

Amélioration d'un sol salé à alcali par utilisation des eaux salées

Ali Mohamed MASSOUMI

Département des Sols. Faculté d'Agriculture, Karadj, Iran.

ABSTRACT

To improve an alkali-rich salty soil an experiment was undertaken under laboratory conditions using saline solutions containing varying concentrations of salts and different S.A.R.

The experiment went through five phases. In each the soil was leached by a saline solution progressively less concentrated, with dosing of the exchangeable sodium in the soil.

The results obtained show that it is possible to use salt water to improve alkali-rich soils, if the water can be progressively diluted. As the Ca and Mg ratios are raised in proportion to all soluble cations in the water used, improvement of the soil may be accelerated.

INTRODUCTION

La méthode classique d'amélioration des sols à alcali consiste à ajouter au sol une quantité suffisante de gypse et à l'irriguer ensuite avec une eau aussi peu minéralisée que possible. Il faut reconnaître que, d'une part, cette méthode n'est pas économique, et que d'autre part, à cause de la faible solubilité du gypse, celui-ci ne peut pas toujours atteindre une concentration suffisante dans la solution du sol pour pouvoir s'infiltrer rapidement dans un sol à alcali qui a, lui-même, une perméabilité faible (Quirk et Scofield, 1955).

Pour cette raison dans les dernières années on a

RÉSUMÉ

Pour améliorer un sol salé à alcali, une expérience a été réalisée au laboratoire en utilisant des solutions salines ayant différentes concentrations en sels et de S.A.R. variés.

Cette expérimentation s'est déroulée en cinq stades successifs. Dans chacun d'eux le sol est lessivé par une solution saline moins concentrée que celle du stade précédent. A chaque stade on a dosé le sodium échangeable du sol.

Les résultats obtenus montrent que l'on peut utiliser de l'eau salée, mais de plus en plus diluée à chacun des stades successifs, pour améliorer des sols alcali. Lorsque la proportion de Ca et Mg par rapport à l'ensemble des cations solubles de l'eau utilisée est plus élevée, l'amélioration du sol est aussi plus rapide.

essayé d'utiliser de l'eau salée, fréquente dans les zones arides pour améliorer des sols à alcali.

Le principe de cette méthode est fondé sur la relation suivante, très souvent utilisée dans l'étude des sols à alcali et de leur amélioration (U.S.D.A. Handbook, 1954) :

$$\frac{Na_e}{T - Na_e} = K \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^{2+} + Mg^{2+}}{2}}}$$

qui est une simple modification de la relation de Gapon et dans laquelle Na_e est le sodium échan-

geable en mé/100 g, T est la capacité d'échange totale en mé/100 g du sol, Na^+ , Ca^{2+} et Mg^{2+} sont les cations solubles, en mé/lit de la solution qui percole le sol, et K est un coefficient qui dépend des caractéristiques du sol (texture, type d'argile). Le second rapport est souvent désigné par SAR (rapport d'adsorption du sodium), d'où :

$$\frac{\text{Na}_e}{T - \text{Na}_e} = K \text{ SAR.}$$

D'autre part, on désigne souvent le rapport

$$\frac{\text{Na}_e}{T} \times 100$$

du sol, où T représente sa capacité d'échange, par ESP (pourcentage de sodium échangeable) :

$$\text{ESP} = \frac{\text{Na}_e}{T} \times 100$$

on peut donc écrire :

$$\text{ESP} = \frac{100 \text{ SAR}}{\frac{1}{K} + \text{SAR}}$$

Si l'on utilise une eau salée de concentration C_0 et présentant un rapport d'adsorption du sodium SAR_1 , et si elle est diluée successivement n fois avec de l'eau douce, la variation de sa concentration et de son S.A.R. pourra s'exprimer de la façon suivante, comme l'ont déjà écrit Reeve et Doring (1966b) :

$$C_n = \frac{C_0}{d_n}, \quad C_n = C_0 \cdot d_n^{-1}$$

$$\text{SAR}_n = \text{SAR}_1 (d_n)^{-1/2}$$

Compte tenu des relations précédentes, la proportion de sodium échangeable d'un sol, irrigué par une eau salée, n fois diluée et ayant à la fin un S.A.R._n sera donc :

