

Recherche de critères de différenciation des sols hydromorphes tourbeux tropicaux en relation avec la dynamique de l'azote.

Application à la fertilisation azotée des bananeraies.

J.P. PENEL*

RECHERCHE DE CRITERES DE DIFFERENCIATION DES SOLS HYDROMORPHES TOURBEUX TROPICAUX EN RELATION AVEC LA DYNAMIQUE DE L'AZOTE. APPLICATION A LA FERTILISATION AZOTEE DES BANANERAIES.

J.P. PENEL.

Fruits, Jul.-aug. 1987, vol. 42, n° 7-8, p. 403-416.

RESUME - Cet article expose les résultats de neuf années de recherches sur la fertilisation azotée des bananeraies établies sur les sols hydromorphes tourbeux tropicaux de la vallée de l'Agnéby (Côte d'Ivoire).

Des expérimentations agropédologiques ont permis, d'une part, de révéler les situations favorisant les réponses du bananier à la fumure azotée, et, d'autre part, de mettre en évidence une évolution saisonnière de l'azote minéral du sol. Les périodes de carence nutritionnelle en azote ont été précisées en se basant sur un seuil de déficience en azote du bananier, déterminé par observation des symptômes visuels de déficience, et sur les courbes d'évolution saisonnière de l'azote minéral du sol. Les réponses du bananier à la fumure azotée dépendent essentiellement du potentiel de minéralisation de l'azote organique des sols, des critères analytiques différenciant les sols tourbeux ont été recherchés afin d'en permettre la cartographie.

L'ensemble des résultats de ces travaux amène l'auteur à proposer un système d'avertissement pour la fumure azotée basé sur le suivi agropédologique de parcelles de référence représentatives des différents types de sols tourbeux de la vallée bananière de l'Agnéby.

L'étude de l'évolution des sols à long terme et celle de la dynamique des éléments minéraux fertilisants dans le complexe «sol - bananeraie - climat» constituent un des thèmes de recherche du laboratoire d'agropédologie de l'IRFA, département «fruitiers» du CIRAD, en Afrique et aux Antilles françaises depuis 20 années.

En Côte d'Ivoire, après l'étude des sols minéraux (1965-1975), un programme de recherche a été initié au début des années 1970 sur les sols tourbeux de la vallée de l'Agnéby. Les premiers résultats de nos investigations nous ont permis de mettre en évidence l'importance quantitative de la fraction N minéral dans le cycle de l'azote de ces terres organiques mais aussi leur forte hétérogénéité de potentiel de minéralisation azotée non corrélable à la morphologie des profils pédologiques ou aux analyses chimiques usuelles. La nécessité de comprendre les causes des différences de la dynamique de l'azote minéral dans ces diverses tourbes tropicales nous a conduit à confier à J.P. PENEL, agropédologue, la responsabilité des recherches sur ce sujet. Celui-ci est important sur le plan de la connaissance scientifique mais, également, pour le développement car la fertilisation azotée représente une fraction non négligeable des coûts de production d'une bananeraie.

Un mémoire de fin de programme fait la synthèse des travaux réalisés au cours de la décennie écoulée. C'est ce document, publié en trois parties successives, que nous présentons aux lecteurs de FRUITS.

J. GODEFROY

* - C.N.A.R.B.R.L. - Laboratoire SOLAIGUE
1105, av. Pierre Mendès-France - 30001 NIMES CEDEX

INTRODUCTION

Une étude portant sur l'action du chaulage sur les caractéristiques physico-chimiques des sols hydromorphes tourbeux tropicaux (GODEFROY *et al.*, 1978) a montré que les processus de minéralisation de la matière organique, induits par l'exondation de ces sols, étaient intenses et tendaient à s'amplifier avec le chaulage. La question s'est alors posée de savoir dans quelle mesure la nutrition azotée du bananier pouvait être assurée par la minéralisation de l'azote organique de ces sols tourbeux.

Pour raisonner la fertilisation azotée du bananier, il est nécessaire de tenir compte du fait que cette plante est incapable de faire des réserves en azote, comme elle le fait en particulier avec le potassium. Il est donc indispensable que le bananier ait constamment à sa disposition de l'azote en quantité suffisante pour assurer correctement sa croissance. En l'absence de connaissances précises sur la dynamique de l'azote dans les sols tourbeux, la fumure azotée préconisée par le passé ne pouvait que correspondre à celle dont le volume et le rythme des épandages assuraient de ne pas faire d'erreur. De ce fait, les charges de cette fertilisation azotée «empirique» atteignaient des niveaux relativement élevés incompatibles avec le souci actuel de réduire les coûts de production.

Le besoin est donc apparu d'entreprendre des études approfondies sur la fertilisation azotée du bananier sur sols tourbeux tropicaux. Ces études comportent les trois thèmes

principaux suivants (figure 1) :

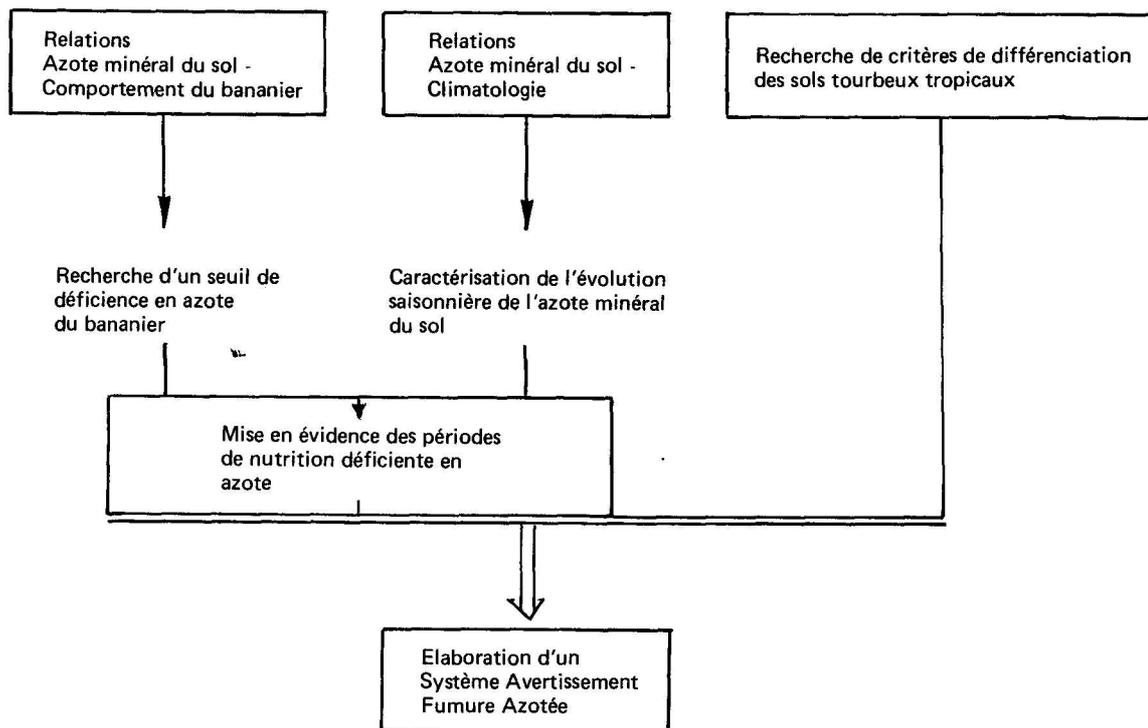
1. Relations entre l'évolution de l'azote minéral du sol et la climatologie.
2. Relations entre l'azote minéral du sol et le comportement du bananier.
3. Recherche de critères de différenciation des matériaux tourbeux au point de vue activité minéralisatrice.

Les objectifs scientifiques sont de trois ordres :

1. Connaissant l'évolution saisonnière de l'azote minéral du sol, mettre en évidence, d'une part, les époques où la minéralisation de la matière organique est suffisante pour satisfaire les besoins azotés du bananier, et, d'autre part, les périodes critiques où les teneurs en azote minéral du sol risquent de ne pas suffire à assurer la nutrition azotée du bananier.
2. Déterminer le seuil de déficience en azote du bananier.
3. Disposer de critères analytiques, simples et faciles à mettre en oeuvre, de différenciation des matériaux tourbeux dans l'optique d'une cartographie de la vallée de l'Agnéby.

Sur le plan pratique, ces recherches doivent servir à proposer des principes concernant la mise en place d'un système d'avertissement «fumure azotée».

FIGURE 1 - Organigramme des études sur la fertilisation azotée du bananier sur sols tourbeux tropicaux.



PRESENTATION GEOGRAPHIQUE DE L'ETUDE

La vallée de l'Agnéby.

Localisation géographique et importance spatiale.

