

LE SULFATE D'AMMONIAQUE DANS LE SOL EN CULTURE BANANIÈRE DE BAS-FOND

par

F. DUGAIN

Pédologue à l'O. R. S. T. O. M.

Dans une précédente étude sur la fertilisation des sols en culture bananière guinéenne intensive, on a montré que l'azote constituait le facteur limitant dans la production, et que l'absence d'apport azoté sous forme minérale (ou assez rapidement minéralisable) entraînait automatiquement une baisse de rendement quelles que soient les autres pratiques culturales adoptées, et la teneur du sol en azote organique.

D'autre part, lorsqu'on examine les comptes rendus de visites de plantations, où sont consignées les applications d'engrais, on s'aperçoit que jusqu'à présent le sulfate d'ammoniaque est de loin le plus employé des engrais azotés ; cependant les modes d'application sont très variables :

— *Les épandages, dont le nombre varie de 2 à 10 ou 12 par an, s'effectuent généralement « au pied » du bananier, c'est-à-dire sur une surface très réduite ; cette pratique a été amenée par la présence des nématodes qui, en détruisant une grande partie des racines, rendent inutilisables les éléments nutritifs situés à une certaine distance du bananier.*

— *Les doses appliquées à chaque épandage varient naturellement en raison inverse du nombre d'épandages, et vont de 50 à 300 g par pied.*

Il nous a paru intéressant de vérifier sur des essais mis en place par la section bananes à la station centrale de l'I. F. A. C., à Foulaya, Guinée, et sur d'autres essais, l'évolution de l'azote ainsi introduit et son action sur d'autres propriétés du sol.

Cette étude, si elle n'apporte rien de très nouveau dans les conclusions, peut cependant permettre d'énoncer avec plus de certitude, un certain nombre de conseils pratiques tant dans la conduite d'une plantation que dans celle des essais.

I. ACTION DU SULFATE D'AMMONIAQUE SUR LE pH ET LA POTASSE ÉCHANGEABLE DU SOL

L'étude de l'évolution de certaines caractéristiques du sol en fonction des apports de sulfate d'ammoniaque, s'est effectuée sur un essai azote-potasse (2) dont le but est de comparer, sur le plan agronomique, différentes combinaisons de ces deux éléments. (Voir le protocole en annexe.)

L'essai comprend trois traitements azotés :

— N_0 : sans sulfate d'ammoniaque.

— N_1 : 500 g de sulfate d'ammoniaque par pied et par an en 10 fois = 1 t/ha/an (1).

— N_2 : 1 000 g de sulfate d'ammoniaque par pied et par an en 10 fois = 2 t/ha/an.

(1) Le sulfate d'ammoniaque titre 20 % d'azote.

Influence sur le pH du sol.

Les déterminations effectuées en mars 1957 (1) montraient qu'au bout de 10 mois, il existait une différence significative entre les traitements. Malheureusement, l'essai avait été mis en place avant qu'il fût possible d'effectuer le test d'homogénéité.

O. R. S. T. O. M.

Collection de Référence

n° 11093

23 DEC. 1966

| | N ₀ | N ₁ | N ₂ | |
|-----------------|----------------|----------------|----------------|--|
| pH mars 1957 | 4,80 | 4,60 | 4,35 | p. p. d. s. 0,05 = 0,23 0,01 = 0,31 |

En 1958 (prélèvements effectués à la même date), on constate que l'ensemble des parcelles a subi une diminution de pH.

| | N ₀ | N ₁ | N ₂ | |
|-----------------|----------------|----------------|----------------|--|
| pH mars 1958 | 4,55 | 4,25 | 4,00 | p. p. d. s. 0,05 = 0,16 0,01 = 0,21 |

Entre traitements, les différences sont hautement significatives.

D'une année à l'autre, la diminution du pH est donc de :

| N ₀ | N ₁ | N ₂ | |
|----------------|----------------|----------------|-----------|
| 0,25 | 0,35 | 0,35 | unités pH |

Cette diminution s'explique en partie par le lessivage de la chaux qui est en moyenne de 0,4 m. é. q. /100 g pour une teneur initiale de 3,4 m. é. q., soit environ 12 %.

