

Relations entre les formes d'azote organique du sol et l'azote absorbé par la plante dans un sol ferrallitique du Sénégal

Véronique WANEUKEM et Francis GANRY

Cirad-CA, UR Facteurs et Conditions du Milieu, BP 5035, 34032 Montpellier cedex.

RÉSUMÉ

Afin d'identifier un indicateur de prévision de la fourniture d'azote aux cultures par le sol, nous avons comparé cinq méthodes permettant de caractériser l'azote organique du sol. Trois tests chimiques (méthode Kjeldahl, extraction de l'azote par une solution de K_2SO_4 (N), fractionnement de l'azote par hydrolyse acide) et deux tests biologiques (incubation en anaérobiose et culture en pots avec ^{15}N) ont été appliqués à un sol ferrallitique de Moyenne Casamance (Sénégal). La fraction Nhd (azote hydrolysable distillable), prise comme variable unique, explique 68 % de la variabilité de l'azote minéralisable. Les fractions Nhd et Nhnd (azote hydrolysable non distillable) assurent, ensemble, la meilleure prévision du pool d'azote mobilisable du sol représenté par la valeur A. La prise en compte de données agronomiques montre que la fraction Nhnd permet de prévoir la quantité d'azote prélevée par un maïs-test dans un système de culture traditionnel sans apports d'azote. Les fractions chimiques Nhd et Nhnd constituent des indicateurs de prévision satisfaisants pour le type de sol étudié.

MOTS CLÉS : Sol ferrallitique – Sénégal – Formes organiques de l'azote – Hydrolyse acide – Fourniture d'azote par le sol – Maïs.

ABSTRACT

RELATIONSHIPS BETWEEN SOIL ORGANIC NITROGEN FORMS AND NITROGEN TAKEN UP BY PLANT
IN A SENEGAL FERRALLITIC SOIL

In order to identify a convenient index of nitrogen supply by soil to plants, we compared five methods of characterisation of soil organic nitrogen. Three chemical tests (Kjeldahl method, extraction of nitrogen by a K_2SO_4 solution (N), nitrogen fractionation by acid hydrolysis) and two biological tests (incubation under anaerobic conditions and a culture in pots with ^{15}N) were applied to a ferrallitic soil from Casamance (Senegal). The fraction Nhd (hydrolyzable distillable nitrogen), as a single variable, explained 68 % of the nitrogen mineralizable variability. The fractions Nhd and Nhnd (hydrolyzable no-distillable nitrogen), together, provided the best linear model of the soil nitrogen available pool represented by the A value. The fraction Nhnd could forecast the amount of nitrogen taken up by a maize culture in a traditional cropping system without nitrogen supply. Fractions Nhd and Nhnd seem to be convenient indexes of nitrogen supply by soil for the type of soil studied.

KEY WORDS: Ferrallitic soil – Senegal – Organic nitrogen – Acid hydrolysis – Soil nitrogen supply – Maize.

INTRODUCTION

Comme dans la plupart des sols cultivés, dans les sols tropicaux sableux d'Afrique de l'Ouest, l'alimentation azotée des céréales se fait principalement à partir des réserves d'azote organique (BLONDEL, 1971a ; WETSELAAR et GANRY, 1982 ; GANRY, 1990). Dans ces sols, ces réserves sont très faibles et constituent généralement un facteur limitant de la production végétale, même en présence d'engrais. Dans ce contexte, le pool d'azote mobilisable ainsi que la fourniture d'azote par le sol aux cultures sont deux variables qu'il importe de quantifier pour gérer à long terme la fertilité du sol tout en assurant l'objectif de production. Dans les sols tropicaux, où l'azote minéral constitue un compartiment de transition instable (BLONDEL, 1971b, 1971c, 1971d ; GIGOU, 1982), la capacité du sol à fournir de l'azote aux plantes ne peut être appréciée que par un indicateur défini à partir des fractions organiques de l'azote du sol. Devant cette nécessité, de nombreux tests chimiques ou biologiques ont été proposés. Cependant, la quantification directe du pool d'azote mobilisable du sol pose toujours un problème méthodologique (STANFORD, 1982 ; CATROUX *et al.*, 1987). La méthode isotopique permet de quantifier l'azote absorbé par la culture provenant du sol (NdfS) et d'estimer le pool d'azote mobilisable du sol ; celui-ci est alors représenté conventionnellement par la valeur A (FRIED et DEAN, 1952 ; RENNIE, 1969). Cependant la valeur A est difficile à mesurer *in situ* et ne peut être définie que pour une plante et un environnement donnés. Par ailleurs, la valeur A, *in situ*, est d'une interprétation délicate (GANRY, 1990). Les travaux récents d'EGOUMENIDÈS *et al.* (1987) et d'EGOUMENIDÈS (1989) montrent que la fraction organique du sol « Nhnd » (fraction hydrolysable non distillable), obtenue par la technique de l'hydrolyse acide (STEWART *et al.*, 1963), est déterminante dans la nutrition azotée des plantes. Cette technique, contrairement à la méthode isotopique, permet d'obtenir des fractions comparables d'une situation à une autre, indépendamment de la culture. Dans le but de vérifier si la méthode de fractionnement de l'azote par hydrolyse acide est utilisable pour caractériser le pool d'azote mobilisable et juger de la fertilité azotée des sols tropicaux, nous l'avons comparée à des tests biologiques (incubation en anaérobiose et culture en pots) et à des résultats au champ (azote absorbé par un maïs test cultivé sur sol non travaillé et non fertilisé).

