5 sur lesquels la croissance et la productivité de l'ananas sont très satisfaisantes.

BIBLIOGRAPHIE

- BARNES (H.). 1944
Pineapple growing in Queensland.
Qd Agric., 59, p. 207-213.

- CLAIRON (M.). 1969.
Étude expérimentale de l'influence du chaulage sur la mobilité du magnésium et du potassium dans deux types de sols acides.
Bul. AFES, 2, 3-6.
- COLLINS (J.L.). 1960.
The pineapple.
ed. Leonard Hill, London.
- GODEFROY (J.), POIGNANT (A.), et MARCHAL (J.). 1971.
Premiers résultats d'un essai de chaulage en culture d'ananas sur un sol de basse Côte d'Ivoire.
Fruits, 26, p. 103-113.
- GODEFROY (J.), TISSEAU (M.-A.) et LOSSOIS (P.). 1972.
Évolution des propriétés agrochimiques d'un sol ferrallitique de basse Côte d'Ivoire sous culture d'ananas. Comparaison avec une jachère.
Fruits, 27, 4, p. 255-267.
- GODEFROY (J.). 1974.
Évolution de la matière organique du sol sous culture du bananier et de l'ananas.
Thèse, Nancy.
- GODEFROY (J.). 1975.
Évolution des teneurs des sols en éléments fertilisants sous culture d'ananas. Caractéristiques des sols de Côte d'Ivoire.
Fruits, 30, 12, p. 749-756.
- GUEROUT (R.). 1974.
Les taches noires de l'ananas.
Fruits, 29, 7-8, p. 489-499.
- HENIN (S.), MONNIER (G.), COMBEAU (A.). 1958.
Méthode pour l'étude de la stabilité structurale.
Ann. agron., 9, p. 73-92.
- LACOEUILHE (J.J.). 1974.
Les résidus de culture de l'ananas.
Fruits, 29, p. 501-504.
- LACOEUILHE (J.J.) et GICQUIAUX (Y.). 1971.
La nutrition de l'ananas en Martinique.
Fruits, 26, 9, p. 581-597.
- MARTIN-PREVEL (P.). 1962.
Potassium, calcium, magnésium dans la nutrition de l'ananas en Guinée.
Fruits, 17, p. 211-227.
- SAMUELS (G.). 1962.
The pH of Puerto-Rico soils used for principal crops.
J. Agric. Univ. P. Rico, 46, p. 107-119.
- TAY (T.H.) et WEE (V.C.). 1972.
Liming of peat soils and its effect on pineapple Malays.
Pineapple, 2, p. 53-59.
- TEISSON (C.). 1975.
Le brunissement interne de l'ananas en Côte d'Ivoire.
155 p.
- TISSEAU (M.-A.). 1959.
La déficience en cuivre et en zinc chez l'ananas : le Crook-neck.
Fruits, 14, 9, p. 363-367.
- TOPPER (B.F.). 1952.
How to grow pineapples.
Jamaica Dept. Agric. Ext. Circ. 49, p. 1-20.





E. E. AZOULAY & C[®]

tous les fruits
exotiques

2, rue des Tropiques
CIDEX E-108 94538 RUNGIS
tél. 687.24.34 - télex : 27079