$$\text{ESP}_n = \frac{100 \text{ SAR}_n}{\frac{1}{K} + \text{SAR}_n}$$

Reeve et Doring ont montré que l'on peut aussi exprimer S.A.R._n et E.S.P._n par les relations suivantes :

$$\text{SAR}_n = \left[2 C_n \left(\frac{1}{R} + R - 2 \right) \right]^{\frac{1}{2}}$$

et

$$\text{ESP}_n = \frac{100}{1 + K \left[2 C_n \left(\frac{1}{R} + R - 2 \right) \right]^{\frac{1}{2}}}$$

où C_n est la concentration en mé/l d'ions $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{Na}^+$ de la solution n fois diluée et R le rapport à cette somme de Ca + Mg :

$$R = \frac{\text{Ca} + \text{Mg}}{\text{Ca} + \text{Mg} + \text{Na}}$$

DÉROULEMENT DE L'EXPÉRIMENTATION

Dans cette étude on s'est attaché à lixivier de ses éléments sodiques un sol salé à alcali en utilisant différentes solutions salines. Le « lessivage » du sol a été réalisé en 5 stades successifs ; à chaque stade, la solution saline utilisée a été moins concentrée que celle du stade précédent. Cette méthode de lixiviation a été préconisée par Reeve et Doering (1965).

Ce travail a été effectué en trois étapes :

1. Echantillonnage du sol

Le sol très salé à alcali utilisé dans cette étude provient de la plaine de Ghazvine, ville située environ à 140 km à l'ouest de Téhéran. L'échantillon a été prélevé dans un horizon superficiel dont les caractères physiques et chimiques essentiels sont portés dans le tableau suivant.

2. Préparation de l'eau salée

Comme nous l'avons déjà noté, cette étude s'est effectuée dans les conditions du laboratoire. Nous avons cherché à limiter autant que possible les paramètres de l'expérimentation, afin de pouvoir mieux

TABLEAU 1

Caractères physiques et chimiques de l'échantillon de sol utilisé dans l'expérience

Granulométrie p. cent			pH	Cond. élec. de l'extrait de pâte saturée mmhos/cm	Capacité d'échange mé/100 g	$\frac{\text{Na}}{\text{T}} 100$	Cations échangeables mé/100 g	
Argile	Limon	Sables					Na	Ca + Mg
59	21	20	9,2	10,5	23	47,8	11	12

Cations et anions solubles dans l'extrait de pâte saturée mé/l					
Na	Ca + Mg	Cl	SO ₄	CO ₃	CO ₃ H
112,5	12	49	62	8	—

étudier l'influence de la concentration saline et du rapport cationique de la solution sur l'amélioration du sol. Dans ce but, on a utilisé de l'eau salée artificiellement en employant uniquement du chlorure de calcium et du chlorure de sodium. On a donc préparé 5 séries de 5 solutions, de rapports cationiques et S.A.R. différents et, dans chaque série, de concentration saline décroissante.

TABLEAU 2

Valeur des SAR des solutions utilisées en fonction de leur concentration saline et de leur rapport cationique

R \ C mé/l	400	200	100	50	25
0,1	80,3	56,7	40,2	28,3	20
0,2	50,5	35,7	25,2	17,7	12,6
0,3	36,1	25,5	18	12,7	8,1
0,4	26,8	18,9	13,4	9,5	6,6
0,5	20	14,1	10	7	5

3. Lessivage des sols par les solutions salines

Pour étudier la « lixiviation » des sols par les solutions salines, on a opéré sur 25 échantillons du même sol en réalisant chaque fois trois répétitions.

Cette opération a été faite dans des tubes en plastique ayant 12 cm de hauteur et 8 cm de diamètre. Ces tubes ont été remplis de sol jusqu'à 8 cm de hauteur de façon que la densité apparente de tous ces échantillons soit constante et égale à 1,3. La charge hydraulique de l'eau d'infiltration à la surface de tous ces tubes a été gardée constante et égale à 2 cm.

