

## Activités microbiologiques en conditions salines : cas de quelques sols salés de la région de Relizane (Algérie)

Abdelkader Dellal, Amor Halitim

La salinité et la sodicité confèrent au sol des propriétés physiques et chimiques défavorables à la croissance des plantes, ce qui a justifié les nombreuses recherches réalisées dans ce domaine [1-8].

En revanche, dans ces milieux, les propriétés biologiques sur base d'analyses des populations microbiennes et de leurs activités ont fait l'objet de très peu de travaux, notamment en ce qui concerne les sols algériens [9, 10]. Pourtant, le rôle de la biomasse microbienne dans la décomposition de la matière organique, dans les cycles de nombreux éléments nutritifs et dans l'organisation du sol a été démontré aussi bien en sol non salé [11, 12] qu'en sol salé [13, 14].

Quant aux effets de la salinité sur les espèces microbiennes et la minéralisation de l'azote, les résultats obtenus restent limités voire controversés. L'addition au sol de sels solubles a pour effet de diminuer l'activité microbienne [15-19], mais les valeurs-seuils varient selon les auteurs.

La microflore totale n'est sensible que lorsque la conductivité électrique de l'extrait de pâte saturée à 25°C atteint 62-66 mS/cm [11]. Alors que l'inhibition de l'activité microbienne est constatée [24] à moins de 22 mS/cm, et qu'une diminution de l'activité microbiologique totale du sol est observée [15, 18] à des valeurs de salinité très faibles (moins de 1 % de NaCl).

Les sols salés exercent sur les plantes des effets physiologiques liés à la pression osmotique excessive et aux concentrations ioniques déséquilibrées. On y observe également des effets indirects liés aux particularités de leur microflore : diminution de la densité de la biomasse (surtout des bactéries nitrifiantes) et réduction de la respiration.

La salinité affecte davantage la nitrification que l'ammonification [15, 21] ; certains auteurs envisagent pour expliquer ce fait, une volatilisation de l'ammoniac [10].

L'ammonification serait stimulée par la concentration saline [16, 22] alors que d'autres auteurs font ressortir une inhibition de l'ammonification [18] ou l'absence d'effet significatif sur l'ammonification de l'urée [23]. Enfin l'influence de la salinité sur les micro-organismes dépend largement des espèces anioniques et cationiques des sels apportés au sol [16, 19, 22]. NaCl est plus nocif que  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  [21, 23] et inhibe davantage les activités enzymatiques que  $\text{CaCl}_2$  et  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  [20].

Néanmoins, il y a lieu de relever que la plupart des études expérimentales portant sur les activités microbiennes en fonction de la salinité ont été réalisées sur des sols non salés à l'origine, auxquels des sels purs ont été appliqués. De cette manière, on analyse surtout l'effet de la concentration saline d'une part, à laquelle d'ailleurs les micro-organismes s'adaptent en ajustant leur potentiel osmotique intérieur [23] et celui de la nature anionique et cationique d'autre part. Très peu de travaux ont été effectués sur l'activité des micro-organismes sous

l'influence de la salinité, telle qu'elle existe dans les sols naturels. Il faut rappeler que dans les sols salés et argileux, l'action de la force ionique se complique par celle de l'ESP (pourcentage de sodium échangeable). Ce dernier provoque une dispersion des particules colloïdales entraînant une réorganisation défavorable des matériaux pédologiques et une réduction de la circulation de l'eau et de la diffusion de l'oxygène.

L'objectif de ce travail expérimental est de fournir des données relatives aux effets de la salinité et de la sodicité des sols du Nord-Ouest de l'Algérie sur le dénombrement de la biomasse microbienne et sur l'activité des micro-organismes dans les processus de minéralisation de l'azote et de dégagement de  $\text{CO}_2$ .

