

# **Action comparée des apports d'urée et de sulfate d'ammonium sur les caractéristiques chimiques d'un sol de bananeraie**

## **Relation avec la productivité**

**J. GODEFROY et J. GUILLEMOT\***

ACTION COMPAREE DES APPORTS D'UREE ET DE SULFATE  
D'AMMONIUM SUR LES CARACTERISTIQUES CHIMIQUES  
D'UN SOL DE BANANERAIE  
RELATION AVEC LA PRODUCTIVITE

J. GODEFROY et J. GUILLEMOT (IFAC)

*Fruits*, Jan. 1975, vol. 30, n°1, p. 3-10

RESUME - Du point de vue de la teneur en azote minéral du sol, le sulfate d'ammonium est supérieur à l'urée. En revanche, le sulfate a une action plus acidifiante que l'urée, en relation avec une lixiviation plus importante du calcium et du magnésium. Des apports excessifs de sulfate d'ammonium peuvent avoir un effet dépressif sur la productivité des bananiers.

Les auteurs concluent à la nécessité de ne pas trop localiser les épandages de sulfate d'ammonium autour du rhizome du bananier et de corriger l'acidification dans la zone d'application de cet engrais par des apports d'amendements calco-magnésiens.

Depuis de nombreuses années la fertilisation azotée, dans les bananeraies de Côte d'Ivoire, était presque exclusivement apportée sous forme d'urée. A partir de 1971, en raison de la création à Abidjan d'une usine de fabrication de sulfate d'ammonium (SIVENG), une limitation des importations d'urée oblige les planteurs de bananes à utiliser, presque exclusivement, le sulfate d'ammonium comme engrais azoté.

Les sols de bananeraie de Côte d'Ivoire étant généralement acides : 75 p. cent ont un pH inférieur à 6,0 (figure 1), les milieux professionnels se sont inquiétés des conséquences des apports répétés de sulfate d'ammonium sur l'accroissement de l'acidification des sols et sur la productivité du bananier.

Afin de préciser l'action de cet engrais sur l'évolution du pH, une étude a été faite sur la station IFAC d'Azaguié. Nous avons profité de celle-ci pour suivre l'évolution de l'azote minéral et des cations échangeables du sol.

### CONDITIONS EXPERIMENTALES

L'étude fut réalisée sur un sol de bas-fond, initialement hydromorphe, drainé par fossés depuis sa mise en culture qui date d'une quinzaine d'années. Ce sol est représentatif d'un grand nombre de bananeraies de Côte d'Ivoire.

La texture est limono-sablo-argileuse avec dominance de sable fin (argile 6 p. cent, limon fin 9 p. cent, limon grossier 28 p. cent, sable fin 36 p. cent, sable grossier 21 p. cent).

Les caractéristiques chimiques du sol à la mise en place de l'essai sont résumées dans le tableau 1.

\* - Institut français de Recherches fruitières Outre-Mer (IFAC)  
B.P. 1740, ABIDJAN (République de Côte d'Ivoire).

TABLEAU 1. Caractéristiques chimiques du sol (moyennes des 15 parcelles expérimentales, janvier 1972)

<b>Matière organique</b>	
Carbone total p. mille	13,1
Azote total p. mille	0,9
C/N	14
<b>Complexe absorbant</b>	
Calcium échangeable mé/100 g	4,4
Magnésium échangeable mé/100 g	1,0
Potassium échangeable mé/100 g	0,4
Capacité d'échange mé/100 g	5,9
Coefficient de saturation p. cent	98
pH	6,5
Phosphore assimilable (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> p. mille) (méthode DYER)	0,4

L'étude compare trois traitements répétés cinq fois (15 parcelles élémentaires) :

1. témoin sans engrais azoté
2. sulfate d'ammonium
3. urée

Les traitements «2» et «3» reçoivent la même quantité d'unités fertilisantes d'azote. Au premier cycle de production (premier fruit) les apports sont de 450 kg/ha d'azote (225 g par bananier en cinq épandages). Au deuxième cycle les quantités sont doublées, de façon à mettre, éventuellement, en évidence des phénomènes de toxicité (450 g par bananier en dix épandages). Au troisième cycle on revient à la fertilisation du premier cycle. L'engrais est épandu en couronne autour du bananier, technique quasi-générale en Côte d'Ivoire ; il n'est pas enfoui. La fertilisation potassique (chlorure de potassium), calco-magnésienne (dolomie) et phosphatée (scories de déphosphoration) est la même dans les trois traitements.

Les prélèvements de terre sont effectués mensuellement dans la zone d'épandage de l'engrais, la veille d'une application, de façon que l'intervalle de temps entre un apport d'engrais et un échantillonnage de sol soit au minimum d'un mois. Pour chaque parcelle élémentaire de 120 m<sup>2</sup> (24 bananiers significatifs) on effectue 24 prélèvements ponctuels dont le mélange constitue un échantillon.

