

ECONOMIE DE L'AZOTE SOUS CULTURES FOURRAGERES EN MILIEU TROPICAL HUMIDE

par G. HAINNAUX*, J. C. TALINEAU**,
C. FILLONNEAU* et B. BONZON**

avec la collaboration technique de E. BONNIN*

RESUMÉ

La réussite de l'intensification de la production fourragère en zone tropicale humide est en partie liée aux choix d'un rythme de coupe rapide et à des apports d'engrais fractionnés permettant une meilleure efficacité de l'azote dont le taux d'utilisation est faible (50%).

La méthode des bilans appliquée à quatre espèces fourragères cultivées a permis de cerner l'évolution du stock d'azote dans le sol qui se traduit par de fortes fluctuations en raison du faible pouvoir tampon du milieu. Les pertes, d'autant plus élevées que les apports d'engrais sont importants, s'expliquent en considérant le rôle prédominant du facteur pluie. Les gains ne peuvent s'expliquer par le seul fait des restitutions; ils supposent des mécanismes de fixation et d'utilisation de l'azote particulièrement efficaces.

SUMMARY

High yields with forage crops in humid tropics are subordinated to the use of some suitable cultivation practices such as high defoliation intensity and divided top dressings to have the best uptake of fertilizers, especially as nitrogen recovery which is rather low (50%).

For soil, the nitrogen balance study shows very important and high rates of evolution according to the low buffering capacity of the soil. The main part of the losses are due to leachates which heavy fertilizers. As to gains they can't be explained by the only accumulation in soil organic matter. N atmospheric fixation mechanism (symbiotic for legumes and non symbiotic for grasses) must be involved.

* Chercheurs agronomes à l'Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer (ORSTOM), B.P. V51, Abidjan, Côte d'Ivoire.

** Chercheurs agronomes aux Services Scientifiques Centraux de l'ORSTOM 70-74, route d'Aulnay, 93140. Bondy, France.

ORSTOM Fonds Documentaire

N° E 9377

Cote E B ey 1

27 OCT. 1978
O. R. S. T. O. M.

Collection de Référence
n° ~~1377~~ Agr.

INTRODUCTION

Les systèmes cultureux modernes qui s'implantent dans le Centre et le Nord de la Côte d'Ivoire comportent très souvent une sole fourragère dans les rotations. Il s'agit généralement de la culture d'une légumineuse, *Stylosanthes guyanensis*, exploitée ou non par les animaux en moyenne pendant deux années et pouvant éventuellement être brûlée. Cette pratique correspond à la prise de conscience des imperfections des techniques culturales utilisées actuellement, en particulier de leur faible aptitude à pouvoir freiner et pallier les conséquences néfastes des deux processus majeurs d'évolution des sols en milieu tropical humide à savoir le rythme rapide et soutenu des cycles de décomposition et de minéralisation de la matière organique^{1 2 3 4} et une importante lixiviation des éléments minéraux notamment l'azote, le calcium et le potassium^{5 6}.

Un tel système de production exige non seulement une grande maîtrise technique mais présente de plus, de sérieux risques de non rentabilité en raison du faible taux de transformation de la production fourragère par les animaux dont on dispose actuellement.

Afin de contribuer à la définition de critères objectifs des choix, premiers éléments d'une théorie des rotations en milieu tropical, une étude expérimentale des principaux facteurs mis en jeu dans les relations entre sol et plants fourragères a été réalisée dans trois complexes climat-sol de la Côte d'Ivoire⁷. La présente note fait le point sur l'évolution de quelques termes du bilan en azote total, à partir de l'analyse des résultats expérimentaux obtenus au Centre de Recherches Zootechniques de Bouaké*.

CONDITIONS EXPERIMENTALES

Sols

Formés sur granite, à texture argilo-sableuse (18,4% d'argile et limon fin dans 0-25 cm) et gravillonnaires, les sols expérimentés sont ferrallitiques, moyennement saturés en bases et carencés en phosphore assimilable. Les réserves minérales et organiques (1,7% de matière organique et 0,77‰ d'azote total) sont peu abondantes mais concentrées en surface. Le concrétionnement

* Cette station est gérée par l'Institut d'Élevage et de Médecine Vétérinaire en Pays Tropicaux, avec lequel l'ORSTOM a travaillé en collaboration.

est fréquent mais le drainage et l'aération des horizons sont favorables à une bonne croissance végétative.