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Le dispositif expérimental

Le dispositif implanté en Moyenne Casamance a été installé en 1972 par DIATTA (1975, 1989). Il s'agit d'un terrain (1 ha) de défriche récente divisé en bandes dont chacune constitue une sole de système de culture. Dans chacune de ces bandes, 6 parcelles de rendements ont été délimitées (48,6 m²). Cinq traitements (sans répétition) ont été appliqués sur 9 bandes orientées d'est en ouest (fig.1) : (1) une bande est maintenue sous forêt pendant toute la durée de l'expérimentation ; (2) une bande est maintenue nue ; (3) une bande est laissée en jachère continue ; (4) le système traditionnel comprend deux bandes en rotation biennale arachide-mil, sans travail du sol ni apport d'engrais, ni restitution des résidus de récolte ; (5) le système amélioré comprend quatre bandes en rotation quadriennale maïs-mil-arachide-riz, avec apport d'engrais N-P-K (8-18-27) à la dose de 250 kg/ha pour l'arachide, 300 kg/ha pour le maïs, 250 kg/ha pour le mil et 250 kg/ha pour le riz, avec apport d'urée à la dose de 150 kg/ha pour les cultures de maïs, mil et riz, avec travail du sol et enfouissement des pailles de maïs en fin de cycle et un phosphatage de fond à la mise en place de l'essai (400 kg/ha).

Perpendiculairement aux bandes traitements, une bande test de maïs ne recevant pas d'engrais (ni travail du sol) a été cultivée tous les deux ans. Elle est destinée à traduire en termes agronomiques l'évolution des sols induite par les différents systèmes de culture.

Le sol étudié

Il s'agit d'un sol ferrallitique faiblement désaturé du Sénégal, dont les principales caractéristiques physico-chimiques sont présentées dans le tableau I. L'horizon de surface (horizon étudié) présente une texture sableuse. La teneur en argile est de 8,3 % et celle en matière organique de 13 mg/g de sol. La CEC est de 3 cmol/kg de sol. Les échantillons ont été prélevés dans les horizons 0-15 et 15-30 cm de chaque parcelle du dispositif expérimental, chaque année test (1974, 1976 et 1980), en période de saison sèche. Un échantillon moyen a été constitué à partir de 20 prélèvements sur la parcelle. Les échantillons de sol ont été tamisés à 2 mm, séchés et stockés à l'abri de la lumière.

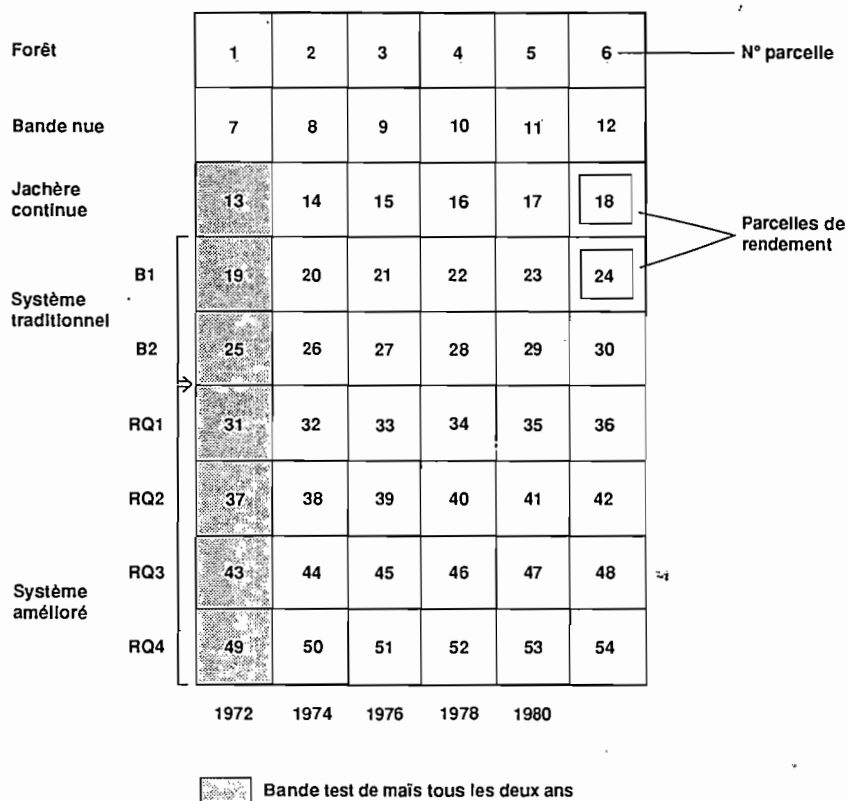


FIG. 1 – Plan du dispositif du champ dit de défriche récente (MANIORA II).
Plan of the field device.

Les méthodes d'analyse

Une étude préliminaire a permis de vérifier la stabilité des fractions organiques des échantillons de sol conservés sur une longue durée (entre 10 et 20 ans) en comparant les analyses récentes à des résultats antérieurs (SARR, 1978). Des tests chimiques et biologiques récemment décrits (WANEUKEM, 1991) ont été appliqués aux échantillons de sol prélevés entre 1974 et 1980 sur le dispositif expérimental : nous les résumons ci-dessous.