## RÉSULTATS EXPÉRIMENTAUX

### Évolution de l'azote minéral.

Les résultats sont résumés dans la figure 2.

- La nitrification des deux engrais azotés est rapide, l'azote sous forme nitrique représente toujours plus de la moitié de l'azote minéral total du sol. Il faut noter que la bananeraie étant irriguée aux périodes sèches, l'humidité du sol, pendant toute la durée de l'expérimentation, a été supérieure à l'humidité équivalente définie par le pF 3. Les conditions hydriques ont donc été constamment favorables à une bonne nitrification (DOMMERS, 1962).

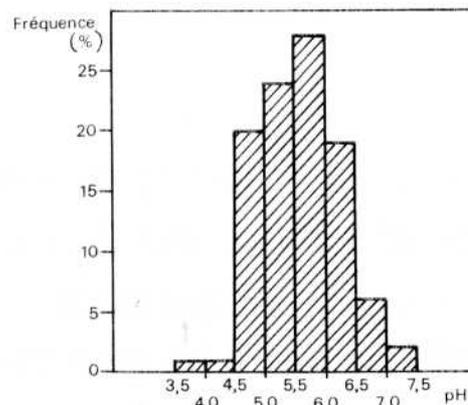


fig. 1 • Distribution des pH de l'horizon 0-25 cm des sols de bananeraie de Côte d'Ivoire (établie sur 117 bananeraies ; sols tourbeux exclus).

- Les teneurs en azote minéral sont régulièrement plus élevées dans les parcelles sulfate d'ammonium que dans les parcelles urée. Les écarts sont extrêmement variables d'un mois à l'autre (5 à plus de 100 p. cent) ; ils sont maximaux lorsque les niveaux sont élevés. Pour les deux années étudiées les teneurs sont en moyenne de 60 p. cent supérieures dans le traitement sulfate d'ammonium. Les différences sont significatives avec une probabilité égale ou supérieure à 95 p. cent dans 80 p. cent des cas pour l'azote minéral total, 75 p. cent des cas pour NH<sub>4</sub>, 60 p. cent des cas pour les nitrates.

- L'évolution de l'azote minéral, principalement des nitrates, est en relation avec les apports d'engrais et avec la pluviosité (figure 3). Dans les parcelles qui ne reçoivent pas d'engrais azoté (témoin) les teneurs sont toujours faibles, elles diminuent régulièrement au cours des deux années de culture.

Des études *in vitro*, réalisées avec la terre des parcelles témoins (pH = 6,1, C.E.C. = 6,0 mé/100 g), nous ont permis de préciser certains aspects de l'évolution de ces deux engrais. Le dispositif expérimental est classique, il consiste à enrichir 50 g de terre avec une quantité d'urée ou de sulfate d'ammonium équivalant à un apport de 200 p.p.m. d'azote. La terre est humidifiée à 1,5 fois la valeur de la capacité au champ (C.C. = 20 p. cent) et mise à incuber dans une armoire calorifugée placée à la température ambiante (27°C de moyenne à l'intérieur de l'armoire).

- L'hydrolyse de l'urée (ammonification nette) est extrêmement rapide. Dans nos conditions expérimentales, 34 p. cent sont hydrolysés après 6 heures d'incubation, 66 p. cent après 12 heures, 85 p. cent après 18 heures, 96 p. cent après 24 heures et 100 p. cent après 36 heures. Ces observations confirment celles de SOUBIES et al. (1955).

- Les pertes d'azote par volatilisation de l'azote ammoniacal sont plus élevées avec l'urée qu'avec le sulfate d'ammonium (tableau 2).

