

EVOLUTION D'UN SOL FERRALITIQUE SUR GNEISS DE MADAGASCAR SOUS L'INFLUENCE D'APPORTS ANNUELS DE PAILLE ET D'AZOTE

J. VELLY, C. LONGUEVAL
IRAT, Groupement d'études et de recherches
pour le développement de l'agriculture
tropicale,
Montpellier,
France

Abstract-Résumé

DEVELOPMENT OF A FERRALITIC SOIL ON MADAGASCAR GNEISS UNDER THE INFLUENCE OF YEARLY APPLICATIONS OF STRAW AND NITROGEN.

The results of an experiment carried out on a ferralitic soil over gneiss in Madagascar during the course of five campaigns are described. Three applications of nitrogen were made each year, with and without incorporation into the soil of 10 t/ha of maize straw. The yields show an immediate effect exerted by the nitrogen, followed after two years by an effect from the straw. These effects subsequently recur on a regular basis. Soil analyses show, after cultivation, a sharp and extensive drop in the C and N contents, but they are subsequently stabilized and, starting from the fourth campaign, even recover through the action of the straw (in the case of C and N) and through that of N (for soil N). A ^{15}N pot study carried out with soil samples taken in situ indicates two types of effect — one from the straw, which tends to enrich the soil in stable nitrogen compounds (under the experimental conditions), and a shorter-lived one contributed by the fertilizer nitrogen. Some of the latter seems to be temporarily reorganized and is mineralized fairly rapidly afterwards. In the pot experiments the test plant (*Agrostis communis*) drew considerably on this form of nitrogen for its growth, and more especially since the amounts of nitrogen applied to the field had been large. The applications of nitrogen and straw would therefore seem to be a satisfactory technique for improving the humic balance in tropical soils.

EVOLUTION D'UN SOL FERRALITIQUE SUR GNEISS DE MADAGASCAR SOUS L'INFLUENCE D'APPORTS ANNUELS DE PAILLE ET D'AZOTE.

Ce mémoire présente les résultats d'une expérience menée à Madagascar sur un sol ferralitique sur gneiss pendant cinq campagnes. Trois doses d'azote ont été apportées chaque année, avec ou sans enfouissement de 10 t/ha de paille de maïs. Les rendements font apparaître un effet immédiat de l'azote, suivi après deux ans d'un effet de la paille. Ces effets se retrouvent ensuite régulièrement. Les analyses de sol montrent, après la mise en culture, une chute brutale et importante des teneurs en C et N. Elles se stabilisent ensuite et remontent même sous l'effet de la paille (pour C et N) et sous l'effet de N (pour N du sol) à partir de la quatrième campagne. Un essai en vases de végétation, réalisé sur les prélèvements de terre effectués au champ, et utilisant l'isotope ^{15}N , a fait apparaître deux sortes d'effets. Un effet de la paille qui tend à enrichir le sol en composés azotés stables (dans les conditions de l'expérience), et un effet à plus court terme dû à l'apport d'azote engrais. Une partie de celui-ci semble temporairement réorganisé et se minéralise ensuite assez rapidement. Dans l'essai en vases de végétation, la plante-test (*Agrostis communis*) a puisé significativement dans cette forme d'azote pour assurer sa croissance, et d'autant plus que les doses d'azote apportées au champ avaient été fortes. L'apport d'azote et de paille semble donc une technique satisfaisante pour l'amélioration du bilan humique des sols tropicaux.

1. INTRODUCTION

La fertilisation azotée des sols tropicaux est très souvent délicate. En effet, beaucoup de ces sols ont une texture relativement grossière et sont soumis à des conditions climatiques difficiles: fortes intensités des précipitations, même quand la pluviométrie annuelle est faible, et températures élevées. La pluie favorise les pertes par lixiviation et par érosion et la température, associée

à l'humidité, entraîne des pertes d'azote par minéralisation des composés organiques. Sur ces sols, pour la plupart acides, il semble que les pertes par dénitrification soient aussi plus importantes qu'en milieu tempéré [1]. A tous ces inconvénients est venue se joindre l'augmentation importante, ces dernières années, du prix des engrais.