On voit que l'acidification a tendance à se produire un peu plus rapidement dans les parcelles traitées sans que cela soit particulièrement intense : en fait, la baisse du pH se produit assez rapidement au début et reste ensuite pratiquement constante.

Dans le témoin, le pH de 4,55 cor-

respond à la corrélation établie (1) pour les sols de ce type. Par contre, les parcelles ayant reçu 1 000 g de sulfate d'ammoniaque par pied ont un pH de 4,0 et même un peu moins, pour un coefficient de saturation de 32. % ; la correspondance est alors nettement à l'extérieur des normes et l'excès d'acidité est dû à l'action de l'ion sulfurique.

Influence sur la teneur en potasse échangeable.

L'an dernier, nous avons observé une tendance certaine, mais l'analyse statistique montrait que les différences n'étaient pas significatives. Cette année, comme on pouvait le prévoir, cette tendance s'est accentuée et les parcelles N₂ fixent significativement moins de potasse que les parcelles témoins.

Ces résultats sont consignés dans le tableau ci-dessous, pour l'ensemble des traitements :

| | N ₀ | N ₁ | N ₂ | p 0,05 |
|------|----------------|----------------|----------------|--------------------|
| 1957 | 1,10 | 0,95 | 0,93 | p. p. d. s. = 0,28 |
| 1958 | 1,13 | 0,97 | 0,85 | p. p. d. s. = 0,21 |

Potasse échangeable du sol en meq pour 100 g (0-15 cm).

Si l'on compare, en outre, les parcelles subissant le même traitement

potassique, l'action se confirme pour chacune des doses étudiées :

K₀ : sans chlorure de potassium.
K₁ : 400 g de chlorure de potassium par pied et par an en 10 fois = 0,8 t KCl/ha/an.

K₂ : 800 g de chlorure de potassium par pied et par an en 10 fois = 1,6 t KCl/ha/an.

| | N ₀ | N ₁ | N ₂ | p. p. d. s. entre traitements azotés |
|----------------|----------------|----------------|----------------|--------------------------------------|
| K ₀ | 0,83 | 0,67 | 0,66 | 0,21 (p 0,05) |
| K ₁ | 1,43 | 1,27 | 1,05 | |
| K ₂ | — | 1,34 | 1,02 | 0,28 (p 0,01) |

D'autre part, si l'on examine les teneurs en potasse échangeable trouvées en 1957 et 1958, on voit que dans les parcelles qui n'ont pas reçu de potasse, la diminution de cet élément est la même, quelle que soit la dose de sulfate d'ammoniaque ; par contre, un apport de potasse augmente la teneur dans les parcelles témoins et N₁ mais non dans les parcelles N₂.

Sans apport de K

| N ₀ | N ₁ | N ₂ |
|----------------|----------------|----------------|
| — 0,13 | — 0,13 | — 0,14 |

800 kg de KCl/ha/an

| N ₀ | N ₁ | N ₂ |
|----------------|----------------|----------------|
| + 0,18 | + 0,15 | 0 |

Variation de la teneur en K échangeable (m. é. q. 100 g) de 1957 à 1958 (différences entre moyennes de 5 parcelles).

Il apparaît donc que le sulfate d'ammoniaque à haute dose empêche la fixation sous forme échangeable de la potasse apportée au sol, mais ne favorise pas particulièrement le lessivage de la potasse déjà fixée sous cette forme.

II. ÉVOLUTION DE L'AZOTE APPORTÉ SOUS FORME DE SULFATE D'AMMONIAQUE

Pour aborder l'étude de l'évolution dans le sol du sulfate d'ammoniaque lui-même ; il a fallu renoncer aux prélèvements dans les parcelles après épandages, cette méthode aboutissant à des résultats par trop hétérogènes (hétérogénéité du sol, et aussi des épandages).

Nous avons donc utilisé la méthode des sacs de nylon consistant à prélever une certaine quantité de terre, qui après incorporation de sulfate d'ammoniaque est répartie dans des sacs de tulle de nylon dont les mailles sont sensiblement les mêmes que celles de la toile moustiquaire.