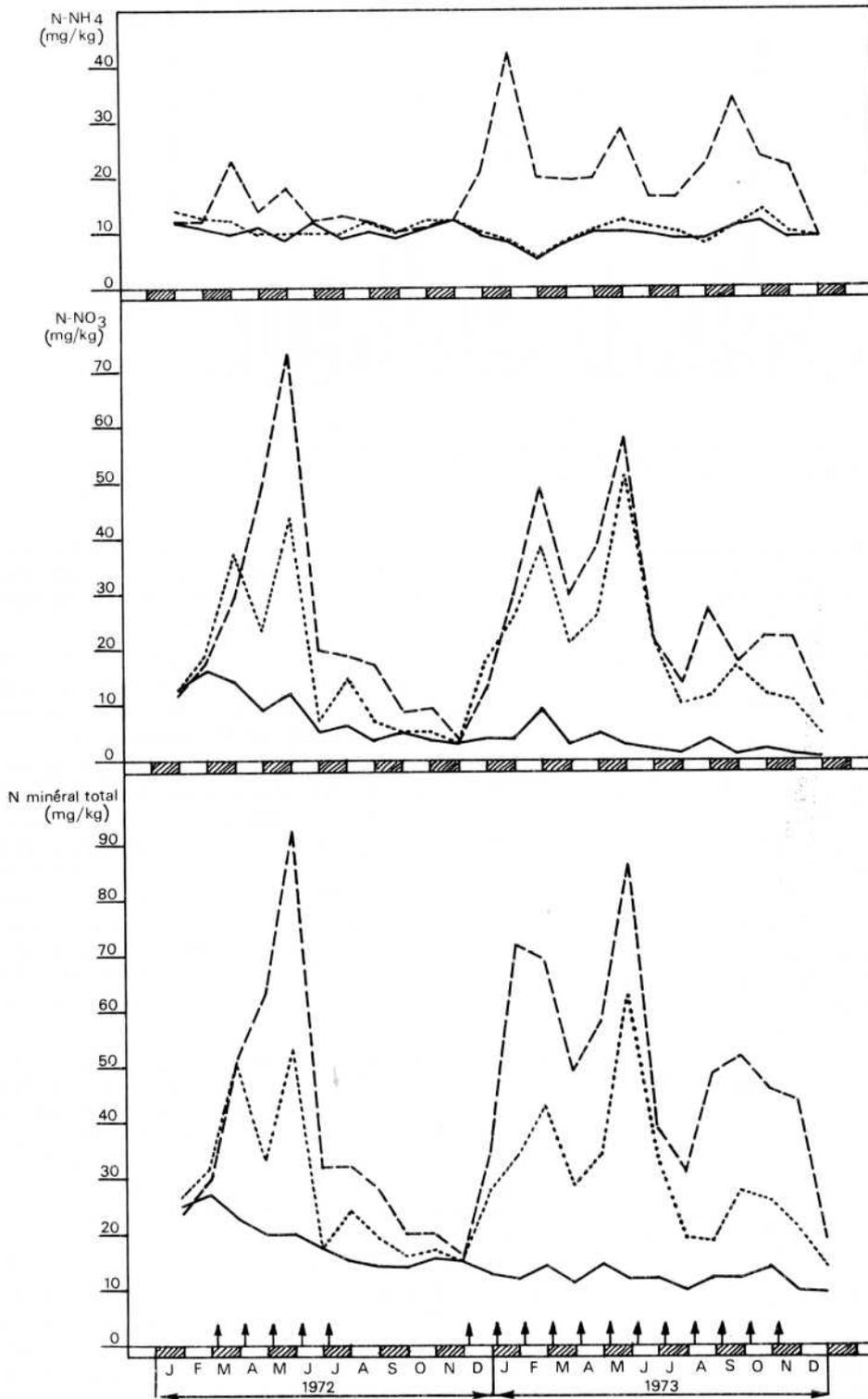


fig. 2 • Evolution de l'azote minéral en fonction du temps Etude in situ.

— témoin sans azote  
 - - - sulfate d'ammonium  
 ..... urée

Résultats exprimés en mg par kg de terre.  
 Les flèches indiquent la date des apports d'engrais azoté.

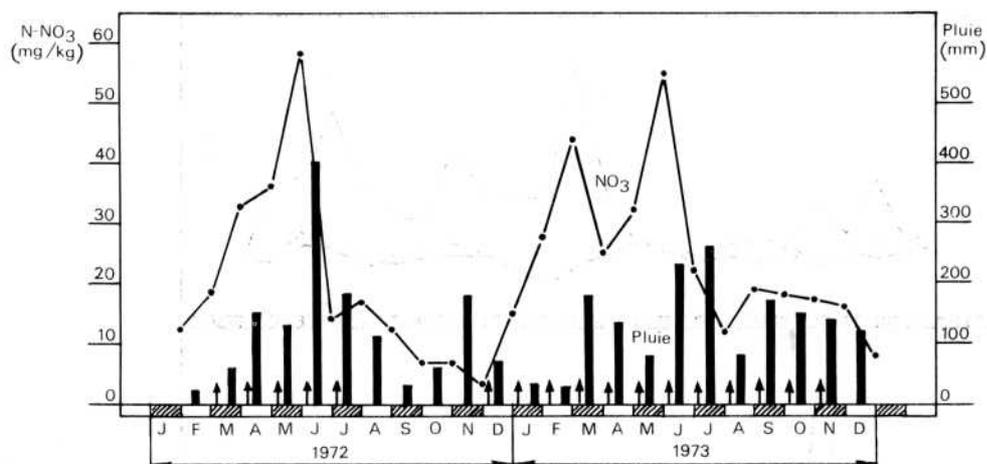


fig.3 • Relation entre l'évolution des nitrates dans les traitements urée et sulfate d'ammonium (moyenne) et la pluviométrie. Les flèches indiquent la date des apports d'engrais azotés.

