

ETUDE EXPERIMENTALE DE L'INFLUENCE DU LESSIVAGE, DE LA PAILLE ET DU SULFATE DE CALCIUM SUR LA DYNAMIQUE DU COMPLEXE ABSORBANT D'UN SOL SODIQUE D'ALGERIE.

par A. HALITIM et D. HEDDADJ

Institut National Agronomique, Alger - Département des Sciences du Sol

RESUME

Notre étude a porté sur un échantillon représentatif des sols salins à alcali des hautes plaines de l'Est Algérien. Ce sol prélevé dans la couche 0-30 cm présente des propriétés physiques défavorables à la croissance des végétaux (texture argileuse, mauvaise stabilité structurale, faible perméabilité). L'échantillon est pauvre en matière organique et le rapport C/N est d'environ 14. Par contre il est bien pourvu en calcaire actif (12,3%). Sur ce sol, nous avons étudié expérimentalement au laboratoire, l'influence du lessivage, de la paille et du sulfate de calcium sur la dynamique du complexe absorbant. Les expériences ont été réalisées sous des conditions d'humidité et de température considérées comme optimales à l'évolution de la matière organique.

Les principaux résultats obtenus montrent que:

— Le lessivage, l'incorporation de paille ou l'apport de sulfate de calcium permettent de désorber le sodium et le magnésium échangeables. Cependant, l'influence du lessivage sur la désorption du magnésium échangeable n'est pas significative. Les effets du lessivage, du sulfate de calcium et de la paille sur les deux cations cités, sont additifs.

— La vitesse de désorption du Na^+ échangeable est rapide surtout au début de l'expérience. Elle devient de plus en plus lente au fur et à mesure que l'E.S.P. baisse. Il est à signaler que l'élimination totale du sodium du complexe serait difficile voire impossible.

— La désorption du magnésium échangeable suit une allure différente de celle du sodium et est quantitativement nettement plus faible. En effet, le départ du magnésium ne devient important qu'à partir du moment où une grande partie du sodium a été remplacée par le calcium sur le complexe.

— L'adsorption par le complexe du calcium en fonction de la concentration en cet élément de la solution du sol présente une allure de courbe en puissance.

— Dans cet échantillon, l'échange ionique n'intéresse que très faiblement le potassium échangeable.

I - INTRODUCTION.

En Algérie, les sols sodiques couvrent de très importantes surfaces, et limitent ainsi la production agricole. Cependant, des expériences réalisées dans d'autres pays ont montré que, débarrassés d'une manière appropriée de leurs sels, ces sols s'avèrent en général assez fertiles (HAYWARD, 1962).

C'est pourquoi, nous nous sommes intéressés à leur mise en valeur. La région que nous avons retenue pour l'étude est située dans les hautes-plaines dont les sols sodiques présentent souvent des propriétés physiques et chimiques particulièrement défavorables à la croissance des plantes cultivées et posent des problèmes de mise en valeur. Notre étude préliminaire a montré que ces sols sont caractérisés principalement par:

- Une texture trop fine.
- Une mauvaise stabilité structurale.
- Une perméabilité faible.
- Une réaction du sol élevée.
- Un faible taux de matière organique dont l'évolution est lente.
- Une conductivité électrique, et particulièrement des teneurs en Cl^- et SO_4^{--} de la solution du sol, très élevées.
- Un taux en sodium échangeable souvent supérieur à 15%.
- Une teneur élevée de calcaire actif.

Une contribution importante à l'amélioration de ces sols sodiques va être d'éliminer les sels du sol et le sodium échangeable.

Cette élimination ne peut se faire que par l'irrigation. Cependant, l'eau apportée doit pouvoir traverser le sol assez rapidement. L'augmentation de la vitesse d'infiltration de l'eau est dès lors une opération indispensable dans le processus de régénération de ces sols salés, étant donnée leur faible perméabilité. En effet, des tentatives d'amélioration de ces sols salins à alcali, par irrigation et drainage, n'ont pas donné de résultats concluants. Cependant, dans d'autres pays des chercheurs (BOWER et ses collègues, 1951; SADHU et BHUMBLA, 1967; HENIN et Coll., 1969) ont montré que la matière organique a une influence favorable sur la vitesse d'infiltration. Cela nous a amené à étudier l'action de la paille sur la perméabilité et sur l'élimination des sels solubles et du sodium échangeable de ces sols.

