

Influence de la rhizosphère du riz sur l'activité dénitrifiante potentielle des sols de rizières du Sénégal

J.-L. GARCIA *

RÉSUMÉ

L'étude de l'influence de la rhizosphère du riz sur l'activité dénitrifiante potentielle et le nombre de bactéries dénitrifiantes des sols de rizières du Sénégal a permis de mettre en évidence un effet stimulant du riz. Cette stimulation strictement localisée à la mince pellicule de sol adhérent aux racines, est d'autant plus marquée que le sol est plus pauvre en carbone organique.

SUMMARY

A study of the influence of the rhizosphere of rice on the potential denitrifying activity and the number of denitrifiers in paddy soils from Senegal, has shown that a stimulating effect of rice exists. This stimulation is strictly restricted to the thin layer of soil adhering to the roots and is specially evident as the soil is poorer in organic carbon.

ZUSAMMENFASSUNG

Das Studium des Einflusses der Reiserhizosphäre auf die potentielle Nitratreduktion und die dissimilatorisch-nitratreduzierende Flora lässt einen stimulierenden Effekt des Reises erkennen. Dieser Effekt ist auf das dünne Erdhäutchen beschränkt, das an den Wurzeln klebt. Er ist um so deutlicher, je ärmer der Boden an organischem Kohlenstoff ist.

INTRODUCTION

La stimulation de la dénitrification par les plantes et le rôle des bactéries dans ce processus ont été clairement prouvés notamment par WOLDENDORP (1963). Selon MACURA (1966), la consommation élevée d'oxygène par les racines et par la microflore, créée dans la rhizosphère des conditions anaérobies, qui, s'ajoutant à la disponibilité de substances donatrices d'hydrogène excrétées par les racines,

* O.R.S.T.O.M., Laboratoire de Microbiologie du sol, B.P. 1386, Dakar (Sénégal)

22 MARS 1974
O. R. S. T. O. M.

Collection de Référence

n° 6729 Bio Solo

sont la cause d'une dénitrification élevée. Dans une revue bibliographique, STARKEY (1959), cite de nombreuses références concernant les microorganismes dénitrifiants qui ont été trouvés en plus grand nombre dans la rhizosphère de diverses plantes supérieures. En ce qui concerne le riz, WU (1967) a montré que le nombre de bactéries dénitrifiantes est faible au début et s'accroît brusquement jusqu'au stade du tallage maximum, principalement sur la surface des racines. Cependant, selon MAHMÔUD et IBRAHIM (1970), les bactéries dénitrifiantes seraient moins nombreuses dans la rhizosphère du riz que dans un sol sans racines. Mais il convient de rappeler qu'en condition aérobie, les bactéries dénitrifiantes sont capables de se développer sans dissimiler le nitrate, donc que leur présence en plus ou moins grand nombre ne reflète pas nécessairement l'importance du processus de dénitrification.

Divers dispositifs de culture (ROSS, MARTIN et HENZELL, 1964; STEFANSON et GREENLAND, 1970) ont été utilisés jusqu'à présent pour mesurer l'influence de la rhizosphère de diverses plantes sur la dénitrification, mais pas dans le cas du riz à notre connaissance. Comme beaucoup de plantes aquatiques, le riz assure l'aération de ses racines en transportant de l'oxygène qui est également utilisé par la microflore se trouvant sur les racines mêmes (RAALTE, 1941; ALBERDA, 1963; ARMSTRONG, 1969; LUXMOORE et STOLSY, 1970). Logiquement, la dénitrification, phénomène inhibé par l'oxygène (PICHINOTY, 1965), devrait être extrêmement faible sur les racines du riz; mais l'influence de l'oxygène doit progressivement diminuer avec l'éloignement des racines jusqu'à une zone de la rhizosphère proche où les conditions deviennent favorables à la dénitrification.