Le littoral de la Côte d'Ivoire est caractérisé, en particulier à l'ouest d'Abidjan, par la présence de nombreuses lagunes dans lesquelles débouchent des vallées marécageuses. La plus importante de ces vallées est celle de l'Agnéby qui est située à environ 40 km à l'ouest d'Abidjan, en bordure de la lagune Ebrié. Cette zone marécageuse couvre une superficie d'environ 12 000 ha (figure A).

Environnement géologique et morphopédologique.

La vallée de l'Agnéby est bordée, à l'est et à l'ouest, de plateaux de sables tertiaires dont l'altitude avoisine les 60-70 m. Ce tertiaire continental présente à sa base des sables très argileux et des argiles surmontés d'un grès ferrugineux et de lits d'oolithes ; au sommet se trouvent des sols ferrallitiques formés sur des sables généralement peu argileux.

Au nord du confluent Agnéby-Niéky, affleurent des granites et des schistes birrimiens plus ou moins altérés.

Description géomorphologique.

D'après LENEUF et de LA SOUCHERE, «les marécages de la rive est de l'Agnéby représentent l'aire d'extension d'un ancien delta. A l'est du bourrelet alluvial actuel de cette rivière, nous trouvons d'autres affleurements argileux, témoins d'anciennes berges. Ces levées argileuses ont isolé des zones déprimées où stagnent les eaux de pluies et de crues qui provoquent un ensemble de conditions hydromorphes favorables à l'accumulation de la matière organique et à la formation de tourbes. Ces levées argileuses ne représentent pas la phase la plus ancienne de l'alluvionnement puisqu'elles reposent sur d'autres tourbes, mises en évidence par des sondages profonds».

Entre l'Agnéby et la côte du tertiaire, le profil ouest-est se présente de la manière suivante (MOITY), (fig. B - C) :

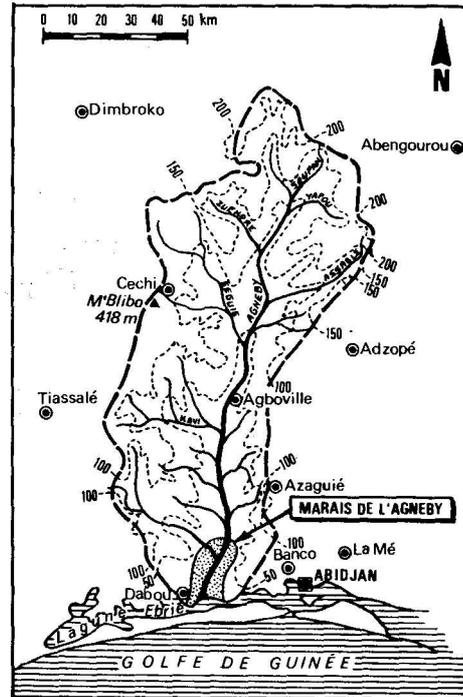


FIGURE A • Bassin versant de l'Agnéby. Relief et hydrographie. Surface totale : 8.450 km².

- le plateau de sables tertiaires culminant à 70 m
- la lèvre de la subsidence, au pied du plateau, où sourdent toutes les résurgences de la nappe des sables tertiaires
- la tourbière sur dépôts de sables argileux et micacés
- la tourbière dite d'argile organique dans la zone proche des levées de berges argileuses
- les berges argileuses surélevées de l'Agnéby.

La mise en valeur de la vallée de l'Agnéby par la culture du bananier.

Historique de la mise en valeur.

La mise en valeur de cette vallée a débuté en 1933. Elle a été relatée en détail dans la revue FRUITS par A.

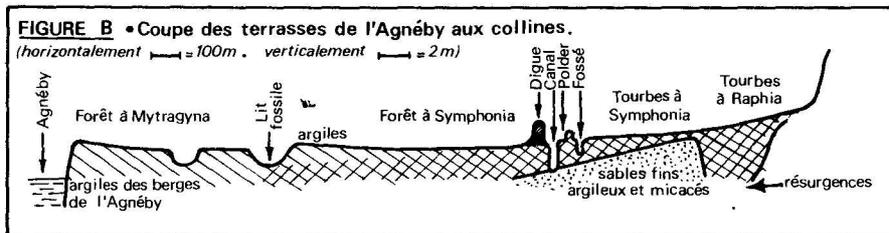


FIGURE B • Coupe des terrasses de l'Agnéby aux collines. (horizontalement = 100m. verticalement = 2m)

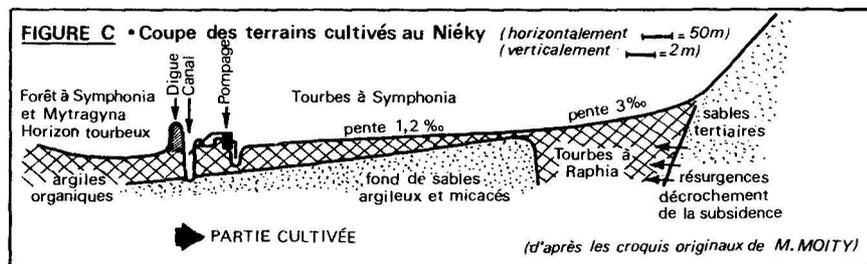


FIGURE C • Coupe des terrains cultivés au Niéky (horizontalement = 50m) (verticalement = 2m) (d'après les croquis originaux de M. MOITY)

LASSOUDIÈRE (1973). Le développement, toujours en cours actuellement, de la culture du bananier dans cette vallée a été extrêmement important puisqu'une fraction importante (environ 1/3) de la production bananière ivoirienne en provient.

Les études agropédologiques réalisées par le passé.

Les premières recherches agropédologiques réalisées dans les bananeraies établies sur les sols tourbeux de la vallée de l'Agnéby ont porté sur le drainage (LASSOUDIÈRE et MARTIN, 1974).

Sur le plan de la fertilisation minérale, on a assisté à un simple transfert des techniques préconisées pour les bananeraies sur sols minéraux (sols ferrallitiques et sols hydromorphes minéraux) ; seuls, quelques problèmes en oligo-éléments propres aux tourbes, tels que celui des déficiences en cuivre (LASSOUDIÈRE, 1973), ont été alors traités.

Par la suite, il est clairement apparu que ce transfert technologique ne répondait pas parfaitement aux besoins particuliers de ce type d'agro-système et qu'une opération de recherches devait être lancée sur ce sujet.

Après quelques études préliminaires de méthodologie sur les analyses des sols tourbeux (GODEFROY, 1977), les amendements calco-magnésiens (GODEFROY *et al.*, 1978) puis la fertilisation azotée ont été abordés. En raison de sa complexité, ce dernier problème a constitué l'essentiel de cette opération de recherches.

**EXPERIMENTATIONS AGRO-PÉDOLOGIQUES
SUR LA FUMURE AZOTÉE**

Les réponses du bananier à la fumure azotée.

La comparaison des réponses du bananier à la fumure azotée a été réalisée en mettant en place des essais agropédologiques sur plusieurs types de sols hydromorphes tourbeux différant entre eux par la morphologie de leur profil et la date de leur mise en valeur. Nous ne retiendrons dans cet exposé que les résultats de trois d'entre eux (BA.CI.ABY. 203, BA.CI.ABY 224 et BA.CI.ABY 227) qui suffisent à notre démonstration ; les autres essais agropédologiques n'ayant fourni que des réponses intermédiaires (BA.CI.ABY 290, BA.CI.ABY 291, BA.CI.ABY 313) ou marginales (BA.CI.ABY 292).

Présentation des essais agropédologiques.

● Essai BA.CI.ABY 227.

Cet essai sur la minéralisation de l'azote organique, spécialement mis en place en novembre 1976 pour cette étude, est situé sur la plantation SABA dans un secteur qui a été mis en culture moins d'une dizaine d'années auparavant. Il est localisé sur un sol tourbeux profond hydromorphe, à matière organique relativement bien humifiée, proche du type «Saprist» (USDA, Soil Survey Staff, 1975). Ce sol est caractérisé par des teneurs élevées en carbone organique (430 p. 1000) et en azote total (16,5 p. 1000), une Capacité d'Echange Cationique à pH 7 très élevée (140 mé/100 g) et une densité apparente faible (0,25).

L'essai comporte 6 répétitions de 5 traitements (blocs

de Fisher).

Traitement 1 : sol nu.

Traitement 2 : bananiers sans fumure azotée.

Traitement 3 : bananiers recevant 160 g N/an/pied sous forme d'urée en 10 épandages annuels.

Traitement 4 : bananiers recevant de l'azote à la demande sur la base des observations végétatives.

Traitement 5 : sol nu en microclimat de bananeraie (bananiers plantés en fûts).

● Essai BA.CI.ABY 224.