### Matériel et méthodes

Les sols sont prélevés dans la région de Relizane (Nord-Ouest de l'Algérie) où de graves problèmes de salinisation primaire et secondaire existent. Les échantillons proviennent de l'horizon 0-30 cm et ont été prélevés en novem-

A. Dellal : Institut d'enseignement supérieur agronomique, Tiaret, Algérie.

A. Halitim : Institut national agronomique, El-Harrach, Algérie.

**Tableau 1****Caractéristiques analytiques des sols**

Caractéristiques	Sols salés			Sol rouge méditerranéen	Vertisol
	P1	P2	P3		
CEmS/cm	6,4	15,7	22,3	0,12	0,1
pH 1/5	8,1	8,1	8,0	8,1	8,3
calcaire %	14,4	14,8	12,2	10,2	2,5
argile %	30,5	31,0	31,25	29,0	41,0
limons %	54,0	53,7	54,3	39,2	27,2
sable fin %	9,7	9,5	9,5	18,0	21,5
sable gros %	5,8	5,8	5,0	14,0	8,2
CECme/100	23,7	22,1	24,2	21,0	35,5
ESP %	23,0	39,1	48,6	—	—
C %	1,15	1,18	1,2	0,76	0,81
N %	0,086	0,087	0,088	0,074	0,073
C/N	13,4	13,5	13,6	10,3	11,1

**Analytical characteristics of soils**

bre (début de saison humide et froide) sur sol ressuyé. Il s'agit de trois sols salés (salés à alcali) et deux sols non salés (rouge méditerranéen et vertisol). Les échantillons ont été conservés à l'état humide, aérés à + 4° C pendant une semaine. Par la suite ils ont été tamisés à 5 mm avec leur humidité initiale. Leurs caractéristiques analytiques sont portées dans le *tableau 1*. On remarque que les propriétés physiques et physico-chimiques des sols salés sont pratiquement identiques, abstraction faite de la salinité et de la sodicité. A titre comparatif les sols rouge méditerranéen et vertisol ont été retenus à cause de leur importance dans la région et de l'absence de toute salinisation primaire ou secondaire.

Quatre type d'incubations différents ont été menés dans les mêmes conditions d'humidité (- 0,1 MPa) et de température (27° ± 2° C) avec les manipulations suivantes :

— Dénombrement de la biomasse bactérienne après 20 jours d'incubation. Les incubations avec 1 kg de terre ont été conduites dans des pots placés dans une enceinte chauffée.

— Dénombrement de bactéries ammonifiantes, nitreuses et nitriques dans les sols salés, pendant 70 jours d'incubation, avec un pas de temps de mesure de 10 jours. Les incubations ont été menées de la même façon que précédemment. L'humidité est contrôlée par pesée et ajout d'eau permutée.

— Dosage de NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, NO<sub>2</sub><sup>-</sup> et NO<sub>3</sub><sup>-</sup> dans les sols salés. Ces derniers ont été

enrichis d'NH<sub>3</sub> à raison de 0,3 mg/g de sol sec, sous forme de (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub> SO<sub>4</sub> en solution. Trente grammes de sol ont mis à incuber dans des Erlenmeyers de 250 ml fermés par une feuille de parafilm perforée et placés dans un bac rempli à moitié d'eau afin de maintenir l'humidité constante. L'expérimentation a duré 49 jours avec un pas de temps de mesure de 7 jours.

— Détermination de CO<sub>2</sub> dégagé dans les sols salés. Ces incubations sont conduites avec 10 g de sol dans des Erlenmeyers de 150 ml placés à l'intérieur de boîtes contenant de la soude 0,25 N afin de piéger le CO<sub>2</sub> libéré par la biomasse microbienne et le doser périodiquement. Cette expérimentation a duré 25 jours.

Trois répétitions ont été réalisées pour chaque traitement et les valeurs exprimées sont la moyenne des trois répétitions.

Les dénombrements de germes ont été effectués par la méthode du nombre le plus probable [24], à partir de suspensions-dilutions et cultures en milieu liquide, à raison de trois tubes par dilution [25].

Les déterminations d'azote minéral ont été exécutées après déplacement des ions NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, NO<sub>2</sub><sup>-</sup> et NO<sub>3</sub><sup>-</sup> par une solution KCl 2N. Après filtration de l'extrait, une première distillation sur MgO dans un appareil Parnas-Wagner et titrage de NH<sub>3</sub> déplacé après son absorption dans l'acide borique, est suivie d'une distillation sur alliage de Dewarda. L'azote nitreux a été dosé

par la méthode colorimétrique de Barnes et Folkard [26].

**Résultats et discussions****Détermination de la densité microbienne**

La *figure 1* fait ressortir une grande influence de la salinité sur la biomasse totale. En effet dans les sols non salés les densités des micro-organismes sont plus élevées et plus ou moins comparables, alors que dans les sols excessivement salés (22,3 mS/cm) on note une chute brutale de la population microbienne. En outre les sols peu salés (6,4 mS/cm) et très salés (15,7 mS/cm) présentent des densités semblables. La relation entre la salinité et l'activité microbienne n'est apparemment pas une fonction linéaire, mais présenterait une valeur-seuil de salinité au-delà de laquelle il y a une forte diminution des populations microbiennes. Cette constatation a été rapportée, mais à des valeurs de salinité beaucoup plus élevées, par d'autres travaux [10].