LES MÉTHODES CHIMIQUES

Elles consistent en la détermination de l'azote total du sol

($Nt_{sol} = N_{total\ organique} + NH_4^+ + NO_3^-$) par la méthode Kjeldahl, la détermination de l'azote total extractible par une solution de K_2SO_4 normale ($Nt_{K_2SO_4} = N_{minéral} + N_{organique}$) et en la détermination des formes d'azote organique du sol par la technique de l'hydrolyse acide (STEWART *et al.*, 1963, modifié par EGOUMENIDÈS *et al.*, 1987). Il s'agit d'une technique biochimique clas-

sique d'hydrolyse des protéines qui conduit à l'obtention de deux fractions : l'azote hydrolysable (Nh) et l'azote non hydrolysable (Nnh). La distillation en présence de soude de la fraction Nh permet d'obtenir deux sous-fractions: l'azote hydrolysable distillable (Nhd) et l'azote hydrolysable non distillable (Nhdn). Les fractions Nh et Nhd ont été mesurées puis calculées en soustrayant $N-NH_4^+$ préexistant dans les échantillons de sol. La fraction Nhdn est calculée par différence entre Nh et Nhd. Par conséquent $Nt_{sol} = Nhd + Nhdn + Nnh + N_{minéral}$.

LES MÉTHODES BIOLOGIQUES

Incubations en anaérobiose

L'azote minéralisable (obtenu par différence entre $N-NH_4^+$ dosé après incubation et celui dosé avant incubation) est déterminé sur 68 échantillons de sol mis à incuber dans les conditions du test WARING-BREMNER (1964) – 15 jours d'incubation à 30 °C, en condition anaérobie. Le nombre de répétitions réalisées par échantillon est de 3 à 4.

TABLEAU I
Caractéristiques physico-chimiques du sol prélevé en 1973 (d'après DIATTA, 1989)
Physico-chemical characteristics of the soil sampled in 1973 (from DIATTA, 1989)

Caractéristiques	Profondeur (cm)	
	0 - 20	20 - 45
pH H ₂ O	6,5	6,2
pH KCl	5,4	4,7
Analyse mécanique (%)		
0-2 µm	8,3	13,8
2-20 µm	4,3	6,5
20-50 µm	9,3	8,9
50-200 µm	47,4	41
200-2000 µm	30,3	29,3
MO		
C ‰	7,51	4,22
N ‰	0,52	0,33
C/N	14	13
P ₂ O ₅ total ‰	0,28	0,14
Complexe d'échange* (cmol/kg)		
Ca ²⁺	2	1
Mg ²⁺	0,8	0,6
K ⁺	0,04	0,01
Na ⁺	0,13	0,07
Somme (S)	2,97	1,68
CEC	3	2,4
100.S/CEC	99	70
Minéralogie		
Fe total ‰	14,4	13,5
Fe libre ‰	7,8	11
RX (0-2 µm) Kaolinite	+++	+++
Smectite	traces	traces
Vermiculite	traces	traces

(*) Méthode à l'acétate - NH₄⁺

Cultures en pots

Un test de culture en pots est réalisé sur 53 échantillons de sol. Il consiste à cultiver une plante-test (le *Ray-grass*) en conditions non limitantes, qui reçoit un engrais azoté (urée enrichie en ¹⁵N à 5,33 %) dont le traceur ¹⁵N permet de distinguer l'azote prélevé par la plante provenant du sol (NdfS) de celui provenant de l'engrais (NdfF) (GUIRAUD, 1984). Ce test est destiné à mesurer le pool d'azote mobilisable du sol (représenté par la mesure conventionnelle de la valeur A) par la technique isotopique. Cette mesure repose sur l'hypothèse de la proportionnalité entre consommation (NdfS et NdfF) et source (valeur A et engrais).

Cette hypothèse vérifiée expérimentalement par certains auteurs (FRIED et DEAN, 1952 ; ALEKSIC *et al.*, 1968 ; IAEA, 1970, 1971, 1974, 1978, 1983) est, par contre, infirmée par GUIRAUD (1984).

RÉSULTATS ET DISCUSSION

Caractérisation de l'azote du sol par analyses chimiques : évolution du statut azoté sous les différents systèmes de culture

Les résultats quantitatifs (tabl. II) sont présentés pour trois systèmes de culture et trois années de prélèvement.

TABLEAU II
Moyennes (X en mg/kg) et intervalles de confiance (t.SE à P_{0,05}) des fractions azotées mesurées sous les différents systèmes de culture, horizon 0-15 cm
Averages (X mg/kg) and confidence intervals (t.SE at P_{0,05}) of the nitrogen fractions measured under the different cultural systems in the 0-15 cm horizon

Fractions azotées	Années	Systèmes de culture					
		Forêt		Système traditionnel		Système amélioré	
		\bar{x}	t SE	\bar{x}	t SE	\bar{x}	t SE
Nt sol	1974	505	-	403	41	452	35
	1976	586	160	378	47	394	32
	1980	495	52	291	38	339	21
Nt K ₂ SO ₄	1974	25,2	-	28,7	3,3	34,8	4,4
	1976	30,8	6,3	23,1	3,2	28,7	3,2
	1980	25,7	4,3	18,6	3,3	24	2,2
Nhnd	1974	117	-	98	8	108	6
	1976	132	31	90	10	93	6
	1980	118	10	73	11	80	4
Nhnd	1974	260	-	212	27	223	16
	1976	307	61	198	20	187	14
	1980	262	22	149	29	157	8
Nnh	1974	137	-	97	13	126	16
	1976	164	68	87	13	110	14
	1980	120	18	65	9	98	8

\bar{x} = moyenne
t SE = intervalle de confiance de la moyenne

Pour les sols sous forêt, les fractions azotées mesurées ne diminuent pas au cours du temps : la forêt constitue un système en équilibre où l'apport continu de matière organique au sol permet de régénérer et de préserver le stock d'azote.

