

Influence du taux de sodium échangeable et de la concentration saline sur la conductivité hydraulique d'un matériau argileux des plaines du Cheliff (Algérie)

Y. DAOUD* et J. B. RWANIKA*

* I.N.A., Département de Science du Sol. Avenue Pasteur - El Harrach - Alger.

Résumé: L'influence du taux de sodium échangeable et de la concentration saline de la solution sur la conductivité hydraulique de la fraction inférieure à 2 μm d'un sol a été étudiée au laboratoire sous une pression pneumatique de 0,1 bar à 20°C. La conductivité hydraulique diminue lorsque le taux de sodium échangeable augmente, et croît avec la concentration saline de la solution. La relation entre le taux de sodium échangeable et la concentration saline critique a été déterminée.

Le gonflement ne joue pas un rôle important dans la réorganisation de ce matériau, la dispersion expliquerait certaines variations de la conductivité hydraulique mais d'autres résultats ne semblent liés ni au gonflement ni à la dispersion des particules colloïdales du matériau.

Mots clés: conductivité hydraulique, taux de sodium échangeable, concentration saline, gonflement, dispersion.

Abstract - Influence of exchangeable sodium and salt concentration on the hydraulic conductivity of a clay fraction from Cheliff (Algeria) has been studied in laboratory under pneumatic pressure of 0,1 bar at 20°C.

The hydraulic conductivity decreased with exchangeable sodium and increased with the salt concentration of the solution. The relationship between exchangeable sodium and critical salt concentration has been determined.

The swelling does not play a major role in the reorganization of the clay fraction studied; the dispersion phenomenon decreased the hydraulic conductivity in some cases, but in others, the hydraulic conductivity is influenced neither by swelling nor dispersion of colloidal particles.

Key words: Hydraulic conductivity, exchangeable sodium, salinity, swelling, dispersion.

I. INTRODUCTION

De nombreux travaux ont montré que la conductivité hydraulique est influencée par la concentration saline de la solution du sol et le taux de sodium échangeable, l'intensité de leur variation dépend de la teneur et de la nature de la fraction argileuse du sol (Mc Neal, 1968; Hamid et Mustapha, 1975).

Le principal problème que rencontre l'utilisation des sols salés est le maintien d'une perméabilité suffisante pour éliminer les sels solubles et le sodium échangeable qu'ils renferment (U.S.S.L., 1954).

En effet, si l'augmentation de la concentration saline a un effet favorable sur la conduc-

tivité hydraulique du sol, l'élévation du taux de sodium échangeable provoque une diminution de la conductivité hydraulique (Mc Neal, 1968; Hamid et Mustapha, 1975; Quirk, 1984; Halitim *et al.*, 1984). Il s'agit donc d'évaluer, pour chaque type de matériau, la concentration saline nécessaire pour maintenir une conductivité hydraulique suffisante à chaque taux de sodium échangeable (Quirk, 1984).

Le but du présent travail est d'étudier l'influence de la concentration saline et du taux de sodium échangeable sur la conductivité hydraulique d'un matériau argileux des plaines du Cheliff, et d'établir une relation entre le taux de sodium échangeable et la concentration saline critique nécessaire pour maintenir une conductivité hydraulique suffisante.

II. MATERIEL ET METHODES

1. MATERIEL D'ETUDE

La mesure de la conductivité hydraulique a été effectuée sur la fraction inférieure à 2 µm d'un échantillon provenant de l'horizon de surface d'un sol des plaines du Cheliff. La fraction inférieure à 2 µm a été extraite par sédimentation et les différents lots sont mis en équilibre avec l'une des solutions salines étudiées (concentrations salines obtenues avec $\text{CaCl}_2 + \text{NaCl}$ de 100, 50, 20, et 10 meq/l; le SAR pour chaque concentration est de 0,5, 10, 15, 20, ∞) par 5 lavages consécutifs (le rapport matériau argileux / solution utilisé est de 1/20), les échantillons ainsi préparés sont conservés à l'état de pâte à 4°C pour inhiber toute activité biologique.

La fraction inférieure à 2 µm utilisée est constituée d'interstratifiés gonflants du type smectites-illites (40 à 50%), de kaolinite (8 à 12%), de vermiculite, de chlorite, de composés amorphes, de quartz et de calcite (11%). Sa capacité d'échange cationique mesurée par la méthode à l'acétate de sodium à pH 8,2 est de 23,6 meq/100g de matériaux.

