

CN0101042

(F. G. / I. D.)

DOCUMENT N. 49/84

Juin 1984

*ETUDE DE LA NITRIFICATION RHIZOSPHERIQUE CHEZ  
Pennisetum typhoides dans un sol dior*

*par*

*F. GANRY*

Ingenieur de Recherches IRAT detache a l'ISRA

ETUDE DE LA NITRIFICATION RHIZOSPHERIQUE  
CHEZ PENNISETUM TYPHOIDES DANS UN SOL DIOR

Par  
F. GANRY

Cette étude a été réalisée en 1970 sous la direction du Professeur Y. DOMMERGUES dans le laboratoire de microbiologie du sol du Centre de Pédologie Biologique de Nancy ; elle a fait l'objet d'un mémoire de Diplôme d'Etude Approfondie (D.E.A.), option Pédologie. En raison du regain d'intérêt pour les études de nutrition azotée des céréales, suscite principalement par la recession des engrais azotés, il nous a paru justifié de diffuser les résultats de la présente étude,

## AVANT - PROPOS

\*\*\*\*\*

C'est à partir d'une étude de la dynamique de l'azote in situ que fut émise l'hypothèse d'une nitrification rhizosphérique dont la vérification a fait l'objet de notre travail.

Voici, extrait du rapport de la mission effectuée au C.N.R.A. de Bambey par Monsieur Y. DOMMERGUES en Septembre 1969, les résultats, fondés à partir de l'expérimentation sur le terrain, qui ont donné lieu à cette hypothèse.

### a/ - Variations saisonnières de la teneur du sol nu en azote ammoniacal et nitrique

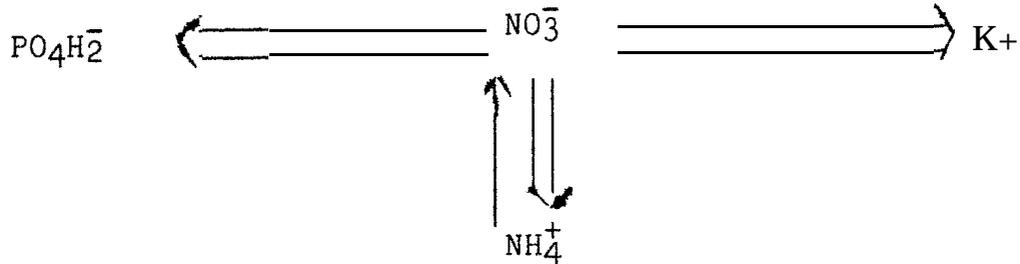
Dès les premières pluies, la teneur du sol Dior en azote minéral (ammoniacal et/ou nitrique) s'accroît brusquement ; mais cet enrichissement n'est que provisoire puisqu'au bout de 20 à 25 jours environ, la teneur du sol retombe à son niveau initial, qui est très bas. La saison de végétation comporte donc deux phases (1) une première phase ou phase de minéralisation nette intense qui dure environ 3 semaines, (2) une deuxième phase ou phase de minéralisation nette négligeable qui s'étale sur tout le reste de la saison des pluies. Il est probable qu'au cours de la première phase, il y a minéralisation de tout le stock de matière organique minéralisable du sol, la nitrification étant possible, malgré l'acidité moyenne élevée (pH = 5,1), en raison de l'existence au sein du sol de microhabitats présentant localement un pH supérieur à 6,0.

### b/ - Variations saisonnières de la teneur du même sol Dior ayant reçu un apport d'urée.

Lorsque l'urée est appliquée pendant la première phase, elle est nitrifiée normalement, vraisemblablement au contact des microhabitats à pH supérieur à 6,0. Mais lorsque l'urée est appliquée au cours de la deuxième phase, elle n'est pas nitrifiée, mais seulement ammonifiée, vraisemblablement par suite de la minéralisation de ces microhabitats qui aboutit à leur destruction. Toutefois, l'analyse des nitrates dans les plantes (notamment les racines) se développant sur un sol de la deuxième phase, donc ne nitrifiant pas, révèle une accumulation de nitrates dans ces plantes; il est vraisemblable que le nitrate provient d'une nitrification de l'azote ammoniacal le long des racines. On entrevoit dès maintenant l'importance de cette nitrification rhizosphérique dans l'équilibre minéral azoté.

INTRODUCTION

L'étude physiologique de l'absorption chez Pennisetum typhoides a révélé le rôle capital de l'ion nitrique dans la nutrition azotée, potassique et phosphatée de cette plante. En effet l'absorption de  $\text{NO}_3^-$  conditionne physiologiquement l'absorption de  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{PO}_4\text{H}_2^-$  et  $\text{K}^+$ ;  $\text{NH}_4^+$  favorisant lui-même l'absorption de  $\text{NO}_3^-$ . On peut symboliser ceci par :



d'après JACQUINOT (1968)

Dans des sols très pauvres, voire dépourvus en nitrates, on entrevoit dès lors l'intérêt d'une recherche des modalités de la nitrification rhizosphérique, problème qui jusqu'à présent n'a pas été étudié.

Dans ce processus microbiologique, sont impliqués les 3 facteurs fondamentaux de l'écosystème sol-plante, à savoir : le sol, les nitrificateurs et la plante.

Notre étude comporte trois volets principaux :

- Les micro-organismes nitrificateurs
- Les facteurs édaphiques
- Le facteur plante.

Premiere Partie.

ROLE SPECIFIQUE: DES MICRO-ORGANISMES NITRIFICATEURS  
RHIZOSPHERIQUES DANS LA FOURNITURE DE L'AZOTE NITRIQUE A LA PLANTE

- A. Méthodes d'étude
- B. Justification de la démarche analytique adoptée
- c. Résultats obtenus.

## A - METHODES D'ETUDE

Pour cette étude nous avons adopté deux systèmes de culture en sol :

- le système fermé :

Le sol est contenu dans des colonnes transparentes en chlorure de polyvinyle de 200 x 5 x 15 cm, fermées à la base et s'ouvrant latéralement pour permettre d'accéder facilement aux racines. Le sol est réparti à raison de 150 g par colonne.

- Le système ouvert : "Méthode du flux continu"

Dans cette méthode, la solution nutritive ajoutée au sol de façon continue est toujours neuve. Les dosages d'azote minéral sont effectués quotidiennement ou biquotidiennement dans le percolat .