Dans la première phase on a opéré la percolation de tous ces échantillons avec des solutions salines ayant une concentration égale à 400 mé/lit, mais présentant des rapports cationiques et donc des S.A.R. différents. Dans chaque cas, cette opération a été poursuivie jusqu'à ce que l'eau percolée et l'eau apportée aient le même S.A.R. A ce moment, il y a équilibre entre les cations solubles et échangeables du sol.

A ce stade, on a écarté la première série du sol (5 échantillons en trois répétitions), et repris le lessivage des séries suivantes par une autre solution saline ayant une concentration de 200 mé/lit, mais avec encore les mêmes gammes de valeurs de R, jusqu'à ce que les S.A.R. de l'eau percolée et de l'eau infiltrée soient égaux. Cette méthode de lessivage a été continuée successivement jusqu'à une solution saline de 25 mé/lit.

A chaque série de lessivage, on a prélevé successivement les fractions d'eau percolée, et mesuré ensuite leur concentration en Ca, Mg et Na. On a aussi analysé les sols de chaque série lessivée pour connaître le pourcentage de sodium échangeable à chaque stade.

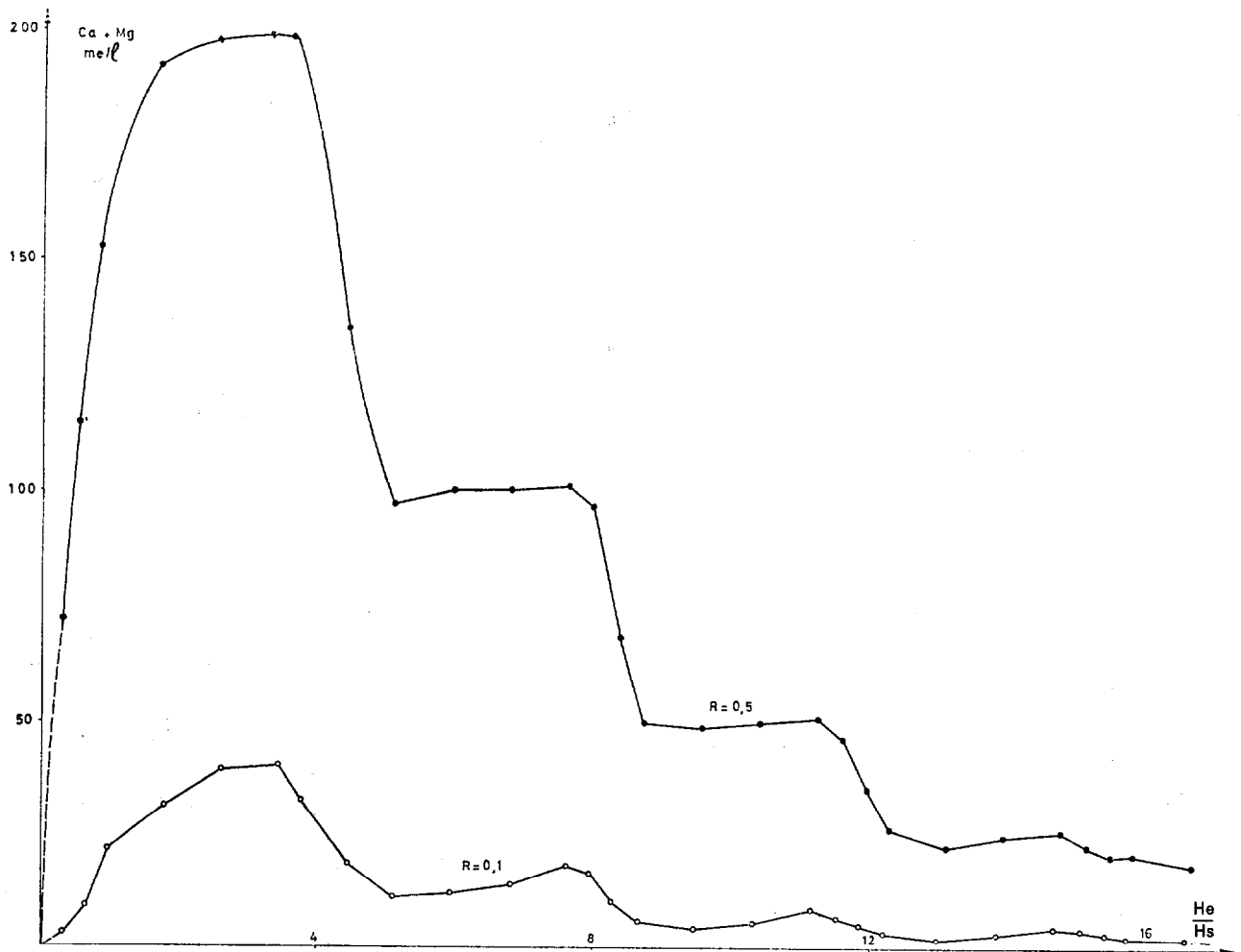


FIG. 1. — Variations des taux de Ca et Mg de l'eau percolée aux différents stades de lessivage.

RÉSULTATS ET DISCUSSION

Les résultats obtenus au cours de cette expérience sont les suivants :

a. Ca et Mg de l'eau percolée

Si l'on porte la quantité de Ca et de Mg de l'eau percolée en ordonnée et le rapport de la hauteur d'eau percolée à l'épaisseur du sol ou $\frac{H_e}{H_s}$ en abscisse (fig. 1), on arrive aux conclusions suivantes :

Dans le premier stade de percolation, Ca et Mg de l'eau apportée sont absorbés par les colloïdes du sol