Climat

La région de Bouaké se caractérise par un climat de transition entre le régime tropical humide à deux saisons des pluies au Sud, et celui plus sec à une seule saison pluvieuse au Nord de la Côte d'Ivoire. Le déficit hydrique clima-

Dispositif expérimental

L'expérimentation utilise un dispositif 2⁴ à deux répétitions comparant deux graminées (*Panicum maximum*, *Cynodon aethiopicus*) et deux légumineuses fourragères (*Stylosanthes guyanensis*, *Centrosema pubescens*) offrant deux types de port (dressé, rampant), soumises à deux rythmes d'exploitation (lent: 3 coupes par an; rapide: 4 à 8 coupes par an) et à deux niveaux de fertilisation; sans engrais appelé 0 et avec engrais appelé F aux doses suivan-

RESULTATS

Utilisation de l'azote par les cultures

La composition en azote des légumineuses est indépendante des traitements. La teneur moyenne des tiges et feuilles de *Stylosanthes* est de 2,20%, plus faible dans les collets et la litière (1,65%) ainsi que dans les racines (1,33%). Dans le cas de *Centrosema*, la chute des

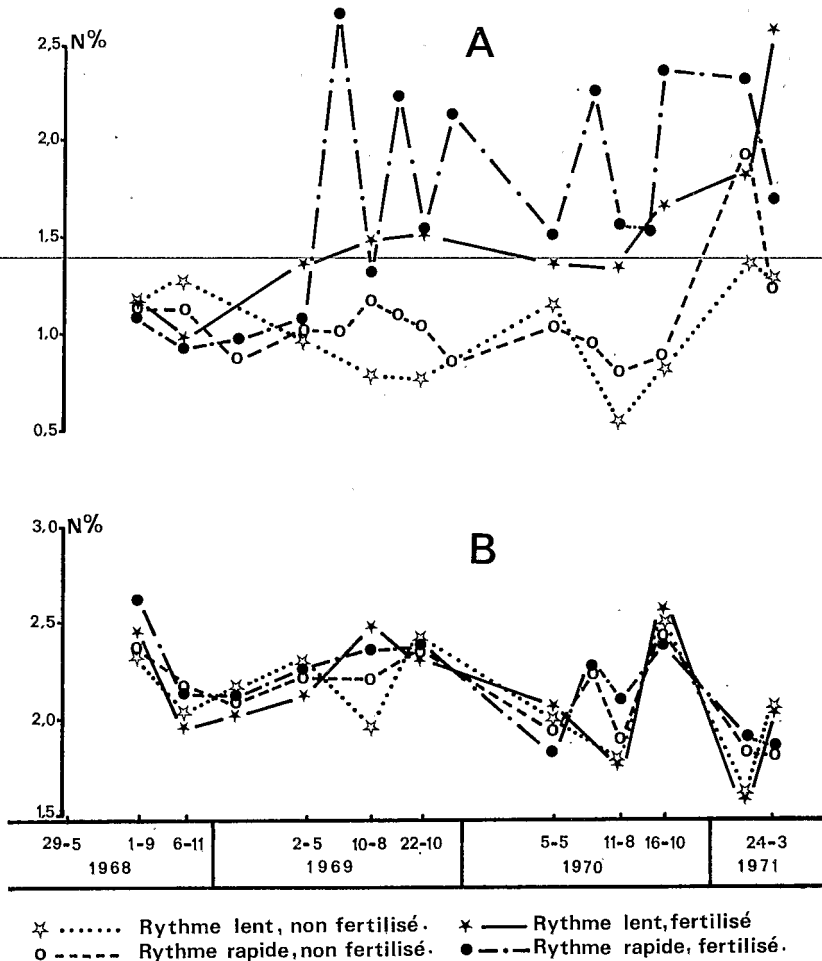


Fig. 1. Evolution dans le temps des teneurs en azote du fourrage (pour cent de matière sèche) en fonction de la fertilisation et du rythme des coupes.

teneurs est plus brutale quand on passe des tiges et feuilles (3,30%) aux collets et à la litière (2,06%), puis aux racines (1,42). Chez les graminées, le gradient de concentration en azote dans les divers organes est plus faible que chez les légumineuses. Les taux d'azote peu différents chez *Panicum* et *Cynodon* sont cependant variables et dépendant à la fois de l'âge des cultures et des traitements culturaux testés. Les apports d'engrais conduisent à une sensible augmentation des teneurs; dans le cas des tiges et feuilles, elle est d'autant plus forte que les plantes sont exploitées plus fréquemment.