Ces sacs contenant chacun 1 kg de terre environ sont enfouis à la profondeur voulue, dans des parcelles sans végétation, mais abritées, et ensuite prélevés à intervalles réguliers, pour analyses.

Cette méthode présente évidemment l'inconvénient de ne pas permettre un bilan total, mais par contre, elle nous semble être celle qui se rapproche le plus des conditions naturelles et c'est ce que nous avons cherché.

Choix des concentrations.

De nombreux auteurs (3) ont étudié par des méthodes différentes et dans des buts différents, la transformation de l'azote ammoniacal dans le sol. Nous avons simplement cherché à savoir d'un point de vue essentiellement pratique ce que devient l'azote du sulfate d'ammoniaque épandu à forte dose sur la bananeraie.

Nous avons vu qu'un épandage de 300 g par pied de sulfate d'ammoniaque n'est pas chose rare.

Si l'on considère que cet épandage s'effectue dans un rayon de 40 cm autour du bananier, et qu'il est seulement suivi d'un grattage du sol, on constate que cet apport, tout au moins pendant quelques jours, n'intéresse qu'une profondeur de sol égale à 10 cm environ soit une masse de terre égale à 80 kg. On atteint alors une concentration de

3,75 pour mille en sulfate d'ammoniaque, soit 0,75 pour mille en azote.

Nous avons donc choisi pour nos essais une concentration en azote de 1 pour mille, qui pour sembler excessive, n'en reste pas moins très voisine de ce que l'on peut rencontrer en bananeraie.

Technique d'étude.

Environ 50 kg de terre sont prélevés dans les 10 à 15 premiers centimètres du sol étudié. Après une première homogénéisation, on sépare en deux quantités égales : l'une donnant les témoins, l'autre les échantillons traités après incorporation du sulfate d'ammoniaque. La division en échantillons de 1 kg environ se fait au diviseur-échantillonneur qui permet le fractionnement en parties qualitativement et quantitativement égales (4).

Les sacs sont immédiatement enfouis à quelques centimètres de profondeur, sauf une série qui est dosée aussitôt.

Au moment des prélèvements, les échantillons sont placés dans d'autres sacs en matière plastique, imperméables à l'air, amenés aussitôt au laboratoire, où sont effectuées les déterminations d'humidité, d'azote nitrique et d'azote ammoniacal. Chaque prélèvement comporte trois échantillons et trois témoins.

Technique de dosage.

100 g de terre homogénéisés sont agités pendant une heure avec 200 cm³ de chlorure de potassium à 75 g/l additionnés de quelques gouttes de toluène. Après filtration, on prélève 100 cm³ de solution qui sont introduits dans un matras de 500 cm³ et additionnés de 5 g de magnésie calcinée. L'ammoniaque déplacée est entraînée à la vapeur dans une colonne à distiller et recueillie dans 10 cm³ d'acide borique à 4 %. Le distillat est aussitôt titré par l'acide sulfurique 0,1 N pour l'azote ammoniacal des échantillons traités ;

pour l'azote nitrique et les témoins on utilise l'acide 0,02 N.

Lorsque la série a été dosée, on prend les matras refroidis, on ajoute 2 g d'alliage Dewarda, et on distille l'ammoniaque obtenu par réduction des nitrates.

(Voir en annexe l'étalonnage de la méthode.)

Résultats obtenus.

A. ESSAI N° 1.

1) Caractéristiques du sol.

| | |
|--------------------------------|------|
| Argile (%) | 23,6 |
| Limon (%) | 13,2 |
| Sable fin (%) | 28,7 |
| Sable grossier (%) | 23,5 |
| Azote total (‰) | 2,3 |
| Azote ammon. mg/100 g | 0,5 |
| Azote NO ₃ mg/100 g | 0,6 |
| pH | 4,5 |

On a donc affaire à un sol de texture argilo-sableuse, bien pourvu en azote organique, mais pauvre en azote minéral ; l'acidité est marquée ; elle est cependant fréquente en bananeraie guinéenne. On notera qu'après addition du sulfate d'ammoniaque, le pH descend à 4,3.