Pratiquement toutes les populations microbiennes répondent à la salinité à des degrés variables de la même façon que la densité microbienne totale (*tableau 2*). On constate également que le nombre de germes nitrifiants et ammonifiants diminue fortement dans le sol excessivement salé (22,3 mS/cm). A ce seuil de salinité, on commence à observer une inhibition de certains processus microbiens, notamment la nitrification [8].

On constate aussi que les champignons tolèrent beaucoup mieux la salinité que les bactéries cellulolytiques et les germes responsables de la fixation asymbiotique de l'azote. Une meilleure résistance des Azotobacters par rapport aux autres bactéries s'expliquerait par une pression intracellulaire plus élevée [27].

Les densités de germes telluriques observées sont plus faibles que celles inventoriées sur des sols non salés en région tempérée [28], mais elles sont supérieures à celles dénombrées dans la Sebkhha de Boughzoul [10]. La présence de germes nitrifiants et ammonifiants dans les sols excessivement

## Tableau 2

### Dénombrement microbien dans les sols (nombre de germes/g sol sec)

Germes	Sols salés			Sol rouge méditerranéen	Vertisol
	P1	P2	P3		
Champignons × 10 <sup>2</sup>	57	49	51	90	66
Bactéries cellulolytiques × 10 <sup>3</sup>	42	35	31	72	56
Azotobacter × 10 <sup>3</sup>	39	39	35	51	50
Ammonifiants × 10 <sup>6</sup>	29	21	5	35	45
Nitrifiants × 10 <sup>5</sup>	6,5	5	4	300	400
Total × 10 <sup>6</sup>	29,74	21,58	5,47	65,15	85,11

Soil microbe counts (number of germs/g dry soil)

salés serait due à la présence d'espèces halophiles, comme cela a été constaté dans des relevés floristiques [9], capables de s'adapter à des effets osmotiques, ioniques ou anaérobiques que provoqueraient la salinité et la sodicité.

En outre, la densité des nitrifiants est beaucoup plus faible que celle des ammonifiants. De plus, si on compare les sols salés aux sols non salés, on constate une plus grande réduction de la densité des nitrifiants par rapport aux ammonifiants. Cette sensibilité des germes nitrifiants serait due à une plus faible densité des espèces [23].

### Évolution des germes ammonifiants, nitreux et nitriques en fonction de la salinité

Les figures 2 a, b, c représentent respectivement les variations des germes ammonifiants, nitreux et nitriques dans les sols salés durant 70 jours d'incubation. Dans l'ensemble, les germes nitreux sont moins nombreux que les germes nitriques et surtout ammonifiants. Il ressort aussi que les populations microbiennes sont sensibles à la charge saline et ces résultats suggèrent que les germes nitreux et nitriques

sont plus inhibés que les germes ammonifiants. Dans le sol peu salé entre la deuxième et troisième décade, on observe une reprise de la croissance des germes ammonifiants et nitreux. Cette reprise d'activité pourrait être attribuée à l'existence d'espèces ou de souches résistantes à la salinité [10] capables de s'adapter aux faibles concentrations salines.

Après 40 jours d'incubation les germes nitreux et nitriques ne sont pratiquement plus observés en sol excessivement salé, alors que les germes ammonifiants ne changent pas de densité. Cet arrêt de la croissance microbienne est attribué à des souches de *Nitrosomonas* sp. et *Nitrobacter* sp. peu résistantes à de forts potentiels extracellulaires (- 0,9 MPa) comme cela a été rapporté par ailleurs [23]. Enfin on constate une certaine concordance entre ces résultats et ceux relatifs au dénombrement de la microflore bactérienne.