La Figure 1 illustre les évolutions dans le temps des teneurs en azote des fourrages de *Panicum* et *Stylosanthes*. Alors que pour la légumineuse, les valeurs sont peu dépendantes du temps et des traitements, des différences entre traitements et des fluctuations dans le temps apparaissent nettement chez *Panicum*: (i) en absence d'apports d'engrais, le niveau moyen de ces teneurs s'établit à 1% avec une légère augmentation au cours de la période la plus productive (de mai à décembre) dans le cas du rythme de coupe rapide; (ii) si l'on apporte une fertilisation, le niveau moyen est voisin de 1,5% pour le rythme lent et de l'ordre de 2% pour le rythme rapide. Dans ce dernier cas, les teneurs présentent des oscillations de forte amplitude allant de 2,40% lors de la coupe qui suit immédiatement les apports

TABLEAU 1

Taux apparent d'utilisation des engrais en % (entre parenthèses figure le taux de recouvrement)

	Apports par coupe g/m ²	Panicum		Cynodon	
		Rythme lent	Rythme rapide	Rythme lent	Rythme rapide
Année d'implantation	5	37,4	44,2	31,1	-0,53
- Ensemble des coupes (3-4)*		(206,5)	(206,6)	(173,1)	(147,5)
2ème et 3ème année d'exploitation	25	37,6	47,9	27,8	32,4
- Ensemble des coupes (5-10)*		(47,8)	(56,8)	(44,1)	(47,6)
- Premières coupes succédant aux apports (5-5)*	25	31	31,2 (35,7)	-	17,7 (29,5)

* Nombre de coupes respectivement prises en compte en rythme lent et rapide.

d'engrais à 1,5% lors de la deuxième coupe suivant ces mêmes apports.

La comparaison des traitements fertilisés et non fertilisés permet une première approche du rôle respectif des réserves du sol et des engrais apportés dans la nutrition azotée. Le taux moyen apparent d'utilisation des engrais peut être estimé par le calcul du surplus d'exportation qui leur sont imputables. Les valeurs ainsi obtenues, mentionnées au tableau 1 restent toujours faibles et varient peu, si l'on considère l'ensemble des coupes, au cours du temps bien que les apports annuels soient passés des 150 kg ha⁻¹ l'année d'implantation à 750 kg ha⁻¹ les années suivantes.

Ce calcul suppose que les réserves d'azote sont quantitativement utilisées de la même façon quel que soit le niveau de la fertilisation. Ce n'est probablement pas le cas, et parallèlement, a été calculée la limite supérieure de ce taux apparent d'utilisation, estimée par la valeur du taux de recouvrement: exportations des traitements fertilisés/apports d'engrais. En première année, alors que la balance en azote (apports - exportations) est négative, ce taux maximum est supérieur à 100% indiquant par là une utilisation du stock du sol au moins égale à la totalité des apports (106%) pour *Panicum* quel que soit le rythme d'exploitation et à respectivement 73% et 47% pour *Cynodon* selon qu'il est exploité lentement ou rapidement. En seconde et troisième année, quand la balance est positive, ce taux maximum est, pour l'ensemble des traitements, supérieur de 10% au taux moyen estimé, soit une différence assez faible montrant: (i) ou qu'il existe dans l'ensemble des conditions édaphiques des contraintes dont certaines sont limitantes; (ii) ou que les apports d'engrais sont trop importants pour pouvoir être utilisés compte tenu des potentialités des plantes cultivées.