Pour ce type matériau d'argileux, la relation que nous avons calculée entre le SAR et l'ESP est la suivante:

$$\text{ESP} = 1,02 \text{ SAR} + 1,71 \quad (r^2 \equiv 0,90; n = 24)$$

$$\text{SAR} = \text{Na} [(Ca+Mg)/2]^{1/2}, \text{ les concentrations ioniques sont exprimées en meq/l}$$

$$\text{ESP} = \text{Na} \cdot 100/\text{CEC}$$

2. METHODE D'ETUDE

2.1. La conductivité hydraulique

Les mesures de la conductivité hydraulique ont été réalisées à l'aide d'un dispositif conçu par Prost (1984) constitué d'une cellule qui contiendra le matériau apporté sous forme d'une suspension à 60mg de matériau / cm^3 , d'une source d'air comprimé, et d'un dispositif de pesée et d'enregistrement des volumes d'eau écoulés en fonction du temps. L'échantillon est mis en équilibre avec une pression de 0,1 bar, la solution de percolation utilisée est celle qui a servi aux laves

des échantillons, la mesure du débit est réalisée sous la même pression de 0,1 bar à 20°C. Les mesures du volume apparent par la méthode au pétrole montrent qu'à cette pression les échantillons sont saturés en eau. L'épaisseur des échantillons est calculée en utilisant une valeur de la densité réelle de 2,65g/ cm^3 . Le calcul statistique réalisé sur des résultats d'une série de 8 répétitions a permis de montrer que dans nos conditions expérimentales, le coefficient de variation de cette méthode est 10,98% pour une probabilité de 95%. La conductivité hydraulique est calculée en appliquant la loi de Darcy:

$$K = \frac{Q}{q} \cdot \frac{(e_a + e_f)}{p}$$

K = conductivité hydraulique ($\text{cm} \cdot \text{S}^{-1}$)

Q = débit écoulé ($\text{cm}^3 \cdot \text{S}^{-1}$)

q = section de la cellule de mesure (cm^2)

e_a = épaisseur de la pâte d'argile (cm)

e_f = épaisseur du filtre millipore (0,016 cm)

p = pression exercée (cm).

Les mesure sont réalisées en 3 répétitions.

2.2. La dispersion

Les mesures de la dispersion ont été effectuées selon la méthode décrite par Velasco Molina *et al.*, (1971). Les échantillons traités avec les différentes solutions salines sont séchés à 105°C. 1g du matériau argileux est introduit dans un godet de centrifugeuse auquel sont ajoutés 10 ml de la solution saline. La suspension est agitée pendant 15 minutes et ensuite centrifugée à 1000 tours/mn pendant 5 minutes. La quantité de particules contenue dans le surnageant est déterminée par séchage à 105°C, l'expression des résultats en % de la quantité de matériau argileux utilisé donne le taux de dispersion. Les mesures sont réalisées en 2 répétitions.

2.3. Le volume apparent

La détermination au volume apparent est réalisée en mesurant la poussée provoquée par l'échantillon plongé dans du pétrole (Monnier *et al.*, 1973). Les mesures sont réalisées en 3 répétitions, le coefficient de variation obtenu est de 3%.

III. RESULTATS ET DISCUSSION

La relation entre la conductivité hydraulique, la concentration saline, et le SAR (figure 1) montre que pour des valeurs de SAR inférieures à 20, la conductivité hydraulique augmente avec la concentration saline, pour les échantillons sodiques (SAR = ∞) l'influence de la concentration saline sur la conductivité hydraulique est peu marquée. Le calcul statistique a permis de mettre en évidence une équation de régression entre la conductivité hydraulique (KH), le SAR, et la concentration saline (C en meq/l).

$$KH = - 0,087 SAR + 0,058 C + 7,60$$

$$(r = - 0,80, n = 24)$$

Les mécanismes responsables de la diminution de la conductivité hydraulique sous l'influence de taux croissants de sodium échangeable seraient le gonflement, la dispersion et la migration des particules colloïdales du matériau; le gonflement provoquerait un affaiblissement des liaisons entre les particules ce qui engendrerait leur dispersion et leur migration; celles-ci auraient pour conséquence la réduction de la taille des macropores (Quirk et Schofield, 1955; Mc Neal et Coleman, 1966).

Si nous examinons le gonflement et la dispersion du matériau étudié pour une concentration saline de 10 meq/l et pour 4 valeurs de SAR (0, 10, 15, ∞), les résultats (figure 2) montrent que le gonflement, exprimé par l'évolution du volume apparent du matériau, ne se manifeste pas dans ce matériau en équilibre avec une pression pneumatique de 0,1 bar; le volume apparent diminue entre le SAR 0 et le SAR 15, et reste stable entre le SAR 15 et le SAR ∞

Les valeurs de dispersion obtenues montrent que jusqu'au SAR 10, le taux de dispersion est relativement stable, par la suite il augmente pour le SAR 15 et le SAR ∞. Il s'avère donc que lorsque le SAR passe de 0 à 10, la conductivité hydraulique et le volume apparent diminuent, le taux de dispersion varie peu; ce résultat suggère que ce sont d'autres mécanismes responsables de la réorganisation du matériau qui seraient la cause de la diminution de la taille des macropores et de la conductivité hydraulique, il s'agirait probablement d'un retrait du matériau sans dispersion des particules colloïdales. Lorsque le SAR passe de 10 à 15, la conductivité hydraulique