La question s'est donc posée de savoir s'il existait un moyen de diminuer ces pertes et d'améliorer le bilan azoté des sols tropicaux. A cet effet, les chercheurs de l'Institut de recherches agronomiques tropicales et des cultures vivrières (IRAT) ont travaillé depuis plusieurs années sur une hypothèse formulée à la suite d'une réunion tenue à Bouaké (Côte-d'Ivoire) en 1969. Ces travaux ont été entrepris et poursuivis sous la direction de M. le Professeur Chaminade.

L'hypothèse était que l'enfouissement de résidus de récoltes à C/N élevé (des pailles en général) combiné avec l'apport d'engrais azotés pourrait améliorer les termes du bilan de l'azote en favorisant un stockage de l'azote de l'engrais, permettant ainsi une meilleure rentabilité de la fumure. Autrement dit, au lieu d'être perdu de façons diverses, l'azote de l'engrais non utilisé par une culture pourrait être temporairement immobilisé par la matière organique enfouie, et induire ensuite un arrière-effet en se minéralisant au cours des années suivantes. Ceci revenait à vérifier, en milieu tropical, des observations faites en régions tempérées [2-6].

Le présent mémoire rend compte d'une expérience au champ qui s'est poursuivie pendant cinq ans à Madagascar et qui a été suivie d'un travail en laboratoire, effectué à Montpellier, dont le but était de mieux comprendre l'effet des traitements appliqués sur le terrain.

2. MATERIELS ET METHODES

L'expérience au champ a été réalisée sur un sol ferralitique sur gneiss, situé à Ampangabé, à proximité de Tananarive, sur les Hauts-Plateaux malgaches. Une analyse et une description du profil de ce sol sont données en annexe. L'altitude est de 1400 m environ, la pluviométrie de 1200 à 1300 mm/a, en une seule saison allant de décembre à fin avril. L'essai s'est déroulé sur le sommet aplani d'une colline, nouvellement mise en culture, avec une pente légère, le terrain étant aménagé en courbes de niveau.

L'essai est de type factoriel 3×2 . Il comprend six traitements: trois niveaux d'azote:

- N_0 = dose nulle,
- N_1 = 150 kg/ha, dose supposée convenable,
- N_2 = 240 kg/ha, dose volontairement excessive,

et deux niveaux d'apports de paille:

- M_0 = dose nulle,
- M_1 = 10 t/ha de tiges de maïs.

Par ailleurs, tous les autres éléments nutritifs sont apportés de façon non restrictive.

L'essai a été mené en maïs, l'azote et la paille étant apportés chaque année. Il comporte six répétitions, et après chaque culture, des prélèvements de terre (0 à 20 cm) ont été effectués sur chaque parcelle élémentaire pour suivre l'évolution des principaux éléments en fonction des traitements.

A partir des échantillons de terre prélevés après la campagne de 1974, c'est-à-dire après 5 ans de culture, un essai en vases de végétation a été réalisé à Montpellier. Il avait pour but d'évaluer la quantité d'azote que le sol pouvait mettre à la disposition d'une plante cultivée, en fonction des traitements apportés antérieurement au champ.

A cet effet, la terre provenant des 36 parcelles élémentaires a été mise dans de petits vases de végétation à raison de 120 g de terre par vase. Une fumure uniforme a été apportée à tous les pots (N, P, K, Ca, Mg), la fumure azotée consistant en 50 ppm de N du nitrate de calcium ayant un excès isotopique en ^{15}N de 10%. Dans tous les pots, un semis d'*Agrostis communis* a été fait, et la végétation récoltée et pesée au bout d'un mois, avec séparation des parties aériennes et des racines.

TABLEAU I. RENDEMENTS EN MAIS-GRAIN
(en quintaux par hectare)

Traitement	Année				
	1970	1971	1972	1973	1974
N ₀ -M ₀	7,3	13,5	12,8	24,6	10,1
N ₁ -M ₀	47,1	50,4	32,9	87,3	49,4
N ₂ -M ₀	53,9	49,8	37,1	99,1	51,8
N ₀ -M ₁	7,4	17,8	13,4	33,9	19,6
N ₁ -M ₁	54,7	53,7	36,0	99,1	53,7
N ₂ -M ₁	52,2	51,3	46,7	107,1	61,0

Pour cette expérience, on a effectué les déterminations analytiques suivantes:

- avant culture en pots, dosages, dans les sols, de C total, N total et des formes organiques de l'azote selon la méthode de Bremner [7] modifiée par Decau [8];
- dosage de l'azote minéralisable, selon la méthode de Bremner [9];
- sur la végétation, dosage de N total dans les feuilles et les racines et détermination de l'excès isotopique, selon la méthode de Bremner [10];
- sur le sol après culture en pots, dosage de N total et détermination de l'excès isotopique.