L'azote dans le système sol-plante

Les teneurs en azote total du sol ont été déterminées selon la méthode Kjeldahl. La figure 2 rend compte des principales évolutions de ces teneurs dans l'horizon de surface. Pendant la période hors culture, la diminution du taux d'azote est élevée et représente 20% du stock. Au cours de la phase fourragère, on observe une remontée des teneurs, plus rapide, en première année chez les graminées. Par la suite, on distingue deux groupes de traitements: (i) les graminées non fertilisées pour lesquelles le niveau atteint en fin de première

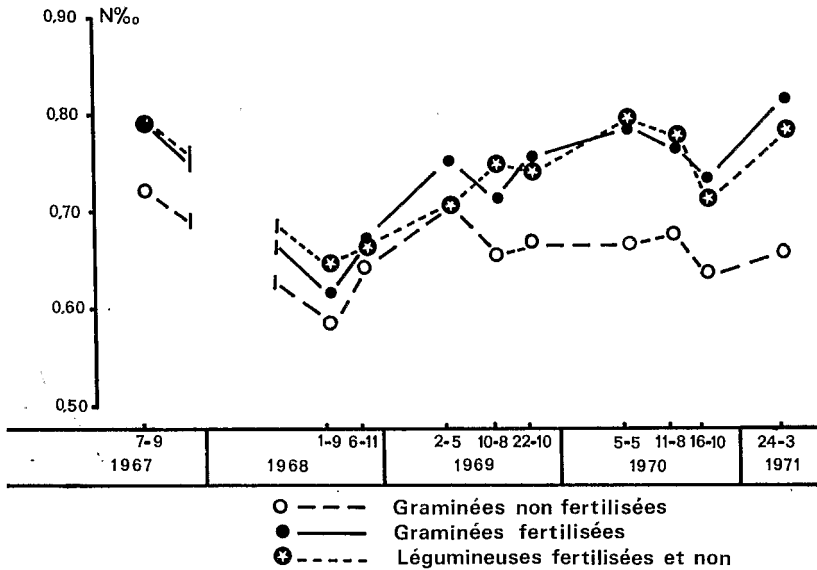


Fig. 2. Evolution dans le temps des teneurs en azote du sol (pour mille de terre fine dans l'horizon 0-25 cm).

année, se stabilise à un niveau moyen inférieur au taux initial; (ii) les légumineuses, fertilisées ou non, et les graminées fertilisées pour lesquelles l'équilibre est atteint en fin de seconde année, les teneurs étant alors voisines des teneurs initiales. Les taux les plus élevés sont relatifs aux premiers prélèvements de chaque année, c'est-à-dire en fin de saison sèche; les plus faibles correspondent aux périodes pluvieuses, en août 1969 et en octobre 1970.

Les bilans ont été calculés sur deux périodes, l'une allant de 1967 à 1971, l'autre relative à la phase prairiale de septembre 1968 à mars 1971. Les résultats sont respectivement reportés aux tableaux 2 et 3.

A l'exception du résultat observé en 1970 quand il ne reçoit pas d'engrais, résultat pouvant correspondre à une accumulation temporaire d'azote, *Cynodon* apparaît comme la plante réalisant la plus mauvaise économie de l'azote dès le début de la culture quel que soit le profil considéré. Les deux familles de plantes s'opposent; les bilans sont très déficitaires chez les graminées surtout quand on les fertilise. Enfin, exception faite de *Centrosema* fertilisé, les gains sont d'autant plus faibles et les pertes plus élevées que le profil pris en compte est plus profond.

TABLEAU 2

Bilans cumulés en azote total (kg/ha) entre 1969 et 1971

Date	Sans fertilisation				Avec fertilisation			
	Panicum	Cynodon	Stylosanthes	Centrosema	Panicum	Cynodon	Stylosanthes	Centrosema
<i>0-25 cm</i>								
1969	+272	+ 5	+166	- 13	+354	- 263	+111	-170
1970	+ 89	+ 231	+593	+531	-210	- 436	+680	+534
1971	+200	- 23	+706	+517	-343	- 946	+573	+558
<i>0-45 cm</i>								
1969	+ 75	- 45	-289	-177	+347	- 96	+182	- 97
1970	-126	+ 227	+599	+415	-199	- 383	+785	+628
1971	-179	- 440	+376	+406	-397	-1385	+492	+495
<i>0-85 cm</i>								
1971	-380	-1065	+156	+153	-508	-1688	+304	+520

Pendant la phase prairiale, les bilans cumulés sur 0-25 cm ont été établis pour deux périodes climatiques allant de mai à octobre pour la saison pluvieuse et d'octobre à mai pour la saison sèche.

