

La dénitrification en sol de rizière : Influence de la nature et du mode d'épandage des engrais azotés

Jean-Louis GARCIA

Laboratoire de Microbiologie du Sol ORSTOM,
B.P. 1386, Dakar (Sénégal).

RÉSUMÉ

L'évaluation de la dénitrification par la mesure de la vitesse de réduction de N_2O a été effectuée au cours de la croissance du riz en pots, dans des sols enrichis soit en urée appliquée en surface ou en profondeur, soit en engrais-retard (Sulfur Coated Urea et N-Lignine). Cette méthode a permis de confirmer que l'enfouissement de l'engrais azoté n'entraîne qu'une perte d'azote faible ou nulle, contrairement à ce qui est observé dans le cas d'une application en surface. Les pertes consécutives à l'épandage d'engrais-retard en surface sont élevées mais interviennent plus tardivement que lorsqu'il s'agit d'urée. Les différences observées entre les traitements sont moins marquées dans la rhizosphère du riz qu'en sol nu. L'effet rhizosphère du riz sur l'activité dénitrifiante potentielle est maximum dans les premiers stades de la croissance et diminue progressivement avec l'âge des plantes.

Le meilleur rendement en grain a été obtenu en enfouissant l'urée. Avec l'urée enrobée de soufre (SCU), le rendement est équivalent à celui qui est obtenu avec l'urée non enrobée épandue en quantité plus importante. La N-Lignine n'a pas eu d'effet sur le rendement; son application a été suivie des pertes d'azote les plus importantes.

MOTS CLÉS : Dénitrification - rizière - engrais azotés.

ABSTRACT

The measurement of rates of N_2O reduction was used for estimating the denitrifying capacity of potted rice-growing soils enriched either with urea applied on the surface or in depth, or with slow-release nitrogen fertilizers (Sulfur-coated urea and N-Lignin). It was confirmed that there is little or no nitrogen loss when the fertilizer is buried, unlike what is observed when it is applied on the surface. The losses from surface spreaded slow-release nitrogen fertilizers are high but occur later than they do with urea. The differences observed are less marked in the rice rhizosphere than in non-planted soil. The rhizosphere effect of rice on the potential denitrifying activity is maximum in the first stages of grow and diminishes progressively with the age of the plants.

The best grain yield was obtained with depth placement of urea. With Sulfur-coated urea (SCU) the yield is equi-

valent to that obtained with non-coated urea spread in greater quantities. N-Lignin had no effect on the yield and gave the greatest nitrogen losses.

KEY WORDS: Denitrification - paddy soils - nitrogen fertilizers.

INTRODUCTION

Dans des récentes revues de la littérature relative aux transformations de l'azote en sol submergé, Tusneem et Patrick (1971), puis Garcia (1975a) ont exposé les processus qui aboutissent à une perte d'azote en rizière, malgré l'emploi d'engrais ammoniacaux: il s'établit à la surface du sol une couche oxydée dans laquelle la nitrification est intense jusqu'à 5 cm de profondeur (Yoshida et Padre, 1968). L'épaisseur de cette couche s'accroît avec le temps de submersion (Patrick et Delaune, 1972). Patrick et Gotoh (1974) ont montré qu'elle dépend de la concentration de O_2 dans l'atmosphère, lors d'expériences en atmosphère confinée. Sa limite correspondrait à un Eh de + 220 mV à pH 7 (Patrick et Tusneem, 1972). Dans cette couche oxydée, le nombre de bactéries nitrifiantes augmente pendant la submersion (Takaï et Uehara, 1973). Le nitrate produit diffuse dans la zone réduite sous-jacente où il est perdu par dénitrification.

Pour limiter les pertes d'azote par dénitrification, on peut enfouir l'engrais ammoniacal qui n'est alors plus nitrifié (Aleksic et coll., 1968; I.A.E.A., 1970). L'I.R.R.I. (1974) préconise de concentrer l'urée dans des petites boules de terre, les « mudballs », qui sont enfouies à 10 cm de profondeur après repiquage du riz. Ce procédé a permis d'obtenir un rendement de 8t/ha avec un apport de 60 kg N/ha, alors que le

rendement était de 6,6 t/ha avec un apport habituel de 100 kg N/ha à la montaison. A l'I.R.R.I. (1974) a été également mise au point une machine manuelle permettant d'introduire l'engrais azoté en profondeur, entre les pieds de riz.