3. RESULTATS ET DISCUSSION

3.1. Rappel des résultats observés au champ

3.1.1. Les rendements

Les résultats sont résumés sur le tableau I.

Pendant les deux premières campagnes, on voit un effet très significatif de l'azote, mais pas d'effet de la paille, et pas d'interaction.

En 1972, l'effet de l'azote est toujours aussi fort, mais l'effet significatif de la paille apparaît, ainsi qu'une interaction azote/paille. En effet, le supplément de rendement dû à la paille n'est pas uniforme, mais, respectivement pour N₀, N₁ et N₂ de 60, 310, et 960 kg de grain par hectare.

En 1973, l'effet de l'azote est hautement significatif, et l'effet de la paille également. Il n'y a pas d'interaction, le supplément de rendement dû à la paille est uniforme et, en moyenne, de 970 kg de grain par hectare. On observe les mêmes effets en 1974.

En résumé, on a donc eu chaque année un effet très fort de l'azote sur le rendement, auquel s'est ajouté dès la troisième année un effet de la paille.

3.1.2. L'évolution des sols

Les analyses de sol ont porté principalement sur la matière organique, l'azote total et la capacité d'échange.

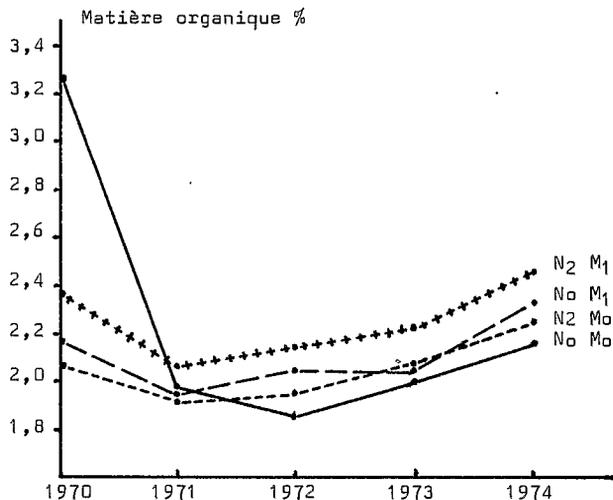


FIG.1. Evolution des teneurs en matière organique, de 1970 à 1974.

3.1.2.1. La matière organique

La mise en culture, avec labour et fumure, stimule l'activité des micro-organismes du sol et provoque une minéralisation intense de la matière organique.

La teneur initiale (3,7%) baisse de 30 à 40% pour tous les traitements ayant reçu de l'azote ou de la paille. Sur le traitement M₀-N₀, cette baisse ne se produit qu'à la deuxième campagne, et, à partir de là, la teneur en matière organique se stabilise autour de 2% pour tous les traitements. A partir de 1972, on voit les teneurs remonter légèrement. A partir de 1973, l'enfouissement de paille élève significativement la teneur en matière organique du sol. Cette évolution est représentée sur la figure 1.

3.1.2.2. L'azote total

L'évolution de l'azote total (fig.2) est identique à celle du carbone. Lors de la première campagne, en l'absence de paille, l'apport d'azote fait baisser fortement, de façon linéaire, les teneurs en azote. En présence de paille, il n'y a pas d'effet de l'azote apporté, car l'enfouissement de paille fait lui-même baisser fortement les teneurs en azote.

Par la suite, les teneurs en azote se stabilisent autour de 0,080%. A partir de 1973, l'apport de paille d'une part et l'apport d'azote d'autre part élèvent significativement les teneurs en azote du sol. En 1974, la paille fait passer, en moyenne, la teneur en azote de 0,084 à 0,090%. Pour les deux dernières années, l'effet des doses d'azote sur la teneur en azote du sol est linéaire.

3.1.2.3. Capacité d'échange

Les traitements n'ont pas apporté, à chaque campagne, de modification significative de la capacité d'échange. Cependant, si l'on effectue l'analyse sur l'ensemble des campagnes, on voit qu'elle s'améliore et que ceci est dû à l'action de la paille.