## B - JUSTIFICATION DE LA DEMARCHE ANALYTIQUE ADOPTÉE

L'espace où l'activité des micro-organismes nitrificateurs se manifeste ( en l'occurrence la rhizosphère ) doit théoriquement contenir plus de nitrates que l'espace environnant. Mais dans le cas de la rhizosphère, cette quantité de nitrates est toujours inférieure à la quantité qui résulte réellement de la nitrification nette, en raison de l'absorption nitrique racinaire. Nos premières expériences ont donc consisté à comparer les teneurs en  $\text{NO}_3^-$  (et  $\text{NH}_4^+$ ) dans la rhizosphère et la non rhizosphère:

- en système fermé : dans le sol rhizosphérique<sup>(1)</sup> et non rhizosphérique

zosphérique <sup>(2)</sup> - en système ouvert : dans le percolat du sol rhizosphérique et non rhizosphérique.

Nos expériences ont, par la suite, porté sur la numération des germes nitrificateurs autotrophes afin de démontrer leur rôle dans la présence de nitrate au sein de la rhizosphère :

- en système fermé : germes du sol rhizosphérique et non rhizosphérique

- en système ouvert : germes du percolat du sol rhizosphérique et non rhizosphérique.

## C - RESULTATS OBTENUS

### 1 - Système fermé

#### 1 - Mise en évidence d'une accumulation de nitrates dans la rhizosphère

a/ - Résultats Expérience 1 : à un seul traitement (conditions normales de culture, azote apporté sous forme de sulfate d'ammonium).

---

(1) - Par la structure particulière meuble de ces sols, le prélèvement de la racine est aisé. Celle-ci est entourée par une gaine de sol qui lui adhère et constitue ainsi le sol rhizosphérique. Le sol non rhizosphérique est prélevé au moins à un cm de la racine.

(2) - Les colonnes plantées renferment le sol rhizosphérique et les non plantées le sol non rhizosphérique.

Tableau 1 : Teneurs en  $N-NO_3^-$  (ppm) dans le sol rhizosphérique et non rhizosphérique (moyenne sur 19 échantillons ).

Origine du sol	$N-NO_3^-$ moyenne	ppds
Sol rhizosphérique	8,8	différence significative à P 0.05
Sol non rhizosphérique	1,9	

b/ -- Résultats expérience 2 : à deux traitements : sol stérile et sol non stérile.

Tableau 2 : Teneurs en  $N-NO_3^-$  et  $N-NH_4^+$  (ppm) dans le sol rhizosphérique (R) et non rhizosphérique (S) en conditions stériles et non stériles.

Ion dosé	Origine du sol	Traitement		ppds
		Sol stérile	Sol non stérile	
$NO_3^-$	R	0	2,1	Différences significati- ves à P0.05
	S	0	Traces 0,005	
$NH_4^+$	R	7,0	36,2	
	S	3,6	2,8	

### c/ - Discussion

A première vue, l'accumulation des sels dans la rhizosphère ne surprend pas, car par migration de la solution du sol de la non rhizosphère vers les racines, ces sels, sont transportés, et s'ils sont transportés à une concentration supérieure à la concentration de la solution absorbée, ils s'accumulent.

Mais : - de tous les anions,  $\text{NO}_3^-$  est le plus facilement absorbé (comme  $\text{NH}_4^+$  pour les cations)  
- dans le sol que nous étudions,  $\text{NO}_3^-$  est présent en très faible quantité.

Ces deux remarques nous font présumer que l'accumulation de  $\text{NO}_3^-$  mise en évidence le long de la racine est d'origine micro-biologique. L'absence de nitrate dans le sol rhizosphérique de l'expérience en conditions stériles vient à l'appui de cette hypothèse (tableau 2 ).

#### L'accumulation de $\text{NH}_4^+$ dans la rhizosphère peut s'expliquer:

- par la physiologie de l'absorption racinaire du mil (JACQUINOT 1968 ). En effet, dans un sol pauvre en nitrates, la diminution de l'absorption de  $\text{NO}_3^-$  n'est pas compensée par une absorption supplémentaire de  $\text{NH}_4^+$ , ce qui induit une ammonisation de la solution du sol au contact de la racine. Ceci est confirmé par les résultats de l'expérience N°2 en sol stérile et non stérile (tab. 2).

- par l'intervention des micro-organismes minéralisateurs par ammonification (BLONDEL, 1970), ce qu'atteste l'expérience n°2 où les teneurs en  $\text{NH}_4^+$  en sol stérile sont plus faibles qu'en sol non stérile.

Cet enrichissement en  $\text{NH}_4^+$  pourrait favoriser la nitrification rhizosphérique par :

- augmentation du pH de la rhizosphère
- augmentation de la teneur en  $\text{NH}_4^+$  qui est le substrat énergétique de *Nitrosomonas* (germes nitreux).

### 2 - Origine de cette accumulation

Nous avons calculé l'intensité de l'effet rhizosphérique sur le groupe des nitrificateurs par évaluation du rapport R/S.

R : nombre de germes nitrificateurs dans la rhizosphère  
s : nombre de germes nitrificateurs dans la non rhizosphère

Ces numérations nous permettent de calculer les densités absolues de micro-organismes mais non leur densité active. La teneur en nitrates à un instant donné est fonction de cette densité active (si l'on fait abstraction des autres causes capables de modifier cette teneur). Il est pour cette raison, difficile d'établir des corrélations entre nombre de germes et teneur en nitrates.

a/ - Résultats

Dans le tableau 3 sont consignés les résultats de l'interprétation statistique qui nous a permis de tester la divergence (ou la convergence) de la distribution réelle R/S et théorique 1.

b/ - Discussion

En sol Dior, l'intensité de l'effet rhizosphérique est significativement supérieure à 1.

En sol brun calcaire, les moyennes de germes nitrificateurs sont les mêmes dans la rhizosphère et dans la non rhizosphère. Le rapport R/S n'est pas significativement différent de 1, car ce sol présente toutes les caractéristiques physiques et biochimiques favorables à la nitrification (pH élevé, présence de carbonates, forte activité microbienne globale).

Ces caractéristiques sont exactement l'inverse en sol Dior (pH bas, pauvreté en carbonates, faible activité microbienne). Dans ce type de sol, la plante, en modifiant les conditions écologiques dans la zone du sol influencée par ses racines, induit un effet rhizosphérique favorable à la nitrification. Cet effet rhizosphérique n'existe pas quand les conditions écologiques du sol sont propices à la nitrification.

Tableau 3 : Test du  $\chi^2$  appliqué à deux distributions :  $\frac{R}{S}$  et 1  
 R : nombre de germes nitrificateurs dans la rhizosphère  
 S : nombre de germes nitrificateurs dans la non rhizosphère.

		N	Moyenne *	Divergence de 2 distributions réelle : $\frac{R}{S}$ / théorique : 1	Seuil du $\chi^2$	Commentaire
Sol Dior Bambey	R	21	14.600	$\chi^2 = 81,3$	32,9 (99 %)	Différence hautement significative
	S	21	7.700			
Sol brun calcaire de Pixérécourt.	R	5	35.750	$\chi^2 = 7,70$	15,09(99 %)	Différence non significative
	S	5	35.750			

\* nitrificateurs/g de terre sèche.