TABLEAU 2. Pertes cumulées d'azote par volatilisation de NH<sub>3</sub> pour un enrichissement en azote de 200 p.p.m. Étude *in vitro*. Résultats exprimés en p. cent de l'azote apporté.

Durée de l'incubation (semaines)	1	2	3	4
Sulfate d'ammonium				
mélangé à la terre	3	5	6	6
appliqué à la surface	3	5	6	7
Urée				
mélangée à la terre	14	19	19	19
appliquée à la surface	20	29	30	30

• La nitrification nette de l'urée est légèrement plus rapide que celle du sulfate d'ammonium ; elle est en avance d'une semaine sur celle du sulfate (tableau 3). Cette différence peut être attribuée à l'acidification produite par le sulfate d'ammonium qui, dans nos conditions expérimentales, diminue le pH, par rapport à l'urée, de 0,8 unité (figure 6).

TABLEAU 3. Pourcentage de nitrates par rapport à l'azote minéral total. Étude *in vitro*.

Durée d'incubation (jours)	2	4	8	16	24	32	64	128
sulfate d'ammonium	1	2	2	26	65	83	98	99
urée	1	1	29	64	85	99	99	100

#### Évolution des cations échangeables et du pH.

• Les courbes d'évolution du calcium et du magnésium montrent que les apports élevés du sulfate d'ammonium entraînent une lixiviation importante de ces deux éléments (figure 4). Après trois cycles de production (juillet 1974), l'abaissement des teneurs, par rapport au sol du traitement témoin, est identique pour les deux cations : 47 p. cent.

L'urée a une action beaucoup moins défavorable, les faibles diminutions des teneurs en calcium et en magnésium dans ce traitement (13 et 9 p. cent) ne sont pas statistiquement significatives de celles du traitement témoin.

L'apport de dolomie du mois de novembre 1973 (1 t/ha épandue sur toute la superficie de la bananeraie) n'a pas été suffisant pour compenser la lixiviation du calcium et du magnésium due à l'action du sulfate d'ammonium.

• L'évolution du potassium n'est pas différente dans les traitements urée et sulfate d'ammonium (écarts non significatifs à la probabilité 95 p. cent). En revanche, les teneurs en potassium sont beaucoup plus élevées dans le traitement témoin que dans les traitements azote. Ces différences peuvent s'interpréter de la façon suivante : 1) les engrais azotés (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) déplacent du potassium (K<sup>+</sup>) qui est lixivié, 2) la production des régimes de bananes étant plus élevée dans les traitements azote, les exportations de potassium sont supérieures à celles du traitement témoin (voir plus loin).

• L'évolution du pH du sol montre que les engrais azotés ont une action acidifiante, celle-ci est beaucoup plus forte pour le sulfate d'ammonium que pour l'urée (figure 5). A la récolte du troisième fruit (juillet 1974), la baisse des pH, par rapport au traitement témoin, est de 0,7 unité dans le traitement urée et de 2 unités dans le traitement sulfate d'ammonium, soit une diminution de 1,3 unité avec le sulfate par rapport à l'urée.

• L'évolution de l'acidité est en relation avec celle des cations échangeables ; les coefficients de corrélation « r », entre la somme des cations et le pH, sont de 0,86 pour le traitement sulfate d'ammonium et de 0,53 pour le traitement urée. Ces coefficients sont significatifs à une probabilité supérieure à 99 p. cent (r = 0,45 pour P = 0,01). L'acidification est, d'autre part, due à l'apport d'ions acides dans le sol : SO<sub>4</sub><sup>-</sup> (sulfate d'ammonium) et à l'évolution de l'azote des engrais sous forme nitrique : NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (urée et sulfate). L'étude *in vitro*, dans laquelle il n'y a pas de lixi-

viation des cations, montre que pour un enrichissement en azote de 200 p.p.m., la diminution du pH, par rapport au traitement témoin, est d'une demi-unité pour le traitement sulfate d'ammonium (figure 6).

● L'action des engrais azotés sur les teneurs en cations et sur l'acidité du sol est limitée à la zone d'épandage (en couronne autour du bananier); en dehors de cette zone les teneurs en Ca, Mg, K et le pH sont peu différentes dans les trois traitements (tableau 4).

#### Étude de la productivité des bananiers.

Des observations sur la croissance et la production ont été régulièrement réalisées au cours des trois cycles étudiés.

Les résultats sont groupés en deux tableaux (5 et 6); ils mettent en évidence l'intérêt de l'urée sur le sulfate d'ammonium dans les conditions de l'expérimentation.

TABLEAU 4. Teneurs en cations échangeables et pH du sol en dehors de la zone\* d'épandage des engrais N et K.

	témoin sans azote	sulfate d'ammonium	urée	signification à P = 0,05
Ca mé/100 g	4,2	4,2	4,5	N.S.
Mg mé/100 g	0,8	0,9	0,9	N.S.
K mé/100 g	0,3	0,3	0,3	N.S.
pH	6,7	6,2	6,6	N.S.