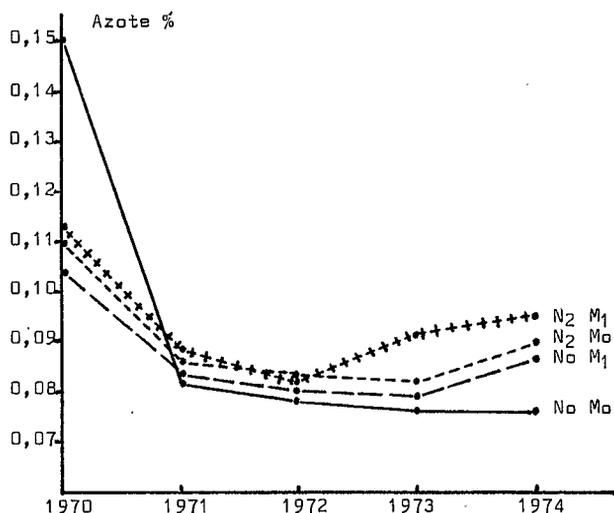


FIG. 2. Evolution des teneurs en azote total, de 1970 à 1974.

En résumé, chaque campagne a vu un effet très marqué de l'azote sur les rendements auquel s'ajoute, après deux ans, un effet de la paille. A partir de la 4^e année, les apports d'azote et ceux de paille élèvent les teneurs en azote du sol. On voit aussi, en même temps, augmenter les teneurs en carbone des parcelles recevant de la paille, ceci indépendamment des quantités d'azote apportées.

On peut donc estimer que la fertilisation azotée, jointe à l'enfouissement des résidus de récolte, ont amélioré le statut azoté du sol. L'essai en laboratoire, dont nous allons maintenant exposer les résultats, a été entrepris dans le but de comprendre le mécanisme des effets observés au champ.

3.2. Etude en laboratoire

3.2.1. Analyse du sol avant culture

L'expérimentation en vases de végétation a été précédée d'un certain nombre d'analyses des échantillons de sol, portant sur l'azote minéral, l'azote minéralisable et les formes organiques d'azote.

3.2.1.1. L'azote minéral (tableau II)

Il n'y a pas d'effet des traitements antérieurs en ce qui concerne l'azote ammoniacal. Par contre, pour l'azote nitrique, il y a un effet significatif des traitements, les teneurs croissant avec les apports d'azote. Il n'y a pas d'effet de la paille sur l'azote minéral.

TABLEAU II. TENEURS DES ECHANTILLONS EN AZOTE MINERAL

Traitement	Azote ammoniacal (ppm)	Azote nitrique (ppm)
N ₀ -M ₀	11	4
N ₁ -M ₀	12	7
N ₂ -M ₀	14	8
N ₀ -M ₁	13	4
N ₁ -M ₁	15	6
N ₂ -M ₁	14	7

TABLEAU III. TENEURS DES ECHANTILLONS EN AZOTE MINERALISABLE

Traitement	Azote minéralisable (ppm)
N ₀ -M ₀	37
N ₁ -M ₀	46
N ₂ -M ₀	51
N ₀ -M ₁	41
N ₁ -M ₁	52
N ₂ -M ₁	55

3.2.1.2. L'azote minéralisable (tableau III)

Il y a un effet hautement significatif des doses d'azote sur la quantité d'azote minéralisée par le sol dans les conditions de l'expérience. Il n'y a pas d'effet significatif de la paille, bien que les teneurs avec paille soient toujours plus fortes que sans paille (moyenne M₀ = 44 ppm, moyenne M₁ = 49 ppm). Il n'y a pas d'interaction.

L'azote minéralisé a été trouvé entièrement sous forme nitrique, y compris l'azote ammoniacal présent au départ. Il y a eu, pendant l'incubation, minéralisation de l'azote engrais immobilisé. Nous pensons qu'une bonne partie de cet azote provient de l'engrais fraîchement réorganisé pendant la culture 1974, nous basant sur un certain nombre d'observations [11,12] suggérant l'existence d'une matière organique labile transitoire, à durée de vie plus courte que celle de la matière organique stabilisée.

La minéralisation de l'azote des engrais réorganisés induit ainsi un arrière-effet des apports d'azote.