au fur et à mesure que l'eau s'infiltré dans le sol. A partir d'un certain moment, ils atteignent un équilibre et leur quantité devient égale à celle de l'eau du lessivage. Ces résultats ne correspondent pas à ceux obtenus par Shah Muhammed et Mc. Neal (1969), car ceux-ci ont montré dans leur expérience de lessivage du sol par la solution saline que la quantité de Ca et Mg de l'eau percolée commençait d'abord par diminuer, puis augmentait progressivement. Cette différence de déroulement des deux expérimentations tient probablement aux caractères chimiques différents des sols étudiés.

Dans le deuxième stade de lixiviation avec une eau de concentration saline plus faible (200 mé/l) et dans

les suivants, la quantité de Ca et de Mg diminue suivant la quantité de l'eau percolée jusqu'à une valeur minimum, mais elle augmente ensuite légèrement jusqu'à ce qu'elle soit constante et égale à celle qui s'infiltré dans le sol.

La diminution de la quantité de Ca et de Mg dans l'eau percolée pourrait s'expliquer par le fait que dans chaque série de lessivage, le sol est lessivé par une solution moins concentrée que la précédente : le mélange de cette solution saline avec la solution existant dans le sol donne alors une concentration moins importante que celle de la précédente. Par ailleurs, une certaine quantité de Ca et de Mg de la

solution est absorbée par les colloïdes du sol au fur et à mesure que la solution saline s'infiltré dans le sol. Ces deux phénomènes provoquent une diminution de la concentration de la solution percolée par rapport à celle de la précédente.

b. Variations du sodium soluble

La mesure de la quantité de sodium soluble dans l'eau percolée montre que la concentration de cet élément diminue à chaque stade de lessivage suivant la quantité de l'eau de percolation, mais devient constante à partir d'une certaine quantité percolée.

On peut voir cette variation sur la figure 2.