## - II - Système ouvert : colonnes de perfusion

Schématiquement, l'expérience se résume ainsi :

2 solutions nutritives	( 200 ppm N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> ( + éléments minéraux (sans azote)	( A colonne témoin ( A1 colonne plantée ( A2 colonne plantée
	( 100 ppm N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> minéraux ( + éléments minéraux (sans azote) : Expérience B	( B colonne témoin ( B1 colonne plantée ( B2 colonne plantée

### 1 - Evolution de l'activité nitrifiante au cours de la percolation

Dans le percolat des différentes colonnes, nous avons calculé le rapport NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/NH<sub>4</sub><sup>+</sup>. Ce rapport permet d'estimer l'activité nitrifiante du sol mais est toujours inférieur en sol planté eu égard l'absorption racinaire.

### Résultats et discussion

Les résultats de l'expérience sont consignés dans le tableau 4.

Les courbes de la figure 1 montrent l'évolution comparée du rapport NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/NH<sub>4</sub><sup>+</sup> en colonnes plantées et en colonnes sans plantes.

Voici les deux principaux résultats de cette expérience :

#### a/ - Reprise de l'activité nitrifiante en colonnes plantées

Cette reprise de la nitrification à partir du 7ème jour est illustrée par la courbe de la figure 1. Elle concerne trois sur quatre des colonnes utilisées.

Dans la 4ème colonne A2, la remontée du rapport NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/NH<sub>4</sub><sup>+</sup> n'a pas été observée. Les plantes de cette colonne devinrent chlorotiques à partir du 8e jour d'âge des plantes, vraisemblablement en raison d'une diminution de l'activité microbologique rhizosphérique globale à l'origine de l'absence de nitrification.

#### b/ - Immobilisation et restitution d'azote au cours de l'expérience

Au sixième jour nous avons constaté une immobilisation nette d'azote dans les colonnes témoins.

Percolat de A : (colonne témoin sans plante)

- devrait contenir : N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> + N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> = 200 ppm

- contient : N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> + N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> = 26 ppm

Percolat B : (colonne témoin sans plantes )

- devrait contenir : N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> + N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> = 100 ppm

- contient : N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> + N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> = 13,5 ppm

Nous ne pouvons nous prononcer de même pour les colonnes plantées, cette diminution du taux d'azote minéral étant justifiée en partie par l'absorption racinaire.

Au quatorzième jour d'expérience, nous assistons à une restitution (minéralisation) de l'azote immobilisé :

- le percolat de A contient 210 ppm N minéral

Tableau 4 : Evolution dans le temps du rapport  $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$  évalué dans le percolat de chaque colonne.

	Age des plantes en jours						
	5	6	7	8	10	12	14
A	80	25	$14 \cdot 10^{-2}$	$0,8 \cdot 10^{-2}$	$0,3 \cdot 10^{-2}$	$0,3 \cdot 10^{-2}$	$0,4 \cdot 10^{-2}$
A1	100	28	$0,5 \cdot 10^{-2}$	$0,6 \cdot 10^{-2}$	$1,1 \cdot 10^{-2}$	x	x
A2	25	2,2	$1400 \cdot 10^{-4}$	$2 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-4}$	x	x
B	57	8	$100 \cdot 10^{-4}$	$2 \cdot 10^{-4}$	$0,5 \cdot 10^{-4}$	x	x
B1	23	1,8	$3 \cdot 10^{-4}$	$3 \cdot 10^{-4}$	$5 \cdot 10^{-4}$	x	x
B2	29	2,3	$10 \cdot 10^{-4}$	$17 \cdot 10^{-4}$	x	x	x

Cases marquées d'une croix : le percolat ne contient plus de nitrates. Ce qui signifie :

- dans les témoins : nitrification nette nulle
- dans les colonnes plantées : nitrification nette masquée par absorption racinaire (extraction des nitrates par les racines supérieures à l'extraction par le drainage).

a/ ~~Résultats~~

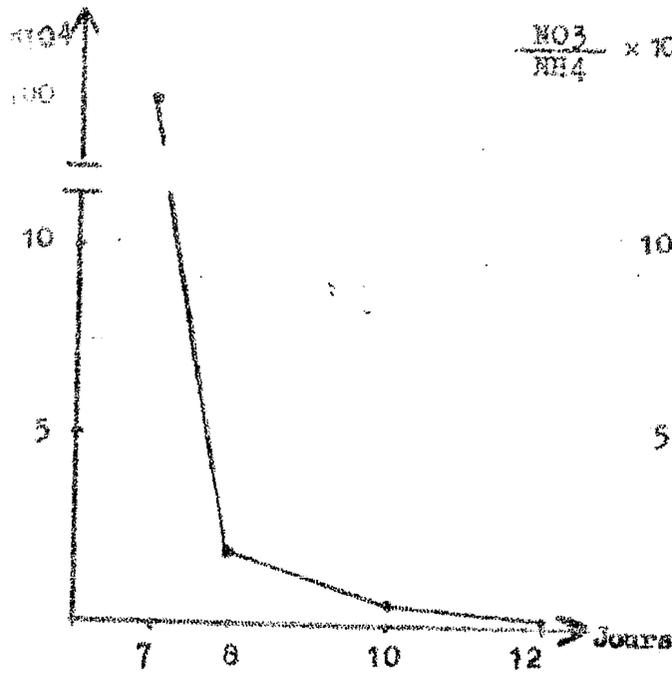
2 - Evolution du nombre de germes dans le percolat au cours de la percolation

Des numérations de germes nitrificateurs ont été faites à 5, 9 et 11 jours d'âge des plantes dans le percolat du sol planté (sol rhizosphérique) et du sol nu (sol non rhizosphérique).

