

**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

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.

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

Traitement	Année				
	1970	1971	1972	1973	1974
N <sub>0</sub> -M <sub>0</sub>	7,3	13,5	12,8	24,6	10,1
N <sub>1</sub> -M <sub>0</sub>	47,1	50,4	32,9	87,3	49,4
N <sub>2</sub> -M <sub>0</sub>	53,9	49,8	37,1	99,1	51,8
N <sub>0</sub> -M <sub>1</sub>	7,4	17,8	13,4	33,9	19,6
N <sub>1</sub> -M <sub>1</sub>	54,7	53,7	36,0	99,1	53,7
N <sub>2</sub> -M <sub>1</sub>	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];

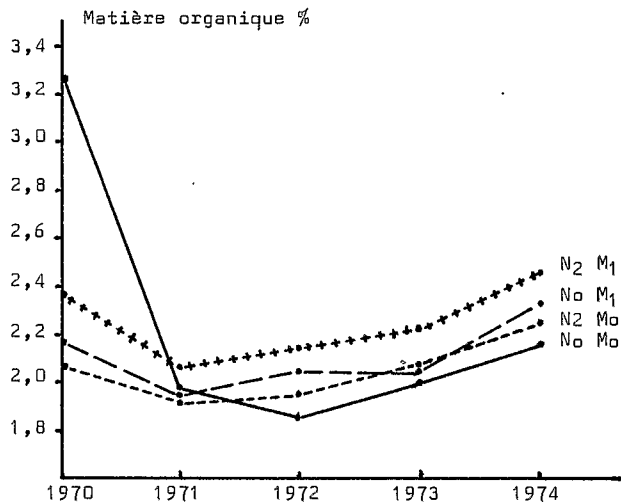


FIG.1. Evolution des teneurs en matière organique, de 1970 à 1974.

### 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 M<sub>0</sub>-N<sub>0</sub>, 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.

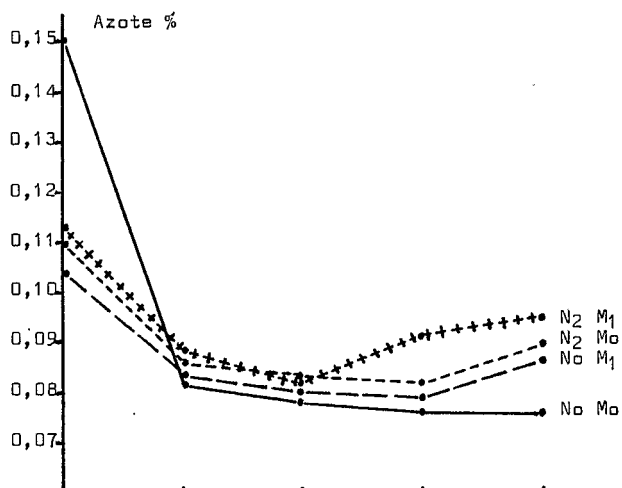


TABLEAU II. TENEURS DES ECHANTILLONS EN AZOTE MINERAL

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

TABLEAU III. TENEURS DES ECHANTILLONS EN AZOTE MINERALISABLE

Traitement	Azote minéralisable (ppm)
N <sub>0</sub> -M <sub>0</sub>	37
N <sub>1</sub> -M <sub>0</sub>	46
N <sub>2</sub> -M <sub>0</sub>	51
N <sub>0</sub> -M <sub>1</sub>	41
N <sub>1</sub> -M <sub>1</sub>	52
N <sub>2</sub> -M <sub>1</sub>	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 M<sub>0</sub> = 44 ppm, moyenne M<sub>1</sub> = 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 <sub>0</sub> -M <sub>0</sub>	245	404	74
N <sub>1</sub> -M <sub>0</sub>	255	409	84
N <sub>2</sub> -M <sub>0</sub>	267	416	93
N <sub>0</sub> -M <sub>1</sub>	264	422	96
N <sub>1</sub> -M <sub>1</sub>	275	434	98
N <sub>2</sub> -M <sub>1</sub>	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

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 <sub>0</sub> -M <sub>0</sub>	367	1,69	6,19
N <sub>1</sub> -M <sub>0</sub>	386	1,67	6,45
N <sub>2</sub> -M <sub>0</sub>	391	1,79	6,97
N <sub>0</sub> -M <sub>1</sub>	370	1,70	6,26
N <sub>1</sub> -M <sub>1</sub>	397	1,72	6,85
N <sub>2</sub> -M <sub>1</sub>	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 <sub>0</sub> -M <sub>0</sub>	329	0,97	3,17	9,37
N <sub>1</sub> -M <sub>0</sub>	328	0,98	3,22	9,67
N <sub>2</sub> -M <sub>0</sub>	341	1,06	3,61	10,58
N <sub>0</sub> -M <sub>1</sub>	334	1,03	3,42	9,68
N <sub>1</sub> -M <sub>1</sub>	328	1,03	3,38	10,23
N <sub>2</sub> -M <sub>1</sub>	331	1,09	3,60	10,50



TABLEAU VII. RESULTATS DE LA DETERMINATION DES EXCES ISOTOPIQUES

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

TABLEAU VIII. QUANTITES DE <sup>15</sup>N RETROUVEES (mg)

Traitement	Parties aériennes	Racines	Sol
N <sub>0</sub> -M <sub>0</sub>	0,331	0,135	0,055
N <sub>1</sub> -M <sub>0</sub>	0,337	0,138	0,052
N <sub>2</sub> -M <sub>0</sub>	0,343	0,148	0,054
N <sub>0</sub> -M <sub>1</sub>	0,335	0,141	0,056
N <sub>1</sub> -M <sub>1</sub>	0,338	0,137	0,052
N <sub>2</sub> -M <sub>1</sub>	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 <sup>15</sup>N retrouvées

Les résultats figurent sur le tableau VIII.

L'analyse statistique ne montre pas d'effets significatifs des traitements sur les quantités de <sup>15</sup>N exportées. Les excès isotopiques du sol après culture (tableau VII) et les quantités de <sup>15</sup>N 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 <sub>0</sub> -M <sub>0</sub>	50,4
N <sub>1</sub> -M <sub>0</sub>	50,9
N <sub>2</sub> -M <sub>0</sub>	54,1
N <sub>0</sub> -M <sub>1</sub>	50,7
N <sub>1</sub> -M <sub>1</sub>	53,6
N <sub>2</sub> -M <sub>1</sub>	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 <sub>0</sub> -M <sub>0</sub>	37	39
N <sub>1</sub> -M <sub>0</sub>	46	41
N <sub>2</sub> -M <sub>0</sub>	51	48
N <sub>0</sub> -M <sub>1</sub>	41	41
N <sub>1</sub> -M <sub>1</sub>	52	46
N <sub>2</sub> -M <sub>1</sub>	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 <sub>0</sub> -M <sub>0</sub>	77,5	9,1	86,6	13,4
N <sub>1</sub> -M <sub>0</sub>	79,2	8,7	87,9	12,1
N <sub>2</sub> -M <sub>0</sub>	81,0	9,0	89,0	11,0
N <sub>0</sub> -M <sub>1</sub>	79,5	9,2	88,7	11,3
N <sub>1</sub> -M <sub>1</sub>	79,2	8,6	87,8	12,2
N <sub>2</sub> -M <sub>1</sub>	80,2	9,1	89,3	10,7

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

## 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 <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (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

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.