La présente étude a pour but de rechercher l'influence de la culture du riz sur l'activité dénitrifiante potentielle et sur la densité des bactéries dénitrifiantes.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

La variété de riz IR8 a été cultivée sur 23 sols de rizières du Sénégal, décrits par ailleurs (GARCIA, RAIMBAULT, JACQ, RINAUDO et ROGER, 1973) et classés dans le tableau I, dans des colonnes plates en chlorure de polyvinyle transparent, de dimensions $200 \times 50 \times 15$ mm, décrites par DOMMERGUES, COMBREMONT, BECK et OLLAT (1969). Ces colonnes sont fermées à la base mais s'ouvrent latéralement pour permettre d'accéder facilement aux racines. Pour chaque sol, on utilise 2 boîtes qui reçoivent chacune 10 graines de riz préalablement stérilisées par $HgCl_2$ et prégermées; une troisième boîte constitue le témoin non planté. Le sol est maintenu saturé en eau pendant une quinzaine de jours, puis les vases de végétation sont immergés dans des récipients plus grands pendant un mois et demi.

Après ce laps de temps, les sols sont récoltés puis séchés à l'air et tamisés à 2 mm, en 3 lots d'échantillons distincts: le sol témoin (S); le sol rhizosphérique (R), mince pellicule de 1 à 2 mm adhérent aux racines après secouage; le sol éloigné (SE) qui reste dans les boîtes après avoir enlevé et secoué les racines.

Des mesures de dénitrification potentielle au respiromètre de WARBURG ont été effectuées sur l'ensemble des 3 lots d'échantillons selon la méthode de Mc GARITY (1961) en incubant 25 g de sol ajusté à l'humidité équivalente, après un apport de 100 ppm de $N-NO_3^-$ sous forme de KNO_3 , dans des fioles de 130 ml environ, sous atmosphère d'azote très pur, à 30 °C; des mesures de pression sont effectuées toutes les 3 à 4 h pendant plusieurs jours.

Le nombre de bactéries dénitrifiantes de l'ensemble des 3 lots d'échantillons, a été déterminé par la méthode du nombre le plus probable de Mc CRADY, en ensemençant 1 ml de chaque dilution de sol dans des tubes à essais de 12 × 120 mm contenant le milieu faiblement gélosé suivant : Na_2HPO_4 , 12 H_2O , 3,575 g; KH_2PO_4 , 0,980 g; $MgSO_4$, 0,030 g; extrait de levure Difco, 1 g; bacto-peptone Difco, 1 g; succinate de sodium, 10 g; KNO_3 , 10 g; bacto-agar Difco, 2 g; eau distillée, q.s.p. 1 000 ml. Après ensemencement, on recouvre le milieu avec 2 à 3 ml d'agar mou à 5 p. mille et on met en incubation à 30 °C pendant une quinzaine de jours. Les tubes sont comptés comme positifs lorsqu'il y a eu formation de bulles de gaz.

Pour estimer la croissance, les plants de riz ont été lavés puis mis à l'étuve à 80 °C. Après plusieurs jours, leur poids sec a été noté.

Les résultats ont été soumis à l'analyse statistique suivant le test de corrélation des rangs de SPEARMAN décrit par BAUZON, VAN DEN DRIESSCHE et DOMMERGUES (1969).

RÉSULTATS ET DISCUSSION

1. CROISSANCE DU RIZ.

Les résultats sont rapportés au tableau II. Les sols nos 1, 2, 13 et 18 ont montré une croissance faible tandis que les meilleurs sols se révélaient être, dans l'ensemble, ceux des stations expérimentales (sols nos 10, 11, 24, 9, 25, 15 et 27 — tableau I).

2. ACTIVITÉ DENITRIFIANTE POTENTIELLE.

Elle a été exprimée par la vitesse de dénitrification, c'est-à-dire le nombre de μg d'azote dégagé par heure, après apport aux échantillons de sol, de 100 ppm d'azote nitrique sous forme de KNO_3 .