### Effet de la salinité sur la nitrification

La figure 3 représente l'évolution simultanée des trois formes d'azote minéral NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup> pour des sols salés enrichis de (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub> SO<sub>4</sub>. Il en ressort que cette évolution reste à peu près identique jusqu'à une charge saline globale de 15,7 mS/cm. Dans le sol très salé l'oxydation de NH<sub>4</sub><sup>+</sup> est incomplète en fin d'expérimentation et on note une présence notable de nitrites jusqu'à 5 semaines d'incubation. En revanche, dans le sol excessivement salé, l'ammonium persiste durant toute l'expérimentation et il n'y a pas apparition de NO<sub>2</sub><sup>-</sup> et NO<sub>3</sub><sup>-</sup>. Cela confirme l'effet inhibiteur des fortes salinités sur les deux processus de nitrification.

Si on adopte le pourcentage d'inhibition de la nitrification [29] représenté par :

$$\frac{(C - S)}{C} \times 100$$

où C est la quantité de NO<sub>3</sub> produite dans le sol peu salé (6,4 mS/cm) et S la quantité de NO<sub>3</sub> produite dans le sol le plus salé, l'inhibition de la nitrification serait de 100 % dans le sol excessivement salé et 21,2 % dans le sol très salé. Les proportions

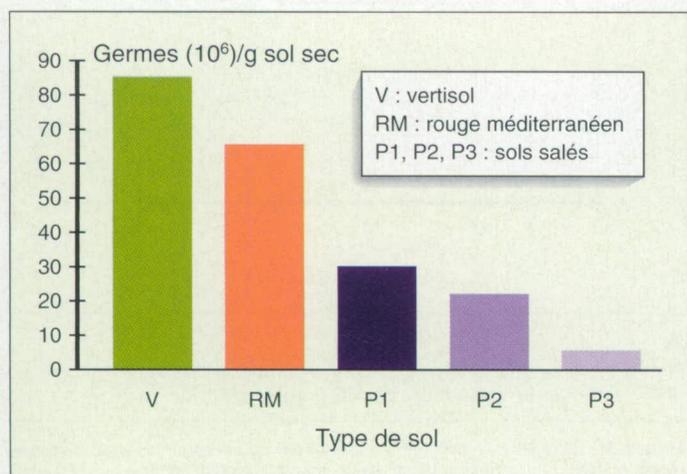
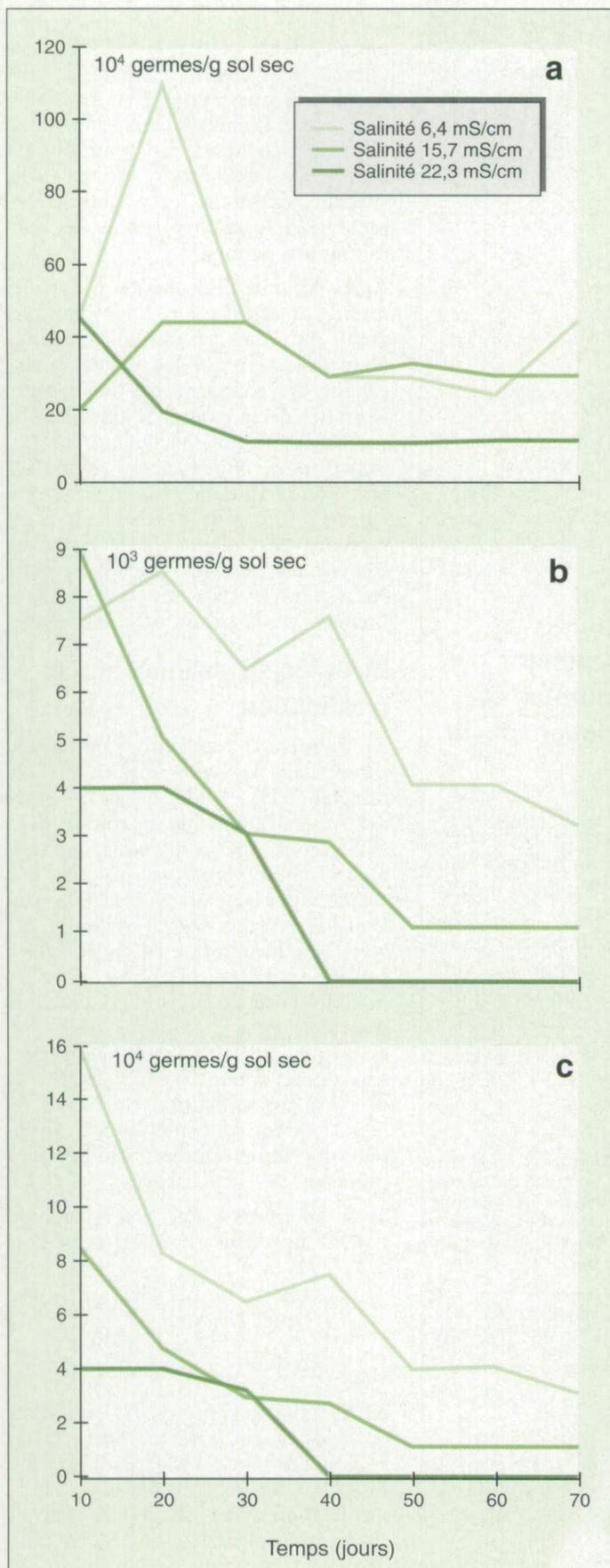