a/ Résultats

Graphique 1

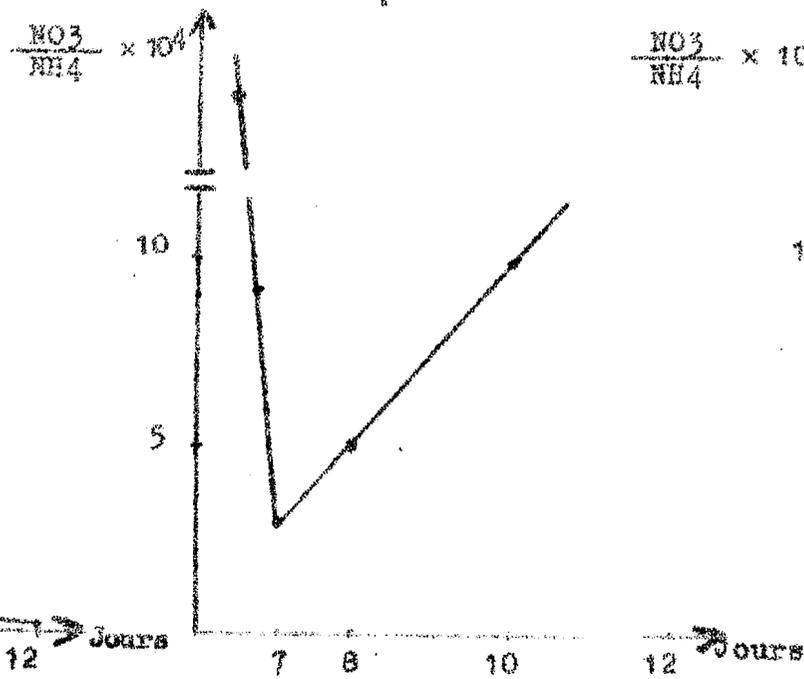
B



Sol non rhizosphérique

Graphique 2

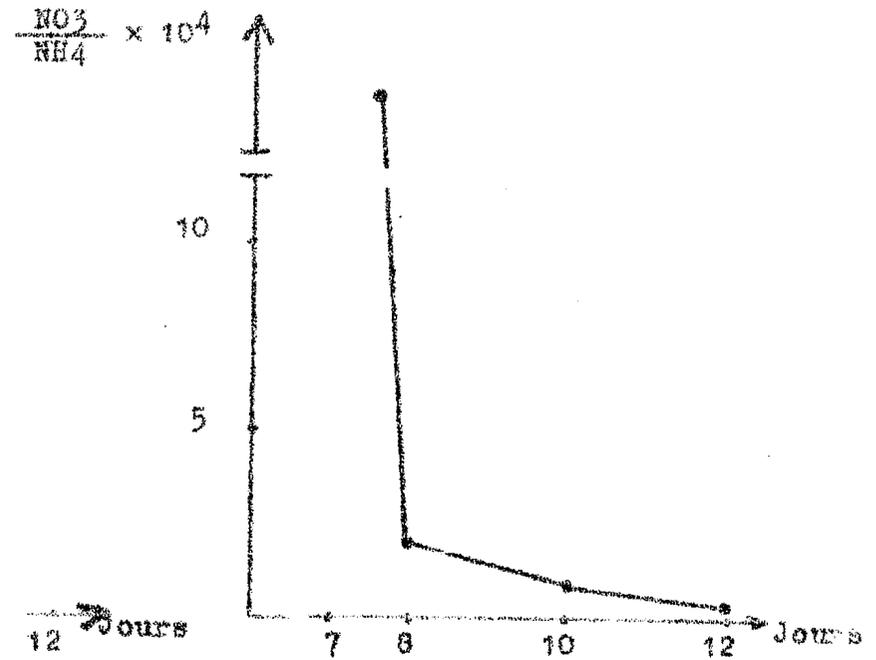
B<sub>1</sub>



Sol rhizosphérique  
plantes vigoureuses

Graphique 3

A<sub>2</sub>



Sol rhizosphérique  
plantes chétives plus ou moins  
jaunes

Fig 1: Evolution de l'activité nitrifiante d'un sol planté et non planté percolé par une solution ammoniacale (Sol dior, *Pennisetum typhoides* var. *Ligui*)

Tableau 5 : Evolution comparée du nombre de nitrificateurs dans le percolat d'un sol nu et d'un sol planté.

Age des plantes(jours)	Origine du sol	Nombre de germes par ml de percolat
5	Sol nu	1 400
	Sol planté	28
9	Sol nu	4
	Sol planté	0
11	Sol nu	0
	Sol planté	0

b/ - Discussion

Ces résultats montrent que le percolat des colonnes plantées s'appauvrit plus vite en nitrificateurs que le percolat des témoins. L'hypothèse d'une adhésion de ceux-ci sur le système racinaire est fort probable.

Bien que nous ayons dans cette expérience un drainage plus accentué qu'in situ lors des pluies, ce qui provoque un lessivage plus intense des nitrificateurs, nous voyons l'importance du système racinaire qui pourrait suppléer les argiles dans l'adhésion des micro-organismes.

Deuxieme Partie

FACTEURS ECOLOGIQUES QUI INFLUENCENT  
LA NITRIFICATION RHIZOSPHERIQUE

I - Facteurs édaphiques

1 - Facteur pH

2 - Facteur eau

II - Facteur plante.

NE. Nous n'avons pas entrepris une étude exhaustive de tous ces facteurs nombreux et complexes et notamment l'étude des interactions entre nitrificateurs et autres micro-organismes telluriques.

1 - FACTEURS EDAPHIQUES

1 - Facteur pH

Dans un sol l'acidité est préjudiciable à la nitrification. En effet, les nitrificateurs ne tolèrent guère des pH inférieurs à 6. Une nitrification malgré tout est possible à acidité moyenne élevée (pH = 5) en présence de micro-habitats dans le sol présentant localement un pH supérieur à 6 (DOMMERGUES, 1970).

Les pH enregistrés dans le sol Dior en deuxième phase de minéralisation, varient entre 4,6 et 5,7.

a/ - Résultats

Nous avons mesuré lors d'une expérience en système fermé la différence entre le pH du sol rhizosphérique R et le pH du sol non rhizosphérique S ( $= \Delta \text{pH}$ ) de la même manière nous avons opéré pour  $\text{NO}_3^-$  ( $= \Delta \text{NO}_3^-$ ). Les résultats sont consignés dans le tableau 6.

Tableau 6 : Valeurs comparées du pH et de la teneur en  $\text{NO}_3^-$  dans le sol rhizosphérique et non rhizosphérique.

N° échantillon		pH	$\Delta$ pH	N- $\text{NO}_3^-$	$\Delta \text{NO}_3^-$
1	R	5,55	0	0,86	+ 0,88
	S	5,45		0	
2	R	5,45	- 0,66	0,7	- 0,7
	S	6,11		0,02	
3	R	5,11	- 0,64	2,1	- 0,1
	S	5,75		2,2	
4	R	5,27	+ 0,09	2,0	+ 2,0
	S	5,18		0	
5	R	6,75	+ 0,98	5,9	+ 5,8
	S	5,77		0,1	

R : rhizosphérique

s : non rhizosphérique

$\Delta$  pH : pH R - pH S

$\Delta \text{NO}_3^-$  :  $\text{NO}_3\text{R} - \text{NO}_3\text{S}$

## b/ - Discussion

L'effet rhizosphérique "nitrate" est d'autant plus marqué qu'il y a un effet rhizosphérique pH. Nous basant sur un échantillonnage faible, il importe de ne donner à nos chiffres qu'une valeur relative.