Il s'agit d'un essai agronomique axé sur les dates de plantation dont un seul traitement à 5 répétitions - bananiers sans fumure azotée plantés en septembre 1976 - a été retenu pour notre étude. Sa situation géographique est voisine de celle de l'essai précédent mais son sol en diffère notablement puisque l'horizon tourbeux repose à faible profondeur (20 à 30 cm) sur un horizon argileux grisâtre à dominance de kaolinite et d'illite. La matière organique de la tourbe est relativement bien humifiée et proche du type «Saprist» comme dans le cas de l'essai BA.CI.ABY 227. Les teneurs en carbone organique (330 p. 1000) et en azote total (13 p. 1000) ainsi que la capacité d'échange cationique (104 mé/100 g) se trouvent cependant à des niveaux nettement plus faibles ; la densité apparente y est en revanche plus élevée (0,38). Ceci est essentiellement dû au fait que le matériau tourbeux a été contaminé par des argiles.

● Essai BA.CI.ABY 203.

Il s'agit d'un essai agronomique mis en place en juin 1975 portant sur la fertilisation azotée du bananier, dont deux traitements seulement ont fait l'objet d'un suivi pédologique mensuel.

- Traitement 1 : bananiers sans fumure azotée.

- Traitement 2 : bananiers recevant 160 g N/an/pied sous forme d'urée en 10 épandages annuels.

Cet essai est situé sur la plantation SCB-Bonjour dans un secteur qui a été mis en valeur depuis plus de 35 ans, au tout début de la phase de poldérisation des marais de l'Agnéby. Le sol tourbeux profond hydromorphe correspondant présente en surface des granulés de tourbe rétrogradée constituant une couche chimiquement inactive de 1 à 5 cm d'épaisseur, qui repose sur un horizon de matière organique très bien humifiée de type «saprist» devenant «hemist» en profondeur. Il est caractérisé par des teneurs en carbone organique (390 p. 1000) et en azote total (14 p. 1000) et par une capacité d'échange cationique (130 mé/100 g) relativement élevées mais assez sensiblement inférieures à celles de l'essai BA.CI.ABY 227. Sa densité apparente y est par contre un peu plus forte : 0,32.

Pour les traitements où des apports d'urée sont programmés, les épandages interviennent généralement le lendemain ou le surlendemain du prélèvement de sol.

Effets de la fumure azotée sur les rythmes de production et les rendements.

Il est apparu illusoire, pour plusieurs raisons, de vouloir effectuer une comparaison exhaustive de l'ensemble des caractères agronomiques observés dans ces trois essais. Parmi ces raisons figurent un certain manque d'homogénéité

néité des caractères retenus pour chacun de ces essais, ainsi que l'intervention en cours d'expérimentation de modifications de quelques conventions d'observation. C'est pourquoi nous nous sommes limités à deux critères essentiels : la précocité et le rendement.

Concernant la précocité, le seul caractère pouvant, dans notre étude, se prêter à des comparaisons rigoureuses, correspond à l'intervalle entre deux floraisons ($I F_n - F_{n+1}$ en jours). Le tableau 1 regroupe l'ensemble de ces données ; il suffira de se reporter aux figures 2 et 3 pour situer les dates des floraisons. Les intervalles entre floraisons apparaissent indiscutablement les plus faibles dans les tourbes à fort potentiel de minéralisation (BA.CI.ABY 227), les différences entre traitements n'étant pas significatives. En revanche, dans les tourbes à faible production d'azote minéral (BA.CI.ABY 203), le traitement recevant de l'urée s'avère un peu plus précoce que le traitement témoin, mais n'est pas équivalent aux traitements de l'essai BA.CI.ABY 227 ; ce critère de précocité n'est donc probablement pas placé uniquement sous la dépendance de la nutrition azotée, et, il n'est pas exclu qu'un certain déficit hydrique saisonnier dans les tourbes des essais BA.CI.ABY 203 et 224 soit déterminant dans l'accroissement des intervalles entre floraisons.

Les rendements calculés par cycle (figure 2) et cumulés (figure 3) ont été déterminés à partir des rendements réels en faisant abstraction des bananiers recépés, tornadés et éradiqués pour mosaïque. Les courbes d'évolution des rendements par cycle se révèlent bien différentes selon les types de sols tourbeux. Dans l'essai BA.CI.ABY 227, les trois traitements sont indifférenciés ; le rendement de la première coupe est sensiblement moins élevé que celui de la deuxième coupe ; les rendements suivants tendant à décroître progressivement.

La première révolution de l'essai BA.CI.ABY 203 a été interrompue brutalement au milieu de la 4ème coupe en raison d'une baisse excessive des rendements, dans le but de réaliser la replantation à une époque favorable. Le ren-

dement de la 4ème coupe est surévalué car il est calculé à partir du poids moyen des premiers régimes récoltés seulement ; ce point a donc une signification très limitée. Globalement, les tourbes à faible potentiel de minéralisation de l'azote organique ne permettent pas l'obtention de rendements aussi élevés que ceux des tourbes à fort potentiel. L'application d'une fumure azotée tend à réduire l'écart observé entre ces deux types de tourbe, mais non à le supprimer, ce qui, comme pour le critère de précocité, laisse entendre l'intervention supplétive d'autres facteurs que la nutrition azotée.

On observe par ailleurs, dans l'essai BA.CI.ABY 224, une chute spectaculaire des rendements qui doit être mise en relation avec la forte diminution de la capacité hydrique du sol dont l'horizon tourbeux peu épais repose sur un horizon argileux qui n'est pratiquement pas prospecté par les racines du bananier.

Comme il n'existe pas de correspondances strictes entre les dates de coupe de tous ces essais, seules des comparaisons statistiques entre traitements à l'intérieur de chaque essai sont possibles (tableaux 2 et 3). Les rendements apparaissent supérieurs, de façon significative, dans le traitement recevant 160 g N/an/pied par rapport au traitement témoin, uniquement dans les tourbes à faible potentiel de minéralisation (BA.CI.ABY 203). Cela signifie que les quantités d'azote minéral produites par les tourbes à potentiel de minéralisation élevé sont telles que le bananier ne répond pas à une fumure azotée (BA.CI.ABY 227).

Pour comparer valablement les rendements cumulés entre essais et donc entre types de sols tourbeux, il est nécessaire de ne considérer que la «production annuelle stabilisée» qui est calculée à partir de la pente des courbes dès qu'elles tendent à se linéariser. Leur origine correspond donc à la première ou à la deuxième coupe et non à la plantation ou replantation. Cet artifice permet d'éliminer la

TABLEAU 1 - Intervalles entre floraisons (jours).

Essai BA.CI.ABY 227

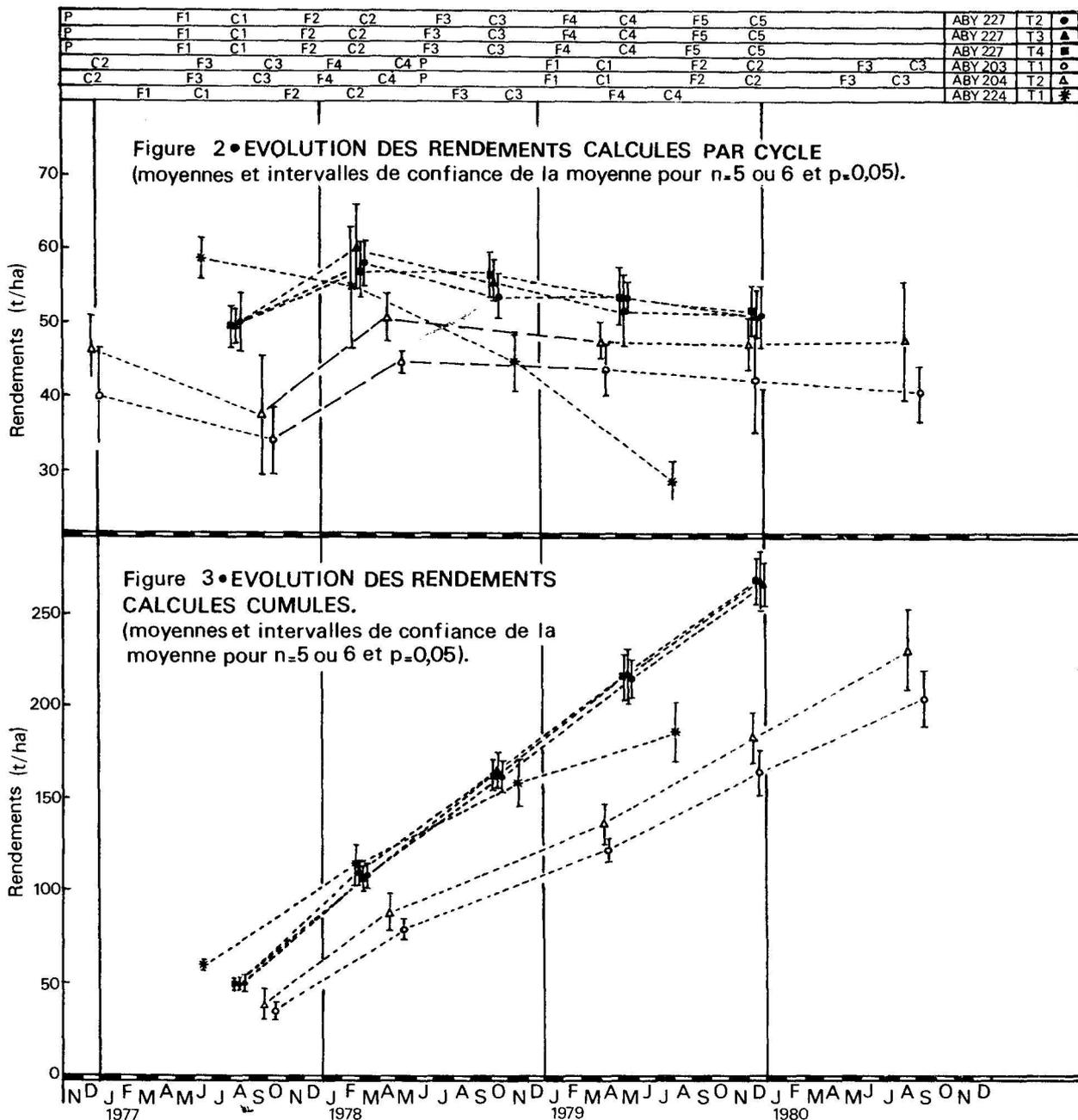
$I F_n - F_{n+1}$	traitement 2	traitement 3	traitement 4	Test F.
I F1-F2	214	207	207	NS
I F2-F3	209	209	207	NS
I F3-F4	225	231	224	NS
I F4-F5	213	212	209	NS