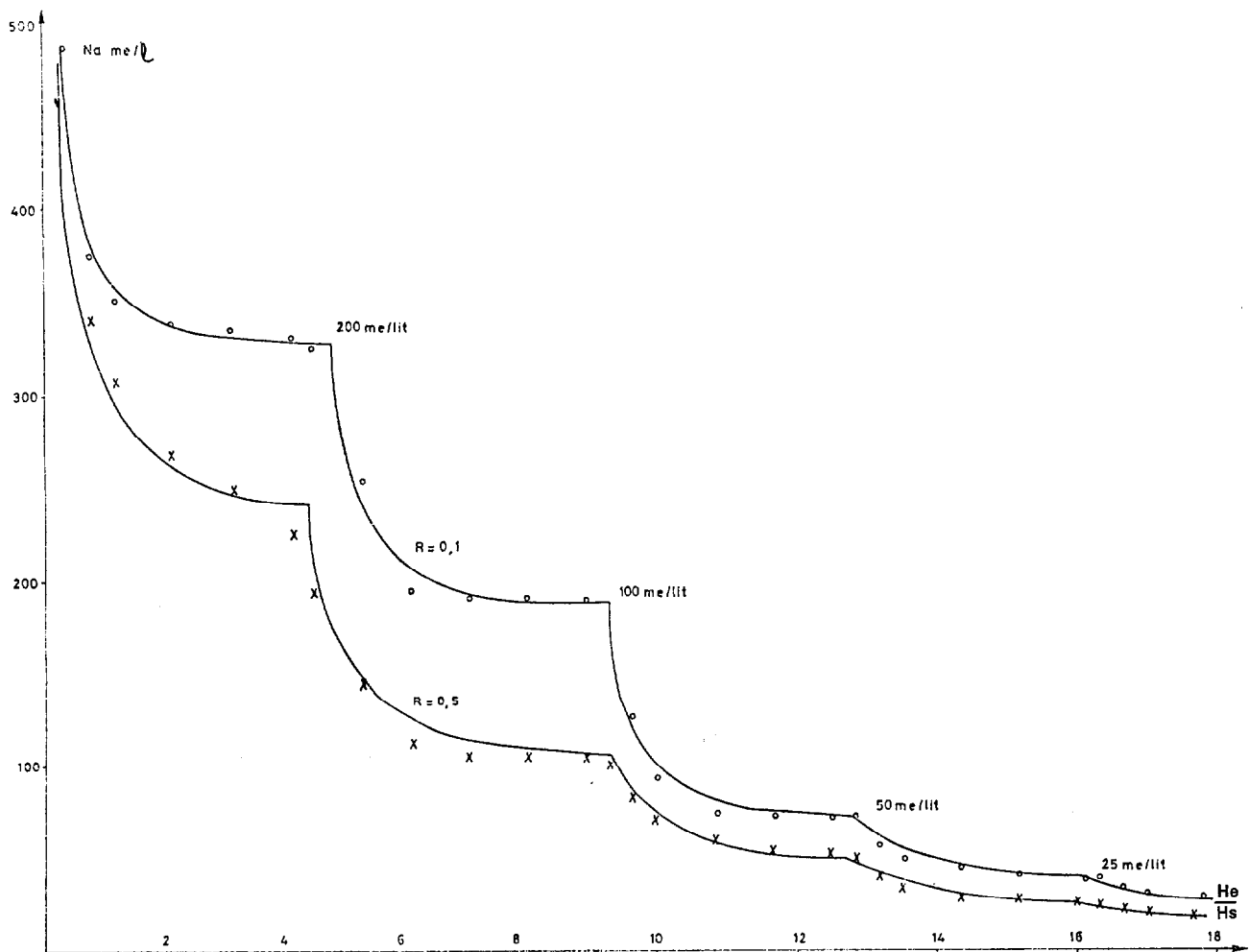


FIG. 2. — Variations des taux de Na de l'eau percolée aux différents stades de lessivage.