Cette corrélation ne surprend pas à première vue car on sait que la nitrification est favorisée par l'augmentation du pH.

Mais on sait, d'autre part :

- que la nitrification entraîne une acidification du sol
- que l'absorption de  $\text{NO}_3^-$  par la racine, compensée par l'exsorption d'un ion alcalin, augmente le pH.

Il est dans ces conditions très difficile de préciser l'origine de la variation du pH dans la rhizosphère.

## 2 - Facteur eau

### a/ - Généralités sur les conditions hydriques du sol Dior

L'énergie de rétention de l'eau par le sol est très faible. Le pF de la capacité au champ, connaissant l'humidité à pF 3 du sol Dior, est de 1,8. Très rarement, le sol est à ce pF, mais au-dessus. Sur 19 boîtes en CPV plantées, la moyenne des pF était de 2,9, soit dans ce sol : 3,5 % d'humidité.

La très forte macro-porosité et la très faible réserve en eau capillaire absorbable, les deux allant de pair, devraient théoriquement doter ces sols d'une grande perméabilité. Pourtant) nous avons souvent observé, lors d'humectation par la surface, des irrégularités d'infiltration dans les cinq premiers centimètres. En colonnes de végétation, ou l'apport hydrique n'est pas continu, les alternances d'humectation et de sécheresse qui sont inévitables, accentuent le phénomène. En colonne de perfusion, grâce au régime hydrique permanent, la perméabilité ne s'est jamais trouvée affectée.

### b/ - L'eau : facteur écologique - Faibles et moyennes humidités

L'influence de l'humidité sur les micro-organismes nitrificateurs dans le sol Dior a déjà fait l'objet d'une importante étude (DOMMERMUES, 1962). Cet auteur a montré que les seuils de nitrification du sulfate d'ammoniaque dans ce sol, sont compris entre les pF 2,7 et 3,8.

Afin de chercher l'influence de l'humidité du sol sur la nitrification rhizosphérique et non rhizosphérique, deux expériences ont été conduites en système fermé, à des degrés hygrométriques différents.

Leurs caractéristiques sont résumées dans le tableau 7 :

**Tableau 7** : Caractéristiques du sol dans son état initial et de l'environnement micro-climatique.

Caractéristiques	Expérience 1	Expérience 2
$\text{NO}_3^-$	1,5 ppm	1,5 ppm
pH	5,0	5,1
Apport d'azote $\text{NH}_4^+$ dans 110 g de sol	5 ml d'urée à 4,2 g/l	5 ml d'urée à 4,2 g/l
Hygrométrie Intensité lumineuse	20 % 8 000 Lux	80 % 8 000 Lux

c/ - Discussion des résultats

Les résultats du tableau 8 indiquent que les variations du pouvoir nitrifiant, tant dans la rhizosphère que dans la non rhizosphère, sont liés aux variations d'humidité du sol ( fig. 3 ).

L'interprétation statistique donne une corrélation significative aux humidités moyennes, entre l'humidité volumique ( $H \% \times \text{densité apparente}$ ) et la teneur en nitrate du sol d'une part, cette même humidité volumique et l'effet rhizosphérique  $\Delta \text{NO}_3$  ( $\Delta \text{NO}_3 = \text{NO}_3 (R) - \text{NO}_3 (S)$ ) d'autre part.

**Tableau n°8** : Expérience n°1  
Caractéristiques du sol rhizosphérique (R) et non rhizosphérique (S) au 20e jour après le démarrage de l'expérience n°1.

	Numéro de l'échantillon						
	1	2	3	4	5	6	7
$\text{NO}_3^- (R)$	10,8	6,1	11,6	17,9	24,2	42,0	22,2
$\text{NO}_3^- (S)$	7,7	2,2	2,6	9,4	13,7	24,0	13,8
$\text{NO}_3^-$	3,1	3,9	9,0	8,5	10,5	18,0	8,4
$\frac{\text{NO}_3^- (R)}{\text{NO}_3^- (S)}$	1,40	2,8	4,45	1,90	1,76	1,75	1,61
d	1,29	1,54	1,48	1,54	1,34	1,85	1,65
H X d	3,4	7,0	9,8	12,0	13,4	17,5	19,0
pF	3,3	2,7	2,5	2,4	2,2	2,2	2,16

- NO3 (R) : teneur en ppm de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> du sol rhizosphérique sec  
NO3 (S) : teneur en ppm de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> du sol rhizosphérique sec  
H % : humidité en pour cent du poids de sol sec  
d : densité apparente = poids de l'unité de volume de sol en place.  
Hxd : humidité volumique ( humidité en pour cent du volume apparent de sol )  
NO3 : NO3 (R) - NO3 (S)  
 $\frac{NO3 (R)}{NO3 (S)}$  : intensité de l'effet rhizosphérique.

Les deux courbes de la fig.2 présentent un minimum à partir duquel toute diminution de pF provoque une augmentation significative de la teneur en azote nitrique du sol. Il s'agirait là du seuil de nitrification, dont nous avons déjà parlé au début de ce paragraphe. Ce seuil serait ici de pF 2,6.