TABLEAU IV. TENEURS DES ECHANTILLONS EN AZOTE ORGANIQUE

Traitement	Azote ammoniacal (ppm)	Azote aminé (ppm)	Azote non hydrolysable (ppm)
N ₀ -M ₀	245	404	74
N ₁ -M ₀	255	409	84
N ₂ -M ₀	267	416	93
N ₀ -M ₁	264	422	96
N ₁ -M ₁	275	434	98
N ₂ -M ₁	287	478	91

3.2.1.3. L'azote organique

Les teneurs en azote organique sous trois formes sont données dans le tableau IV. Rappelons que par cette méthode d'analyse simplifiée, on obtient l'azote non hydrolysable et, dans l'azote hydrolysable, une forme dite ammoniacale et une forme dite aminée.

Le pourcentage des différentes formes est en moyenne le suivant:

Azote aminé	54%
Azote ammoniacal	34%
Azote non hydrolysable	12%

Dans les trois fractions, on trouve un effet hautement significatif de la paille. C'est sur l'azote non hydrolysable que l'effet de la paille est le plus significatif, puis sur l'azote ammoniacal et enfin sur l'azote aminé. L'apport de paille semble donc avoir surtout favorisé la création de formes stables d'azote.

L'effet des doses d'azote s'exerce différemment sur les trois formes. Il n'y a un effet significatif des doses que sur l'azote ammoniacal, et pas d'interaction. Il y a par contre une interaction significative pour l'azote non hydrolysable. En présence de paille, il n'y a pas d'effet des doses d'azote, la paille seule élevant déjà les teneurs de cette forme d'azote. En l'absence de paille, il semble que l'apport d'azote arrive à immobiliser de l'azote sous forme stable (la teneur en azote de N₂-M₀, 93 ppm, est très voisine de la teneur moyenne des parcelles avec paille, 95 ppm).

Pour l'azote aminé, et bien que ni l'interaction ni l'effet de l'azote ne soient (à $p = 0,05$) statistiquement significatifs, c'est un peu l'inverse qui se produit. Il semble bien que l'effet des doses d'azote sur les teneurs en azote aminé soit plus net en présence de paille que sans paille. Cependant la quantité réorganisée en une saison de culture n'est sans doute pas suffisante pour faire apparaître un effet significatif.

D'autre part, si l'on admet que cette fraction est la plus facilement minéralisable, il est compréhensible que les apports d'azote effectués de 1970 à 1974 jouent peu, car cet azote a été ou bien déjà minéralisé ou bien converti en formes stables.

3.2.2. Résultats de la culture en vases

Ils sont résumés dans les tableaux V et VI.

Le tableau V montre que, pour le rendement en matière sèche et la quantité d'azote exportée, on a un effet hautement significatif des doses d'azote apportées antérieurement au champ. Il n'y a pas d'effet de la paille et pas d'interactions.

TABLEAU V. RESULTATS DE LA CULTURE EN VASES — PARTIES AERIENNES

Traitement	Poids de la récolte (mg)	Teneur en azote de la matière sèche (%)	Quantité d'azote exportée (mg)
N ₀ -M ₀	367	1,69	6,19
N ₁ -M ₀	386	1,67	6,45
N ₂ -M ₀	391	1,79	6,97
N ₀ -M ₁	370	1,70	6,26
N ₁ -M ₁	397	1,72	6,85
N ₂ -M ₁	395	1,75	6,90

TABLEAU VI. RESULTATS DE LA CULTURE EN VASES — RACINES. TOTAL AZOTE EXPORTE (PARTIES AERIENNES + RACINES)

Traitement	Poids de la récolte (mg)	Teneur en azote de la matière sèche (%)	Quantité d'azote exportée (mg)	Total azote exporté (parties aériennes + racines) (mg)
N ₀ -M ₀	329	0,97	3,17	9,37
N ₁ -M ₀	328	0,98	3,22	9,67
N ₂ -M ₀	341	1,06	3,61	10,58
N ₀ -M ₁	334	1,03	3,42	9,68
N ₁ -M ₁	328	1,03	3,38	10,23
N ₂ -M ₁	331	1,09	3,60	10,50

Pour les racines (tableau VI), on n'observe pas d'effets significatifs dus aux traitements antérieurs. Par contre, sur les exportations totales, on retrouve l'effet hautement significatif des doses d'azote, cet effet étant linéaire, comme pour les parties aériennes.