Toutefois pour activer l'amélioration de ces sols sodiques des auteurs ont préconisé l'apport de gypse (BHUMBLA et Coll., 1964; ALVIN D. AYERS, 1964, CHUDRY et WARKETIN, 1968). Néanmoins, il est à signaler que l'effet de cet amendement est controversé. Quelques auteurs n'ont pas remarqué d'action favorable du gypse sur certains types de sols sodiques (GRAVELAND et TOOGOOD, 1963; REEVE et TAMADOONI, 1965, J. C. VAN SCHAIK, 1967). Une étude de laboratoire réalisée en Algérie (J. H. DURAND, 1951) a montré l'effet favorable de cet amendement sur la perméabilité d'un sol alcalin. Mais, l'évolution de cette dernière, dans le temps, sous l'action de l'irrigation, n'a pas été étudiée.

Aussi, nous nous proposons de contribuer à la connaissance de la dynamique du complexe absorbant de sols sodiques d'Algérie sous l'influence du lessivage, de la paille et du sulfate de calcium.

II - MATERIEL ET TECHNIQUE EXPERIMENTALE.

A) MATERIEL:

1. *Le sol:*

L'échantillon utilisé a été prélevé sur les hautes plaines, dans la zone du périmètre de Bir Boussaha (plaine de Remila). Les caractéristiques de cet échantillon sont reproduites dans le tableau 1.

2. *La paille:*

Il s'agit d'une paille d'orge qui a été préalablement analysée (tableau 2).

TABLEAU 1 - *Caractéristiques de l'Echantillon.*

Caractères physiques	Argile granulométrique	50,1 %
	Limon fin	32,9 %
	Limon grossier	7 %
	Sable fin	5,6 %
	Sable grossier	1,8 %
	Indice d'Instabilité - Log 10 Is	1,74 %
	Indice K - Log 10 K	1,07 %
	Humidité pondérable à la capacité de rétention	31,8 %
	Humidité pondérale à pF 4,2	16,8 %
Caractères physico-chimiques et chimiques	Réaction du sol - pH eau	8,26
	- pH KCl	7,7
	Calcaire - total	27,08 %
	- actif	123,37 ‰
	Carbone total	0,67 %
	Azote total	0,048 %
	C/N	13,9
	Acides fulviques/Acides humiques	1,5
	Conductivité électrique de l'extrait de pâte saturé en mmhos/cm.	13,5
	Composition de la solution du sol en meq/100 g: Na ⁺ = 22,5; Ca ⁺⁺ = 4,62; Mg ⁺⁺ = 2,4; K ⁺ = 0,3 Cl ⁻ = 16,15; SO ₄ ⁻⁻ = 8,72; HCO ₃ ⁻ = 4,95	
Composition du complexe absorbant meq/100 g: Na ⁺ = 4,7; K ⁺ = 0,9; Ca ⁺⁺ = 8,3; Mg ⁺⁺ = 10,7		
Capacité d'échange = 24,6 meq p. 100 g.		

TABLEAU 2: *Composition de la paille d'orge utilisée.*

en % de matière sèche				en p.p.m.					
C	N	C/N	Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	SO ₄ ⁻⁻	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻
45,72	0,397	115,2	0,25	1	traces	0,07	0	traces	0,2

3. L'eau d'arrosage:

L'eau utilisée est soit de l'eau distillée, soit de l'eau sulfatée. Cette dernière renferme 2 g/l de sulfate de calcium; cette quantité représente le maximum de solubilité de ce sel.

B) TECHNIQUE EXPERIMENTALE:

Deux grammes de paille d'orge finement broyée sont mélangés à 100 g de terre séchée à l'air et tamisée à 2 mm. Le mélange est placé dans des capsules en matière plastique dont le fond est préalablement garni de 10 g de sable quartzeux.

Le lessivage des sels solubles par l'eau distillée est opéré sur la moitié du lot de capsules, dont une partie a été amendée en paille, jusqu'à élimination des ions Cl⁻. Les trous effectués dans le fond des capsules sont rebouchés aussitôt après, avec de la paraffine. Afin que le développement de la microflore responsable de l'humification de la paille ne soit entravée par un C/N trop élevé, un complément d'azote est ajouté à toutes les capsules. La quantité d'azote apportée, sous forme de NO₃NH₄, est de 24 mg par capsule représentant 12 kgs/tonne de paille. Cette dose a été préconisée par G. SIMON (1960). Les capsules sont placées dans une étuve réglée à 28-30°C, température qui paraît être une moyenne optimale pour la plupart des cellulolytiques (DOMMERGUES et MANGENOT, 1971). L'aération est assurée par la prise d'air de l'étuve.