On a également tenté de lutter contre les pertes d'azote en inhibant la nitrification ou la dénitrification. De nombreux inhibiteurs de nitrification ont été testés (Patrick et coll., 1968; Rajale et Prasad, 1973; Yoshida et Padre, 1974; Marumoto et coll., 1974). Certains pesticides inhibent la dénitrification (Mitsui et coll., 1964; Azad et Khan, 1968), de même que les azides de Ca et Na et certains composés aromatiques cétonitriles (Ichikawa et coll., 1968 a-b). Mais ces produits sont onéreux et d'un emploi peu courant. C'est pourquoi on s'est tourné vers les engrais-retard, libérateurs lents d'azote. La Tennessee Valley Authority a mis au point en 1972 un produit appelé « Sulfur Coated Urea » (SCU) qui est de l'urée enrobée de soufre. Le soufre freine la dissolution de l'urée dans le sol et sert en outre d'engrais. Le coût de l'engrais est supérieur de 30 % à celui de l'urée, mais on l'utilise en un seul épandage avant la submersion ou le repiquage. Il a été testé en Afrique (O.U.A., 1974). Anjaneya (1974) a obtenu avec 100 kg N/ha de SCU, un rendement équivalent à celui qui résulte d'un apport de 150 kg N/ha d'urée.

La présente étude avait pour but de tester l'efficacité des engrais-retard et de l'enfouissement de l'urée dans une culture de riz en pots, en évaluant la dénitrification par une méthode basée sur la mesure de la vitesse de réduction de N_2O .

MATÉRIEL ET MÉTHODES

5 pieds de riz de 15 j (variété IR 8) ont été repiqués dans des demi-fûts métalliques de 200 l, contenant 150 kg d'un sol de rizière provenant de la vallée du fleuve Sénégal (Richard-Toll). Ce sol est argileux, ses teneurs en carbone et en azote sont respectivement de 0,76 % et 0,12 % et son pH est de 4,0. Avant submersion, chaque pot a reçu une fumure de fond sous forme de $(NH_4)_2SO_4$ (20 kg N/ha) et de KH_2PO_4 (50 kg P_2O_5 /ha et 35 kg/g K_2O /ha). La comparaison a porté sur les différentes fertilisations azotées suivantes :

— urée (46,6 % N) appliquée après submersion, en surface (4 pots) ou en profondeur à l'aide d'une grosse seringue (4 pots), à deux époques différentes de la croissance du riz : au tallage (200 kg N/ha) et à la montaison (100 kg N/ha);

— SCU (39,9 % N) appliqué en surface avant la submersion, dans 4 pots (200 kg N/ha);

— N-Lignine (17,8 % N), engrais-retard appliqué en surface avant la submersion dans 4 pots (200 kg N/ha);
— 4 pots témoins n'ont pas reçu d'engrais.

Pour chacun des traitements, 2 pots sur 4 n'ont pas été plantés pour déterminer comparativement l'effet rhizosphère. La submersion a été maintenue pendant 4 mois. Tous les 15 j, 5 carottes de sol ont été prélevées dans tous les pots, soit en sol nu, soit dans la rhizosphère et placées à 37 °C, chacune dans un flacon sérum de 250 ml, en anaérobiose en présence de 5 ml de N_2O et 2 ml de krypton utilisé comme étalon interne. Des analyses de l'atmosphère des flacons effectuées sur des prélèvements en tubes Vacutainer suivant les conditions décrites par ailleurs (Garcia, 1975 b) ont permis de suivre la vitesse de réduction de N_2O après 6 h et 24 h d'incubation.

A la récolte du riz, le nombre total d'épis et le poids sec de grains ont été déterminés pour chaque pied. Le calcul statistique du coefficient de variation de l'intervalle de confiance de la moyenne et le test de Student-Fischer ont été appliqués aux résultats obtenus.