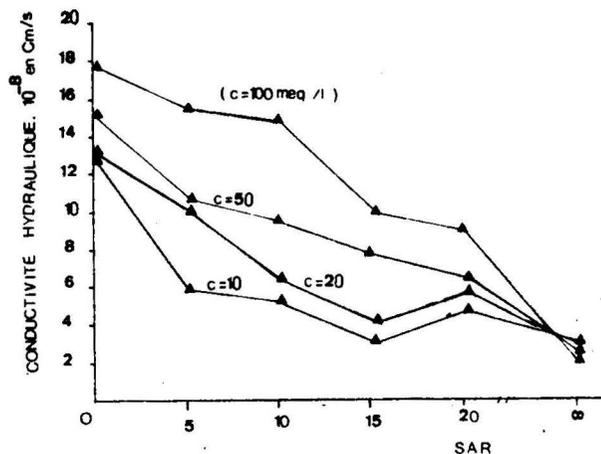


Fig. 1 - Variations de la conductivité hydraulique en fonction du SAR et de la concentration saline de la solution

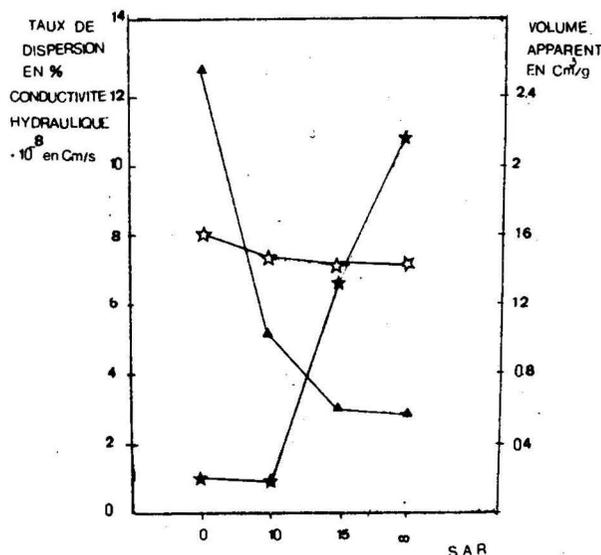


Fig. 2 - Evolution de la conductivité hydraulique (▲) du taux de dispersion (★) et volume apparent (☆) en fonction du SAR pour une concentration saline de 10 meq/l

diminue, le taux de dispersion augmente, et le volume apparent varie peu, la dispersion des particules, sans gonflement du matériau, et leur migration seraient responsables de la chute de la conductivité hydraulique. Quand le SAR passe de 15 à ∞, la conductivité hydraulique et le volume apparent varient peu, l'augmentation du taux de dispersion ne modifie plus de façon significative la conductivité hydraulique.

Les relations qui existent entre la conductivité hydraulique, le SAR, et la concentration saline permettent d'aborder la notion de concentration saline critique qui est définie comme étant la concentration saline de la solution mixte ($\text{CaCl}_2 + \text{NaCl}$) qui permet, pour un SAR donné, de maintenir la conductivité hydraulique relative égale à 0,75 (Quirk et Schofield, 1955). La conductivité hydraulique relative (K.H.R) est calculée en exprimant la conductivité hydraulique obtenue avec une solution donnée comme une fraction de la plus forte valeur de la conductivité hydraulique obtenue avec la solution de $\text{SAR} = 0$ et $C = 100$ meq/l; cette valeur est de $17,62 \cdot 10^{-8}$ cm/s. Les données présentées dans la figure 3 et le tableau I permettent d'obtenir les résultats présentés dans le tableau II.

Les valeurs de concentration saline critique obtenues pour ce matériau sont plus élevées que celles présentées par Quirk et Schofield (1955) qui ont travaillé sur un matériau limoneux dont la fraction argileuse est composée de kaolinite et d'illite, elles sont très proches de celles obtenues par Hamid et Mustapha (1975) dans le cas d'un matériau argileux contenant essentiellement de la montmorillonite et secondairement de la kaolinite.