Les bilans sont très souvent positifs et les gains importants dès la première année de culture. En seconde et troisième année de prairie, l'évolution conduit à différencier trois groupes de traitements: (i) les graminées non fertilisées pour lesquelles le bilan se maintient après un an de culture, les pertes et les gains successifs se compen-

TABLEAU 3

Bilans cumulés en azote total (kg/ha) et variations saisonnières de ces bilans sur 0-25 cm pendant la phase prairiale (stock initial mesuré en septembre 1968)

Année et saison	Sans engrais				Avec engrais			
	Graminées		Legumineuses		Graminées		Legumineuses	
	Bilan cumulé	Variation saisonnière	Bilan cumulé	Variation saisonnière	Bilan cumulé	Variation saisonnière	Bilan cumulé	Variation saisonnière
1968 - saison des pluies	+300		+200		+298		+ 151	
1969 - saison sèche	+584	+284	+460	+260	+614	+317	+ 525	+374
- saison des pluies	+502	- 82	+712	+252	+355	-259	+ 776	+251
1970 - saison sèche	+605	+103	+946	+234	+245	-110	+1161	+385
- saison des pluies	+505	-100	+852	- 94	+ 28	-217	+ 968	-193
1971 - saison sèche	+533	+ 28	+996	+144	- 77	-105	+1120	+152

sant; (ii) les bilans des graminées fertilisées qui décroissent régulièrement pour devenir négatifs en fin de troisième année; (iii) les légumineuses qui, avec ou sans fertilisation, offrent un bilan toujours positif et croissant.

DISCUSSION ET CONCLUSION

L'utilisation apparente des apports d'engrais n'excède jamais 50%, taux comparable à d'autres déjà mentionnés⁸ mais faible par rapport à certains résultats^{9 10}. Cette mauvaise efficacité des engrais peut être en partie imputable, soit à des entraînements profonds des formes mobiles de l'azote par lixiviation hors de la portée des racines, soit à un blocage partiel de l'azote par consommation par les microorganismes et organisation en raison de la présence d'une quantité considérable de matière organique à la surface du sol. L'analyse des fortes fluctuations des teneurs en azote du fourrage, compte-tenu de l'incidence du mode d'exploitation, conduit à supposer l'existence de deux phases d'utilisation: (i) dans un premier temps, le haut niveau des teneurs reflète une utilisation intense, les coefficients restant faibles en raison des apports excédentaires par rapport aux potentialités d'absorption des plantes compte-tenu de l'ensemble des contraintes du complexe climat-sol; (ii) ultérieurement, l'utilisation diminue fortement soit (i) en raison d'une indisponibilité de l'azote dans le sol à la suite d'une lixiviation ou d'un blocage, hypothèse accréditée par les faibles teneurs du fourrage recueilli jeune lors des deuxièmes coupes du rythme rapide, soit (ii) en fonction de l'inaptitude des plantes à prélever l'azote présent, inaptitude liée au vieillissement physiologique tant des feuilles et tiges que des racines. La modification physiologique des plantes exploitées lentement conduit, au-delà du cinquantième jour de repousse, à une redistribution de l'azote dans la plante résultant de migrations vers les chaumes et racines ou d'une dilution. Ce dernier phénomène déjà signalé¹¹ résulte d'une absorption rapide mais non suivie d'une métabolisation; il s'en suit une forte augmentation des teneurs sans accélération de la production de matière sèche. Avec l'âge, l'azote précédemment absorbé est progressivement métabolisé, permettant la fabrication d'un supplément de matière végétale dans lequel il se dilue.