Essai BA.CI.ABY 203

Révolution	$I F_n - F_{n+1}$	traitement 1	traitement 2	Test F.
I	I F3-F4	220	217	NS
II	I F1-F2	245	237	NS
	I F2-F3	264	245	NS

Essai BA.CI.ABY 224

$I F_n - F_{n+1}$	traitement 1
I F1-F2	245
I F2-F3	266
I F3-F4	-



perturbation provoquée par la replantation en 1978 de l'essai BA.CI.ABY 203 et d'éventuels premiers cycles déficients. Dans le tableau ne figure pas l'essai BA.CI.ABY 224 car sa production ne s'est jamais stabilisée et a toujours décré.

Les productions annuelles stabilisées sont la résultante moyenne de deux critères : la durée des intervalles entre floraisons et les rendements par cycle. Pour chacun d'eux, des différences s'étaient révélées entre types de sols tourbeux ; en se cumulant, ils permettent de conforter les observations précédentes. Une fertilisation azotée (160

g N/an/pied) n'a d'effets sur la production annuelle que si la tourbe est caractérisée par un faible potentiel de minéralisation de l'azote organique (accroissement de 19 p. 100 par rapport au témoin). Dans les tourbes à fort potentiel de minéralisation, l'application d'une fumure azotée s'avère inutile. Il faut noter aussi que l'application d'une fumure azotée pourtant importante (160 g N/an/pied) n'est pas suffisante pour que les rendements de l'essai BA.CI.ABY 203 soient équivalents à ceux de l'essai BA.CI.ABY 227 (moins 22 p. 100). Comme nous l'avons déjà fait remarquer, d'autres facteurs que la nutrition azotée doivent aussi intervenir, notamment l'alimentation hydrique.

TABLEAU 2 - Rendements calculés par cycle (t/ha)

Essai BA.CI.ABY 227

Numéros coupes	traitement 2	traitement 3	traitement 4	Test F
1	49,8	49,3	49,4	NS
2	58,2	60,2	57,1	NS
3	53,5	55,7	56,4	NS
4	53,5	51,5	53,6	NS
5	50,8	51,2	51,6	NS

Essai BA.CI.ABY 203

Révolution	numéros coupe	traitement 1	traitement 2	Test F.
I	3	34,2	37,6	NS
	4	44,5	50,7	**
II	1	43,5	47,6	**
	2	41,9	47,0	+
	3	40,3	47,6	*

Essai BA.CI. ABY 224

numéros coupes	traitement 1
1	58,7
2	54,9
3	44,4
4	28,4

TABLEAU 3 - Rendements calculés cumulés (t/ha).

Essai BA.CI.ABY 227

numéros coupes	traitement 2	traitement 3	traitement 4	Test F.
1	49,8	49,3	49,4	NS
1+ 2	108,0	109,6	106,5	NS
1+ 2+ 3	161,5	165,3	162,9	NS
1+ 2+ 3+ 4	215,0	216,8	216,5	NS
1+ 2+ 3+ 4+ 5	265,8	268,0	268,1	NS

Essai BA.CI.ABY 203.

numéros coupes	traitement 1	traitement 2	Test F.
I3	34,2	37,6	NS
I3+4	78,7	88,2	*
I3-4+ II 1	122,2	135,8	*
I3-4+ II 1-2	164,1	182,8	*
I3-4+ II 1-2-3	204,4	230,4	*

Essai BA.CI.ABY 224

numéros coupes	traitement 1
1	58,7
1+ 2	113,6
1+ 2+ 3	158,0
1+ 2+ 3+ 4	186,5

essais	traitements	productions annuelles stabilisées	
		valeurs absolues t/ha/an	valeurs indiciaires
BA.CI.ABY 227	T 2	88	100
	T 3		
	T 4		
BA.CI.ABY 203	T 1	58	66
	T 2	69	78

Evolution saisonnière des teneurs en azote minéral des sols tourbeux.

Méthodologie du suivi agro-pédologique.

● Mode de prélèvement des échantillons de sol.

L'évolution des teneurs du sol en azote minéral a été suivie selon un rythme mensuel, les prélèvements de sol intervenant aux environs du 11 de chaque mois. Ils ont été réalisés à 50 cm du pseudo-tronc des bananiers, c'est-à-dire à l'intérieur de la zone d'épandage des engrais, à l'aide d'une sonde à gouge du type DUGAIN. La longueur de la gouge a été déterminée en se basant sur la profondeur d'enracinement des bananiers qui est elle-même fonction du type de sol : 40 cm pour les sols tourbeux profonds des essais BA.CI.ABY 227 et 203, et 25 cm pour l'essai BA.CI.ABY 224 dont le sol présente un horizon tourbeux reposant à faible profondeur sur un horizon argileux compact.

Chaque échantillon de sol correspond à plusieurs prélèvements partiels qui dépendent du nombre de bananiers significatifs de la parcelle de base de chaque essai : 40 pour BA.CI.ABY 227, 24 pour BA.CI.ABY 224 et 35 pour BA.CI.ABY 203. Procéder à des échantillonnages partiels relativement nombreux constitue une précaution qui est justifiée par la forte hétérogénéité de ces sols.

● Préparation des échantillons de sol avant analyses.

Le jour même ou le lendemain du prélèvement, une homogénéisation de chaque échantillon de sol est réalisée avec soin selon la règle des 4/4 (GODEFROY, 1977 a) avant de procéder à un échantillonnage pour analyse. Les échantillons de sol ainsi obtenus sont conservés au congélateur en vue du dosage de l'azote minéral. Cette méthode de conservation s'est révélée satisfaisante à condition que la congélation et la décongélation soient rapides (VIAUX *et al.*, 1981).

● Protocoles analytiques.

L'extraction de l'azote minéral est réalisée sur une prise d'essai de 50 g de tourbe humide avec 500 ml d'une solution normale de chlorure de potassium par deux agitations successives de 30 mn (GODEFROY, 1977 a). Le dosage de l'azote ammoniacal a d'abord été effectué par acidimétrie après déplacement par la magnésie calcinée et entraînement à la vapeur ; de même pour l'azote nitrique qui est préalablement réduit au moyen de l'alliage de Dewarda (BREM-

NER, 1965). A partir de décembre 1979, les analyses ont été réalisées en colorimétrie automatique : l'azote ammoniacal par la méthode au salicylate de sodium et au dichloroisocyanurate de sodium (FALLAVIER, 1975), et l'azote nitrique, après réduction en nitrite par le sulfate d'hydrazine, par la méthode de GRIESS-ILOSVAY (BREMNER, 1965).

Les échantillons de sol prélevés au mois de janvier de chaque année ont fait l'objet d'une analyse chimique complète selon des méthodes classiques adaptées aux matériaux tourbeux (GODEFROY, 1977 a ; GODEFROY, 1977 b).

Observations sur plusieurs types de sols tourbeux en bananeraies fertilisées en azote ou non fertilisées.