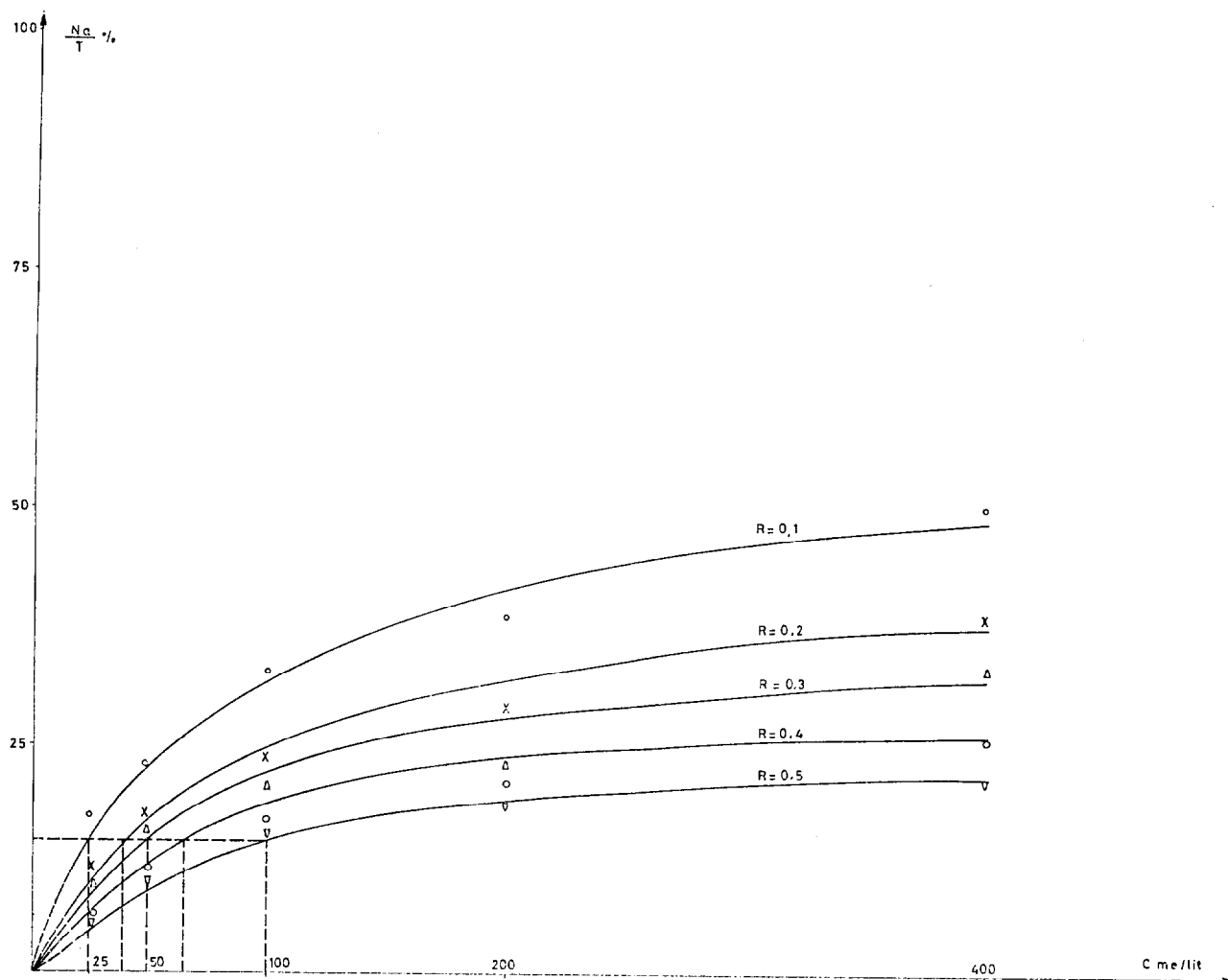


FIG. 3. — Variations du pourcentage du sodium échangeable du sol en fonction des différents rapports cationiques.

c. Variations du sodium échangeable

Les variations du sodium échangeable sont fonction des variations du S.A.R. de l'eau d'irrigation (U.S.D.A. Handbook 1954). Si l'on porte en ordonnée la valeur du sodium échangeable du sol au cours des différents stades de « lessivage », et la valeur de la concentration des solutions salines en abscisses (fig. 3), on observe que lorsque la concentration d'une solution diminue, le sodium échangeable diminue aussi. Le S.A.R. de la solution diminue lorsque la

concentration de celle-ci baisse, et le sodium échangeable diminue jusqu'à ce qu'il se trouve en équilibre avec la solution infiltrée dans le sol.

Comme on peut le voir par les résultats de cette étude, reportés dans le tableau 3, pour chacun des stades de lixiviation, l'influence d'une solution est d'autant plus importante sur la diminution du sodium échangeable et elle abaisse d'autant plus vite le rapport Na/T jusqu'à une valeur donnée, qu'elle présente un rapport cationique plus élevé.