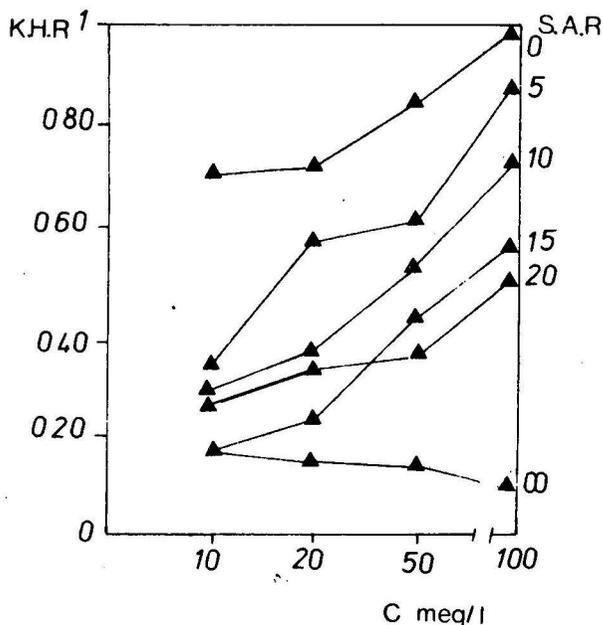


Fig. 3 - Evolution de la conductivité hydraulique relative en fonction du SAR et de la concentration saline

Tableau I - Valeurs des conductivités hydrauliques relatives en fonction du SAR et de la concentration saline

C / meq/l SAR	100	50	20	10
0	1	0,84	0,72	0,71
5	0,88	0,61	0,57	0,33
10	0,75	0,52	0,35	0,28
15	0,56	0,43	0,22	0,16
20	0,50	0,35	0,32	0,26
∞	0,09	0,13	0,14	0,16

Tableau II - Concentration saline critique pour différentes valeurs de SAR

SAR	Taux de sodium échangeable (ESP)	Concentration saline critique en meq/l
0	0	26
	6,81	77,5
10	11,91	100
15	17,01	100
20	22,11	100
∞	100	100

CONCLUSION

L'évolution de la conductivité hydraulique en fonction du taux de sodium échangeable et de la concentration saline de la solution montre que l'effet favorable des sels solubles s'oppose à l'action de dégradation du sodium échangeable. Le calcul de la concentration saline critique permet de fixer la concentration en sels solubles nécessaire pour éviter une chute de conductivité hydraulique de plus de 25% pour chaque taux de sodium échangeable.

Les mécanismes responsables de la diminution de la conductivité hydraulique sous l'influence du sodium échangeable seraient fonction du taux de sodium échangeable. En effet, pour des valeurs de SAR inférieures à 10, la diminution de la conductivité hydraulique serait provoquée par un phénomène de retrait du matériau; alors que pour une valeur de SAR égale à 15,

c'est le phénomène de dispersion des particules colloïdales qui serait responsable de la diminution de la conductivité hydraulique du matériau. Plus généralement, il s'avère que la diversité des mécanismes qui rentrent en jeu rend assez complexe l'élaboration de modèle de prédiction de l'effet du taux de sodium échangeable et de la concentration saline sur la conductivité hydraulique de ce type de matériau argileux.

BIBLIOGRAPHIE

- Halitim, A., Robert, M., Tessier, D., Prost, R. 1984.** Influence des cations échangeable (Na^+ , Ca^{++} , Mg^{++}) et de la concentration saline sur la comportement physique (rétention en eau, conductivité hydraulique) de la montmorillonite. *Agronomie* 4 (5), 451-459.
- Hamid, K.S., Mustapha M.A. 1975.** Dispersion as an index of relative hydraulic conductivity in salt affected soils of the Sudan. *Geoderma* 14, 107-114.
- Mc Neal, L. 1968.** Prediction of the effect of mixed-salt solutions on soil hydraulic conductivity *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 32, 190-193.
- Mc Neal, B.L., Coleman T.N. 1966.** Effect of solution composition on soil hydraulic conductivity. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 30, 308-312.
- Monnier, G., Stengel P., Fies J.C. 1973.** Une méthode de mesure de la densité apparente de petits agglomérats terreux. Application à l'analyse des systèmes de porosité du sol. *Ann. Agron.* 24 (5), 533-545.
- Prost, R. 1984.** Etude de la conductivité hydraulique des pâtes de kaolinite en fonction de l'enthalpie libre ΔG du système argile-eau. *Agronomie* 4 (1), 29-36.
- Quirk, J.P. 1984.** Soil permeability in relation to sodicity and salinity. *Doc. multigr. Univ. Adelaide*, 58 p.
- Quirk, J.P., Schofield, R.K. 1955.** The effect of electrolyte concentration on soil permeability. *J. Soil Sci.* 6, 163-178.
- Velasco-Molina, H.A., Swoboda, A.B., Godfrey, G.L. 1971.** Dispersion of soil of different mineralogy in relation to sodium adsorption ratio and electrolyte concentration. *Soil Sci.* 111 (5), 282-287.
- U.S. Salinity Laboratory Staff, 1954.** Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. *U.S.D.A. Handbook*, n° 60, 160 p.