Comme la plupart des plantes n'appartenant pas à la famille des Légumineuses, le bananier absorbe l'azote principalement sous forme minérale (nitrique et ammoniacale). La figure 4, représentant le cycle simplifié de l'azote inspiré de DOMMERGUES et MANGENOT (1970), met en évidence les principaux processus induisant un accroissement ou une diminution de la teneur du sol en azote minéral. Ces diverses transformations de l'azote s'effectuent simultanément dans le sol. C'est en raison de cette simultanéité que les dosages chimiques des formes minérales de l'azote à des dates successives ne permettent d'apprécier que l'effet net de ces processus, c'est-à-dire la minéralisation nette qui est la résultante de la minéralisation brute (ou réelle) et de divers processus comme l'immobilisation, les pertes par volatilisation, dénitrification et lixiviation. D'autres processus viennent s'ajouter aux précédents : il s'agit des apports d'azote par les engrais (urée) et de l'assimilation d'azote par la plante (bananier).

Les courbes d'évolution des teneurs du sol en azote minéral, enregistrées sur quatre années (figures 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 et 12), représentent donc le devenir de cette résultante au cours des saisons. Elles doivent être rapprochées de la courbe de pluviométrie correspondante (figure 13). Les courbes d'évolution saisonnière de l'humidité du sol sont reportées dans la figure 14.

En premier lieu, il apparaît une certaine similitude entre toutes ces courbes d'évolution de l'azote minéral du sol. En effet, quels que soient le type de sol tourbeux et le traitement appliqué, il se produit une accumulation d'azote minéral au cours des saisons sèches et une chute plus ou moins prononcée des teneurs en azote minéral - essentiellement la forme nitrique - en saisons des pluies, c'est-à-dire

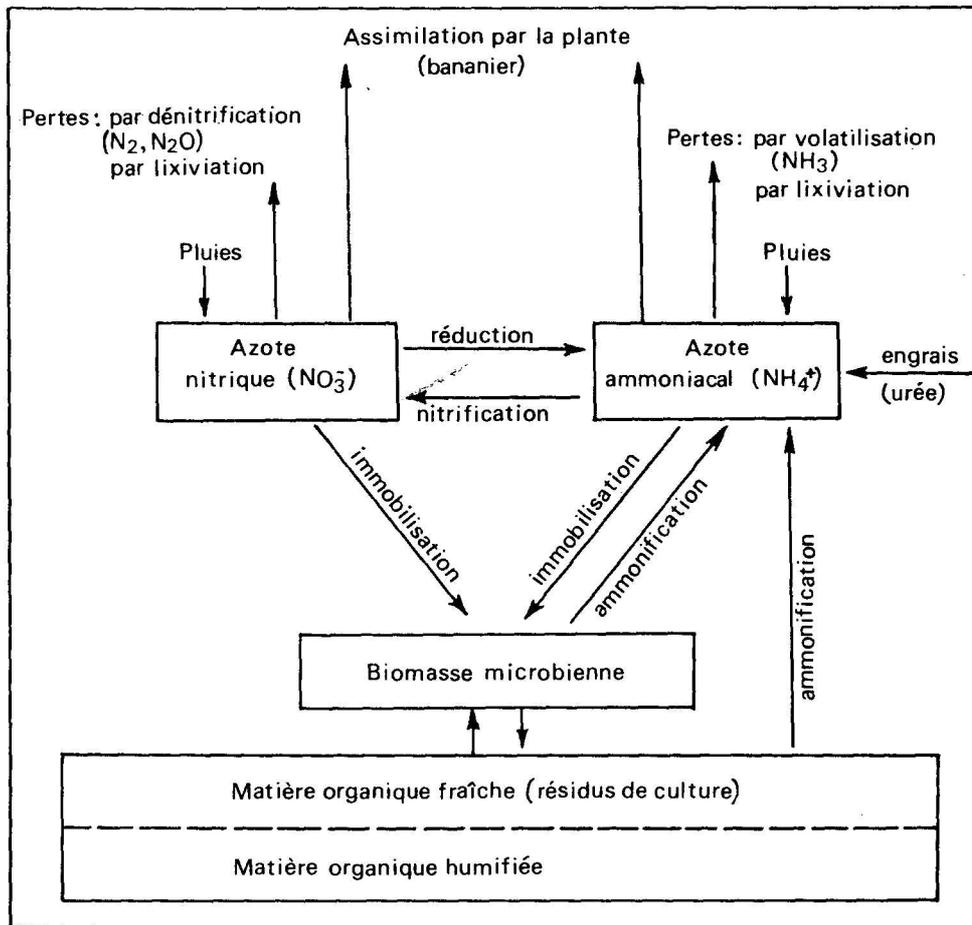


Figure 4 • CYCLE SIMPLIFIÉ DE L'AZOTE, inspiré de Y. DOMMERMUES et F. MANGENOT, 1970.

en octobre-novembre et surtout en juin-juillet. Le facteur influençant de façon prépondérante l'évolution des stocks d'azote minéral du sol semble donc correspondre à la pluviométrie. D'autres processus, autres que la lixiviation, doivent intervenir de façon non négligeable dans la minéralisation nette ; il s'agit de la volatilisation de l'ammoniac, sans doute assez importante en périodes chaudes et sèches, et de la dénitrification dont l'ampleur doit être considérable mais dont les variations saisonnières ne sont pas établies.

Bien que les profils d'évolution de l'azote minéral soient analogues dans leur allure générale, les valeurs maximales atteintes en fin de grande saison sèche varient énormément d'un type de tourbe à l'autre (tableau 4). Cette observation révèle donc des potentialités de minéralisation de l'azote organique très différentes. Cela implique sur le plan pratique que l'on pourrait se dispenser d'épandre des engrais azotés en grande saison sèche, sur les tourbes caractérisées par de fortes productions naturelles d'azote minéral (BA.CI.ABY 227).

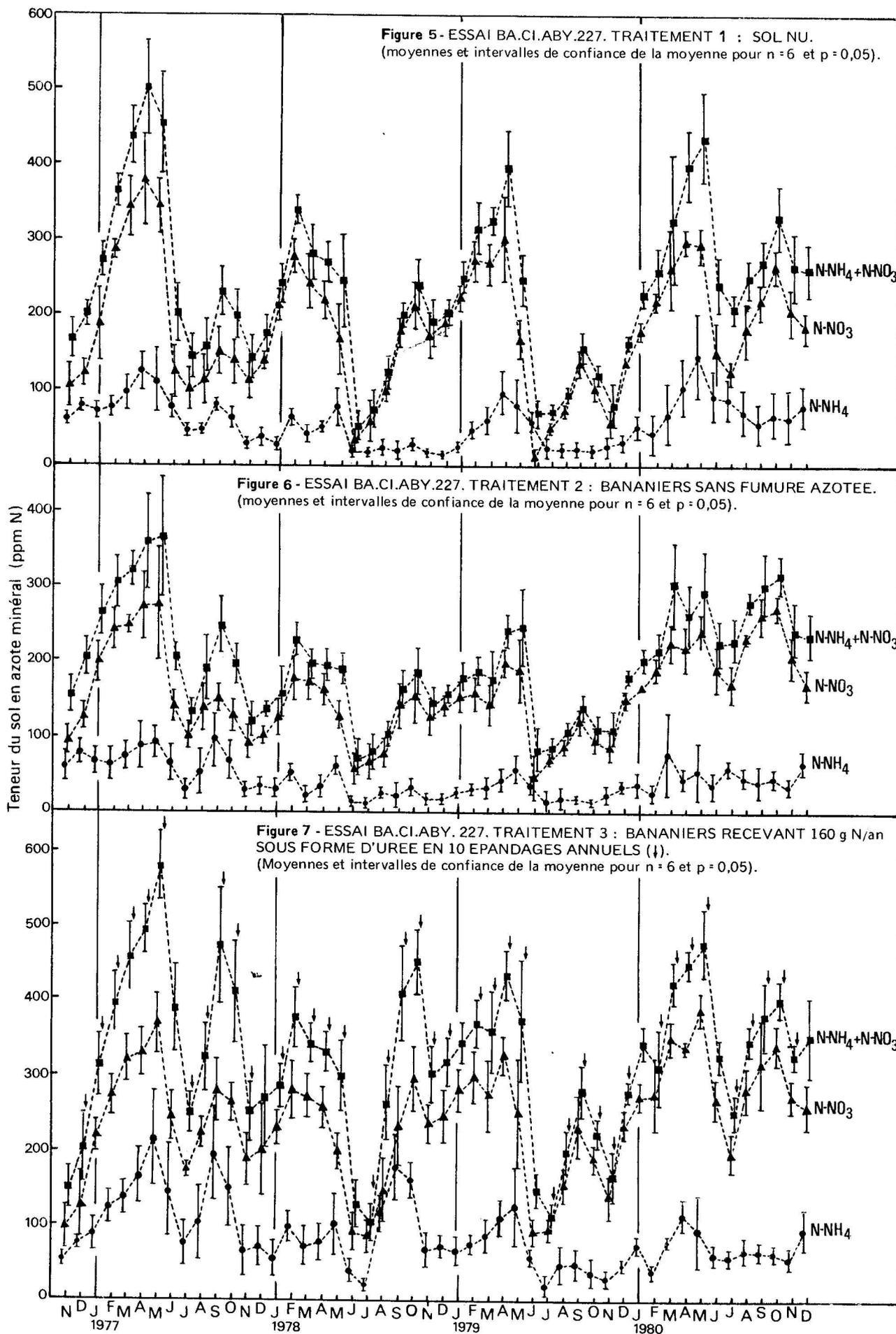
Par ailleurs, ces courbes mettent nettement en évidence l'ampleur des processus de lixiviation de l'azote minéral, notamment des nitrates, en période de forte pluviométrie et plus particulièrement au mois de juin. Des apports réguliers d'urée tout au long de l'année ne permettent pas