RÉSULTATS

1. ACTIVITÉ INITIALE

Mesurée après 6 h d'incubation à 37°, l'activité initiale représente l'activité de l'oxyde nitreux-réductase présente dans le sol au moment du prélèvement. Elle rend compte de l'existence d'une dénitrification récente, donc de la présence préalable de nitrate même si celui-ci n'est pas décelable, comme cela est très généralement constaté en rizière. En sol nu (S), un premier pic d'activité est observé pour tous les traitements (fig. 1). Il est faible et correspond probablement à une perte d'azote aux dépens de la fumure de fond. Lorsque l'urée est appliquée en surface, on constate l'apparition d'un pic d'activité 1 mois après chacune des deux applications. Lorsque l'urée est appliquée en profondeur, on n'observe pas d'incidence sur l'activité dénitrifiante. La plus forte activité est obtenue 1 mois 1/2 après l'application de N-Lignine. Une activité légèrement inférieure à celle-ci est observée 2 mois après l'application de SCU. Dans la rhizosphère (R), les résultats sont analogues mais les différences observées sont moins marquées (fig. 2).

2. ACTIVITÉ POTENTIELLE

Mesurée entre 6 et 24 h d'incubation, elle rend compte essentiellement de la disponibilité dans le sol, de

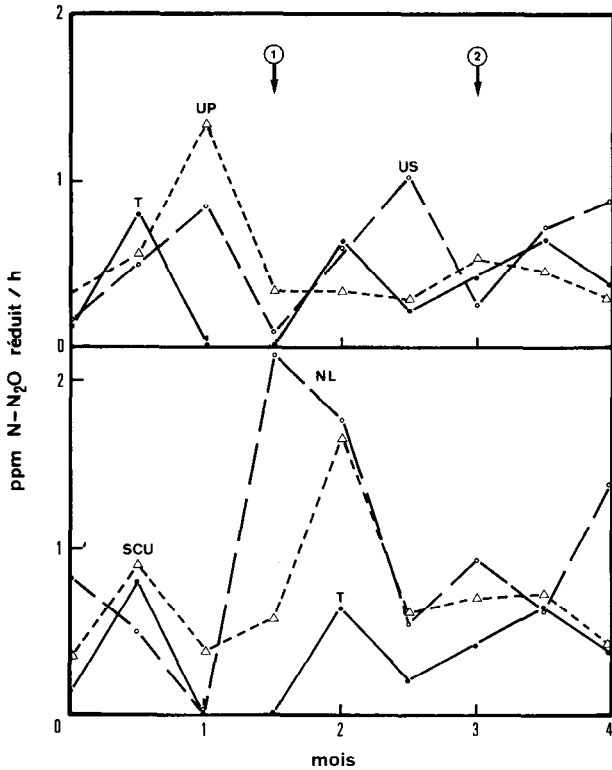


Fig. 1. — Activité dénitrifiante initiale déterminée par la réduction de N_2O en sol nu. T = témoin; US = urée en surface; UP = urée en profondeur; SCU = sulfur coated urea; NL = N-Lignine; (1) et (2) = épandages d'urée.