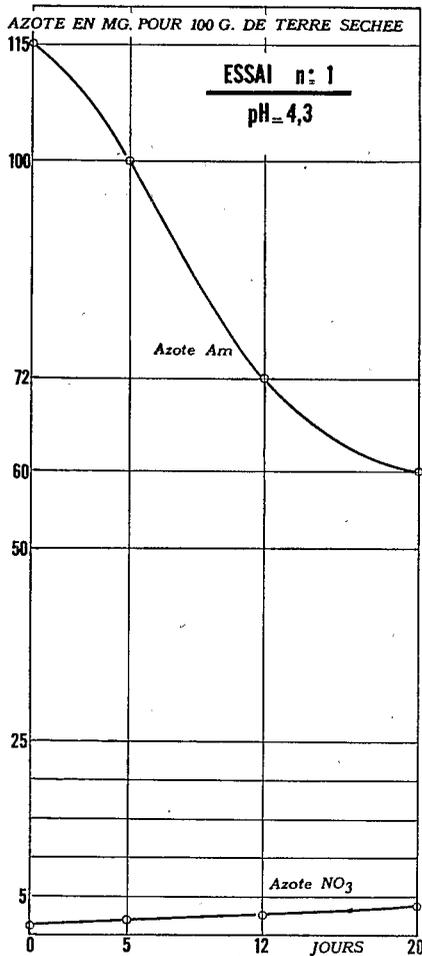
2) Résultats obtenus. (Tableau et graphique n° 1.)

L'azote introduit sous forme ammoniacale est de 115 mg/100 g (par rapport à la terre séchée à 105°), donc très peu différent de un pour mille pour le sol en place (humidité 15 %).

Les pertes en ammoniaque sont très importantes, bien qu'il n'y ait pas eu de lessivage (absence de pluie) ; par contre, la formation des nitrates, bien que contante, est très réduite puisqu'au bout de 20 jours, on a moins de 5 mg pour 100 g d'azote nitrique. Cette nitrification extrêmement faible, a été constatée par SOUBIES (3) au laboratoire sur sols guinéens.

Au total et en 20 jours, on constate la disparition de 45 % de l'azote miné-

ral. On remarquera aussi que cette disparition se ralentit très sensiblement et il est fort probable qu'en dessous



d'une certaine concentration, l'azote ammoniacal peut se maintenir assez longtemps sur le complexe.

TABLEAU N° 1.

pH du sol = 4,3. Les chiffres entre parenthèses représentent les teneurs obtenues pour les témoins.

| | 0 | 5 j | 12 j | 20 j |
|--------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Humidité (%) | 15 | 22 | 23 | 23 |
| Azote Am mg/100 g | 115 (0,5) | 100 (0,2) | 72 (0,1) | 60 (0,1) |
| Azote NO ₃ mg/100 g | 1,2 (1,2) | 2,0 (1,5) | 2,5 (1,5) | 4,0 (1,8) |
| Total | 116,2 | 102,0 | 74,5 | 64,0 |

TABLEAU N° 2.

pH du sol = 4,3 deux pluies de 30 mm : l'une entre le 0 et le 4^e jour, l'autre entre le 25^e et le 26^e jour.

| | 0 | 4 j | 10 j | 17 j | 25 j | 26 j | 31 j |
|--------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|------|
| Humidité (%) | 19 | 23 | 22 | 21 | 20 | 23 | 20 |
| Azote Am mg/100 g | 115 (0,5) | 50 (0,3) | 45 (0,4) | 37 (0,3) | 29 (0,4) | 27 (0,2) | 20 |
| Azote NO ₃ mg/100 g | 2,1 (0,6) | 1,8 (0,6) | 2,6 (0,6) | 4,5 (0,9) | 6,3 (0,9) | 5,4 (1,0) | 6,8 |
| Total | 117,1 | 51,8 | 47,6 | 41,5 | 35,3 | 32,4 | 26,8 |

TABLEAU N° 3.

pH du sol = 6,4.