Sous l'effet des cultures (systèmes traditionnel et amélioré), on constate d'une manière générale une baisse significative de toutes les fractions organiques azotées au cours du temps (tabl. II), dans des proportions allant de 25 à 35 % du stock mesuré en 1974.

L'azote total du sol diminue significativement entre 1974 et 1980 de 28 % sous le système traditionnel et de 25 % sous le système amélioré. La diminution relative de l'azote du sol concerne principalement les fractions Nt K₂SO₄ (respectivement de -35 et -31 % pour les systèmes traditionnel et amélioré) et Nhnd (de -30 % pour les 2 systèmes). En l'absence d'apport d'azote au sol (système traditionnel), on note une baisse significative de la fraction Nnh (-33 %) alors que celle-ci ne varie pas de manière significative sous système amélioré.

Par rapport à la forêt (système de référence), l'azote total du sol (Nt sol) diminue significative-

ment de 41 et 31 % respectivement sous les systèmes traditionnel et amélioré, après huit années de culture. En moyenne, l'azote total du sol diminue sous l'effet des cultures à un rythme annuel de 4 %. Cette baisse de l'azote organique du sol cultivé concerne les 3 fractions Nnh (-46 %), Nhnd (-43 %) et Nhd (-38 %) pour le système traditionnel, mais concerne essentiellement les fractions Nhnd (-40 %) et Nhd (-32 %) pour le système amélioré.

Ces premières observations conduisent à l'hypothèse que la fraction Nhnd, la plus importante quantitativement (environ 50 % de l'azote total) jouerait un rôle important dans la fourniture d'azote aux cultures, en présence ou non d'engrais. En l'absence d'apport exogène d'azote au sol, la fraction Nnh semble également contribuer à l'alimentation azotée des plantes.

Nous disposons ainsi d'une gamme d'échantillons de sol dont le statut azoté organique présente une variabilité importante, induite par la mise en culture et les pratiques culturales : celle-ci nous permet de comparer les résultats des tests chimiques à ceux des tests biologiques.

Relation entre les formes organiques de l'azote et l'azote minéralisable du sol déterminé par incubation anaérobie

Le test d'incubation a été appliqué à 68 échantillons de sol (0-15 et 15-30 cm) dont les fractions organiques de l'azote déterminées par analyses chimiques sont connues (tabl. II). Dans les conditions du test, l'azote minéralisable obtenu, désigné par DN, permet d'avoir une estimation de l'azote du sol disponible sur une période relativement courte. La reproductibilité de la méthode étant correcte (CV < 6 %), les résultats de ce test permettent alors d'établir un premier niveau de corrélation entre l'azote minéralisable DN et les fractions organiques du sol : Nt sol, N org K₂SO₄, Nhd, Nhnd et Nnh. Les coefficients de corrélation obtenus sont hautement significatifs à P_{0,01} (tabl. III). La fraction Nhd comme variable unique assure la meilleure détermination de l'azote minéralisable par l'équation de régression linéaire simple :

DN = 0,39 Nhd - 17 (n = 68, R = 0,83, R² = 0,68, P < 0,01),

pour DN variant de 4 à 38 mg/kg. Cependant, par l'équation de régression multiple progressive (introduction des variables à P_{0,05}) suivante :

DN = 0,38 N org K₂SO₄ + 0,31 Nhd - 15 (n = 68, R = 0,84, R² = 0,70),

on améliore légèrement la détermination de DN. Les variables N org K₂SO₄ et Nhd (variables non indépendantes) seraient les plus explicatives des processus de minéralisation nette réalisés dans les conditions du test.

Relation entre les formes organiques de l'azote et l'azote fourni à une culture en pot (NdfS)

Le test de culture en pots a porté sur 53 échantillons de sol (0-15 et 15-30 cm) dont les fractions organiques de l'azote ainsi que l'azote minéralisable avant culture sont connus. Cet essai met tout d'abord en évidence l'importance de la fourniture d'azote par le sol (NdfS) dans l'alimentation azotée du *Ray-grass*, même en présence d'engrais. La culture de *Ray-grass* s'étant développée dans des conditions non limitantes (condition nécessaire à une détermination correcte de NdfS et de la valeur A), les résultats du test permettent d'établir un deuxième niveau de corrélation entre la variable NdfS (variable dépendante) et les fractions organiques du sol (variables explicatives).

Toutes les fractions organiques donnent des coefficients de corrélation hautement significatifs à P_{0,01} (tabl. III). La meilleure corrélation simple est

TABLEAU III

Corrélations entre les fractions azotées et l'azote minéralisable, NdfS, valeur A sol et l'azote du maïs-test
Correlations between nitrogen fractions and mineralizable nitrogen, NdfS, A value and nitrogen test-maize

Tests chimiques	Incubations		Culture en pots				Résultats au champ			
	N minéralisable		NdfS		Valeur A		N maïs-test en système traditionnel			
	DN (mg/kg)		(mg/kg)		(mg/kg)		Np (kg/ha)			
	n = 68		n = 53		n = 53		n = 6			
							0 - 15 cm		0 - 30 cm	
	R	P	R	P	R	P	R	P	R	P
Nt sol	0,816	0,000	0,856	0,000	0,918	0,000	0,879	0,022	0,957	0,004
Nt K ₂ SO ₄	0,656	0,000	0,779	0,000	0,740	0,000	0,830	0,041	0,942	0,006
N org K ₂ SO ₄	0,714	0,000	0,684	0,000	0,730	0,000	0,763	0,077	0,956	0,000
N min K ₂ SO ₄	0,275	0,022	0,573	0,000	0,456	0,000	0,668	0,146	0,876	0,023
Nhd	0,826	0,000	0,820	0,000	0,903	0,000	0,842	0,036	0,956	0,004
Nhnd	0,787	0,000	0,829	0,000	0,901	0,000	0,948	0,005	0,989	0,001
Nnh	0,720	0,000	0,755	0,000	0,838	0,000	0,839	0,038	0,945	0,006
Tests biologiques										
DN	-	-	0,827	0,000	0,847	0,000	0,900	0,016	0,939	0,007
NdfS	-	-	-	-	0,936	0,000	0,903	0,015	0,968	0,006
Valeur A	-	-	0,936	0,000	-	-	0,957	0,004	0,971	0,005