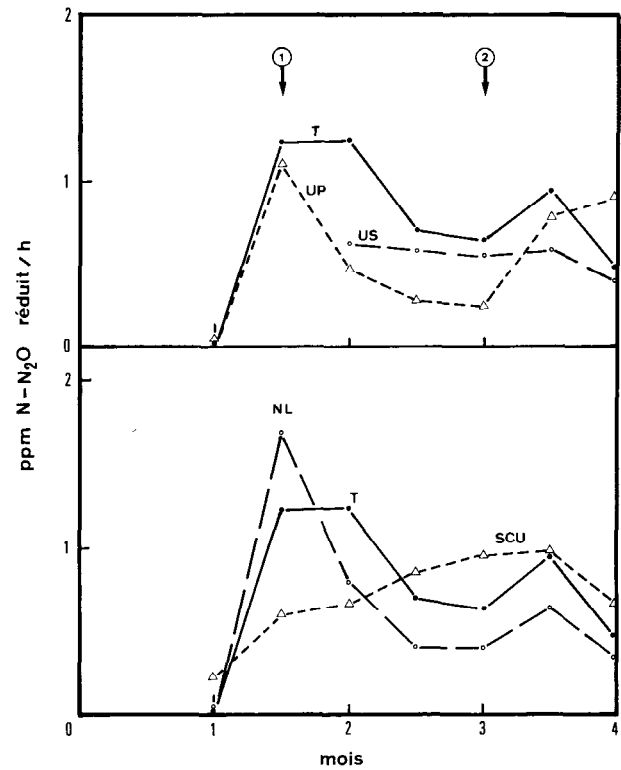


Fig. 2. — Activité dénitrifiante initiale déterminée par la réduction de N_2O dans la rhizosphère du riz. Même légende que la figure 1.

substrats carbonés directement assimilables. En sol nu, elle est pratiquement constante pendant toute la durée de l'expérience, quel que soit le traitement (fig. 3). Par contre, dans la rhizosphère, l'activité atteint très vite un haut niveau (riz de 1 mois) puis diminue rapidement. Après 2 mois, elle est la même qu'en sol nu.

3. RENDEMENTS

Dans le tableau I sont portés, pour chaque traitement et pour 10 pieds de riz, le nombre total d'épis, le poids sec de grains récoltés pour l'ensemble des pieds et par épi. Le meilleur rendement a été obtenu avec l'urée en profondeur, ce mode d'épandage ayant entraîné une perte minimum d'azote comme le traduisent les mesures de dénitrification. La N-Lignine n'a eu aucun effet sur le rendement par rapport au témoin. Avec un épandage de SCU, le rendement est analogue à celui qui est obtenu avec l'urée épandue en surface.

Au tableau II sont rapportés les résultats statistiques relatifs à la comparaison de l'effet des traitements. Les

traitements à l'urée non enrobée sont significativement différents du témoin et l'un de l'autre. Le traitement avec N-Lignine et le témoin ne sont pas significativement différents de même que les traitements avec urée en surface et SCU.

DISCUSSION

La méthode de réduction de N_2O appliquée à des échantillons de sol de rizière a permis de confirmer un résultat connu : l'application de l'engrais azoté en profondeur réduit ou annule les pertes d'azote comparativement à ce qui est observé dans le cas d'une application en surface. D'autre part, les résultats obtenus permettent d'affirmer que la N-Lignine et le SCU ne sont pas des inhibiteurs de nitrification mais constituent simplement des libérateurs lents de N_2 . En effet, la perte par dénitrification consécutive à la nitrification de l'engrais, intervient plus tardivement que dans le cas de l'urée non enrobée.

TABLEAU I
RENDEMENTS OBTENUS POUR 10 PIEDS DE RIZ

Traitement	Nombre d'épis	Poids sec de grains g	Poids sec de grains par épi g
Témoin T	58	46,7	0,81
Urée en surface US	77	102,7	1,33
Urée en profondeur UP	106	149,3	1,41
N-Lignine NL	55	43,6	0,79
Urée enrobée SCU	75	83	1,11

TABLEAU II
COMPARAISON DU NOMBRE D'ÉPIS PAR PIED SELON LES TRAITEMENTS, A L'AIDE DU TEST T DE SUDENT-FISCHER

t 0.1 % = 3,922; t 2 % = 2,552; t 5 % = 2,101;
t 20 % = 1,330

Comparaison des traitements	t	Probabilité d'erreur %
T - US	2,567	2
T - UP	4,480	0,1
T - NL	0,275	90
T - SCU	1,465	20
US - UP	2,552	2
UUS - NL	2,101	5
US - SCU	0,127	90
UUR - NL	3,922	0,1
UP - SCU	2,279	5
NL - SCU	1,330	20

T = témoin SCU = Sulfur coated urea
US = urée en surface NL = N-Lignine
UP = urée en profondeur