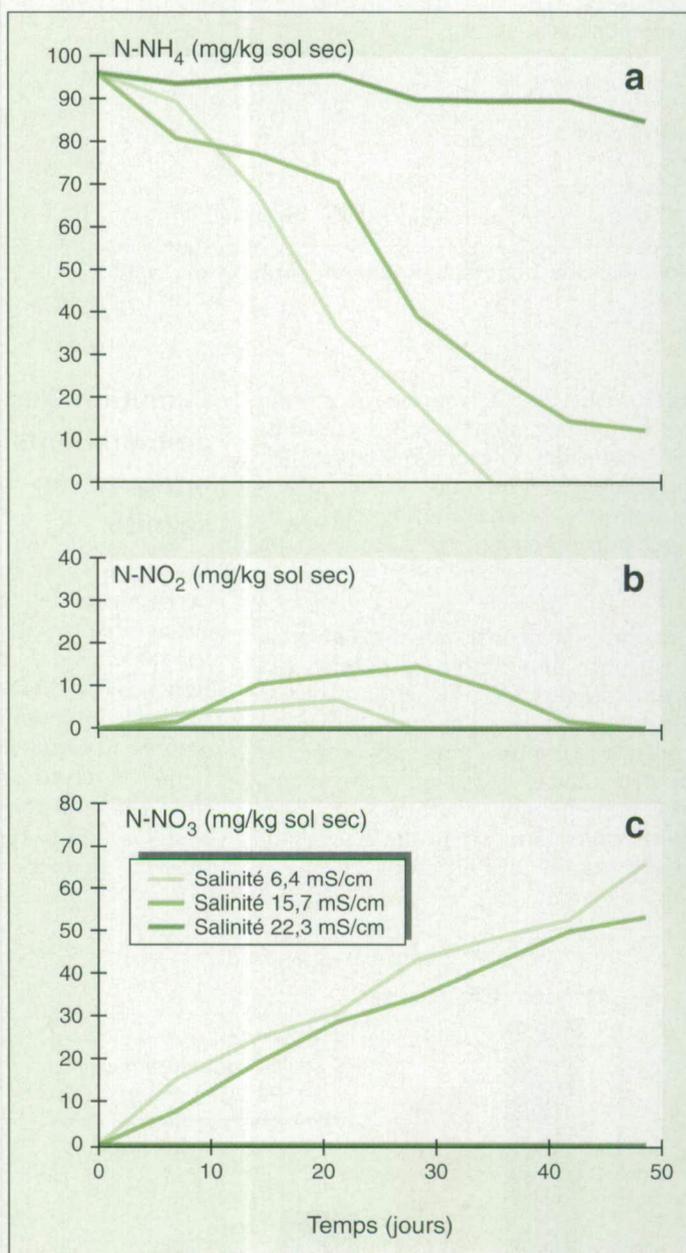
Figure 1. Dénombrement de la biomasse microbienne dans les sols (nombre de germes/g sol sec).

Figure 1. Soil microbial biomass counts (number of organisms/g dry soil).