L'humidité du sol est ramenée à capacité de rétention tous les 2 jours à l'aide d'un pulvérisateur contenant, suivant les cas, de l'eau distillée ou de l'eau sulfatée.

Au cours de l'expérience, à des périodes de temps bien déterminées (0 jour, 15 jours, 1 mois, 2 mois, 3 mois et 4 mois), deux capsules de chaque traitement (tableau 3) sont sorties de l'étuve. Puis, elles sont vidées de leur terre qui est mise à sécher à l'air ambiant avant d'être analysée.

TABLEAU 3 - *Dispositif expérimental.*

Traitements			
1	Sol salé témoin	1'	Sol salé lessivé des sels solubles
2	1 + arrosage à l'eau sulfatée	2'	1' + arrosage à l'eau sulfatée
3	1 + paille + eau distillée	3'	1' + paille + eau distillée
4	1 + paille + arrosage à l'eau sulfatée	4'	1' + paille + arrosage à l'eau sulfatée

III - RESULTATS.

A) DYNAMIQUE DU Na^+ ECHANGEABLE:

Les résultats obtenus représentés par les figures 1a et 1b amènent les remarques suivantes:

Au cours du temps, il se produit une diminution plus ou moins importante du sodium en valeur absolue et par rapport à la capacité d'échange. Cette baisse est surtout importante au début de l'expérience, c'est-à-dire au cours du 1er mois; puis, la désorption devient de plus en plus faible.

Tous les traitements, en sol ayant subi au préalable un lessivage des sels solubles, ont entraîné un départ nettement plus important de Na^+ échangeable. Le sulfate de calcium est plus actif que la paille, mais ensemble ils permettent une plus grande désorption du Na^+ .

Le lessivage, le sulfate de calcium et la paille ont des effets additifs sur le départ du Na^+ échangeable.

B) DYNAMIQUE DU Ca^{++} ECHANGEABLE:

Le taux de Ca^{++} échangeable, en fin d'expérience dans les différents traitements, aussi bien en sol salé que préalablement dessalé, suit le même ordre décroissant (figures 2a et 2b):

$$1,1' < 3,3' < 2,2' < 4,4'.$$

On observe un accroissement du pourcentage du Ca^{++} échangeable dans le temps pour tous les traitements. Il y a donc une adsorption de Ca^{++} sur le complexe, à la place du Na^+ et peut être aussi du Mg^{++} au fur et à