Les résultats, consignés au tableau II, montrent une très nette augmentation de l'activité dénitrifiante potentielle dans la rhizosphère; le rapport entre les vitesses de dénitrification dans les échantillons R et S (R/S) est supérieur à 1 dans tous les cas et varie de 2,0 à 14,2. Par contre, le rapport relatif aux

TABLEAU I
Répartition des sols de rizières du Sénégal étudiés
Distribution of Senegal paddy soils studied

	Région	Salinité	Mise en valeur	Station ou localité	N°
Casiers irrigués de stations expérimentales	Casamance	non ou peu salés	RP	Djibelor	10
			RP	Djibelor	11
			RP	Djibelor	12
			RP	Djibelor	24
			RP	Goudomp	15
		salés	RP – MA	Dar-Salam	9
	Delta du fleuve Sénégal	non ou peu salés	RP	Ross-Bethio	25
			RP	Boundoum	26
			RP	Ntiagar	27
RP			Keur-Diallo	28	
Rizières artisanales	Casamance	non salés	RB	Boutolat	1
			RB	Loudia	7
			RB	Oussouye	8
			RB	Sibink	14
			RP	Bambato	16
			RP	Tanaff	17
		peu salés	RB – MA	Bignona	2
	RB – MA		Niaguisse	13	
	RB		Diango	18	
		salés	RB	Bounkilinn	19
	RP – MR		Enanpor	21	
Divers	salés	RP	Kaolack	20	
		RP	Thiaroye	23	

RP = rizière plane

RB = rizière cultivée en billons

MA = rizière aménagée sur une ancienne mangrove

MR = sol de mangrove récemment défriché.

échantillons SE et S (SE/S) est très voisin de 1 et varie de 0,5 à 1,4. L'influence des racines est donc bien limitée à la mince pellicule de terre qui y adhère.

Dans l'ensemble, l'activité dénitrifiante potentielle de la rhizosphère est élevée, quel que soit le sol considéré. Le test de corrélation des rangs de SPEARMAN indique une corrélation positive hautement significative entre le poids sec de matériel végétal et l'activité dénitrifiante potentielle de R. Comme l'exsudation racinaire est liée à la quantité de matériel végétal (MACURA, 1966), la dénitrification potentielle serait donc en relation avec la quantité d'exsudats racinaires. Ces derniers sont, en effet, constitués de substances immédiatement assimilables donatrices d'hydrogène.

TABLEAU II

Croissance du riz et effet rhizosphère sur l'activité dénitrifiante potentielle des sols de rizières du Sénégal

Growth of rice and rhizosphere effect on the potential denitrifying activity of paddy soils from Senegal

Sols		Matériel végétal riz (20 graines) poids sec (g)	Vitesse de dénitrification (ppm N dégagé/h)			Rapport des vitesses de dénitrification		Différence entre les temps de dénitrification de S et R (h)
N°	Localité		R	SE	S	R/S	SE/S	
1	Boutolat	2,1	2,20	0,30	0,30	7,3	1,0	230
2	Bignona	1,3	1,75	0,20	0,25	7,0	0,8	210
7	Loudia	4,3	2,50	0,45	0,45	5,5	1,0	160
8	Oussouye	4,4	4,00	0,75	0,95	4,2	0,8	90
9	Dar-Salam	5,4	2,05	0,65	0,65	3,1	1,0	80
10	Djibelor	7,1	7,60	2,25	3,45	2,2	0,6	30
11	Djibelor	6,7	3,25	0,35	0,35	9,3	1,0	110
12	Djibelor	3,8	1,15	0,15	0,12	9,6	1,2	320
13	Niaguise	1,3	0,70	0,30	0,35	2,0	0,8	160
14	Sibink	4,0	2,55	0,35	0,40	6,4	0,9	180
15	Goudomp	4,8	2,55	0,50	0,50	5,1	1,0	170
16	Bambato	4,3	11,00	2,30	2,75	4,0	0,8	30
17	Tanaff	7,8	5,25	0,65	0,75	7,0	0,8	110
18	Diango	2,4	2,25	0,60	0,65	3,5	0,9	100
19	Boungilinn	2,6	2,00	0,35	0,40	5,0	0,9	55
20	Kaolack	3,9	2,75	0,15	0,30	9,1	0,5	150
21	Enanpor	3,6	2,85	0,15	0,20	14,2	0,7	230
23	Thiaroye	6,0	3,70	1,05	1,30	2,8	0,8	30
24	Djibelor	6,2	7,50	2,25	2,40	3,1	0,9	25
25	Ross-Bethio	4,9	1,80	0,65	0,60	3,0	1,1	50
26	Boundoum	1,2	3,75	0,50	0,65	5,8	0,8	50
27	Ntiagar	4,3	1,30	0,47	0,33	3,9	1,4	150
28	Keur-Diallo	2,1	1,85	0,35	0,35	5,3	1,0	200