R = coefficient de corrélation simple : P = probabilité.

obtenue avec Nt sol (n = 53, R = 0,86, R² = 0,74, P < 0,01) pour NdfS variant de 26 à 61 mg/kg de sol. L'équation de régression multiple progressive : $NdfS = 0,55 Nt K_2SO_4 + 0,093 Nhd + 10,4$ (n = 53, R = 0,90, R² = 0,82, P < 0,05), améliore la détermination de NdfS.

Relation entre les formes organiques de l'azote et le pool d'azote mobilisable du sol (valeur A)

À partir des résultats du test de culture en pots on calcule la valeur A par la relation suivante : $A \text{ sol} = (NdfS / CRU \%) \times 100$. Elle est exprimée en équivalent N-urée et représente une mesure conventionnelle du pool d'azote mobilisable du sol.

Un troisième niveau de corrélation entre la valeur A sol et les fractions organiques de l'azote du sol peut ainsi être établi. Toutes les fractions azotées donnent des coefficients de corrélation hautement significatifs à P_{0,01} (tabl. III). La meilleure corrélation simple est obtenue entre la valeur A et Nt sol (n = 53, R = 0,92, R² = 0,84, P < 0,01) pour A sol variant de 50 à 130 mg/kg équivalent N-urée. Cependant, une régression multiple progressive effectuée entre les variables valeur A et Nhd, Nhnd, Nnh montre que la fonction : $A \text{ sol} = 0,54 Nhd + 0,17 Nhnd + 5$ (n = 53, R² = 0,85, P < 0,05) améliore légèrement la détermination du pool d'azote mobilisable du sol.

Relations entre les formes organiques de l'azote du sol et l'azote absorbé par le maïs test au champ

La mesure de l'azote total des parties aériennes du maïs (N plante) (tabl. IV) cultivé sur les bandes

tests non fertilisées (DIATTA, 1989) montre que le système de culture influe sur la quantité d'azote prélevée par la plante. Ne pouvant faire ressortir que des différences arithmétiques entre les résultats sans en donner le degré de signification statistique, que les conditions expérimentales ne permettent pas d'établir, nous obtenons en moyenne l'effet des systèmes de culture sur la mobilisation de l'azote du sol par le maïs dans l'ordre croissant suivant : « jachère » < « traditionnel » < « amélioré », dans une gamme de variation importante. Ces résultats agronomiques nous permettent d'établir le quatrième niveau de corrélation entre l'azote fourni par le sol au maïs test *in situ* et les fractions organiques de l'azote du sol, l'azote minéralisable, et la valeur A.

Tous systèmes de culture confondus (« jachère », « système traditionnel » et « système amélioré »), aucune des méthodes testées (chimiques et biologiques) ne permet de mettre en évidence un indicateur directement fiable à l'azote prélevé par le maïs test. En effet, les mécanismes d'absorption de l'azote minéral par les racines du maïs ne dépendent pas uniquement de la fourniture d'azote par le sol mais résultent des facteurs du milieu sol-climat et des précédents culturels. En revanche, on obtient des corrélations significatives entre l'azote du maïs test obtenu en système de culture traditionnel (système sans apport exogène d'azote) et les fractions azotées du sol (tabl. III). Ces corrélations sont améliorées et deviennent hautement significatives lorsque l'on considère le niveau 0-30 cm du sol. Dans un tel système, la fonction :

TABLEAU IV
Azote (kg/ha) des parties aériennes du maïs test (DIATTA, 1989)
Nitrogen (kg/ha) of the aerial parts of the test-maize (DIATTA, 1989)

Précédents / Années		1974	1976	1980	Moyenne
Jachère		10,7	12,9	7,6	10,4
Système traditionnel	Arachide	40,2	28,0	22,5	30,2
	MII	50,0	37,2	15,1	34,1
	Moyenne	45,1	32,6	18,8	32,2
Système amélioré	Maïs	40,8	30,4	24,5	31,9
	MII	44,6	50,1	42,7	45,8
	Arachide	9,7	77,9	66,2	51,3
	Riz	35,4	74,9	45,1	51,8
	Moyenne	32,6	58,3	44,6	45,2
Moyenne		33,1	45,0	32,0	

$N_{\text{plante}} = 0,074 N_{\text{hnd}} - 25,17$ ($n = 6$, $R = 0,99$, $R^2 = 0,98$, $P < 0,01$),

assure la meilleure détermination de l'azote total du maïs test à partir de la fraction chimique N_{hnd} mesurée dans une profondeur de sol de 30 cm pour N_{plante} variant de 15 à 50 kg/ha (fig. 2). Une régression multiple effectuée entre les variables N_{hd} , N_{hnd} , N_{nh} , N_{t} K_2SO_4 et N_{plante} n'améliore pas cette prévision.