Les pertes mises en évidence par le calcul du bilan entre 1967 et 1968 sont relatives à un système sol-plante complexe dans lequel le sol laissé hors culture est ensuite progressivement recouvert par les cultures fourragères. Atteignant en moyenne 500 kg d'azote à l'hectare sur 0-25 cm, ces pertes élevées sont à rapprocher de la forte diminution concomitante des produits humifiés de la matière organique¹²: cette minéralisation conduit à des migrations en profon-

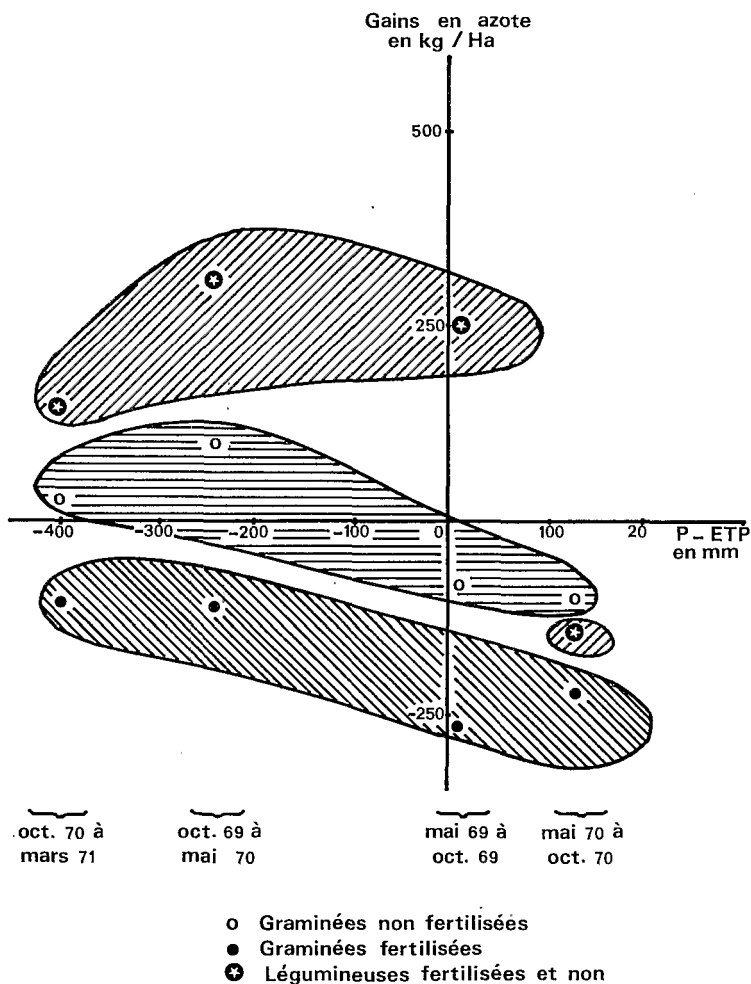


Fig. 3. Comparaison des bilans en azote dans le profil 0-25 cm et des bilans hydriques climatiques.

deur de certaines formes d'azote non compensées par les apports superficiels résiduels de cultures encore en voie d'installation.

Les résultats du bilan sous la phase fourragère proprement dite ont été rapprochés sur la figure 3 d'un élément du bilan hydrique climatique représenté par la différence P-ETP exprimée en mm. Les gains se répartissent préférentiellement en période de déficit hydrique. Les valeurs très élevées en première année de culture démontrent le rôle favorable des prairies temporaires pour l'accroissement rapide des réserves d'azote total du sol en surface: ce processus est lié à la grande vitesse de croissance des racines de ces plantes et à leur extension en profondeur qui offrent ainsi des possibilités de remontées profondes et d'importantes restitutions organiques. Cependant, les seules restitutions ne peuvent expliquer tous ces gains qui de plus se manifestent encore en deuxième et troisième année de culture chez les légumineuses notamment. Cela supposerait à la fois une vitesse de renouvellement (turn-over) rapide et des mécanismes de fixation et d'utilisation de l'azote très efficaces. Ces mécanismes, tels la fixation symbiotique de l'azote gazeux, existent chez les légumineuses. Dans le cas des graminées, d'autres mécanismes, jouant probablement simultanément, peuvent être envisagés: (i) fixation par des organismes non symbiotiques par exemple des bactéries de la phyllosphère¹³ ou des microorganismes de la rhizo-

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient M. M. Sebillotte, Professeur à l'Institut National Agronomique Paris-Grignon, qui a bien voulu revoir leur manuscrit et les faire bénéficier de précieux conseils et suggestions.