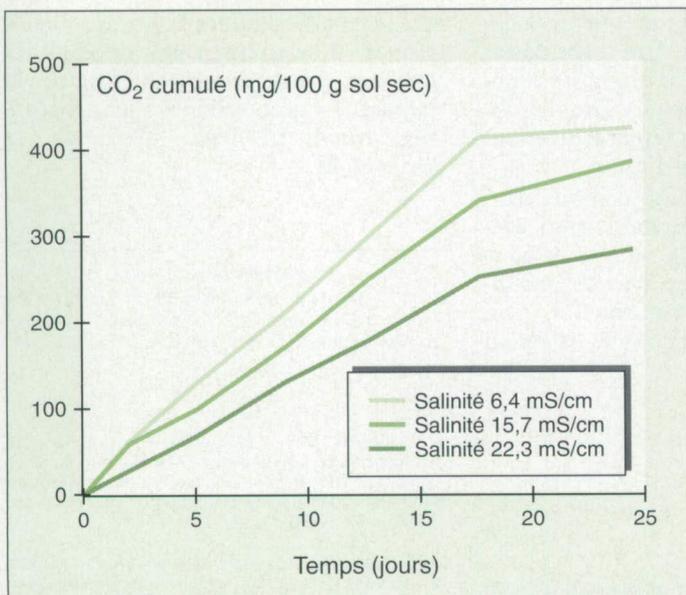
◀ **Figure 2.** Évolution des germes ammonifiants (a), nitreux (b) et nitriques (c) au cours de l'incubation en conditions salines.

**Figure 2.** Changes in germ numbers during incubation under saline conditions : (a) ammonifying, (b) nitrous, and (c) nitric.



▲ **Figure 3.** Changes in nitrification en conditions salines. (a) disparition de  $NH_4$ , (b) apparition de  $NO_2$ , (c) apparition de  $NO_3$ .

**Figure 3.** Changes in nitrification levels under saline conditions. (a) disappearance of  $NH_4$ , (b) appearance of  $NO_2$ , (c) appearance of  $NO_3$ .



◀ **Figure 4.** Dégagement de CO<sub>2</sub> au cours de l'incubation en conditions salines.

**Figure 4.** Levels of CO<sub>2</sub> released during incubation under saline conditions.

## Summary

### Microbial activity under saline conditions : saline soils in the Relizane region of Algeria

A. Dellal, A. Halitim

*Few studies have examined the properties of saline soils (especially Algerian) in terms of microorganism biology. As concerns the effects of salinity on microbial activity or nitrogen mineralization, the results obtained were limited, rather obscure and somewhat controversial. The experimental research has concentrated on the effects of adding salts to non-saline soils, and on naturally-occurring soil salinity and sodicity.*

*The present paper aims at contributing towards understanding the effects of salinity and sodicity on microorganism numbers, N mineralization and release of CO<sub>2</sub> from the respiration process.*

*Soils were sampled from Relizane, Algeria, a region suffering from serious agricultural problems, due mainly to primary and secondary salinization. Three of the soils were saline (alkaline-saline) and two were non-saline (red mediterranean and vertisol). The three saline soils differed in salinity and sodicity levels.*

*Samples were taken from the topsoil (30 cm). Four incubation series were performed under conditions of controlled water content (0.1 mPa) and temperature (27 ± 2° C).*

*The following measurements were made :*

- count of microbial biomass after 20 days ;
- count of ammonifying, nitrous and nitric bacteria in saline soils over 70 days at 10-day intervals ;
- production of NH<sub>4</sub>, NO<sub>2</sub> and NO<sub>3</sub> following the addition of (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> in saline soils over 49 days at 7-day intervals, and measurement of released CO<sub>2</sub> in saline soils over 25 days.

*Comparison with non-saline soils demonstrated that salinity reduced the microbial biomass. The effect was not linear but exhibited a threshold value of 15.7 mS/cm, above which the microbial biomass dropped.*

*Cahiers Agricultures 1992 ; 1 : 335-40.*

d'ammonium transformé sont de l'ordre de 33 %, 28 % et 5 % respectivement dans les sols peu salé, très salé et excessivement salé. Parallèlement l'augmentation de NO<sub>3</sub> + NO<sub>2</sub> est de l'ordre de 27,4 %, 22 % et 0 %, respectivement pour les mêmes sols salés. Il semble donc qu'il y ait disparition d'environ 5 % de NH<sub>4</sub> probablement par volatilisation.

## Dégagement de CO<sub>2</sub> en fonction de la charge saline du sol

Le CO<sub>2</sub> dégagé en fonction du temps pour les sols salés est porté sur la figure 4. Cette dernière révèle une baisse notable de l'activité respiratoire en conditions salines. En effet le taux de CO<sub>2</sub> libéré au bout de 25 jours est respectivement de 420 mg/100 g et 280 mg/100g pour le sol peu salé et excessivement salé, soit une réduction de 33 %. Cela est dû à une action directe de la salinité sur l'activité microbiologique mais aussi probablement à une action indirecte par limitation de la diffusion de l'oxygène suite à un très fort ESP dispersant [30].