DISCUSSION ET CONCLUSION

La mise en culture d'un sol ferrallitique récemment défriché entraîne très rapidement une baisse du stock en azote total à un rythme annuel d'environ 4 % quel que soit le système de culture pratiqué. Ces résultats confirment ceux obtenus sur des sols ferrallitiques au Sénégal par SIBAND (1974) et en Côte-d'Ivoire par CHABALIER (1986). Les résultats des tests chimiques montrent que la diminution de l'azote du sol sous l'effet de la mise en culture concerne principalement la fraction N_{hnd} , ce qui laisserait supposer la participation majeure de cette dernière à l'alimentation azotée des plantes. Cette hypothèse est en accord avec celle émise par EGOUMENIDÈS *et al.* (1987). Néanmoins, en l'absence d'apport d'azote au sol (système traditionnel), la fraction N_{nh} semble également être mise à contribution dans l'alimentation azotée de la plante. La comparaison entre les résultats des tests chimiques et biologiques montre que, pour le sol étudié, il existe des corrélations hautement

significatives entre les fractions chimiques azotées et les variables N minéralisable, N_{dfS} et Valeur A (tabl. III). En première interprétation des résultats obtenus, on peut admettre que pour le sol étudié la mesure de N_{t} sol est suffisamment sensible pour estimer à moindre coût et rapidement la fertilité azotée du sol, évaluée par l'azote minéralisable (DN), son pool d'azote mobilisable (valeur A) et l'azote prélevé par la plante en pots (N_{dfS}) et au champ (N_{plante}) (tabl. III). Cependant, la fraction N_{hd} , prise comme variable unique, donne la meilleure régression linéaire de l'azote minéralisable obtenu dans les conditions du test Waring-Bremner, et les fractions N_{hd} et N_{hnd} , par une régression linéaire multiple, améliorent la prévision du pool d'azote mobilisable du sol représenté par la valeur A (fig. 3). De plus, la fraction N_{hnd} , mesurée dans une profondeur de sol de 30 cm, assure la meilleure détermination de la quantité d'azote prélevée par une culture de maïs non fertilisée obtenue en système de culture traditionnel (fig. 3). Nos résultats nous conduisent donc à penser que les fractions chimiques N_{hd} et N_{hnd} , qui représentent des formes biochimiques d'azote facilement biodégradables (sucres aminés et acides aminés) (BREMNER, 1965 ; SCHNITZER et HINDLE, 1981), sont des indicateurs de prévision de la fourniture d'azote aux cultures par le sol satisfaisants pour le type de sol étudié. Par ailleurs, elles présentent l'avantage d'être reproductibles et sont, pour cela, comparables d'une situation à une autre.

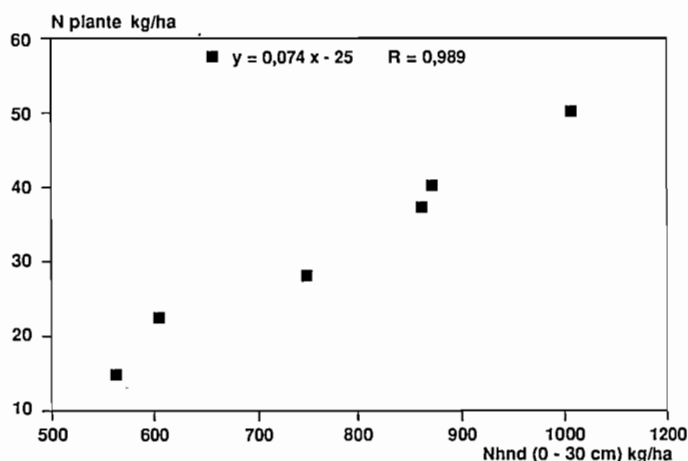


FIG. 2 – Corrélation entre N sol fourni au maïs test et N_{hd}
- Cas du système traditionnel.

Correlation between soil nitrogen taken up by the test-maize and N_{hd} - Case of the traditional cultural system.