Reçu le 1e Février 1977

REFERENCES

- 1 Jenny, H., Gessel, S. P. and Bingham, F. T., Comparative study of decomposition rates of organic matter in temperate and tropical regions. *Soil Sci.* **68**, 419-432 (1949).
- 2 Laudelout, H. et Meyer, J., Les cycles d'éléments minéraux et de matière organique en forêt équatoriale congolaise. *C.R. 5ème Congr. Int. Sci. Sol. (Léopoldville)* **2**, 267-272 (1954).
- 3 Nye, P. H., Organic matter and nutrient cycles under moist tropical forest. *Plant and Soil* **13**, 333-346 (1961).
- 4 Boissezon, P. de, Moureaux, C., Boquel, G. et Bachelier, G., Les sols ferrallitiques. Tome IV. La matière organique et la vie dans les sols ferrallitiques. ORSTOM, Init. Doc. Techn. **21**, 146 p. (1973).
- 5 Godefroy, J., Muller, M. et Roose, E. J., Estimation des pertes par lixiviation des éléments fertilisants dans un sol de bananeraie de Basse Côte d'Ivoire. *Fruits*. **25**, 403-423 (1970).
- 6 Hainnaux, G., Talineau, J. C., Fillonneau, C., Bonzon, B., Picard, D. et Sicot, M., Bilan et dynamique du potassium sous cultures fourragères en zone tropicale humide. *C.R. 10ème Coll. Inst. Int. Potasse (Abidjan)* (1973).
- 7 Anonyme, Etude des interactions sol-plante dans le cas des plantes fourragères et de couverture. Protocoles expérimentaux des essais implantés sur les stations d'Adiopodoumé, Bouaké et Gagnoa - ORSTOM (Côte d'Ivoire), 51 p. (1967).
- 8 Salette, J. E., Effects of heavy frequent dressings of nitrogen on Pangola grass (*Digitaria decumbens* Stent.) *Proc. 9th Int. Grassld. Congr. (Sao Paulo)* **2**, 1199-1203 (1965).
- 9 Colman, R. L. and Lazemby, A., Factors affecting the response of some tropical and temperate grasses to fertilizer nitrogen. *Proc. 11th Int. Grassld. Congr. (Australia)*, 392-397 (1970).
- 10 Salette, J. E., Nitrogen use and intensive management of grasses in the wet tropics. *Proc. 11th Int. Grassld. Congr. (Australia)*, 404-407 (1970).
- 11 Gillet, M., Influence du mode d'exploitation au printemps sur la production en quantité et qualité des graminées fourragères. *Fourrages* **55**, 15-82 (1973).
- 12 Talineau, J. C. et Hainnaux, G., Programme d'étude des interactions sol-plantes fourragères en milieu tropical humide. Premiers résultats, interprétations et conclusions concernant le facteur sol de la station de Bouaké. ORSTOM (Côte d'Ivoire) **72** p. (1974).
- 13 Ruinen, J., The phyllosphere. III Nitrogen fixation in the phyllosphere. *Plant and Soil* **22**, 375-400 (1965).
- 14 Parker, C. A., Non-symbiotic nitrogen fixing bacteria in soil. III Total nitrogen changes in a field soil. *J. Soil. Sci.* **1**, 48-59 (1957).
- 15 Balandreau, J., Weinhard, P., Rinaudo, G. et Dommergues, Y., Influence de

l'intensité de l'éclaircissement de la plante sur la fixation non symbiotique de l'azote dans sa rhizosphère. *Oecol. Plant.* 6, 341-352 (1971).

- 16 Dhar, N. R., The value of organic matter, phosphates and sunlight in nitrogen fixation in fertility improvement in world soils. Study week on organic matter and soil fertility. J. Wiley ed. 245-360 (1968).
- 17 Olson, R. A., Frank, K. D. and Dreier, A. F., Controlling losses of fertilizer nitrogen from soils. *Trans. 8th Int. Congr. Soil. Sci. (Bucharest)* 4, 1023-1032 (1964).

Vol. 49, No. 3
PLSOA2 49(3), 449-720 (1978)

JUNE 1978
ISSN 0032-079X

PLANT AND SOIL

INTERNATIONAL JOURNAL OF PLANT NUTRITION
PLANT CHEMISTRY, SOIL MICROBIOLOGY AND
SOIL-BORNE PLANT DISEASES



THE HAGUE
MARTINUS NIJHOFF
1978