Les vases ayant reçu 50 ppm d'azote, soit 6 mg, il apparaît clairement que la plante a exporté nettement plus d'azote qu'elle n'en a reçu et qu'elle a donc pu puiser de l'azote dans les réserves du sol. Si l'on se souvient de la faible quantité d'azote minéral présente au départ pour chaque traitement, on voit qu'il y a eu minéralisation de l'azote engrais immobilisé dans le sol. Les résultats de l'analyse isotopique permettent d'en préciser les quantités.

3.2.3. Analyse isotopique

3.2.3.1. Excès isotopique

La détermination des excès isotopiques a été effectuée sur les parties aériennes, les racines et sur le sol après culture. Les résultats en sont donnés dans le tableau VII.

TABLEAU VII. RESULTATS DE LA DETERMINATION DES EXCES ISOTOPIQUES

Traitement	Parties aériennes	Racines	Sol
N ₀ -M ₀	5,35	4,24	0,065
N ₁ -M ₀	5,24	4,29	0,061
N ₂ -M ₀	4,95	3,99	0,060
N ₀ -M ₁	5,36	4,14	0,059
N ₁ -M ₁	4,95	4,05	0,056
N ₂ -M ₁	4,94	3,93	0,057

TABLEAU VIII. QUANTITES DE ¹⁵N RETROUVEES (mg)

Traitement	Parties aériennes	Racines	Sol
N ₀ -M ₀	0,331	0,135	0,055
N ₁ -M ₀	0,337	0,138	0,052
N ₂ -M ₀	0,343	0,148	0,054
N ₀ -M ₁	0,335	0,141	0,056
N ₁ -M ₁	0,338	0,137	0,052
N ₂ -M ₁	0,340	0,141	0,055

L'analyse statistique n'a pas été effectuée sur ces valeurs, mais l'examen des chiffres laisse cependant supposer un effet des doses d'azote. Dans les racines, où l'enrichissement est plus faible, la situation apparaît à peu près la même. Les résultats montrent que la capacité du sol à fournir de l'azote croît avec les doses d'engrais.

3.2.3.2. Quantités de ¹⁵N retrouvées

Les résultats figurent sur le tableau VIII.

L'analyse statistique ne montre pas d'effets significatifs des traitements sur les quantités de ¹⁵N exportées. Les excès isotopiques du sol après culture (tableau VII) et les quantités de ¹⁵N restant dans le sol sont très faibles. Il semble que, dans les conditions de culture, il n'y ait pratiquement pas eu de réorganisation.

3.2.3.3. Contribution de l'azote du sol

La contribution de l'azote du sol à l'azote trouvé dans la plante est donnée, en pourcentage, dans le tableau IX, pour la plante entière.

Ces valeurs laissent apparaître un effet des traitements. La contribution du sol a augmenté avec les doses d'azote qui lui ont été apportées auparavant. Il ne semble pas que la paille ait joué ici un rôle important.

TABLEAU IX. CONTRIBUTION (%) DE
L'AZOTE DU SOL A L'AZOTE TROUVE
DANS LA PLANTE

Traitement	Plante entière
N ₀ -M ₀	50,4
N ₁ -M ₀	50,9
N ₂ -M ₀	54,1
N ₀ -M ₁	50,7
N ₁ -M ₁	53,6
N ₂ -M ₁	54,2

TABLEAU X. COMPARAISON DE L'AZOTE
MINERALISABLE AVANT CULTURE AVEC
L'AZOTE PROVENANT DU SOL ABSORBE
PAR LA PLANTE

Traitement	Azote minéralisable (ppm)	Azote minéralisé (ppm)
N ₀ -M ₀	37	39
N ₁ -M ₀	46	41
N ₂ -M ₀	51	48
N ₀ -M ₁	41	41
N ₁ -M ₁	52	46
N ₂ -M ₁	55	48

Cette contribution du sol a également été calculée, pour la plante entière, en ppm d'azote. On trouvera ces valeurs dans le tableau X, comparées à celles de l'azote minéralisable avant culture, données au tableau III.

Le parallélisme des deux séries de chiffres est frappant. Il semble que, pendant un mois de culture en petits vases de végétation, la plante ait épuisé la quasi-totalité de l'azote minéralisable.