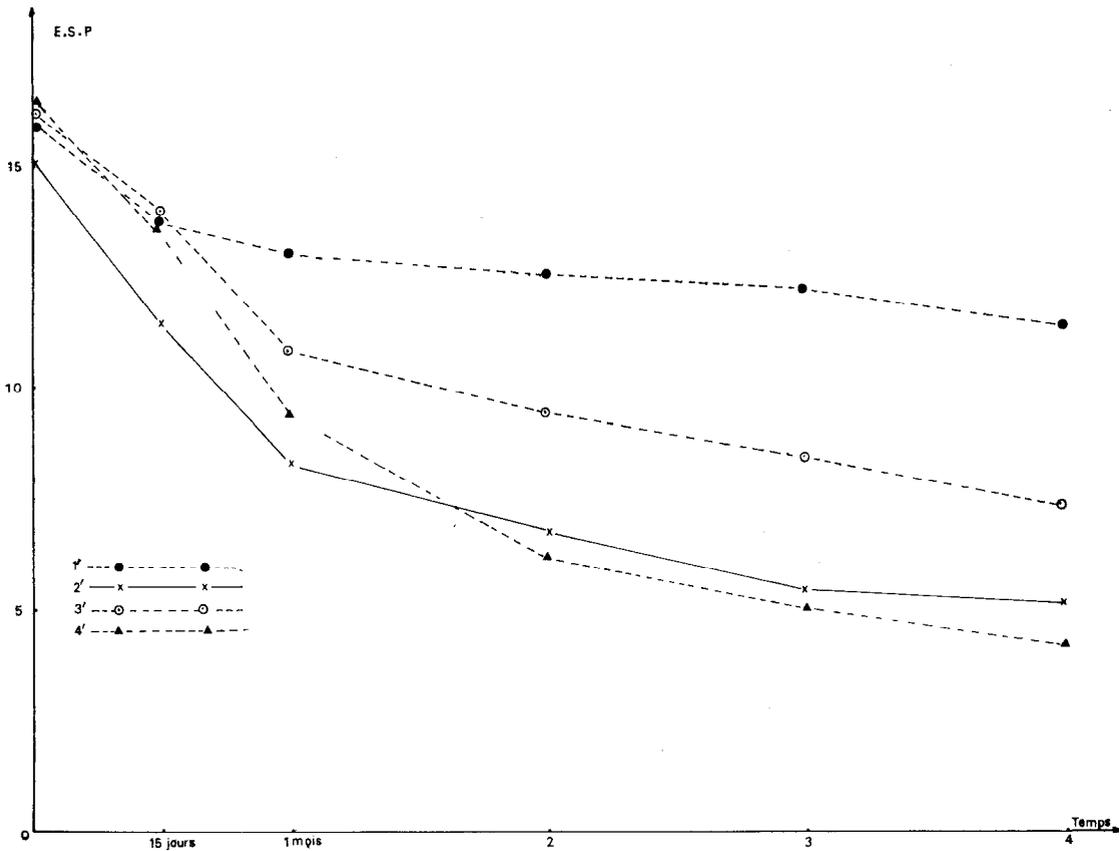


Figure 1a - Evolution de la teneur en Na^{++} échangeable au cours du temps dans les différents traitements = sol dessalé.

mesure que ces cations sont désorbés. En effet, les courbes d'adsorption du Ca^{++} et celles de désorption du Na^+ présentent une certaine symétrie. Au cours du premier mois, se produisent les plus importantes adsorptions de Ca^{++} et désorption de Na^+ . Par la suite, les quantités de Ca^{++} adsorbées et celles de Na^+ désorbées deviennent de plus en plus faibles. Le lessivage, la paille et surtout le sulfate de calcium donnent lieu à un accroissement du pourcentage de calcium échangeable plus grand que celui du témoin.

Les apports jumelés de paille et de sulfate de calcium ont permis d'obtenir les taux de Ca^{++} échangeables les plus élevés.

C) DYNAMIQUE DU Mg^{++} ECHANGEABLE:

En fin d'expérience, comme pour le Ca^{++} , les teneurs en Mg^{++} échangeable dans tous les traitements en sol salé et initialement dessalé suivent

le même ordre mais ici croissant (figures 3a et 3b):

$$1,1' > 3,3' > 2,2' > 4,4'$$

Dans les témoins salé et dessalé, le taux du Mg^{++} échangeable reste inchangé durant l'expérience ou diminue légèrement. Par contre, la paille et surtout le sulfate de calcium provoquent une désorption plus grande de magnésium par rapport aux témoins salé et dessalé. Il est important de noter que la diminution du taux de Mg^{++} échangeable est comme celle du Na^+ échangeable, plus importante en sol où le lessivage des sels a été effectué au préalable. En outre, cette désorption du Mg^{++} échangeable commence dès le début de l'expérience mais elle ne devient importante qu'un à 2 mois après, autrement dit quand une grande partie du Na^+ a été échangé contre le Ca^{++} .