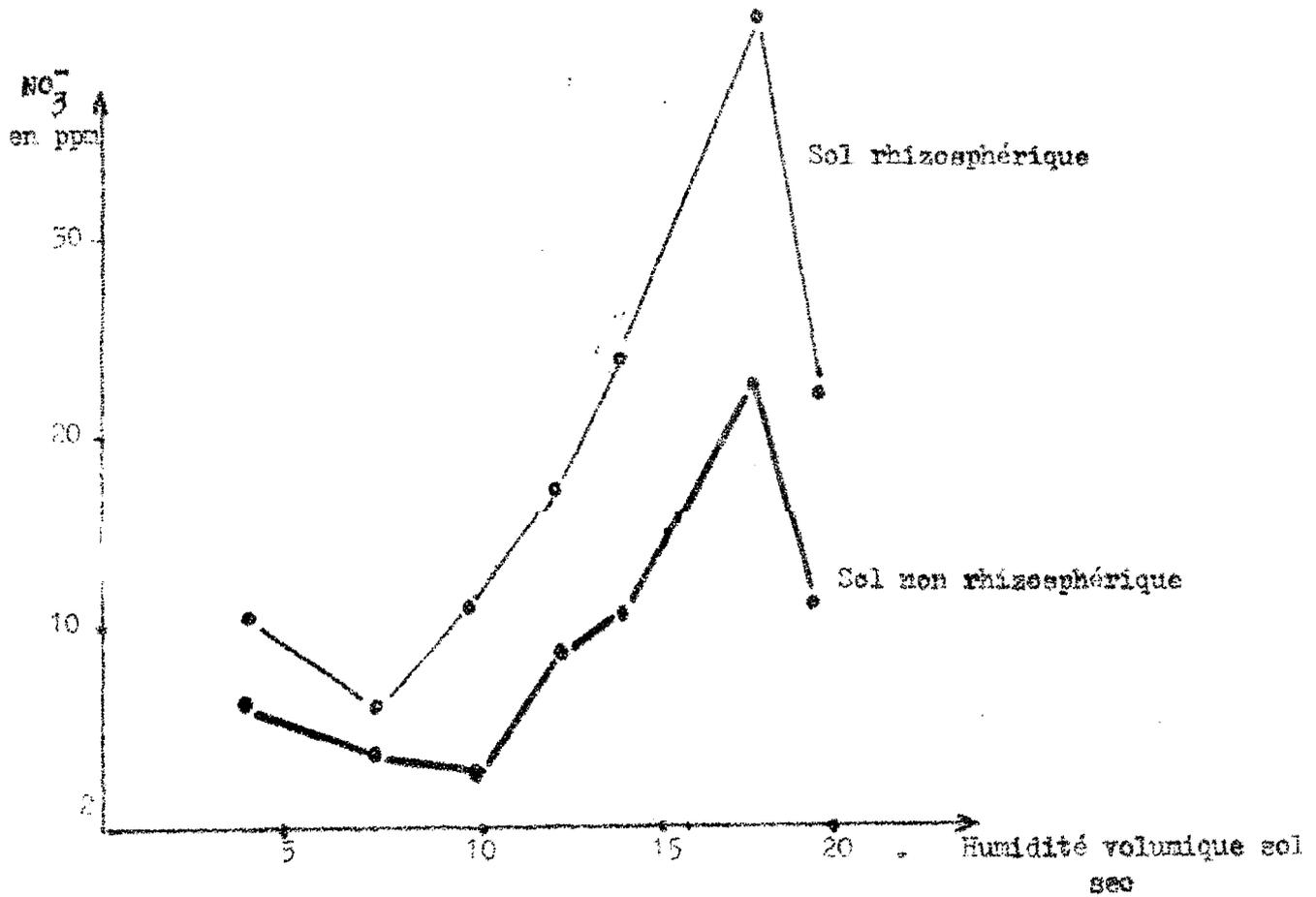
Les résultats du tableau 9( expérience n°2 )présentent une disparité beaucoup plus grande. Cependant, on remarque que les valeurs du pF supérieures à 2,8, , donc à la moyenne des pF des différents échantillons dans cette expérience, correspondent sauf deux exceptions, à des valeurs du rapport NO3 ( R)/NO3 ( S ) supérieures à 8. Il est donc logique de penser qu'aux pF supérieurs à 2,8 (le pF 2,8 est supérieur d'une unité au pF de la capacité au champ), la microflore nitrifiante est soumise le long de la racine à un effet rhizosphérique positif , alors que dans le sol, elle subit un effet: dépressif, sans pour autant disparaître (intervention possible des groupements xérophiles ).

Tableau n°9 : Expérience n°2

Caractéristiques du sol rhizosphérique (R) et non rhizosphérique (S) au 20e jour après le démarrage de l'expérience n°2.

Pour la signification des différentes caractéristiques, voir page 15.

	NUMERO BE L'ECHANTILLON																		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
10 <sup>3</sup> (R)	11,4	20,0	1,2	0,66	4,6	4,6	6,0	5,2	3,1	6,3	15,0	5,2	5,9	0,96	22,0	39	3,3	2,10	2,3
10 <sup>3</sup> (S)	1,4	3,3	0,3	0	0,78	0,39	0,38	0,128	0,166	2,06	5,15	0,57	0,107	0,5	4,05	15,7	0,42	2,26	0
10 <sup>3</sup>	10	24,7	0,9	0,66	3,82	4,2	5,62	5,07	2,94	4,3	10,0	4,63	5,0	0,46	17,9	23,3	2,88	0,16	2,3
10 <sup>3</sup> (R)				0,66															2,3
10 <sup>3</sup> (S)	8,14	8,5	4,0	0	5,8	12,2	16,0	40,0	18,7	3,0	2,9	9,1	55,0	1,9	5,4	2,5	7,8	0,92	0
l	1,43	1,53	1,39	1,42	1,28	1,40	1,34	1,55	1,30	2,18	2,08	2,02	1,85	2,00	2,2	2,04	1,54	1,72	1,66
l %	4,2	3,5	2,1	0,8	4,4	4,1	2,5	2,7	0,9	17,5	14,5	15,1	7,3	11,4	16	15,2	4,7	2,6	7,2
l X d	6,0	5,3	2,9	1,1	5,6	5,7	3,3	4,2	1,2	3,8	31,0	30,4	13,5	23,6	35,3	31,3	7,2	4,5	12,4
F	2,8	2,9	3,6	5,6	2,7	2,8	3,0	3,0	5,7	1,8	2,0	2,0	2,4	2,2	2,0	2,0	2,7	3,0	2,4



**Fig. 2:** Graphique exprimant les différences de teneurs en nitrates dans la rhizosphère et la non rhizosphère aux différentes humidités volumiques

Courbe du haut : teneur en NO<sub>3</sub><sup>-</sup> de la rhizosphère

Courbe du bas : teneur en NO<sub>3</sub><sup>-</sup> de la non rhizosphère

## II - FACTEUR PLANTE

### 1 - Influence de la vigueur végétative sur la teneur en $\text{NO}_3^-$ dans la rhizosphère

a / - Résultats : Fig. 3 (Expérience n°2 relatée au tableau 9)

#### b/ -- Discussion

Ces résultats mettent en évidence une corrélation entre le poids des parties aériennes et l'effet rhizosphérique  $\text{NO}_3^-$  mesuré par la différence entre la teneur en  $\text{NO}_3^-$  de la rhizosphère et celle de la non rhizosphère. Cette corrélation significativement différente de zéro ne nous permet pas d'en déduire pour autant une relation de cause à effet. Elle traduit seulement l'existence d'une fonction décroissante  $\text{NO}_3^- = f(\text{poids de la plante})$ .

L'explication la plus plausible est la suivante :

L'absorption racinaire, proportionnelle à la vigueur de la plante abaisse la teneur en nitrate de la rhizosphère d'autant plus fortement que la plante est vigoureuse.