\* - prélèvement de terre effectué au centre du rectangle formé par quatre bananiers en novembre 1973, à la fin du deuxième cycle de culture.

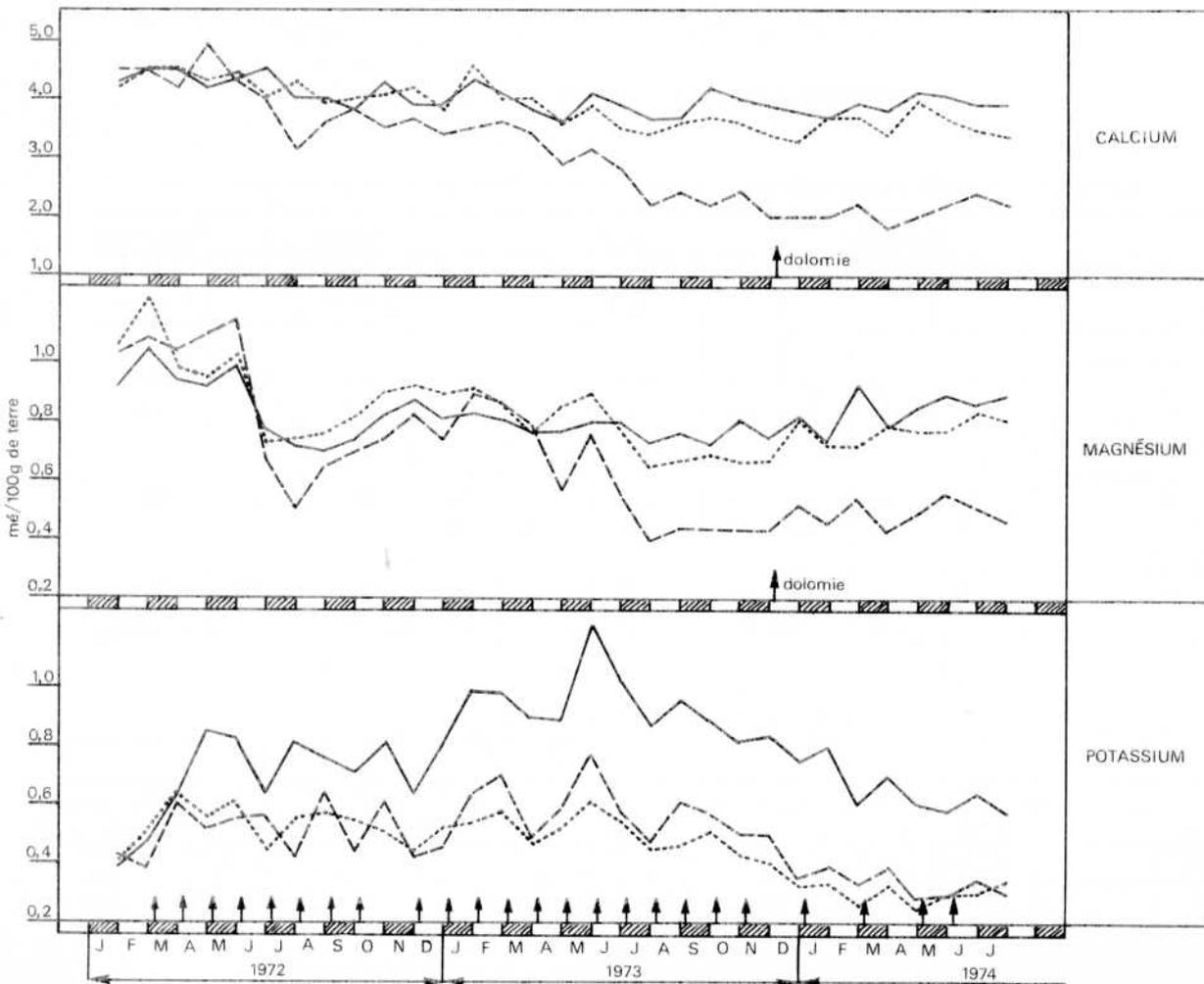


fig. 4 • Evolution des cations échangeables en fonction du temps. Étude in situ. Résultats exprimés en mé/100g de terre.

Les flèches indiquent les dates des apports de fertilisation potassique (CIK).