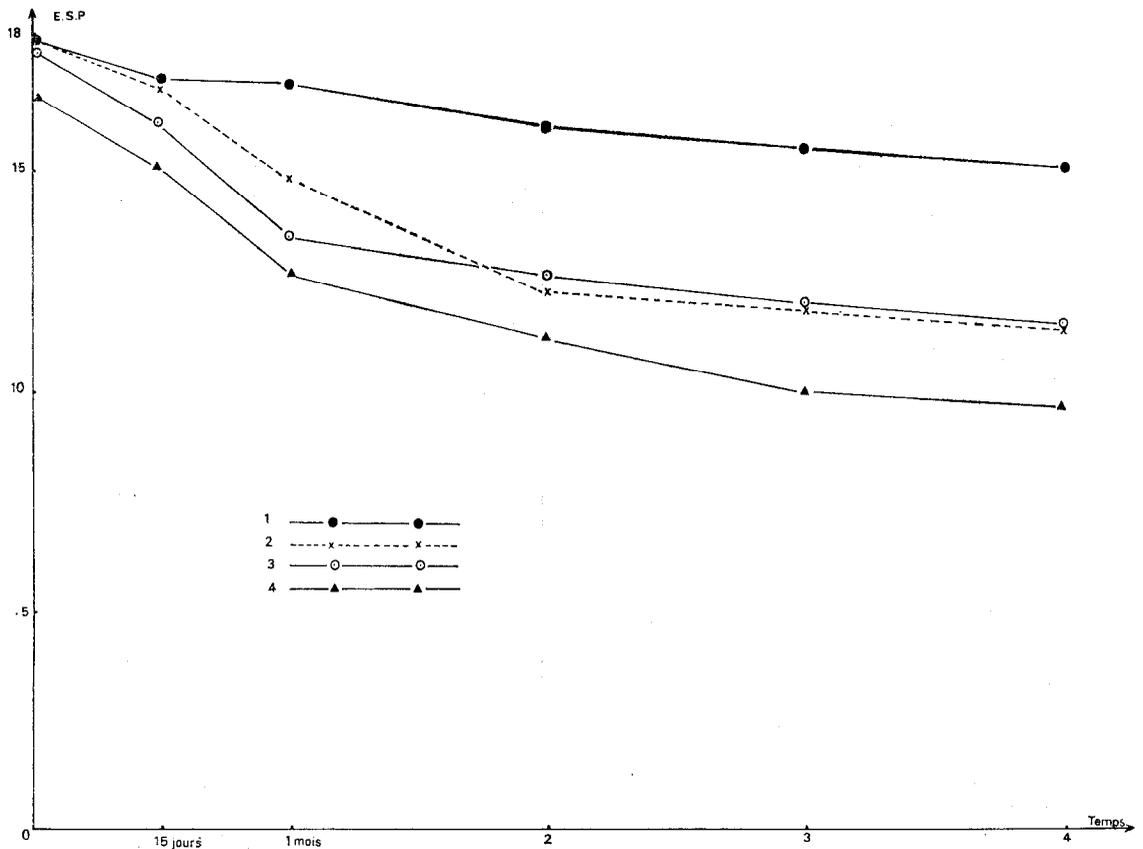


Figure 1b - Evolution de la teneur en Na^{++} échangeable au cours du temps dans les différents traitements = sol sale.

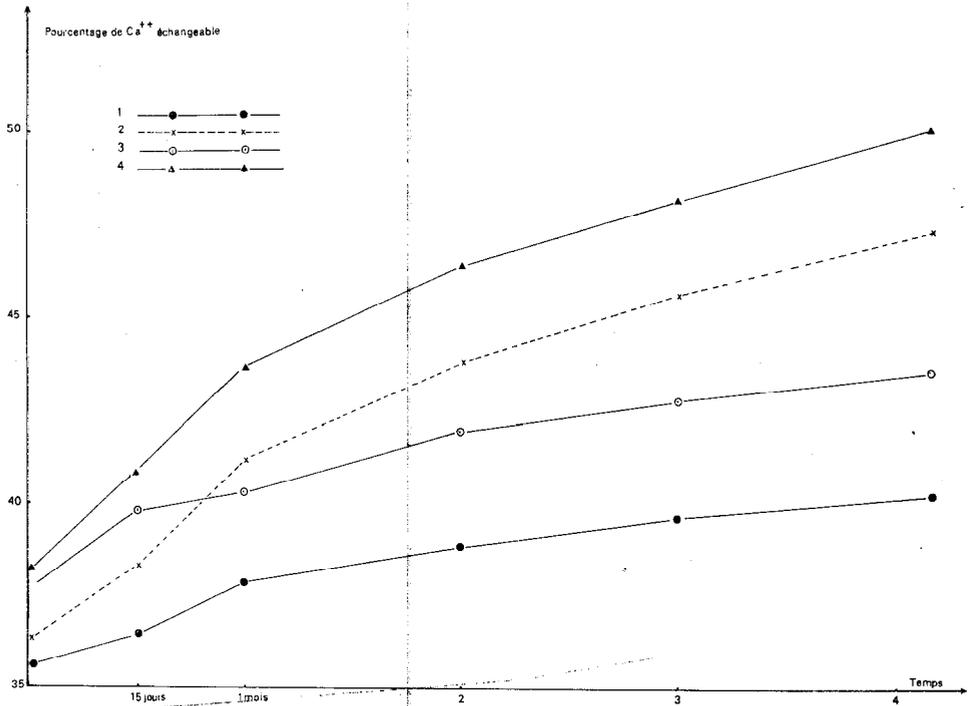


Figure 2a - Evolution de la teneur en Ca^{++} échangeable au cours du temps dans les différents traitements = sol salé.