3.2.3.4. Bilan de l'azote

Les éléments figurant au tableau VIII permettent d'établir le bilan de l'azote apporté sous forme d'engrais. Il est représenté, en pourcentage de l'azote fourni, au tableau XI.

Ce bilan laisse apparaître peu de différences entre les traitements. Le coefficient d'utilisation de l'engrais est très bon puisque l'on en retrouve environ 80% dans la plante.

On a vu qu'il y a peu d'azote de l'engrais immobilisé dans le sol. Ceci est vraisemblablement dû au fait que l'on a volontairement limité la fourniture d'azote à la plante. Dans ces conditions, l'azote apporté sous forme de nitrate a été très énergiquement absorbé par la plante.

TABLEAU XI. BILAN DE L'AZOTE APORTE
SOUS FORME D'ENGRAIS

Traitement	Azote dans la plante (%)	Azote dans le sol (%)	Azote total (%)	Défaut de bilan (%)
N ₀ -M ₀	77,5	9,1	86,6	13,4
N ₁ -M ₀	79,2	8,7	87,9	12,1
N ₂ -M ₀	81,0	9,0	89,0	11,0
N ₀ -M ₁	79,5	9,2	88,7	11,3
N ₁ -M ₁	79,2	8,6	87,8	12,2
N ₂ -M ₁	80,2	9,1	89,3	10,7
Moyenne	79,4	9,0	88,4	11,6

Ceci diffère de résultats que nous avons obtenus auparavant avec de l'urée et où le taux d'immobilisation était de l'ordre de 30% environ. Le défaut de bilan est également faible, et puisqu'il n'y a pas eu de pertes par lixiviation dans les conditions de l'expérience, il peut être attribué à la dénitrification.

4. CONCLUSION

Plusieurs observations peuvent être tirées de l'expérience qui vient d'être relatée:

Au champ d'abord, on constate à la mise en culture une baisse rapide et importante des taux de matière organique et d'azote, et les traitements apportés sont, sur ce point, sans influence. Puis un niveau d'équilibre s'établit, sur lequel les traitements ont un effet favorable. On voit ainsi que l'enfouissement de paille élève les teneurs en matière organique et en azote du sol. En même temps, l'apport d'azote élève également les teneurs en azote. L'apport de paille a de plus un effet à long terme sur la capacité d'échange. Les traitements ont aussi un effet très net sur les rendements en maïs.

L'expérimentation menée ensuite en vases de végétation a fait apparaître un double effet des traitements. D'abord un effet que l'on pourrait appeler «à long terme» de la paille, qui a peu influé sur les rendements en pots, mais qui semble surtout avoir favorisé la production de composés azotés stables dans le sol, ce qui se retrouve dans l'effet de la paille sur les teneurs en matière organique et en azote du sol. Il faut cependant remarquer que, dans les conditions de l'expérience, nous avons utilisé de la terre prélevée juste après la récolte du maïs. Dans ce cas, il est vraisemblable que la fraction facilement minéralisable de l'azote de la paille a déjà été utilisée au champ par le maïs, ce que confirme l'effet de la paille sur les rendements.

Un autre effet apparaît, à plus court terme, dû probablement à la minéralisation d'azote de l'engrais, provisoirement réorganisé. C'est cet effet qui s'est surtout marqué sur les rendements en vases de végétation. On peut arriver ainsi à avoir, chaque année, une arrière-action des apports d'azote. Il n'a pas été observé de différences sensibles entre les deux doses d'azote mises au champ sur le maïs (150 et 240 kg/ha), en ce qui concerne les quantités minéralisées ultérieurement. On peut néanmoins conclure que l'apport simultané d'azote et de résidus de récoltes constitue, pour les sols tropicaux, un moyen efficace de maintenir un bilan humique satisfaisant dans le sol.

On peut signaler par ailleurs la très bonne concordance observée entre l'azote minéralisable (déterminé par la méthode de Bremner) et l'azote provenant du sol effectivement absorbé par la plante-test.

Annexe

A. DESCRIPTION DU PROFIL

Environnement:	Sommet d'interfluve, pente très légère, sur gneiss, steppe à <i>Aristida</i> .
0 à 12 cm:	Brun jaune foncé, texture argilo-sableuse, sec, dur; structure grumeleuse à polyédrique fine, enracinement important, quartz assez abondant.
12 à 30 cm:	Brun jaune plus clair, même texture, assez dur, structure polyédrique fine, enracinement moins important; quartz, quelques revêtements.
30 à 50 cm:	Brun rouge, texture argilo-sableuse, sec, dur; structure massive, quelques racines, quartz.
Inférieur à 50 cm:	Rouge jaunâtre, texture argileuse, frais, assez friable; structure massive, quelques racines, quartz.