TABLEAU 3

Variations de pourcentage de sodium échangeable aux différents stades de lixiviation en fonction de la concentration et du rapport cationique des solutions salines

R \ C mé/l	400	200	100	50	25
0,1	48,9	38,2	33,6	23,4	19,1
0,2	40	28,6	24,2	18,4	13
0,3	31,7	21,7	21	16,5	11,3
0,4	25,6	21,3	17,3	13	7,6
0,5	21,7	18,7	14,1	13	5,6

Si l'on reconnaît que dans beaucoup de sols, le seuil d'alcalisation correspond à peu près à une valeur de Na/T égale à 15 p. cent, on peut voir que, dans le cas de la solution de R = 0,5, cette valeur limite est atteinte, et le sol peut être considéré comme amélioré lorsque la concentration de la solution saline diminue à 100 mé/l, c'est-à-dire après l'avoir diluée deux fois à partir d'une concentration égale à 400 mé/l. Dans le cas de la solution de R = 0,1, au contraire, le lessivage du sol doit être continué jusqu'à ce que la concentration de la solution saline soit descendue jusqu'à 25 mé/l. Ce phénomène est très important dans l'utilisation des eaux salées pour l'amélioration des sols à alcali. Reeve et Doring (1966 a) sont arrivés aux mêmes conclusions dans leurs expériences.

Nous avons comparé les résultats obtenus par l'expérimentation, et ceux calculés par la relation:

$$ESP_n = \frac{100 SAR}{\frac{1}{K} + SAR_n}$$

en prenant K = 0,012, dont on peut voir les résultats sur le tableau 4 ci-dessous.

TABLEAU 4

Pourcentage calculé de sodium échangeable du sol

R \ C mé/l	400	200	100	50	25
0,1	40	40,4	32,5	25,3	19,3
0,2	37,7	29,9	23,2	17,5	13,1
0,3	30,2	23,4	17,7	13,2	4,9
0,4	24,3	18,5	13,8	10,2	4,4
0,5	19,3	14,5	10,7	4,5	3,8

La comparaison des tableaux 3 et 4 montre une bonne corrélation, avec un coefficient de corrélation égal à 98 (r = 0,98), qui est significatif au niveau de 1 %.

Nos résultats viennent donc à l'appui des travaux de Reeve et Doering et soulignent l'intérêt de la méthode de dessalement et désalcalisation des terres salsodiques, par utilisation d'eau fortement salée au départ et de salure progressivement plus faible.

Manuscrit reçu au SCD de l'ORSTOM le 29 octobre 1975

BIBLIOGRAPHIE

- BOWER (C.A.), 1959a. — Cation exchange equilibria in soils affected by sodium salts. *Soil Science*, 88 : 32-35.
- BOWER (C.A.), 1969b. — Soil and water balance, Coachella Valley, California. *Proc. J. Irrig. and Drain. ASCE*, 95.
- DOERING (B.J.), REEVE (R.C.), 1965. — Engineering aspects of the reclamation of sodic soils with high salt waters. *Proc. J. Irrig. and Drain. ASCE*, 91, IR4, Proc. paper 4588 : 57-72.
- QUIRK (J.P.), SCOFIELD (P.K.), 1955. — The effect of electrolyte concentration on soil permeability, *J. Soil Sci.* 6, 2 : 163-178.
- REEVE (R.C.), DOERING (B.J.), 1966a. — Field comparison of the high-salt water dilution method and the conventional methods for reclaiming sodic soils, 6th Cong. Intern. Comm. Irrig. et Drainage, New-Delhi, R 1, 19-1, 19-14.
- REEVE (R.C.), DOERING (B.J.), 1966b. — The High salt water dilution method for reclaiming sodic soils, *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 30 : 498-504.
- SHAH MUHAMMED (B.L.), McNEAL (C.A.), BOWER (P.F.) et al., 1969. — Modification of the high salt water method for reclaiming sodic soils. *Soil Sci.*, vol. 108, 4 : 249-256.
- U.S. Salinity Laboratory Staff, 1954. — Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. U.S.D.A. Handbook 60, 160 p.