Il convient de retenir que les variations du Magnésium échangeable restent faibles par rapport à celles des cations Na^+ et Ca^{++} .

D) DYNAMIQUE DU K^+ ECHANGEABLE:

Les résultats d'analyse obtenus ne montrent pas, au cours du temps, de variations significatives de la teneur en K^+ échangeable.

IV. - DISCUSSION.

Dans cette partie de notre étude, nous allons tenter de donner une explication aux phénomènes observés et de tirer des applications pratiques.

— L'allure de la courbe de désorption du sodium peut s'expliquer ainsi: pour une valence donnée, plus la teneur d'un cation est importante dans la double couche ionique, et plus il est échangeable. En effet, il est probable que plus les ions sont proches de la particule argileuse, plus difficile est leur échangeabilité; l'énergie de rétention devenant plus forte à

mesure que les charges opposées sont proches. Il est dès lors permis de penser que le lessivage des sels solubles de ces sols constitue un moyen d'activer la diminution du taux de Na^+ échangeable. Le départ des sels solubles entraîne une baisse de la concentration totale de la solution du sol. L'une des conséquences de ce lessivage est l'augmentation de l'épaisseur du nuage d'ions entourant la particule argileuse, par éloignement des cations échangeables de la surface chargée négativement. Les forces d'attraction de VAN DER WAALS devenant plus faibles, la désorption est donc plus facile.

En outre, le dessalage permet une baisse du Na^+ dans la solution du sol, ainsi que des autres cations. Cependant, il ressort de nos résultats (tableau 4) que le rapport $\frac{\text{Na}^+}{\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++}}$ devient plus faible. Cette diminution du rapport cationique implique un départ relativement plus important du Na^+ soluble.