### 2 - Rôle des exsudats gazeux dans la nitrification rhizosphérique

Deux justifications majeures de cette étude :

\* la grande sensibilité des nitrificateurs (Nitrosomonas et Nitrobacter) au facteur aération ;

\* pauvreté en carbonates du sol Dior qui peut difficilement assurer la nutrition carbonée des nitrificateurs qui sont autotrophes. Un enrichissement de la rhizosphère en  $\text{CO}_2$ , ce qui n'est pas incompatible avec une meilleure aération, leur permettrait une meilleure nutrition carbonée.

Les expériences ont été conduites sur solutions hydroponiques. Les dosages de pressions partielles de  $\text{CO}_2$  et d' $\text{O}_2$  ont été faites au Bloodmicro-system type B.M.S. 3b.

#### a/ - Variation dans le temps de la tension partielle d'oxygène et de gaz carbonique dans la solution rhizosphérique

### Résultats qualitatifs

Ces résultats mettent en évidence l'exsudation d'oxygène par la racine. Des l'injection du Bleu de Méthylène décoloré, les racines âgées de 10 jours prennent une teinte bleu foncé. 24 heures après, la solution rhizosphérique est intégralement colorée en bleu. Comme aucune diffusion d'oxygène n'a pu se faire de l'air dans la solution (couche d'huile), il faut imputer cette

recoloration du bleu de méthylène a la diffusion d'oxygène par les racines. Le bleu de méthylène se réoxyde pour des potentiels supérieurs à + 0,011 volts à pH 7. Notons que, plus le pH est bas, plus ce potentiel est élevé.

MITSUMI (1949) a employé le bleu de méthylène pour montrer l'augmentation du Eh le long de la racine de riz.

Nous avons remarqué également que les racines vieilles d'un mois étaient moins aptes à se recolorer que des racines de quinze jours. BOULAINÉ (1957) admet que des dépôts de lignites et de subérine dans l'écorce racinaire retardent la diffusion d'oxygène.

### Résultats quantitatifs

Tableau 10 -

Chaque résultat est la moyenne de deux échantillons.

### Discussion

- Jusqu'au 8<sup>e</sup> jour, la  $pO_2$  baisse, puis croît dans les tubes plantés, alors que dans les témoins elle varie peu.
- La  $pCO_2$  croît à peu près régulièrement en même temps que l'âge des plantes.

### Explication du phénomène

- Pendant les 8 premiers jours environ; la racine, dans sa partie immergée, est en croissance sur toute sa longueur. Cette hauteur de racine immergée ne dépasse pas 5 à 6 cm. Elle est le siège d'une respiration de croissance. La perméabilité du parenchyme cortical est très grande, alors que la porosité est négligeable. La racine consomme de l'oxygène.

- Après ces 8 jours, les 5-6 premiers centimètres de la racine sont toujours le siège d'une respiration de croissance, mais la partie plus âgée de la racine n'étant plus en croissance, ne présente plus qu'une respiration d'entretien qui consomme beaucoup moins d'oxygène. L'exsudation d'oxygène à ce niveau se produit lorsque le coefficient de diffusion de l'oxygène (proportionnel à la porosité de la racine) devient supérieur au coefficient d'absorption de l'oxygène par la racine pour sa respiration.

b/ - Mise en évidence d'un gradient de tension en oxygène et en gaz carbonique le long de la racine (résultats qualitatifs)

- Le test au bleu de méthylène n'est généralement pas positif sur les 5 premiers centimètres de la racine en partant de l'apex.

- Du mil cultivé en colonne transparente dans un sol de rizière présente généralement 2 zones le long de ses racines :

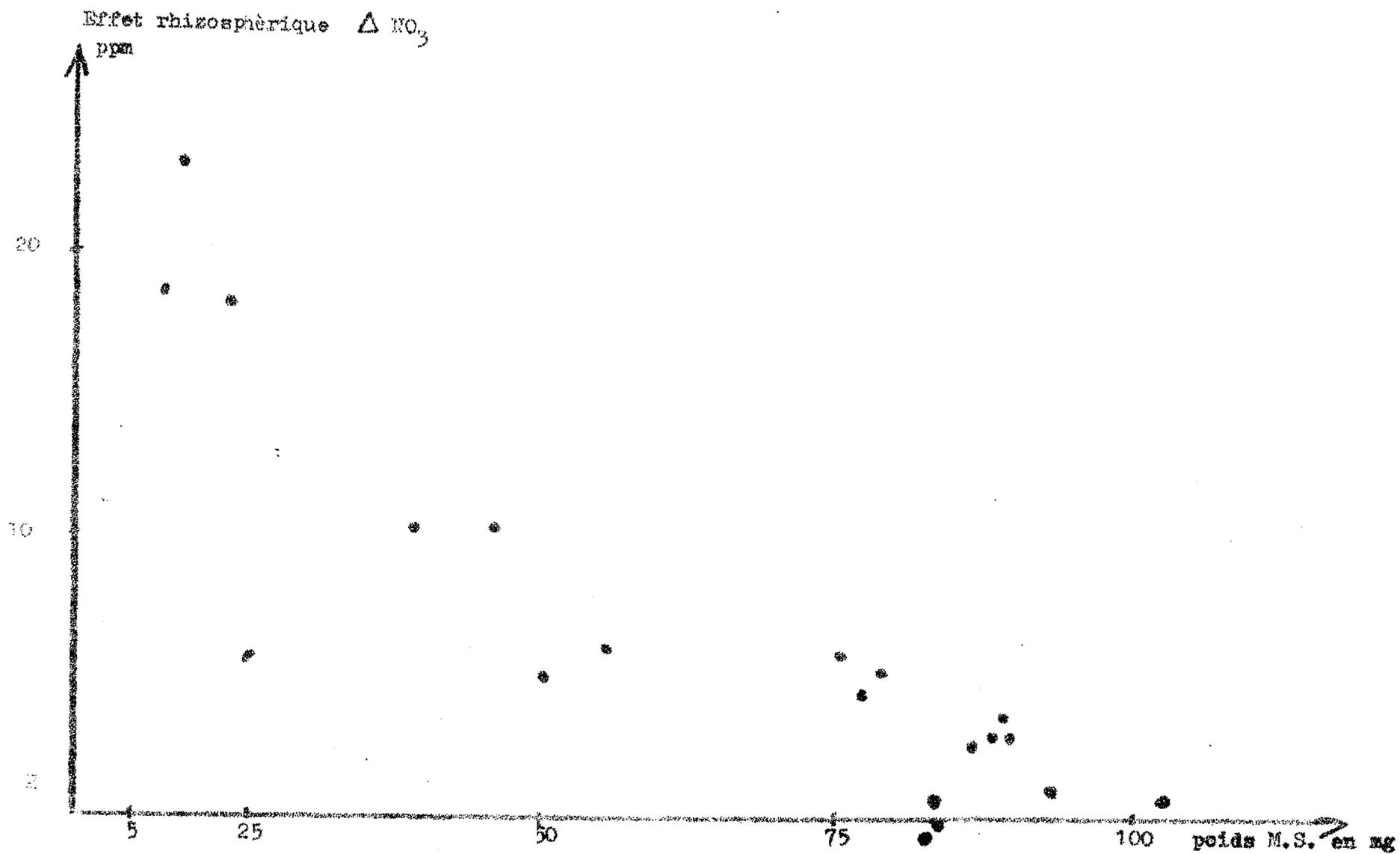


Fig.3 - Relation entre l'effet rhizosphérique ( $\text{NO}_3^-$  dans R -  $\text{NO}_3^-$  dans S) et le poids de matière sèche des parties aériennes des plantes.