D'autre part, la différence entre les temps de dénitrification totale de S et de R et la teneur initiale des sols en carbone organique, présentent une corrélation des rangs inverse hautement significative. Ce résultat est bien illustré par les figures 1 et 2 concernant les sols n^{os} 10 et 14, dont la teneur en carbone organique a pour rangs respectifs 2 et 18. Plus un sol est riche en carbone organique, moins l'effet rhizosphère du riz sur l'activité dénitrifiante potentielle sera marqué.

Ces résultats sont à rapprocher de ceux décrits par de nombreux auteurs et qui concernent l'apport, lors de la dénitrification, d'un substrat carboné : celui-ci n'a presque pas d'effet quand la teneur en carbone est élevée, mais augmente considérablement l'activité dénitrifiante potentielle des sols pauvres en carbone organique.

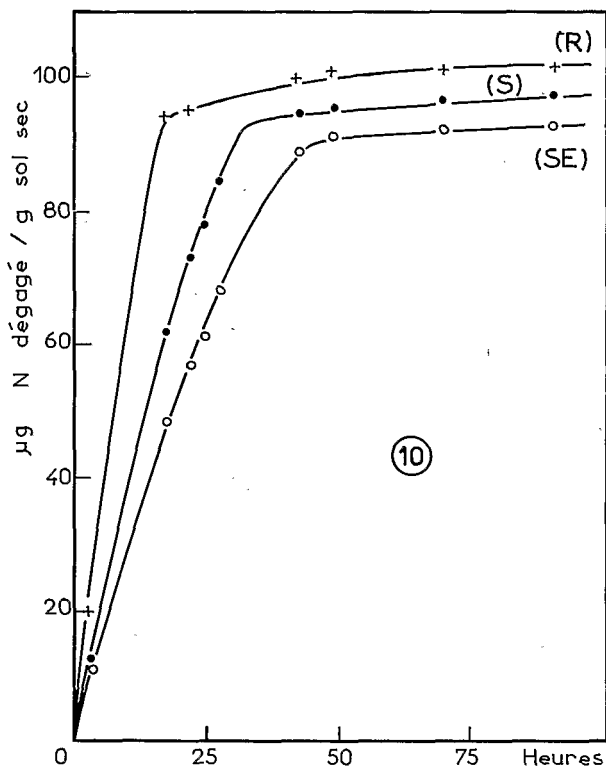


FIG. 1. — Effet rhizosphère du riz sur la dénitrification potentielle du sol de rizière n° 10 (teneur en carbone organique : 56,8 %): µg d'N dégagé par g de sol sec, après apport de 100 µg d'N-NO₃⁻ sous forme de KNO₃ et incubation anaérobie à 30 °C à l'humidité équivalente;

+——+ (R) rhizosphère; ●——● (S) sol non planté; ○——○ (SE) sol éloigné.

3. NOMBRE DE BACTÉRIES DÉNITRIFIANTES.

Le nombre de bactéries dénitrifiantes augmente sensiblement dans la rhizosphère dans presque tous les cas (tableau III). En effet, le rapport R/S est toujours supérieur à 1 sauf pour le sol n° 27, et atteint le chiffre 514 pour le sol n° 11; nous n'avons pas trouvé cependant de corrélation des rangs avec le poids sec de matériel végétal. Le rapport SE/S est souvent inférieur à 1 sauf dans 6 cas sur 23, et varie de 0,01 à 4,00. On assiste donc souvent à un appauvrissement en germes dénitrifiants du sol éloigné par rapport au sol non planté.