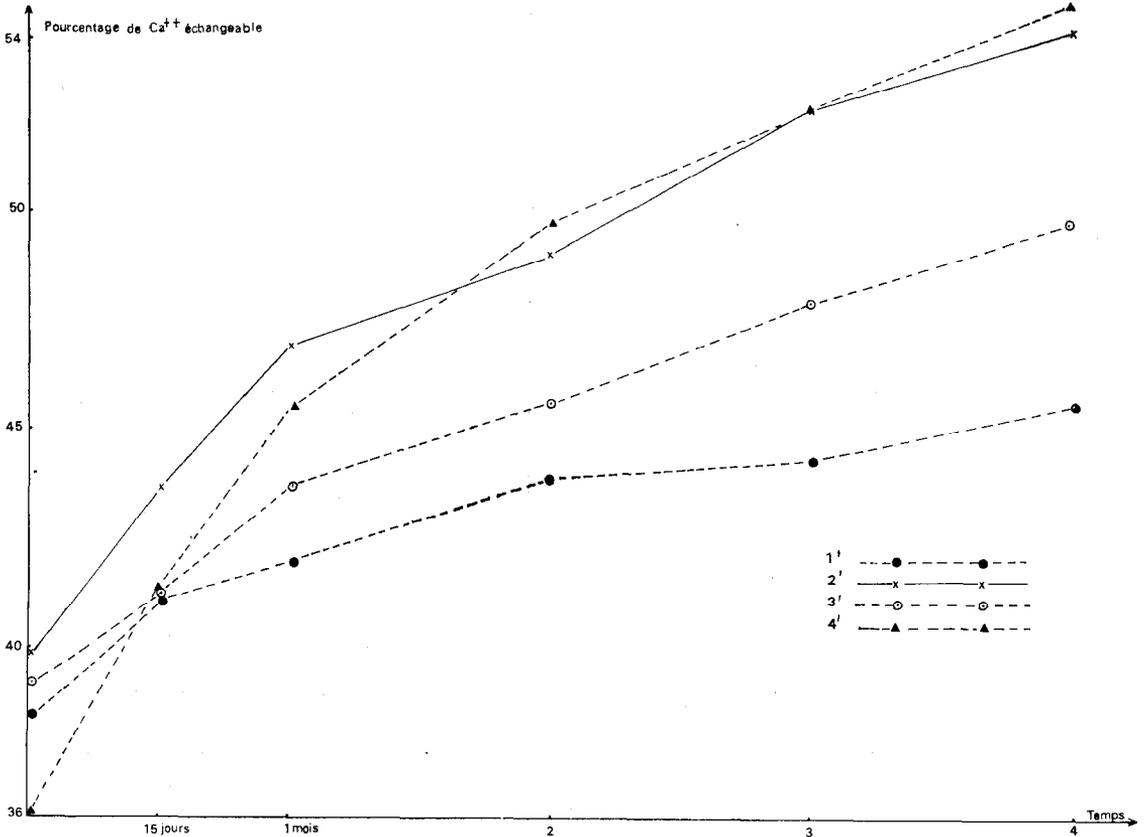


Figure 2b - Evolution de la teneur en Ca^{++} échangeable au cours du temps dans les différents traitements = sol dessalé.

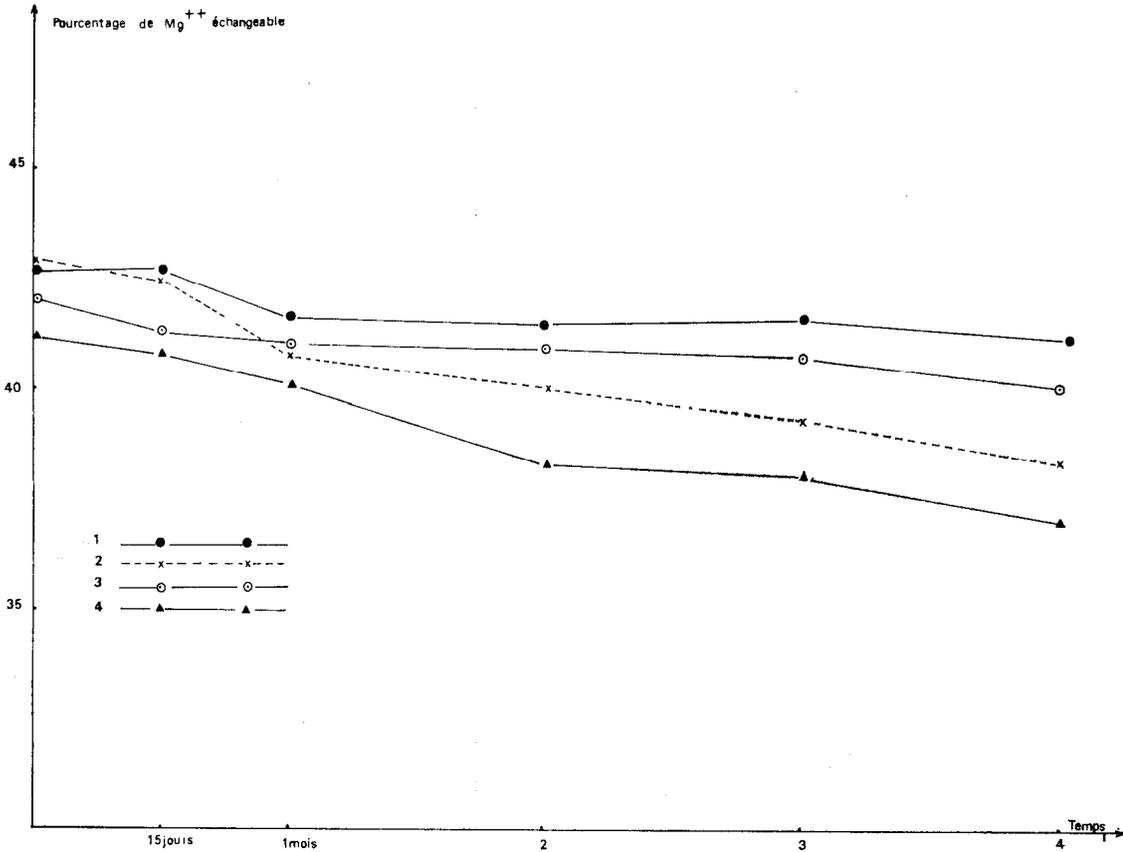


Figure 3a - Evolution de la teneur en Mg⁺⁺ échangeable au cours du temps dans les différents traitements = sol sale.

En vertu de la loi d'action des masses, cela entraînera un passage en solution du Na⁺ du complexe.