## Conclusion

Par rapport aux sols non salés ( vertisol et rouge méditerranéen), les densités de populations microbiennes dans les sols salés sont relativement plus faibles. Les espèces microbiennes sont affectées à des degrés variables par la salinité ; c'est ainsi que les germes nitrifiants sont plus sensibles que les ammonifiants. On note par ailleurs une certaine relation entre le dénombrement de la biomasse microbienne et les propriétés biologiques des sols. Les résultats de cette étude montrent que certaines fonctions biologiques sont dépendantes du degré de salinité du sol.

Les activités microbiologiques et en particulier la nitrification et le dégagement de CO<sub>2</sub> sont influencées par la salinité et probablement la sodicité. Les sols argileux et excessivement salés (22 mS/cm) et sodiques (48 % de sodium échangeable) sont défavorables à la production de forme assimilable d'azote et possèdent un faible pouvoir respiratoire. A titre de comparaison,

l'inhibition de la nitrification en sol excessivement salé par rapport à un sol peu salé est totale et la réduction du dégagement de CO<sub>2</sub> est de 33 %. Pour l'interprétation des résultats obtenus, il y a lieu d'évoquer essentiellement le degré d'adaptation de certaines espèces microbiennes à l'environnement salin (potentiel osmotique et influence ionique) et à la diffusion de l'oxygène dans les sols. Il ressort aussi de notre étude, qu'en

sol salé et argileux, les propriétés pédo-biologiques doivent être considérées lors de l'application d'engrais ammoniacaux ou organiques à cause des risques d'inhibition de certains processus de minéralisation de l'azote.

Enfin, dans ce travail, comme dans ceux qui ont été effectués antérieurement, les effets de la salinité et ceux de la sodicité sur les activités microbiennes n'ont pas été distingués. Afin d'approcher les mécanismes d'action

des sels sur certaines fonctions biologiques, il serait judicieux de considérer séparément les paramètres de la salinité (concentration saline, nature des ions, pH) de ceux de la sodicité ■

Ce travail est réalisé dans le cadre d'un contrat financé par la Communauté Européenne sur la salure des sols du Maghreb et dirigé par M. Robert, C. Cheverry et H. Laudelout.

## Résumé

La concentration de la solution du sol entraîne une augmentation de la pression osmotique. Celle-ci inhibe le développement des micro-organismes du sol en bloquant leurs fonctions biochimiques. En effet, comparativement aux sols non salés (rouge méditerranéen et vertisol), les résultats présentés indiquent que la salinité réduit la densité de la biomasse microbienne. Cet effet n'est pas une fonction linéaire. Une valeur-seuil de salinité de 15,7 mS/cm, au-delà de laquelle on note une forte chute de la biomasse microbienne, a été mise en évidence. Toutes les espèces telluriques prises en compte sont affectées à des degrés variables par la salinité. Les germes nitrifiants sont plus sensibles que les germes ammonifiants. Après 40 jours d'incubation, les densités des populations nitreuses et nitrifiques deviennent négligeables dans les sols excessivement salés (22,3 mS/cm) alors que celle des germes ammonifiants reste stationnaire. De même l'augmentation du potentiel extracellulaire (- 0,9 MPa) agit sur les fonctions microbiologiques considérées. C'est le cas de la nitrification qui est complètement inhibée et celui du dégagement de CO<sub>2</sub> qui est réduit de plus de 33 % dans le sol le plus salé. Les résultats obtenus suggèrent l'intérêt de prendre en considération de telles limitations des fonctions microbiologiques lors d'une application de formes azotées non assimilables par la plante. Une distinction reste à établir entre les effets de la salinité et ceux de la sodicité des sols.