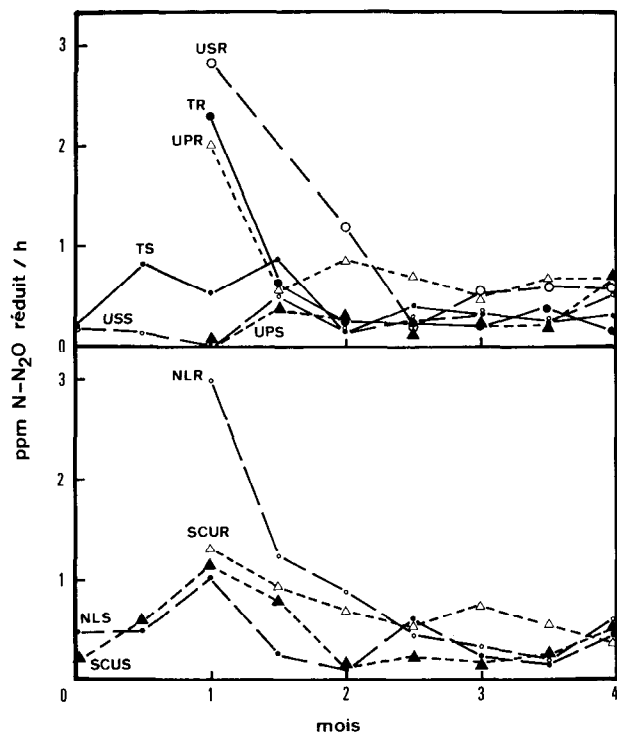


Fig. 3. — Activité dénitrifiante potentielle déterminée par la réduction de N₂O, mesurée dans la rhizosphère (R) et en sol nu (S). Même légende que la figure 1.

Dans la rhizosphère du riz, la forme des engrais ou les modalités d'application ont une incidence beaucoup moins marquée qu'en sol nu. Ceci est en accord avec les observations antérieures (De et Digar, 1955; Broadbent et Tusneem, 1971) selon lesquelles la culture du riz diminue la perte d'azote par rapport au sol nu. Ceci pourrait résulter de l'absorption de NH₄⁺ par les plantes avant qu'il ne soit oxydé puis perdu par dénitrification. Si les conditions de la dénitrification dans la rhizosphère du riz sont nettement plus favorables qu'en sol nu (Garcia, 1975 c), il semblerait donc que les pertes réelles y soient plus faibles.

Comparativement au sol nu, l'activité dénitrifiante potentielle de la rhizosphère atteint très vite un haut niveau puis diminue rapidement pour atteindre le niveau inférieur observé pour le sol nu. L'effet rhizosphère du riz sur la dénitrification serait donc maximum dans les premiers stades de la croissance de la plante.

La meilleure façon de réduire les pertes d'azote et par conséquent d'augmenter le rendement du riz, est d'appliquer l'engrais azoté en profondeur. Ce procédé est d'ailleurs en cours de développement, comme nous l'avons vu précédemment, en Extrême-Orient. L'emploi de SCU comme engrais-retard a donné un résultat

identique à celui de l'urée non enrobée appliquée en surface. Mais ce produit a été répandu en une seule fois avant la submersion, en quantité moindre et en surface. La solution consisterait probablement à appliquer l'engrais-retard en profondeur avant la submersion pour réduire les pertes d'azote. En outre, on supprimerait deux façons culturales. L'urée enrobée de soufre (SCU) semble permettre une libération suffisamment lente de N_2 et devrait convenir. Par contre, la N-Lignine a entraîné les plus grandes pertes d'azote et n'a conduit à aucune amélioration du rendement par rapport au témoin. Cet engrais n'est donc pas à conseiller pour le riz inondé.