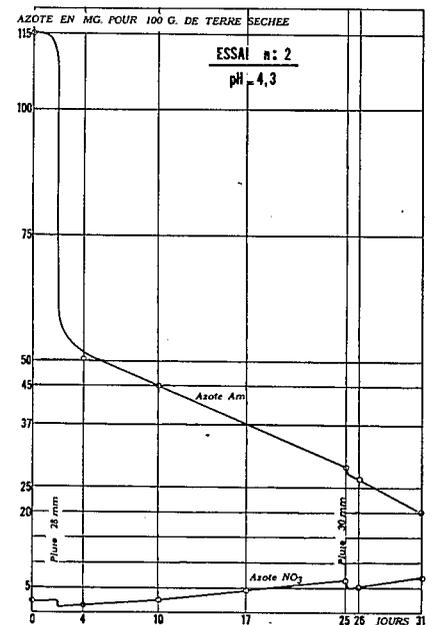
| | 0 | 11 j | 23 j |
|--------------------------------|--------------|------|------|
| Humidité (%) | 23 | 22 | 25 |
| Azote Am mg/100 g | 94 (2,6) | 19 | 11 |
| Azote NO ₃ mg/100 g | 3,0 (3,1) | 53 | 57 |
| Total | 97,0 | 72 | 68 |

La nitrification n'en reste pas moins très lente.

B. ESSAI N° 2.

(Tableau et graphique n° 2.)

Sur le même sol, et dans les mêmes conditions, nous avons soumis les échantillons à deux pluies de 30 mm correspondant à des précipitations fréquentes en hivernage.



On constate que la première pluie survenant le surlendemain de l'épandage provoque un entraînement considérable d'azote ammoniacal. On ne

trouve, en effet, au bout du 4^e jour que 45 mg pour 100 g d'azote ammoniacal, soit 39 % de la quantité apportée.

Par contre, la seconde pluie survenant le 25^e jour n'apporte pas de modifications sensibles pour l'azote ammoniacal qu'on peut supposer fixé sur le complexe. La concentration alors de 27 mg pour 100 g correspond à 1,5 m. é. q. pour 100 g. Cependant, dans les 5 jours qui suivent, la diminution est encore très nette (7 mg/100 g).

On remarquera néanmoins que la pente de la courbe, d'une façon générale, est moins accentuée (à partir du 1^{er} prélèvement) que celle du graphique I. Il est en fait normal que la diminution soit d'autant plus rapide que la concentration est plus forte.

On sait que la diminution du taux d'azote ammoniacal dans le sol peut être attribuée :

— à la perte d'azote gazeux ou sous forme de gaz ammoniac (5) et (6). Cependant les conditions d'acidité du sol et l'enfouissement doivent ralentir considérablement le phénomène ;

— au lessivage ; important aussitôt après épandage, mais réduit ensuite lorsque l'ion ammonium est fixé sur le complexe ;

— à la rétrogradation de cet ion et sa fixation sous forme non échangeable ?

— On peut davantage penser à une utilisation par la flore microbienne et à la transformation rapide de l'azote ammoniacal en azote organique (synthèses protoplasmiques). Il conviendrait d'étudier dans quelle mesure cette transformation constitue une mise en réserve et si la minéralisation ultérieure est suffisamment rapide.

En ce qui concerne la nitrification, on constate qu'elle s'effectue dans les mêmes conditions que précédemment puisque au bout de 20 jours, on retrouve encore 5 mg de nitrates pour 100 g de sol. Ceux-ci ne sont que très légèrement lessivés par l'eau et leur formation n'en semble pas affectée.

Après 30 jours, on atteint 7 mg pour 100 g en NO_3 ; la quantité d'azote minéral présente n'est que de 27 mg pour 100 g, soit 23 % de la quantité introduite ; elle représente cependant 54 % de l'azote restant dans le sol après la première précipitation. En 27 jours, la diminution a été de 46 %, alors qu'elle était de 45 % en 20 jours dans l'essai précédent. Compte tenu des différences de concentration, ce phénomène est assez régulier, de même que la formation des nitrates.