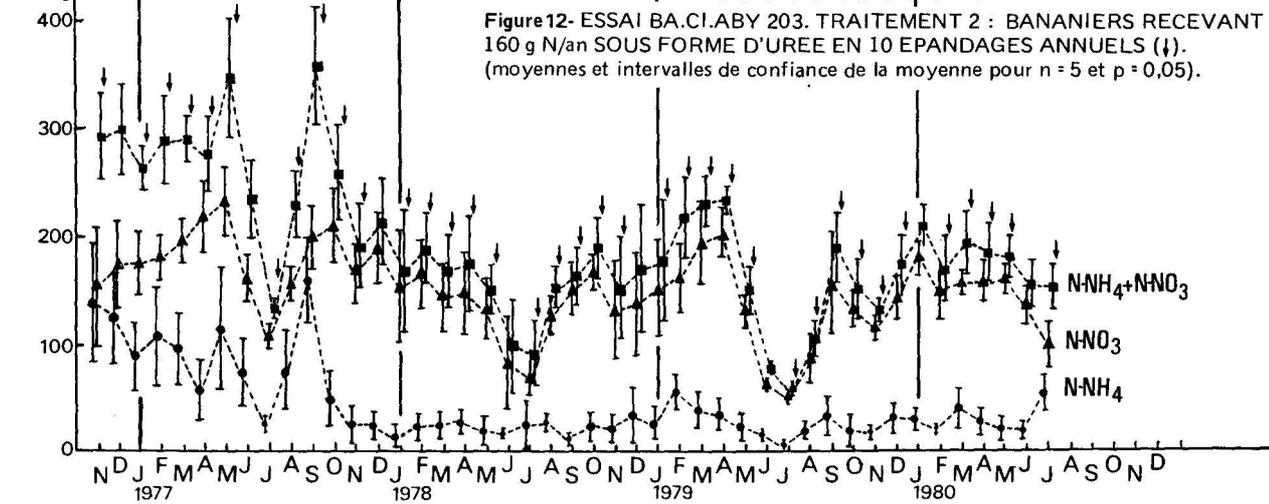
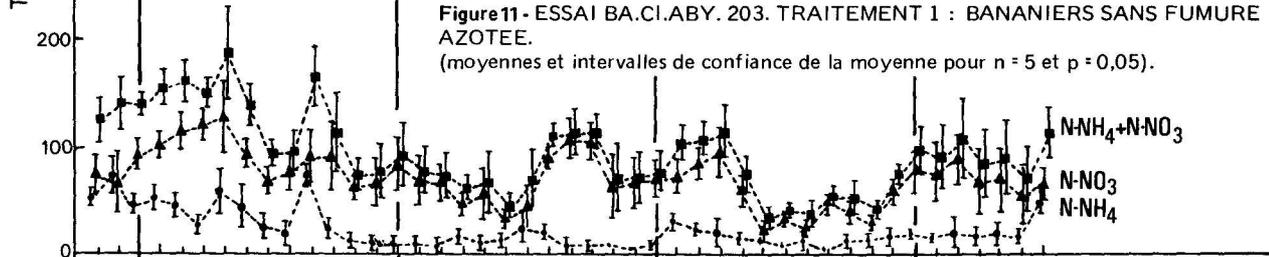
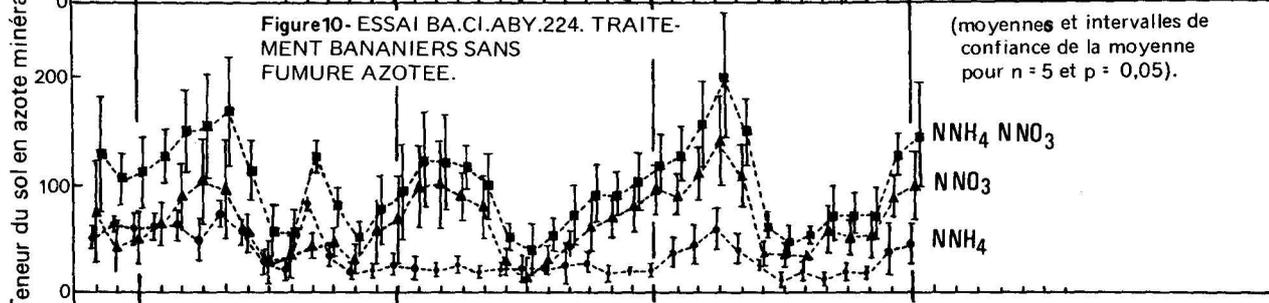
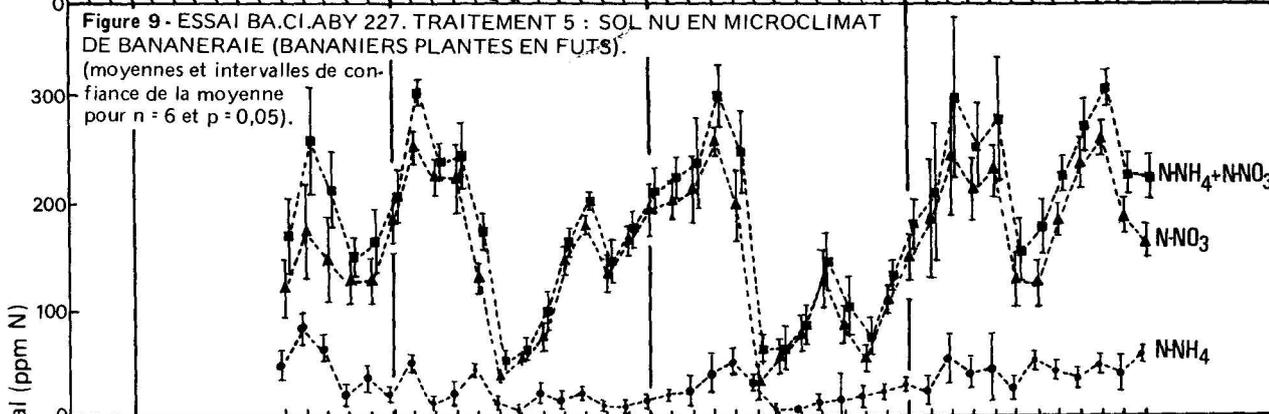
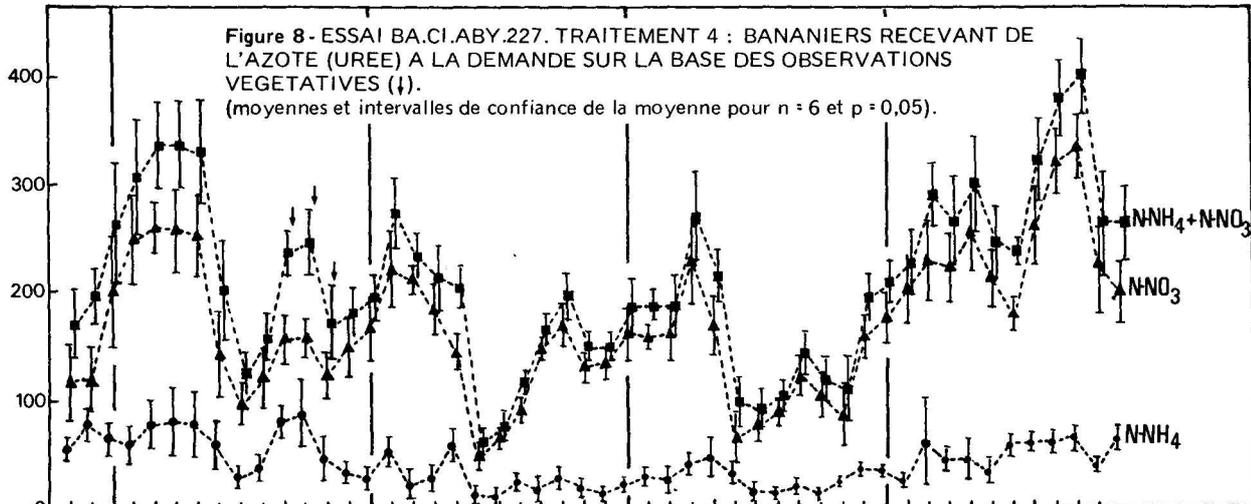
de compenser ces pertes par lixiviation. Manifestement, les épandages d'urée effectués en saisons très pluvieuses s'avèrent inefficaces, car l'engrais, sitôt solubilisé, est très rapidement entraîné par percolation hors du profil cultural.