- . Une zone rhizosphérique de 3 ou 4 cm de longueur très noire ( zone réductrice ) en partant de l'apex
- . Une zone allant jusqu'à la surface du sol, où la racine est d'une couleur ocre-foncé, cette couleur résultant d'une oxydation du fer au contact de la **racine** , ( zone oxydante ).

Tableau 10 : Variation dans le temps de la tension d'oxygène et de gaz carbonique dans la solution où se sont développées les racines-(solution rhizosphérique).

Age des en jours	plantes	PO <sub>2</sub>	PCO <sub>2</sub>
5		95	6,5
7		70	8,0
9		66	11,6
11		75	13,5
			20,8
f	- - J	e	- / -
			19,0

## DISCUSSION GENERALE ET CONCLUSION

L'accumulation de nitrates dans la rhizosphère, l'intensité supérieure à 1 de l'effet rhizosphérique, la persistance de l'activité nitrifiante dans le sol rhizosphérique en "flux continu" sont trois faits suffisamment convergents pour confirmer l'hypothèse d'une nitrification rhizosphérique. Mais nos plantes expérimentales n'ayant jamais dépassé l'âge de 20 jours, cette étude ne nous permet pas de nous prononcer au-delà de cette période. Nous savons cependant qu'un certain nombre de résultats obtenus à partir des observations faites au champ (absence de nitrates dans la partie du sol où sont développées en majorité les racines et présence de nitrates dans la plante) militent en faveur de cette hypothèse et notamment pendant la phase de croissance active qui s'échelonne entre la montaison et l'épiaison où la mobilisation de l'azote par la plante est la plus importante.

### CONCLUSION

#### a/ - Sur le plan écologique

Si ce phénomène nitrification rhizosphérique, par déduction logique des études de la nutrition azotée du mil et de dynamique de l'azote minéral in situ apparaît d'une certaine évidence, il n'en est pas de même si l'on examine les conditions écologiques de la rhizosphère qui, en général, sont :

#### - défavorables à la nitrification par :

- . une inhibition par des substances toxiques
- . la faible teneur en  $\text{NH}_4$  de la rhizosphère
- . un abaissement du pH

#### - favorables à la dénitrification par :

- . des substances donatrices d'électrons (exsudats organiques facilement métabolisable)
- . la faible teneur en oxygène.

De nombreux travaux confirment l'existence de ces conditions au sein de la rhizosphère. Seule, à notre connaissance, une étude de MOLINA et ROVIRA ( 1964) abonde dans le sens de nos résultats. Ces auteurs signalent que le développement de Nitrosomonas et Nitrobacter est stimulé par les racines de Maïs et de Luzerne de 15 jours mais non par des racines de 45 jours. Nous sommes donc en présence d'un phénomène microbiologique lié à la spécificité de l'écosystème "Pennisetum typhoides-Sol Dior" et rarement, sinon jamais, observe lorsque les conditions édaphiques sont propices à une bonne activité biologique.

#### b/ - Sur le plan agronomique

Par l'introduction de céréales à cycles courts et à productivité élevée, donc à demande instantanée en azote (taux d'azote mobilisé en kg/ha/j ) très élevé, le débit en azote du sol et

notamment en azote nitrique dans la deuxième phase de la dynamique microbienne, devient un facteur limitant. Dans ce contexte, toute recherche permettant une meilleure nutrition azotée de la céréale, se justifiera techniquement et, en l'occurrence, la recherche des causes de la nitrification rhizosphérique, complétant celles sur la fertilité azotée des sols. Comme interventions possibles pour orienter favorablement cette nitrification nous citerons :

- les traitements foliaires qui peuvent modifier l'exsudation racinaire

- les inoculations de semences qui peuvent modifier l'équilibre microbiologique au sein de la rhizosphère.

B I B L I O G R A P H I E

\*\*\*\*\*

- BALANDREAU (J. ), 1970  
Technique de perfusion en vue de l'étude de la nitrification dans les litières forestières.  
Bull. Acad. et Soc. Lorraines des Sci. Tome IX, 1,5-6.
- BOULAINÉ (J.), 1957.  
Relations entre la Plante et le Sol. dans les Rizières  
Travaux des Sect. Pédol. et Agrol., 3, 22-23.
- BLONDEL (D.), 1971.  
Rôle de la plante dans l'orientation de la dynamique de l'azote en sol sableux.  
Rapport Institut de Recherche Agronomique Tropicale  
C.R.A. de Bambey/Sénégal.
- DOMERGUES (Y. ), MANGENOT (F. ), 1970.  
Ecologie microbienne du sol. Masson Ed. 796 p.
- DOMMÉRGUES (Y.), 1968  
La Biologie des Sols  
P. U. F. 399, 43-79.
- DOMMÉRGUES (Y.), 1962  
Contribution à l'étude de la dynamique microbienne des sols en zone semi-aride et en zone tropicale sèche.  
Annales agron., 13 66-151.
- DUCHAUFOUR (Ph. ), 1965.  
Précis de pédologie. Paris, Masson Ed., 48-53.
- HELLER (R. ), 1969.  
Biologie végétale 11. Masson Ed.
- JACQUINOT (L. ), 1968.  
Rapport d'activité du C.R.A. Bambey, I.R.A.T.
- LUXMOORE (R.J.), STOLSY (L.H.), 1970  
Oxygen diffusion in the soil plant system.  
Agron. J., 62, 322-323-324.
- MEIKLEJOHN (J.), 1953.  
Iron and the nitrifying bacteria.  
J. Gen. microbiol., 8, 53-65.

MOLINA (J.A.E.), ROVIRA - (A.D.), 1964.  
The influence of plant roots on autotrophie nitrifying  
bacteria Canad J. Microbiol. 1.0. 249 257.

RILEY (D.) and BARBER (S.A.), 1970.  
Salt accumulation at the soybean (Glycine max. (L.)  
Merr.) root-soil interface  
Soil Sci. Am. Proc. 34, 154-155.

---