Nous avons trouvé une corrélation des rangs positive et faiblement significative entre le nombre de bactéries dénitrifiantes et l'activité dénitrifiante potentielle dans

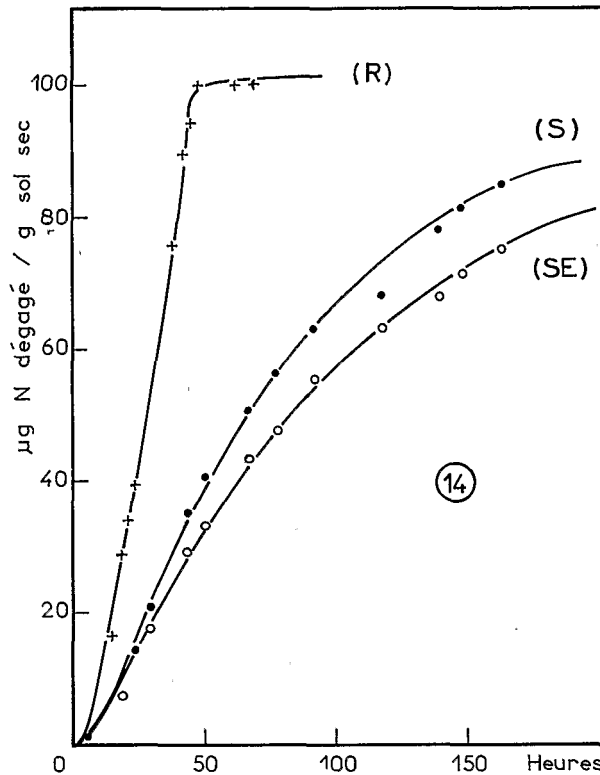


FIG. 2. — Effet rhizosphère du riz sur la dénitrification potentielle du sol de rizière n° 14 (teneur en carbone organique = 15,9 %): μg d'N dégagé par g de sol sec, après apport de $100 \mu\text{g}$ d' N-NO_3^- sous forme de KNO_3 et incubation anaérobie à 30°C à l'humidité équivalente;

+ — + (R) rhizosphère; ● — ● (S) sol non planté; ○ — ○ (SE) sol éloigné.

le cas de la rhizosphère R, pas de corrélation pour le sol non planté S et une corrélation positive hautement significative pour le sol éloigné SE.

CONCLUSIONS

Nous avons mis en évidence un effet rhizosphère positif dans les conditions de la mesure : le riz stimule la dénitrification potentielle en mettant des substances donatrices d'électrons à la disposition de la microflore dénitrifiante qui est également en augmentation dans la rhizosphère. Cette stimulation est d'autant plus marquée que le sol est plus pauvre en carbone organique. Peut-on en conclure

TABLEAU III

Effet rhizosphère du riz sur la numération des bactéries dénitrifiantes : bactéries/g sol sec
Rhizosphere effect of rice on the number of denitrifying bacteria : bacteria/g dry soil

N°	Localité	S	SE	R	R/S	SE/S
1	Boutolat	800	1 400	16 000	20,0	1,75
2	Bignona	13 000	1 400	16 000	1,2	0,10
7	Loudia	3 500	3 000	35 000	10,0	0,85
8	Oussouye	110 000	25 000	170 000	1,5	0,22
9	Dar-Salam	500 000	7 000	1 700 000	3,4	0,01
10	Djibelor	35 000	13 000	350 000	10,0	0,37
11	Djibelor	35 000	11 000	18 000 000	514,0	0,31
12	Djibelor	3 000	450	250 000	83,3	0,15
13	Niaguise	17 500	900	120 000	6,8	0,05
14	Sibink	50 000	4 500	200 000	4,0	0,09
15	Goudomp	11 000	8 000	250 000	22,7	0,72
16	Bambato	14 000	35 000	90 000	6,4	2,50
17	Tanaff	35 000	25 000	1 600 000	45,7	0,71
18	Diango	5 000	11 000	1 600 000	320,0	2,20
19	Bounkilinn	6 000	6 000	20 000	3,3	1,00
20	Kaolack	20 000	35 000	450 000	22,5	1,75
21	Enanpor	90 000	5 000	250 000	2,8	0,05
23	Thiaroye	35 000	14 000	35 000	1,0	0,40
24	Djibelor	900 000	250 000	900 000	1,0	0,27
25	Ross-Berthio	8 000	6 000	140 000	17,5	0,75
26	Boundoum	200 000	80 000	500 000	2,5	0,40
27	Ntiagar	150 000	13 000	40 000	0,2	0,08
28	Keur-Diallo	40 000	160 000	170 000	4,2	4,00