## Références

1. Boulaïne J. *Les sols des plaines du Chélif*. Th Doct, Alger, 1957.
2. Greenway H, Munns R. Mechanisms of salt tolerance in nonhalophytes. *Ann Rev Plant Physiol* 1980 ; 31 : 150-89.
3. Halitim A. *Étude expérimentale de l'amélioration des sols salés d'Algérie en vue de leur mise en culture*. Th 3<sup>e</sup> cycle, Rennes, 1973.
4. Cheverry C. *Contribution à l'étude pédologique des polders du lac Tchad. Dynamique des sels en milieu continental sub-aride dans des sédiments argileux et organiques*. Th Doct État, Strasbourg, 1974 ; 275 p.
5. Aubert G. Les sols sodiques en Afrique du Nord. *Ann INA El-Harrach* 1976 ; IV : 185-93.
6. Daoud Y. *Contribution à l'étude de la dynamique de l'eau et des sels dans un périmètre du haut Chélif*. Th Magister, INA-Alger, 1980.
7. Shainberg I, Letey J. Response of soils to sodic and saline conditions. *Hilgardia* 1984 ; 52 : 1-57.
8. Dellal A. *Réaction du riz à la salure en relation avec la dynamique des équilibres ioniques, nitrification et dégagement de CO<sub>2</sub> en milieu salé*. Th Doct, UCL Louvain, 1984.
9. Dubost D. Les champignons des sols salés de l'Ouest Algérien. *Bull Hist Nat Afri Nord* 1966 ; tome 50, fasc 1-2.
10. Ali-Hamoud A, Amir H, Bounaga D, Chami M, Djellali N. Contribution à l'étude de l'activité microbiologique de quelques sols de la Sebkhia de Boughzoul. *Physiol Vég* 1980 ; 18 : 19-33.
11. Dommergues Y. Contribution à l'étude de la dynamique microbienne des sols en zone semi-aride et en zone tropicale sèche. Th Doct, Paris, 1962.
12. Robert M, Chenu C. Interactions between soil minerals and microorganisms. *Soil Bioch* 1992 ; 7 : 307-403.
13. Gallali T. Contribution à l'étude pédo-biologique des sols formés sur matériaux sédimentaires, transferts sels-matière organique en zones méditerranéennes. Th Doct État, Nancy, 1980.
14. Pansu M, Sidi H. Cinétique d'humification et de minéralisation de mélanges sols-résidus. *Sci Sol* 1988 ; 25 : 247-65.
15. Sindhu MA, Cornfield AH. Comparative effects of varying levels of chlorides and sulfates of sodium, potassium, calcium and magnesium on ammonification during incubation of soil. *Plant soil* 1967 ; 27 : 468-72.
16. Singh BR, Agarwal AS, Kaneirho Y. Effects of chloride salts on ammonium nitrogen release in two Hawaii soils. *Soil Sci Soc Am Proc* 1969 ; 35 : 557-60.
17. Broadbent FE, Nakashima T. Effect of added salts on nitrogen mineralization in three California soils. *Soil Sci Am Proc* 1971 ; 35 : 457-60.
18. Laura RD. Effects of neutral salts on carbon and nitrogen mineralization of organic matter in soil. *Plant Soil* 1974 ; 41 : 113-27.
19. Mac Cormick RW, Wolf DC. Effect of sodium chloride on CO<sub>2</sub> evolution, ammonification in a Sassafras sandy loam. *Soil Biol Bioch* 1980 ; 12 : 153-7.
20. Frankenberger WT Jr, Bingham FT. Influence of salinity on soil enzyme activities. *Soil Sci Soc Am J* 1982 ; 46 : 1173-7.
21. Mac Clung G, Frankenberger WT Jr. Nitrogen mineralization rates in saline vs salt-amended soils. *Plant Soil* 1987 ; 104 : 13-21.
22. Agarwal AS, Singh BR, Kanehiro Y. Cultivation and soil biomass. *Soil Biol Bioch* 1980 ; 12 : 29-33.
23. Mac Clung G, Frankenberger WT Jr. Soil nitrogen transformations as affected by salinity. *Soil Sci* 1985 ; 139 : 405-11.
24. Mac Crady MH. Tables for rapid interpretation of fermentation tube results. *Public Health J* 1918 ; 9 : 201-20.
25. Pochon J, Tardieux P. Techniques d'analyses en microbiologie du sol. Paris : La tourelle, 1962 ; 11.
26. Barnes H, Folkard AR. The determination of nitrites. *Analyst* 1951 ; 76 : 599.
27. Rubenchik LI. *Azotobacter and its use in agriculture*. London : Old bourne, 1960.
28. Chaussod R, Nicolardot B, Catroux G. Mesures en routine de la biomasse microbienne des sols par la méthode de fumigation au chloroforme. *Sci Sol* 1986 ; 2 : 201-11.
29. Bundy LG, Bremner JM. Inhibition of nitrification in soils. *Soil Sci Soc Am Proc* 1973 ; 37 : 396-8.
30. Halitim A. Sols des régions arides d'Algérie. Alger : OPU, 1988.