B. ANALYSE DU SOL

	0 à 12 cm	12 à 30 cm	30 à 50 cm	<50 cm
pH (eau 1/2,5)	4,9	4,9	5,0	5,2
Sables grossiers (%)	35,9	35,8	32,9	31,9
Sables fins (%)	12,8	12,9	12,1	10,8
Limon grossier (%)	4,2	6,0	5,5	4,4
Limon fin (%)	7,5	7,0	5,5	5,5
Argile (%)	34,5	33,5	40,5	44,5
Carbone (%)	2,15	1,87	1,07	0,77
Azote (%)	0,136	0,108	0,068	0,040
P ₂ O ₅ (Truog) (ppm)	8	12	4	8
Ca éch. (meq/100 g)	0,82	0,40	0,40	0,40
Mg éch. (meq/100 g)	0,98	0,65	0,32	0,32
K éch. (meq/100 g)	0,10	0,07	0,05	0,05
S (meq/100 g)	2,03	1,18	0,83	0,83
T (meq/100 g)	5,0	4,8	3,8	2,6
Saturation (%)	40,6	24,6	21,8	31,9

REFERENCES

- [1] LAUDELOUT, H., GERMAIN, L., CHABALIER, P.F., CHIANG, C., Loss of fertilizer nitrogen through chemical decomposition of nitrite in tropical soils, *Plant Soil*, à paraître.
- [2] BOISCHOT, P., SYLVESTRE, G., Fixation de l'azote nitrique par les microorganismes décomposant les pailles de céréales dans le sol, *C.R. Acad. Sci.* 232 (1951) 2253-55.
- [3] BARBIER, G., CHABANNES, J., Stockage d'azote dans le sol sous forme minéralisable par application d'azote minéral, *C.R. Hebd. Séances Acad. Agric. Fr.* 49 (1963) 550-55.
- [4] CHAMINADE, R., Influence de la paille à différents états de fermentation sur la fertilité d'un sol, *Ann. Agron.* 14 1 (1963) 5-12.
- [5] MULLER, J., Observations sur les effets à long terme des fumures organiques et minérales sous climat méditerranéen, I - Action sur les rendements, *Ann. Agron.* 16 3 (1965) 301-21.

- [6] MULLER, J., *Ibid.*, II — Action sur le bilan de l'azote total du sol, *Ann. Agron.* 17 1 (1966) 21–36.
- [7] BREMNER, J.M., Organic forms of nitrogen, *Methods of Soil Analysis, Agronomy* 9 2 (1965) 1238–55.
- [8] DECAU, J., Contribution à l'étude de l'influence des conditions du milieu sur la répartition de l'azote du sol, *Ann. Agron.* 19 3 (1968) 653–83.
- [9] BREMNER, J.M., Nitrogen availability indexes, *Methods of Soil Analysis, Agronomy*, 9 2 (1965) 1324–45.
- [10] BREMNER, J.M., Isotope ratio analysis of nitrogen, *Methods of Soil Analysis, Agronomy* 9 2 (1965) 1256–86.
- [11] REMY, J.C., Etude du devenir des engrais azotés en sol de limon du bassin parisien, Rapport D.G.R.S.T. Paris (Action urgente n° 72.7.067) (1975) 128–42.
- [12] STEWART, B.A., JOHNSON, D.D., PORTER, L.K., The availability of fertilizer nitrogen immobilized during decomposition of straw, *Soil Sci. Soc. Am., Proc.* 27 (1963) 656–59.

DISCUSSION

T. WEICHEL: Do you have any idea about the chemical linkages between forms of nitrogen and various components of straw, for example lignins, cellulose, hemicelluloses, pentosans, in soil?

J. VELLY: No, we have no definite idea as to the nature of these linkages. This side of the question was not dealt with in the experiments described.

Reprint from
"SOIL ORGANIC MATTER STUDIES"
VOL. I

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY 22 OCT. 1979
VIENNA, 1977

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

Collection de Référence

9857 Agr.