— témoin sans azote      - - - - sulfate d'ammonium      - · - · - urée

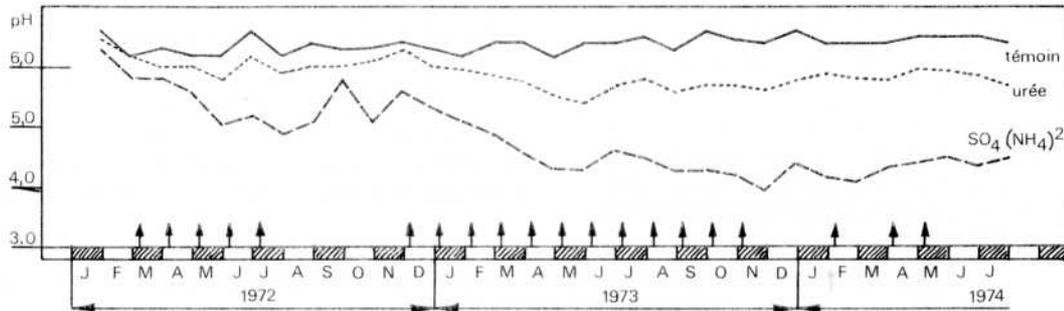


fig. 5 • Evolution du pH en fonction du temps. Etude in situ. Les flèches indiquent les dates des apports d'engrais azoté.

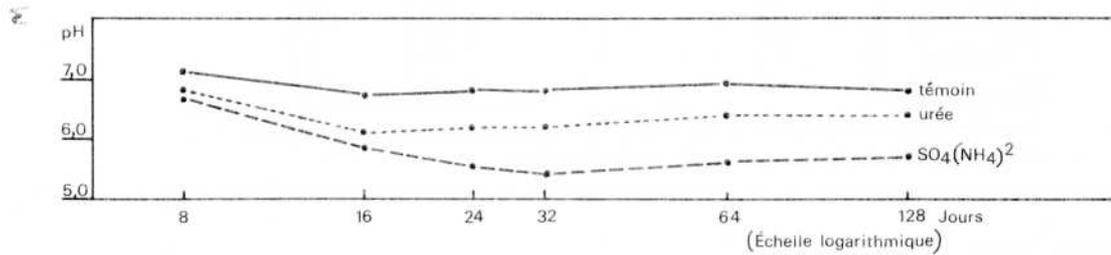


fig. 6 • Evolution du pH en fonction du temps. Etude in situ.

TABLEAU 5 - Caractéristiques végétaives : hauteur (H) et circonférence (C) du pseudo-tronc, en cm.

Traitements	1er cycle			2ème cycle			3ème cycle		4ème cycle	
	2 mois	4 mois	6 mois	8 mois	fin récolte 1er cycle	11 mois	13 mois	fin récolte 2e cycle	21 mois	fin récolte 3e cycle
1. sans azote										
H	85	175	227	90	104	141	207	139	156	151
C	27	49	62	25	30	39	57	35	43	38
2. sulfate d'ammonium										
H	86	180	231	83	101	156	233	147	206	164
C	26	50	64	23	29	42	66	34	56	39
3. urée										
H	95	184	231	88	100	154	230	184	238	187
C	28	52	63	25	29	42	65	43	67	46

TABLEAU 6 - Caractéristiques des récoltes.

Traitements	1er cycle				2ème cycle				3ème cycle			
	IPF	P.M	% récolté	Production /ha	IPF	P.M	% récolté	Production /ha	IPF	P.M	% récolté	Production /ha
1. sans azote	208	20,1	81,1	32,6	509	19,2	89,9	34,5	849	20,1	79,8	32,1
2. sulfate d'ammonium	201	20,6	92,8	38,2	464	20,4	91,6	37,4	759	26,5	94,4	50,3
3. urée	196	20,9	95,2	39,8	470	23,0	93,6	43,1	746	31,6	96,0	60,7

IPF : intervalle entre dates de plantation et floraison (jours)

P.M : poids moyen des régimes récoltés (en kg)

Production/ha : calculée en fonction du poids moyen et du pourcentage de bananiers récoltés (en tonnes).

### Caractéristiques végétatives (tableau 5).

L'examen des résultats ne permet de dégager de différences sensibles entre les trois traitements qu'à partir du deuxième cycle, encore n'intéressent-elles que les comparaisons entre le traitement 1 (sans azote) d'une part, et les traitements 2 et 3 (azote) d'autre part. Il faut attendre le troisième cycle pour observer des différences entre les traitements 2 et 3 en faveur de ce dernier (mensurations des rejets après la récolte du second cycle).

### Caractéristiques des récoltes (tableau 6 et figure 7).

Les caractéristiques des récoltes présentent en revanche des différences sensibles dès le premier cycle, elles iront en s'accroissant aux cycles suivants.

#### - Premier cycle.

Il n'y a aucune différence significative entre 2 et 3, seul le traitement 1 sans azote est en retard avec un poids moyen inférieur et surtout un pourcentage plus élevé de bananiers improductifs. On notera que les trois traitements avaient reçu en début de végétation une application uniforme de 150 grammes de nitrate de chaux par bananier (45 g de N) ; cet apport permet d'expliquer, dans une certaine mesure, la bonne tenue relative du traitement 1 sans azote.