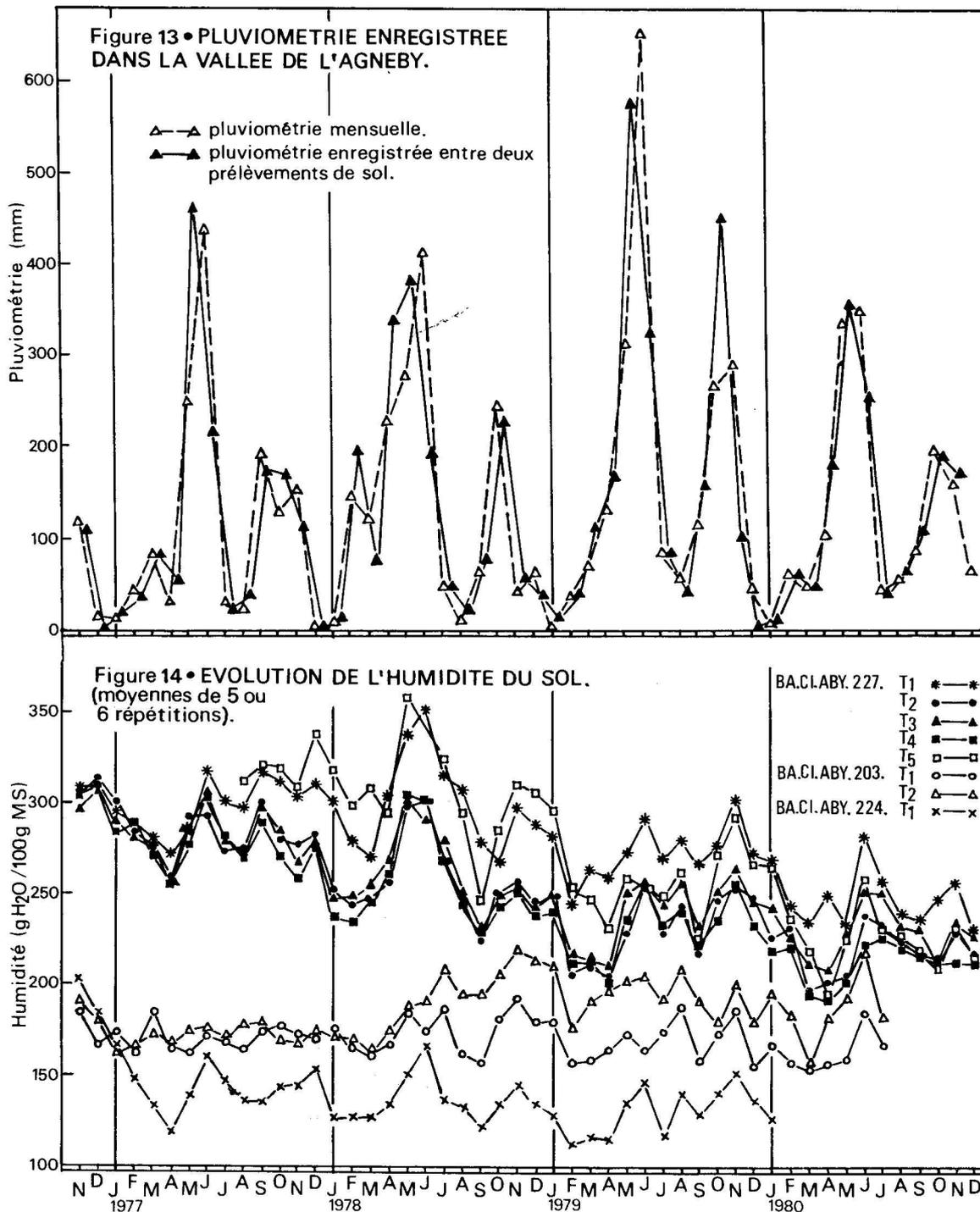
Après les grandes pluies du mois de juin, les teneurs du sol en azote minéral se relèvent naturellement assez rapidement dans les tourbes à fort potentiel de minéralisation de l'azote organique (BA.CI.ABY 227), nettement moins bien dans les autres types de tourbe (BA.CI.ABY 224 et 203). De toute évidence, des apports d'urée en petite saison sèche (juillet-août-septembre), dès la fin des grandes pluies de juin, dans ces tourbes à faible potentiel de minéralisation ne peuvent qu'être très bénéfiques.

La comparaison des courbes d'évolution de l'azote minéral obtenues dans les différents traitements de l'essai BA.CI.ABY 227 suscite la formulation de quelques remarques. Dans le traitement 1 (sol nu) la minéralisation de la matière organique est extrêmement importante en saisons sèches. Les courbes obtenues dans le traitement 5 (sol nu en microclimat de bananeraie) apparaissent identiques à celles du précédent traitement, hormis en grandes saisons sèches où elles sont tronquées. Cela pourrait signifier que l'activation de la minéralisation de la matière organique par ensoleillement direct du matériau tourbeux n'est effec-

Figures 5 à 12 • EVOLUTION DES TENEURS DU SOL EN AZOTE MINERAL SELON L'ESSAI ET LE TRAITEMENT.







tive qu'en grande saison sèche, c'est-à-dire qu'elle nécessite une élévation relativement importante de la température du sol. Par ailleurs, si l'on compare les courbes des traitements 2 et 4, qui correspondent pratiquement tous les deux à un traitement «bananiers sans fumure azotée» à celle du traitement 5 (sol nu en microclimat de bananeraie), on constate que l'effet de l'assimilation d'azote par les bananiers sur la minéralisation nette est peu accentué. Dans ce type de tourbe, la minéralisation brute de la matière organique tend à compenser les prélèvements d'azote

minéral effectués par les bananiers de façon à maintenir le sol dans un certain état d'équilibre.

Quel que soit le potentiel de minéralisation du matériau tourbeux considéré, l'application régulière d'engrais azotés se répercute très nettement sur les courbes d'évolution de l'azote minéral du sol. Les niveaux atteints dans les tourbes, où la minéralisation naturelle de l'azote organique est intense, sont extrêmement élevés ; ils sont nettement moindres dans les tourbes à faible potentiel de minéralisa-

TABLEAU 4 - Teneurs maximales du sol en azote minéral (N-NH₄ + N-NO₃) enregistrées en fin de grande saison sèche (ppm N).

Essais	traitements	années			
		1977	1978	1979	1980
BA.CI.ABY 227	1	502	339	394	436
	2	367	227	244	302
	3	581	376	434	477
	4	337	273	269	300
	5	-	301	296	296
BA.CI.ABY 224	1	167	123	199	-
BA.CI.ABY 203	1	186	92	113	107
	2	347	189	234	209

tion, mais les différences avec le traitement ne recevant pas d'engrais azotés sont cependant très nettes. Il faut remarquer aussi que des ajouts d'urée tendent à augmenter la proportion d'azote ammoniacal dans les tourbes à fort potentiel de minéralisation de la matière organique. Comme des tests en laboratoire l'ont montré (incubation en microlysismètres), l'urée tend à stimuler énergiquement la minéralisation brute des tourbes récemment exondées et mises en culture. Pour des raisons non encore définies, l'activité nitrifiante de ces sols ne suffit pas à transformer totalement le surplus d'azote ammoniacal produit. Une relative déficience de l'activité nitrifiante des tourbes à fort potentiel de minéralisation de l'azote organique se révèle aussi en fin de grande saison sèche, indépendamment du traitement appliqué. Généralement, pour expliquer ce phénomène, on met en cause un déficit hydrique qui serait défavorable à la flore nitrifiante. Il ne semble pas, au vue des courbes d'évolution saisonnières de l'humidité, que, dans ce cas, l'on puisse retenir cette explication. Peut-être faut-il y voir plutôt un effet de l'élévation de la température du sol qui stimulerait l'ammonification, ou minéralisation brute, ou (et) inhiberait partiellement la nitrification ?

La recherche d'une relation mathématique liant l'évolution des teneurs du sol en azote minéral aux facteurs climatiques (pluviométrie) s'avère fort complexe. La principale difficulté réside dans l'estimation du drainage en deçà de la limite de prospection maximale des racines, à partir des données climatiques. Il est en effet nécessaire de prendre en considération, en plus de la pluviométrie mensuelle, le rythme et l'intensité des pluies ainsi que les variations d'humidité du matériau tourbeux, et de savoir calculer l'évapotranspiration réelle (ETR) relative à la profondeur de sol étudié en faisant abstraction des effets de la nappe sous-jacente. Il est cependant possible, en comparant les courbes d'évolution de l'azote du sol et de la pluviométrie, dès à présent, de poser en première approximation qu'une pluviométrie mensuelle cumulée d'environ 150 mm suffit à provoquer une baisse des teneurs du sol en azote minéral, et que les pertes d'azote sont d'autant plus importantes, en valeurs absolues, que le niveau initial est élevé.