que la dénitrification soit intense dans la rhizosphère du riz *in situ* ? Rien n'est moins certain car le riz possède des canaux aérifères permettant d'approvisionner ses racines en oxygène qui inhibe la dénitrification. La prolifération des germes dénitrifiants dans la rhizosphère aux dépens des substances carbonées facilement assimilables présentes dans les exsudats racinaires, pourrait donc avoir lieu en aérobie, condition dans laquelle ces germes ne dissimilent pas le nitrate. Une expérimentation complémentaire sur des plantes vivantes est donc nécessaire pour savoir si, dans la rhizosphère du riz, la dénitrification est stimulée ou inhibée par rapport au sol non planté.

REMERCIEMENTS

L'auteur remercie MM. M. MOURARET et F. PICHINOTY pour les conseils qu'ils lui ont prodigués ainsi que MM. W. SY et M. N'DAO pour leur collaboration technique.

BIBLIOGRAPHIE

- ALBERDA T., 1953. — Growth and root development of lowland rice and its relation to oxygen supply. *Plant and Soil*, **5**, 1-28.
- ARMSTRONG W., 1969. — Rhizosphere oxidation in rice : an analysis of intervarietal differences in oxygen flux from the roots. *Physiol. Plant.*, **22**, 296-303.
- BAUZON D., VAN DEN DRIESSCHE R. et DOMMERGUES Y., 1969. — L'effet litière; I. Influence *in situ* des litières forestières sur quelques caractéristiques biologiques des sols. *Æcol. Plant.*, **4**, 99-122.
- DOMMERGUES Y., COMBREMONT R., BECK G. et OLLAT C., 1969. — Note préliminaire concernant la sulfato-réduction rhizosphérique dans un sol salin tunisien. *Rev. Ecol. Biol. Sol*, **6**, 115-129.
- GARCIA J.-L., RAIMBAULT M., JACQ V., RINAUDO G. et ROGER P., 1973. — Activités microbiennes dans les sols de rizières du Sénégal : relations avec les caractéristiques physico-chimiques et influence de la rhizosphère. *Rev. Ecol. Biol. Sol* (sous presse).
- LUXMOORE R.J. and STOLSY L.H., 1970. — Oxygen diffusion in the soil-plant system. *Agron. J.*, **62**, 322-324.
- MACURA J., 1966. — Interactions nutritionnelles plantes-bactéries et bases expérimentales de la bactérisation des graines. Rapport général. *Ann. Inst. Pasteur*, supplément **111**, 9-38.
- Mc GARITY J.W., 1961. — Denitrification studies on some south australian soils. *Plant and Soil*, **14**, 1-21.
- MAHMOUD S.A.Z. and IBRAHIM A.N., 1970. — Studies on the rhizosphere microflora of rice. *Acta Agron. Acad. Hung.*, **19**, 71-78.
- PICHINOTY F., 1965. — L'inhibition par l'oxygène de la dénitrification bactérienne. *Ann. Inst. Pasteur*, supplément **109**, 248-255.
- RAALTE M.H. Van, 1941. — On the oxygen supply of rice roots. *Ann. Jard. Bot. Buitenz.*, **51**, 43-57.
- ROSS R.J., MARTIN A.E. and HENZELL E.F., 1964. — A gas-tight growth chamber for investigating gaseous nitrogen changes in the soil : plant : atmosphere system. *Nature*, **204**, 444-447.
- STARKEY R.L., 1959. — Interrelationships between microorganisms and plant roots in the rhizosphere. *Bact. Rev.*, **22**, 154-176.
- STEFANSON R.C. and GREENLAND D.J., 1970. — Measurement of nitrogen and nitrous oxide evolution from soil-plant systems using sealed growth chambers. *Soil Sci.*, **109**, 203-206.
- WOLDENDORP J.W., 1963. — The influence of living plants on denitrification. *Meded. Landbhooges. Wageningen*, **63**, 13, 1-100.
- WU M.M.H., 1967. — Microbiological studies of the rhizosphere of rice in the poorly drained paddy soil. *Soils Fertil. Taiwan*, 23-31.