C. ESSAI N° 3.

Les deux essais précédents ayant établi que la nitrification était très lente à pH 4,3, un troisième essai a été effectué dans les mêmes conditions, mais sur un sol à pH 6,8 à l'origine, et qui descend d'ailleurs à 6,4 après incorporation du sulfate d'ammoniaque

1) Caractéristiques du sol :

| | |
|-----------------------------------|------|
| Argile (%)..... | 24,2 |
| Limon (%)..... | 19,6 |
| Sable fin (%)..... | 26,8 |
| Sable grossier (%)..... | 21,9 |
| Azote total (‰)..... | 1,7 |
| Azote ammon. mg/100 g..... | 2,5 |
| Azote NO_3 mg/100 g..... | 3,0 |
| pH..... | 6,8 |

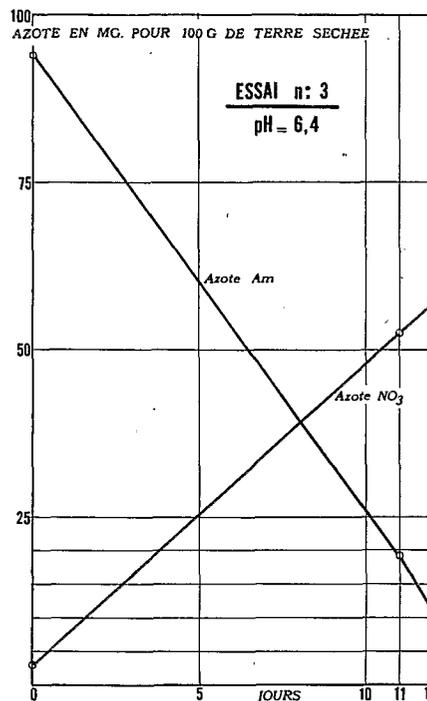
La texture est la même que dans l'essai précédent. La teneur en azote total est un peu plus faible, mais encore élevée. L'azote nitrique et ammoniacal sont déjà plus abondants (5 fois plus que pour le sol précédent).

2) Résultats obtenus. (Tableau et graphique n° 3.)

Des empêchements matériels ne nous ont malheureusement pas permis de faire autant de prélèvements pour cet essai que pour les deux autres ; cependant les chiffres montrent nette-

ment la différence d'évolution lorsque le pH du sol est élevé.

L'azote minéral ($\text{Am} + \text{NO}_3$) décroît de la même façon que dans le premier essai : au bout de 12 jours, on constate une diminution de 30 % (34 % dans l'essai n° 1). Par contre, si la somme est la même, les facteurs sont profondément modifiés.



Ainsi 59 % de l'azote introduit s'est transformé en nitrates contre 2 % dans le premier essai.

Il eût été intéressant de pouvoir évaluer l'effet d'une précipitation de 30 mm sur le sol à ce moment.

Par ailleurs, certains auteurs (7) qui ont étudié la transformation de l'azote ammoniacal dans le sol, font ressortir la formation et l'accumulation de nitrates qui peuvent être toxiques pour certaines plantes. Il serait important de savoir dans quelle mesure on constate pareil phénomène en bananeraies après de forts amendements.

CONCLUSIONS

Comme nous l'avons déjà dit, elles sont essentiellement pratiques :

1° L'effet connu du sulfate d'ammoniaque sur l'acidité du sol amène, nous l'avons vu, les parcelles d'un essai à un pH inférieur à 4,0.

Ceci est d'une importance capitale si l'on considère la relation du pH et des rendements. Il fut en effet démontré sur parcelles expérimentales (r) que ces deux éléments étaient étroitement liés :

| <i>pH</i> | <i>Rendement</i> |
|-----------|------------------|
| 4,5 à 5 | 100 |
| 5 à 5,5 | 156 |
| 5,5 à 6,0 | 182 |

On finit donc par se trouver dans des conditions extrêmement défavorables au bananier ; il est fort peu probable que dans ce cas puisse ressortir l'effet bénéfique d'une forte dose d'azote.

2° Le maintien du pH, à une valeur suffisamment élevée, favorisera la transformation de l'azote ammoniacal en nitrates pour le plus grand bien de la plante. En outre, il permettra une meilleure fixation de la potasse sous forme échangeable d'où une utilisation plus rationnelle des engrais potassiques souvent employés en même temps que le sulfate d'ammoniaque.

3° Les résultats agronomiques avaient déjà montré l'avantage des épandages fractionnés.