#### - Second cycle.

Le traitement sans azote est toujours plus faible que les deux autres, et l'on constate une différence très nette du 2 par rapport au 3, malgré une précocité identique, avec un poids moyen et un rendement à l'hectare supérieurs de 12 et de 15 p. cent au profit du 3.

Le traitement urée progresse sensiblement par rapport au premier cycle, tandis que le traitement sulfate d'ammonium présente une certaine stabilisation, anormale pour une deuxième récolte ; celle-ci peut s'expliquer par les quantités excessives d'azote apporté au second cycle, le sulfate d'ammonium présentant à des doses élevées une toxicité dont serait dépourvue l'urée.

#### - Troisième cycle.

L'avance du traitement urée sur le traitement sulfate d'ammonium se confirme avec une production supérieure de 20 p. cent. La précocité de la floraison (IPF) est également plus élevée. Le traitement sans azote accroît son écart par rapport aux deux traitements azote, comme on pouvait le prévoir : floraison tardive (IPF supérieur de 13 à 15 semaines) et production inférieure de 36 p. cent par rapport au traitement sulfate d'ammonium et de 42 p. cent par rapport au traitement urée.

On notera, pour les traitements azote, une augmentation importante des rendements pour ce troisième cycle, par rapport aux cycles précédents. Cet accroissement doit être attribué à l'amélioration des techniques culturales, notamment à un meilleur contrôle des populations de nématodes, par l'emploi des nouveaux nématicides de synthèse.

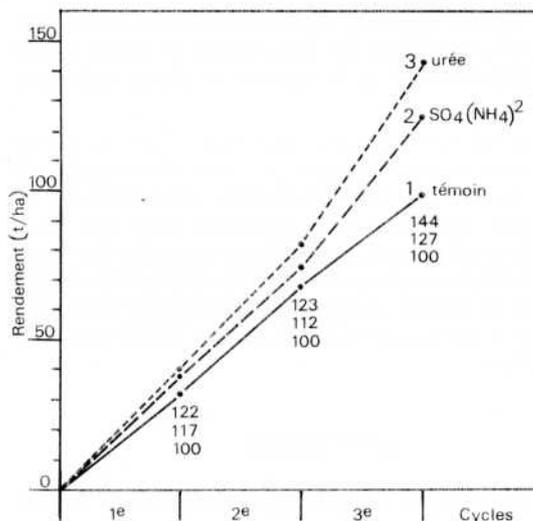


fig. 7 • Production cumulée de régimes (t/ha).

Les chiffres indiquent les valeurs indiciaires par rapport au témoin (100).

#### - Quatrième cycle.

Si l'on compare la hauteur des rejets après les récoltes du second et du troisième cycle, on peut penser que les écarts de production constatés entre les deux traitements azote devraient s'atténuer à la quatrième récolte.

### Discussion.

La productivité plus faible obtenue avec le sulfate d'ammonium, par rapport à l'urée, est en relation avec une forte lixiviation du calcium et du magnésium entraînant une acidification élevée du sol. Du point de vue de l'évolution de l'azote minéral dans le sol étudiée, l'urée est en revanche, moins intéressante : pertes par volatilisation d'ammoniac gazeux supérieures au sulfate d'ammonium, nitrification plus rapide, donc risques de lixiviation des nitrates plus grands. Cette observation relative à la différence de pertes par volatilisation de NH<sub>3</sub> ne doit toutefois pas être généralisée à tous les sols. MUSA (1965), expérimentant sur un sol argileux alcalin (pH 8,5) du Soudan n'a pas mis en évidence de différence de pertes entre les deux formes d'engrais azotés ; celles-ci sont essentiellement fonction de l'humidité du sol. Dans un sol brun eutrophe du Cameroun, de pH 6,2 et à capacité d'échange de 32 mé/100 g, des pertes de NH<sub>3</sub> par volatilisation pour des engrais mélangés à la terre sont identiques avec l'urée et le sulfate d'ammonium : 10 p. cent (GODEFROY, 1971 non publié). Pour GRASSER (1964) les pertes de NH<sub>3</sub> sont plus importantes avec le sulfate qu'avec l'urée, lorsque l'engrais est épandu en surface. Le mélange du sulfate avec le sol diminue fortement les pertes ; avec l'urée l'effet est beaucoup plus faible,

de sorte que les quantités perdues, dans ce cas, sont plus élevées avec l'urée. Pour les deux engrais les pertes varient avec le pH, l'humidité et la capacité d'échange cationique du sol.

Une productivité un peu plus faible avec le sulfate d'ammonium, comparativement à l'urée, a été également observée par A. LASSOUDIÈRE dans une bananeraie du Nieké située sur sol tourbeux fortement acide (pH 3,5 à 4,0). En revanche, dans les sols bruns eutrophes du Cameroun très riches en cations échangeables (20 à 30 mé/100 g) et pauvres en soufre, le sulfate d'ammonium a une action supérieure à l'urée (GODEFROY, 1960 ; MELIN et LOSSOIS, 1972).