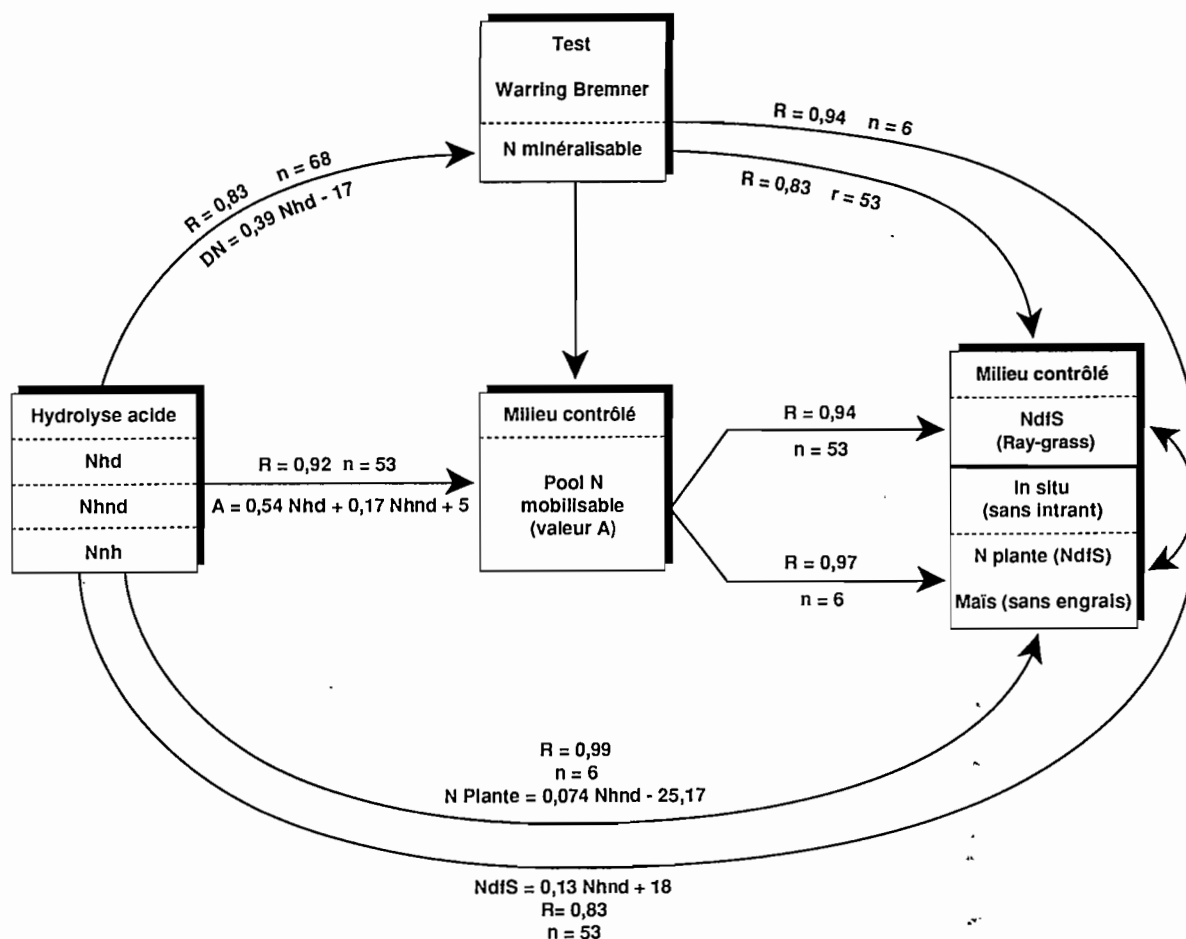


FIG. 3 – Chaîne des corrélations entre l'indicateur chimique et la fourniture d'azote par le sol.

NdfS : N fourni par le sol à la plante ;
 N plante : N total dans les parties aériennes ;
 Nhd : N hydrolysable distillable ;
 Nhnd : N hydrolysable non distillable ;
 Nnh : N non hydrolysable ;
 Test Warring : Test d'incubation *in vitro* en anaérobiose (WARRING et BREMNER, 1964) ;
 Valeur A : source N sol exprimée en équivalent engrais selon la relation $\text{NdfS} = \text{CRU} \times \text{Valeur A}$;
 CRU : Coefficient réel d'utilisation de N engrais ;
 Chain of correlations between the chemical index and the nitrogen supply by soil.

Cependant, la méthode demande une validation à la fois pour confirmer la signification des fractions distinguées et pour mieux définir le pouvoir de résolution du test. En particulier, des recherches devraient être portées sur une meilleure connaissance du déterminisme des ces fractions, *in situ*, sous l'influence de diverses pratiques culturales et des caractéristiques physico-chimiques du sol (pH, texture, fractions granulométriques). En effet, il a été montré que dans les sols sableux pauvres en

matière organique, la variation du stock en matière organique est essentiellement due aux fractions supérieures à $2 \mu\text{m}$ (FELLER *et al.*, 1991). Par conséquent, l'analyse des formes chimiques (Nhd, Nhnd et Nnh) associées aux diverses fractions granulométriques du sol devrait permettre de dégager le rôle de ces fractions dans l'alimentation azotée des cultures et, d'une manière plus générale, d'affiner et de mieux comprendre le type de relations obtenues dans le cadre de cette étude.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient : (1) l'Isra (Institut sénégalais de Recherche agricole) d'une part pour avoir autorisé cette étude et d'autre part pour sa collaboration, (2) M. Sitapha DIATTA de l'Adrao (Association pour le développement de la riziculture en Afrique de l'Ouest), réalisateur de l'expérience « Maniora », pour ses conseils et l'accès à son dossier de résultats agronomiques, (3) M. P. SIBAND, pour avoir suscité

l'exploitation analytique du dossier d'expérience « Maniora », expérience dont il fut le concepteur et qu'il a démarrée à Maniora, et pour ses conseils, (4) M. R. OLIVER pour son appui au laboratoire, sa disponibilité et ses conseils, (5) M. R. LETOURMY pour son appui aux interprétations statistiques.

Manuscrit accepté par le Comité de rédaction le 5 avril 1993.