Les résultats obtenus ici rejoignent ces conclusions en évaluant les pertes d'azote occasionnées par une forte concentration en sulfate d'ammoniaque dans le sol ; concentration qui atteint, nous l'avons vu, des valeurs que l'on n'a pas l'habitude d'envisager.

Il apparaît, en outre, que le lessivage à la saison des pluies sera peu intense si les épandages ne sont pas importants.

4° Il ressort que, le taux de nitrification étant sensiblement le même pour l'urée et le sulfate d'ammoniaque (r), il est plus intéressant d'employer les engrais susceptibles d'une minéralisation lente qui éviteront la présence d'une forte teneur en azote ammoniacal dans le sol à un moment donné.

Hann, le 26 décembre 1958.

Station I. F. A. C. Foulaya (Guinée),
Centre de Pédologie ORSTOM, Hann-Dakar.

ANNEXES

Protocole de l'essai azote-potasse : sur variété Poyo, mis en place par la section Bananes.

Dispositif : Blocs et parcelles. 5 blocs. 8 traitements.

Traitements :

| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|-----------------------------------|-------------------|---|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Sulfate d'ammoniaque à 20 % de N | par pied par mois | 0 | 0 | 50 g | 50 g | 50 g | 100 g | 100 g | 100 g |
| | par ha par an | 0 | 0 | 1 t | 1 t | 1 t | 2 t | 2 t | 2 t |
| Chlorure de potassium à 50 % de K | par pied par mois | 0 | 40 g | 0 | 80 g | 40 g | 0 | 80 g | 40 g |
| | par ha par an | 0 | 0,8 t | 0 | 1,6 t | 0,8 t | 0 | 1,6 t | 0,8 t |

L'ensemble de l'essai reçoit en outre 1 t/ha/an de chaux magnésienne.

Les bananiers sont plantés à raison de 2 000 pieds/ha et les épandages d'engrais sont effectués chaque mois, sauf juillet et août.

Étalonnages de la méthode de dosage de l'azote ammoniacal et nitrique.

| mg introduits | mg trouvés | mg introduits | mg trouvés |
|---------------|---------------------|-----------------------|---------------------|
| Azote Am | | Azote NO ₃ | |
| 28,0 | 27,5 ⁽¹⁾ | 1,40 | 1,37 ⁽²⁾ |
| 28,0 | 27,6 | 1,40 | 1,37 |
| 0,56 | 0,53 ⁽²⁾ | | |
| 0,56 | 0,58 | | |

(1) Titrages avec SO₄H₂ N/10. Burette au 1/10° cc.

(2) Titrages avec SO₄H₂ N/50. Burette au 1/50° cc.

BIBLIOGRAPHIE

- (1) CHAMPION (J.), DUGAIN (F.), DOMMERGUES (Y.), MAIGNIEN (R.). — Les sols de bananeraies et leur amélioration en Guinée française. *Fruits*, octobre-novembre 1958. Vol. 13, n° 10.
- (2) Rapport annuel I. F. A. C. Section Bananes, année 1956.
- (3) SOUBIES (L.), GADET (R.), LENAIN (M.). — Recherches sur l'évolution de l'urée dans les sols et sur son utilisation comme engrais azoté. *Annales agron.* (VI, 1955).
- (4) DUGAIN (F.). — Sur les prélèvements et la préparation des échantillons de sols. *Fruit.* Vol. 13, n° 10. Oct. Nov. 1958.
- (5) MARTIN et CHAPMAN (cités par SOUBIES (3)). — Volatilisation

de l'ammoniaque à partir de sols fertilisés en surface. *Soil Sci.*, vol. 71, 1951, p. 25-34.

- (6) Travaux de la station de recherches agricoles de LIMBURGERHOF, 1914-1939, p. 140-143 et p. 55 (cité par SOUBIES (3)).
- (7) CHAPMAN (H. D.) et LIEBIG JR. (G. F.). — Étude en plein champ et au laboratoire de l'accumulation des nitrites dans les sols. *Soil. Sci. Proc.*, juill. 1952, vol. 16, n° 3, p. 276-282.

Ouvrages consultés :

Traité de microbiologie des sols. Applications agronomiques. J. POCHON, H. DE BARJAC. Dunod, Paris, 1958.