### CONCLUSION

Il y a des risques d'acidification élevée du sol dans la zone d'application du sulfate d'ammonium, lorsque cet engrais est apporté en quantités excessives ; ce danger est beaucoup plus faible avec l'urée. Cette baisse du pH du sol liée à une diminution des cations (Ca et Mg) paraît responsable des rendements moins élevés obtenus avec le sulfate comparativement à l'urée.

On peut craindre que l'utilisation répétée du sulfate d'ammonium à la dose normale, ait les mêmes effets que la dose double appliquée dans cet essai pendant un cycle. En

bananeraie intensive ivoirienne, les quantités d'azote apportées sont en moyenne de 300 à 450 kg d'azote à l'hectare par an. L'épandage étant localisé autour du bananier, soit sur environ le quart de la superficie de la bananeraie, les apports de sulfate d'ammonium dans la zone d'application représentent de l'ordre de 6 à 9 t/ha/an, c'est-à-dire une concentration élevée. Il serait donc souhaitable de moins localiser les épandages ce qui est possible dans les bananeraies où le contrôle du parasitisme des racines est satisfaisant et dans lesquelles le système racinaire des bananiers est bien développé.

En Côte d'Ivoire, la tradition est d'épandre les amendements calco-magnésiens sur toute la superficie de la bananeraie. Cette technique n'est pas logique dans la mesure où les apports d'engrais azotés sont localisés, créant ainsi une zone où le complexe absorbant est fortement désaturé en cations et où l'acidité est élevée. Dans le sol étudié, l'apport à la fin de la deuxième année de 1 t/ha de dolomie, appliquée sur toute la superficie, n'a pas été suffisant pour compenser les pertes de calcium et de magnésium dues aux effets du sulfate d'ammonium. Il eut été nécessaire, soit de faire un apport plus élevé, soit de le localiser dans la zone acidifiée.

Une technique qui pourrait être retenue serait d'épandre les amendements calco-magnésiens sur toute la superficie à la plantation, puis dans la zone d'application du sulfate d'ammonium en cours de cycle de culture. Il serait d'autre part préférable de beaucoup moins localiser les épandages de sulfate d'ammonium autour du rhizome des bananiers.

### BIBLIOGRAPHIE

- DOMMARGUES (Y.). 1962.  
Contribution à l'étude de la dynamique microbienne des sols en zone semi-aride et en zone tropicale sèche.  
*Thèse Université de Paris.*
- DOMMARGUES (Y.) et MANGENOT (F.). 1970.  
Ecologie microbienne du sol.  
*Masson et Cie, éditeurs.*
- DUGAIN (F.). 1959.  
Le sulfate d'ammonium dans le sol en culture bananière de bas-fond  
*Fruits, 14, 4, 163-169.*
- GRASSER (J.K.R.). 1964.  
Quelques facteurs affectant les pertes d'ammoniac de l'urée et de sulfate d'ammonium appliqués aux sols.  
*The Journal of Soil Science, 15, 2, 258-271.*
- GODEFROY (J.). 1960.  
Bilan de dix années d'expérimentation sur bananier à la station de Nyombé (Cameroun).  
*Rapport IFAC.*
- GODEFROY (J.) et MARTIN (Ph.). 1969.  
Évolution des éléments minéraux du sol dans un essai de fumure minérale en bananeraie de basse Côte d'Ivoire.  
*Fruits, 24, 9, 425-435.*
- GODEFROY (J.) et ROOSE (E.). 1970.  
Évolution des pertes par lixiviation des éléments fertilisants dans un sol de bananeraie de basse Côte d'Ivoire.  
*Fruits, 26, 6, 403-420.*
- LOSSOIS (P.) et FINATEU (Anne Marie). 1972.  
Essai bananes Cameroun « formes d'azote ».  
*Rapport annuel IFAC, doc. 8.*
- MUSA MOHAMED. 1965.  
Recherches préliminaires sur la volatilisation de l'ammoniacque lors de l'addition d'engrais azotés sur les sols de GEZIRA.  
*Coll. OAU/STRC sur la conservation et l'amélioration de la fertilité des sols, Kartoum, nov. 1965. Soil Fert., 65, 15.*
- MELIN (Ph.). 1972.  
Résultat d'un essai : formes de l'azote.  
*Rapport annuel IFAC, doc. 36.*
- MONTAGUT (G.). 1963.  
Évolution des engrais azotés dans un sol de Martinique.  
*Fruits, 18, 3, 141-144.*
- SOUBIES (L.), GADET (R.) et LENAIN (M.). 1955.  
Recherches sur l'évolution de l'urée dans les sols et sur son utilisation comme engrais azoté.  
*Ann. Agron., VI, 997-1033.*