BIBLIOGRAPHIE

- ALEKSIC (A.), BROESHART (H.), MIDDELBOE (V.), 1968. – The effect of nitrogen fertilisation on the release of soil nitrogen. *Plant and Soil*, 29 : 474-478.
- BARTHOLOMEW (W.C.), CLARK (F.E.) (eds.), 1965. – *Soil nitrogen*, Madison, American Society of Agronomy.
- BLONDEL (D.), 1971a. – Rôle de la matière organique libre dans la minéralisation en sol sableux, relation avec l'alimentation azotée du mil. *Agron. Trop.*, 26 : 1372-1377.
- BLONDEL (D.), 1971b. – Contribution à la connaissance de la dynamique de l'azote minéral : en sol sableux au Sénégal. *Agron. Trop.*, 26 : 1303-1333.
- BLONDEL (D.), 1971c. – Contribution à la connaissance de la dynamique de l'azote minéral : en sol ferrugineux tropical à Séfa. *Agron. Trop.*, 26 : 1334-1353.
- BLONDEL (D.), 1971d. – Contribution à la connaissance de la dynamique de l'azote minéral : en sol ferrugineux tropical à Nioro du Rip. *Agron. Trop.*, 26 : 1354-1361.
- BREMNER (J.M.), 1965. – « Organic nitrogen in soil » in BARTHOLOMEW W.C. and CLARK F.E. (eds.), 1965 : 93-149.
- CATROUX (G.), CHAUSSOD (R.), NICOLARDOT (B.), 1987. – Appréciation de la fourniture d'azote par le sol. *C.R. Acad. Agric. Fr.*, 73 (3) : 71-79.
- CHABALIER (P.F.), 1986. – Évolution de la fertilité d'un sol ferrallitique sous culture continue de maïs en zone forestière tropicale. *Agron. Trop.*, 41 : 179-191.
- DIATTA (S.), 1975. – Évolution sous culture des sols de plateau en Casamance continentale. Compte-rendu de deux années d'essais. *Agron. Trop.*, 30 (4) : 344-351.
- DIATTA (S.), 1989. – *Évolution des sols de plateau sous culture continue*. Rapport séminaire interne de l'Adrao, septembre 1989 : 47 p.
- DOMMERMUES (Y.R.), DIEM (H.G.) (eds.), 1982. – *Microbiology of tropical soils and plant productivity*, The Hague, Martinus Nijhoff and Junk W.
- EGOUMENIDÈS (C.), RISTERUCCI (A.), MELEBOU (K.E.), 1987. – Appréciation de la fertilité azotée des sols tropicaux : étude des fractions organiques de l'azote. *Agron. Trop.*, 42 : 85-93.
- EGOUMENIDÈS (C.), 1989. – Fractions organiques de l'azote dans les sols tropicaux et fertilité azotée. Acte des journées de la DRN, IRAT (ed.), Montpellier : 317-326.
- FELLER (C.), FRITSCH (E.), POSS (R.), VALENTIN (C.), 1991. – Effet de la texture sur le stockage et la dynamique des matières organiques dans quelques sols ferrugineux et ferrallitiques (Afrique de l'Ouest en particulier). *Cah. Orstom, sér. Pédol.*, vol. XXVI, n° 1 : 25-36.
- FRIED (M.), DEAN (L.A.), 1952. – A concept concerning the measurement of available soil nutrients. *Soil Sci.*, 73 : 263-271.
- GANRY (F.), 1990. – *Application de la méthode isotopique à l'étude des bilans azotés en zone tropicale sèche*. Thèse de Doctorat d'État, Université de Nancy-I, 351 p.
- GIGOU (J.), 1982. – *Dynamique de l'azote minéral en sol nu ou cultivé de région tropicale sèche du Nord-Cameroun*. Thèse de Docteur Ingénieur, Université des Sciences et Techniques du Languedoc, Montpellier, 130 p.
- GUIRAUD (G.), 1984. – *Contribution du marquage isotopique à l'évaluation des transferts d'azote entre les compartiments organiques et minéraux dans les systèmes sol-plante*. Thèse de Doctorat d'État, Université P. et M. Curie, Paris-VI, 335 p.
- IAEA, 1970. – Fertilizer management practices for maize : results of experiments with isotopes. *Technical Report Series n° 121*. Vienna, Austria.
- IAEA, 1969. – *Technical Report Series n° 120*, Vienna, Austria.
- IAEA, 1971. – Nitrogen-15 in soil-plant studies. *Panel Proceeding series, STI/PUB/278*. Vienna, Austria.
- IAEA, 1974. – Isotope studies on wheat fertilization. *Technical Report Series n° 157*. Vienna, Austria.
- IAEA, 1978. – Isotope studies on rice fertilization. *Technical Report Series n° 181*. Vienna, Austria.
- IAEA, 1983. – A guide to the use of nitrogen-15 and radioisotopes in studies of plant nutrition : calculations and interpretation of data. *IAEA TECDOC-288*. Vienna, Austria.
- RENNIE (D.A.), 1969. – « The significance of the A value concept in field fertilizer studies », in IAEA (ed.), 1969 : 132-145.
- SARR (P.L.), 1978. – *Évolution de la fertilité d'un sol rouge de plateau de Casamance sous l'effet des systèmes de culture*. Mémoire de DEA, Université des Sciences et Techniques du Languedoc, 35 p.

- SCHNITZER (M.), HINDLE (D.A.), 1981. – Effect of different methods of acid hydrolysis on the nitrogen distribution in two soils. *Plant and Soil*, 60 : 237-243.
- SIBAND (P.), 1974. – Évolution des caractères et de la fertilité d'un sol rouge de Casamance. *Agron. Trop.*, 29 : 1228-1248.
- STANFORD (G.), 1982. – « Assessment of soil nitrogen availability », in STEVENSON F.J. (ed.), 1982 : 651-688.
- STEVENSON (F.J.) (ed.), 1982. – *Nitrogen in agricultural soils*, Madison, American Society of Agronomy.
- STEWART (B.A.), PORTER (L.K.), JOHNSON (D.D.), 1963. – Immobilization and mineralization of nitrogen in several organic fractions of soil. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 27 : 302-304.
- WANEUKEM (V.), 1991. – *Test de diagnostic de la fertilité azotée d'un sol tropical. Essai de validation in situ d'un indicateur chimique du sol*. Mémoire de DEA, INPT-Ensa, Toulouse, 39 p. + annexes.
- WARING (S.A.), BREMNER (J.M.), 1964. – Ammonium production in soil under waterlogged conditions as an index of nitrogen availability. *Nature*, 4922 : 951-952.
- WETSELAAR (R.), GANRY (F.), 1982. – « Nitrogen balance in tropical agrosystems » in DOMMERGUES Y.R. and DIEM H.G. (eds.), 1982 : 1-35.