Manuscrit reçu au Service des Publications le 11 mai 1977

BIBLIOGRAPHIE

- ALECKSIC (Z.), BROESHART (M.), MIDDELBOE (V.), 1968. — Shallow depth placement of $(NH_4)_2SO_4$ in submerged rice soils as related to gaseous losses of fertilizer nitrogen and fertilizer efficiency. *Pl. Soil*, 29 : 338-342.
- ANJANEYA (S.D.), 1974. — Relative efficiency of fertilizer nitrogen with and without nitrification inhibitor on IR8 rice. *Andhra Agric. J.*, 19 : 139-144.
- AZAD (M.I.), KHAN (A.A.), 1968. — Reduction of nitrogen losses through denitrification from paddy soil by the application of pesticides. *West Pak. J. Agr. Res.*, 6 : 128-133.
- GARCIA (J.-L.), 1975 a. — La dénitrification dans les sols. *Bull. Inst. Pasteur*, 73 : 167-193.
- GARCIA (J.-L.), 1975 b. — Evaluation de la dénitrification dans les rizières par la méthode de réduction de N_2O . *Soil Biol. Biochem.*, 7 : 251-256.
- GARCIA (J.-L.), 1975 c. — La dénitrification dans la rhizosphère du riz. *Soc. Bot. Fr., Coll. Rhizosphère* : 122-131.
- ICHIKAWA (T.), SETO (S.), GOTO (K.), 1968. — Denitrification resistant fertilizers. *Japan*, 71 29,765, 3 p. (in *Chem. Abstr. Biochem. Sec.*, 78, 83316s).
- ICHIKAWA (T.), SETO (S.), GOTO (K.), 1968. — Aromatic ketonitriles as inhibitors of nitrogen loss from soils. *Japan*, 72 04,965, 3 p. (in *Chem. Abstr. Biochem. Sec.*, 78, 70719a).
- INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, 1970. — Rice fertilization. *Tech. Repts Ser.*, 108 : 1-6.
- I.R.R.I., 1974. — Research Highlights, p. 25.
- MARUMOTO (T.), KIDA (M.), YAMAZAKI (K.), 1974. — Effect of nitrification inhibitors on the nitrification of ammonium fertilizers and the yield of rice sown directly on an unflooded paddy field. 3 - Relation between the effect of 2-mercaptobenzothiazole and the fertilizer particle size. *Yamaguchi Daigaku Nogakubu Gakujutsu Hokoku*, 25 : 1015-1028 (in *Chem. Abstr. Biochem. Sec.*, 83, 57331b).
- MITSUI (S.), WATANABE (I.), HONMA (M.), HONDA (S.), 1964. — The effect of pesticides on the denitrification in paddy soil. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 10 : 15-23.
- O.U.A., 1974. — Amélioration des engrais pour les pays en voie de développement. *Séminaire Ibadan*, doc. multigr., p. 10.
- PATRICK (W.H. Jr.), DELAUNE (R.D.), 1972. — Characterization of the oxidized and reduced zones in flooded soil. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 36 : 573-576.
- PATRICK (W.H. Jr.), GOTOH (S.), 1974. — The role of oxygen in nitrogen loss from flooded soils. *Soil Sci.*, 118 : 78-81.
- PATRICK (W.H. Jr.), PETERSON (F.J.), TURNER (F.T.), 1968. — Nitrification inhibitors for lowland rice. *Soil Sci.*, 105 : 103-105.
- PATRICK (W.H. Jr.), TUSNEEM (M.E.), 1972. — Nitrogen loss from flooded soil. *Ecology*, 53 : 735-737.
- RAJALE (G.B.), PRASAD (R.), 1973. — Nitrification inhibitors and slow-release nitrogen fertilizers for rice (*Oryza sativa* L.). *J. Agric. Sci., Camb.*, 80 : 479-487.
- TAKAI (Y.), UEHARA (Y.), 1973. — Nitrification and denitrification in the surface layer of submerged soil. Part 1. Oxidation-reduction condition, Nitrogen transformation and bacterial flora in the surface and deeper layers of submerged soils. *J. Soil Sci. Man., (Japan)*, 44 : 463-470.
- TENNESSEE VALLEY AUTHORITY, 1972. — Tailoring of fertilizers for rice. *Bull. Y-52* : 38-42.
- TUSNEEM (M.E.), PATRICK (W.H. Jr.), 1971. — Nitrogen transformations in waterlogged soil. *Louisiana State Univ. Agric. Expt. Sta. Bull.*, 657 : 1-75.
- YOSHIDA (T.), PADRE (B.C. Jr.), 1974. — Nitrification and denitrification in submerged Maahas clay soil. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 20 : 241-247.