Concernant l'évolution saisonnière de l'humidité du sol, il est intéressant de remarquer plusieurs faits. Comme toutes les courbes d'humidité ont été regroupées sur une même figure (figure 14), il n'a pas été possible de représenter les intervalles de confiance de la moyenne qui auraient

révélé l'extrême hétérogénéité des matériaux tourbeux à ce point de vue. Il s'agit d'une variabilité intrinsèque (mise en évidence dans le traitement «sol nu») renforcée par l'implantation de bananiers qui répartissent les eaux de pluies de manière hétérogène sur le sol en fonction de leur conformation. Malgré ces fortes variabilités, il se dégage certaines tendances à moyen terme qui sont différentes selon les types de tourbe. Dans les tourbes profondes à fort potentiel de minéralisation (BA.CI.ABY 227), l'humidité diminue régulièrement (plus de 300 p. 100 en 1976 et environ 220 p. 100 en fin 1980) et ne s'est pas encore stabilisée comme cela s'est produit dès le début de l'année 1977 dans le cas de la tourbe peu épaisse reposant sur de l'argile de l'essai BA.CI.ABY 224 (130-140 p. 100) ou dans celui de la tourbe anciennement mise en culture du BA.CI.ABY 203 (170-190 p. 100). La tourbe peu profonde sur argile présente donc les teneurs les plus faibles en eau, ce qui laisse présumer un déficit hydrique plus ou moins latent. Cela aurait pour effet de faire baisser le rapport N-NO₃/N-NH₄ + N-NO₃ : en inhibant partiellement le processus de nitrification.

Conclusions.

Le suivi mensuel pédologique de quelques sols tourbeux tropicaux sous bananeraie a très nettement mis en évidence l'évolution saisonnière de l'azote minéral du sol. Le facteur intervenant de façon prépondérante correspond à la pluviométrie qui induit un processus de lixiviation dès qu'elle atteint la valeur mensuelle de 150 mm.

Cette étude a aussi révélé des potentialités de minéralisation de l'azote organique très différentes selon les types de sols tourbeux. Ces variations dans l'activité minéralisatrice des sols conditionnent les réponses à la fumure azotée des bananiers aux points de vue précocité et rendement. Le potentiel de minéralisation de l'azote organique doit donc être considéré comme l'élément essentiel de discrimination des matériaux tourbeux.

Sur le plan pratique, les tourbes à forte minéralisation ne semble nécessiter aucun appoint en engrais pour assurer correctement la nutrition azotée des bananiers. Par contre, dans les autres types de tourbes, dont l'activité minéralisatrice est nettement plus réduite, les bananiers requièrent une fertilisation azotée, plus particulièrement en petite sai-

son sèche (juillet-août-septembre). Mais la recherche d'un seuil de déficience en azote s'avère indispensable à une définition plus précise des périodes critiques.

RECHERCHE D'UN SEUIL DE DEFICIENCE EN AZOTE DU BANANIER SUR SOLS TOURBEUX

Choix de l'essai agrépédologique.

La recherche d'un seuil de déficience en azote du bananier ne pouvait être entreprise qu'à partir d'une expérimentation conduite sur un sol tourbeux à faible potentiel de minéralisation (Plantation SCB-Bonjour).

Les données nécessaires à cette étude ont été tirées d'un essai agrépédologique classique à 5 traitements (BA. CLABY 273) qui était axé, à l'origine, sur les rythmes d'épandage de l'urée en fonction des saisons et qui a bien mis en évidence l'intérêt agronomique d'une intervention rapide dès la fin des pluies de juin.

Recherche d'un seuil de déficience en azote.

Nous disposons pour cette recherche de plusieurs types de données :

- des résultats d'analyse foliaire (N, P, K, Ca, Mg, Mn, Zn et B) à différents stades de développement (3 mois ; 4,5 mois ; floraison ; récolte),
- des notations (échelle 0 à 5) des symptômes visuels de déficience en azote (SDN) réalisées tous les 15 jours,
- des observations agronomiques : circonférence et hauteur

des stipes, feuilles émises à 2,4 et 6 mois, intervalle plantation-floraison, nombre de mains, intervalle plantation-récolte, poids moyen du régime, grade et longueur des doigts,

- des résultats mensuels d'analyse de l'azote minéral du sol.

En mettant en relation les résultats d'analyses foliaires et les notations des symptômes de déficience en azote par une régression linéaire simple, on constate que le coefficient de corrélation (SDN/N p. 100) est faible : 0,3 à 0,5. Ce coefficient est très sensiblement amélioré ($r = 0,7$ à $0,8$) en pondérant la teneur en azote de la feuille par un facteur calculé à partir de la hauteur et de la circonférence du bananier, c'est-à-dire de la masse végétale. Cela signifie qu'une bonne nutrition azotée du bananier n'entraîne pas obligatoirement un accroissement des teneurs en azote de la feuille (« effet dilution »), mais plutôt une augmentation de la masse végétale du bananier.

La seule relation nette qui soit ressortie de cette étude correspond aux notations des symptômes visuels de déficience en azote (effectuées 20 à 25 jours après le prélèvement de sol) en fonction des teneurs du sol en azote minéral. Cette relation n'existe que pour le premier cycle de culture ; ensuite les bananiers révèlent beaucoup moins nettement leurs états plus ou moins carencés en azote. Le coefficient de régression est satisfaisant ($-0,74$), mais, en fait, il semble que cette relation ne soit pas linéaire et qu'un point d'inflexion se situe aux environs de 100 ppm. Compte tenu de la densité apparente de cette tourbe, on peut estimer que le seuil de déficience en azote du bananier sur sols tourbeux correspond à 40 mg N minéral/dm³ (fig. 15).

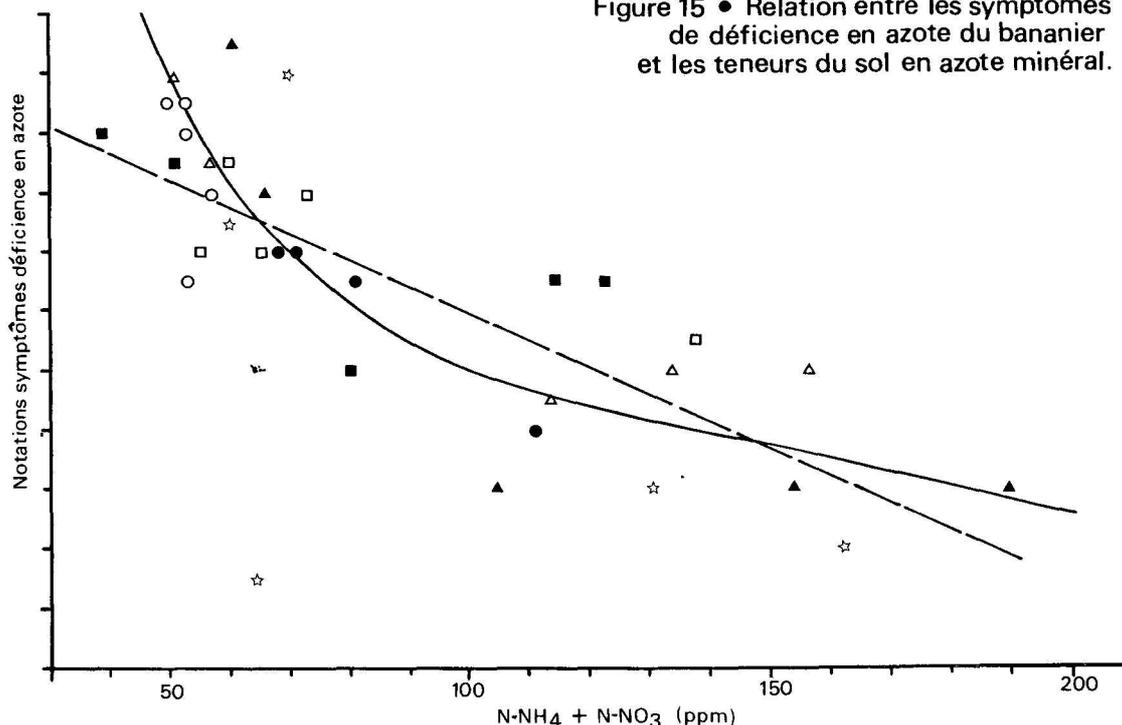


Figure 15 • Relation entre les symptômes de déficience en azote du bananier et les teneurs du sol en azote minéral.

à suivre.