Cependant, il existe une limite au-delà de laquelle toute variation de rapport cationique dans la solution du sol ne se traduit pas forcément par un changement de la garniture ionique du complexe absorbant. En effet, dans la figure 4, la droite liant le rapport $\frac{Na^+}{Ca^{++} + Mg^{++}}$ de la solution du sol à l'E.S.P. ne passe pas par l'origine mais coupe l'axe des ordonnées (E.S.P.). Ceci montre qu'il est difficile d'éliminer tout le Na⁺ du complexe. Cette constatation a été déjà fait (CHUDHRY et WARKENTIN, 1968).

— L'allure de la courbe d'adsorption du calcium montre que la quantité de Ca⁺⁺ adsorbé ne dépend pas seulement de la concentration de

TABLEAU 4 - Evolution du rapport $\frac{Na^+}{Ca^{++} + Mg^{++}}$ de la solution du sol au cours du temps dans les différents traitements.

Traitement	1	2	3	4	1'	2'	3'	4'
0	2,88 3,55	3,17 3,05	3,05 3,47	3,20 3,04	2,28 1,95	2,14 2,14	2,41 1,36	2,0 2,14
15 jours	3,098 3,34	2,7 2,81	3,04 3,05	2,43 2,73	1,75 1,99	1,55 1,73	1,769 2,09	1,35 1,418
1 mois	2,82 2,97	2,40 2,61	2,97 2,89	2,41 2,17	1,82 1,97	1,23 1,178	1,80 1,48	0,97 0,91
2 mois	2,88 2,47	2,05 2,12	2,93 2,74	2,08 2,14	1,62 1,46	0,837 0,85	1,52 1,52	0,66 0,82
3 mois	2,65 2,78	1,70 1,81	2,60 2,62	1,73 1,66	1,34 1,27	0,72 0,62	1,35 1,27	0,61 0,58
4 mois	2,60 2,62	1,439 1,515	2,49 2,41	1,44 1,41	1,18 1,15	0,527 0,50	1,25 1,11	0,41 0,48

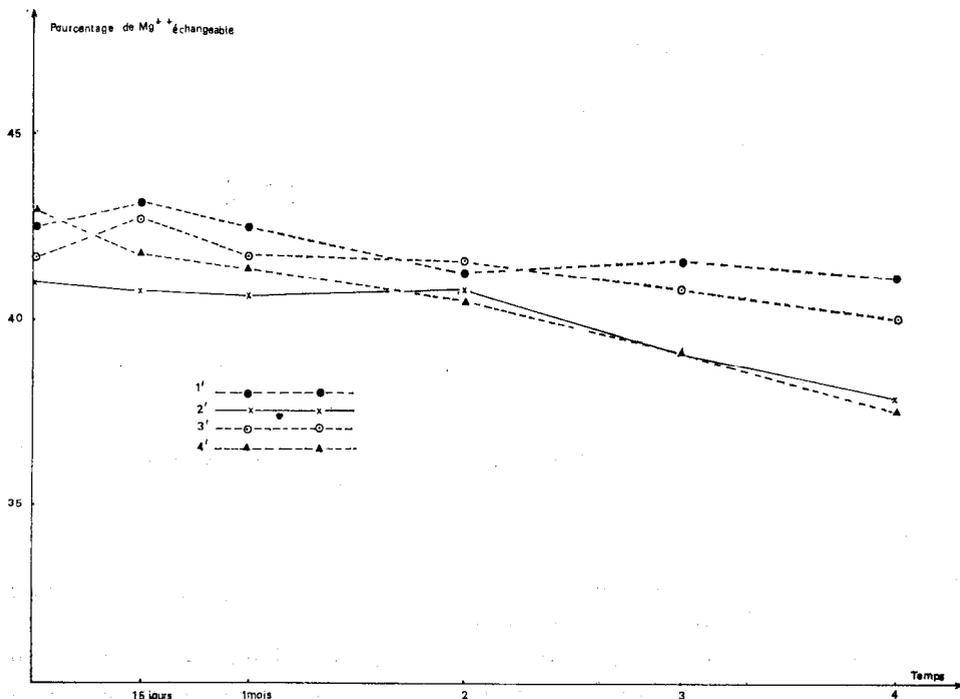


Figure 3b - Evolution de la teneur en Mg⁺⁺ échangeable = sol dessale.

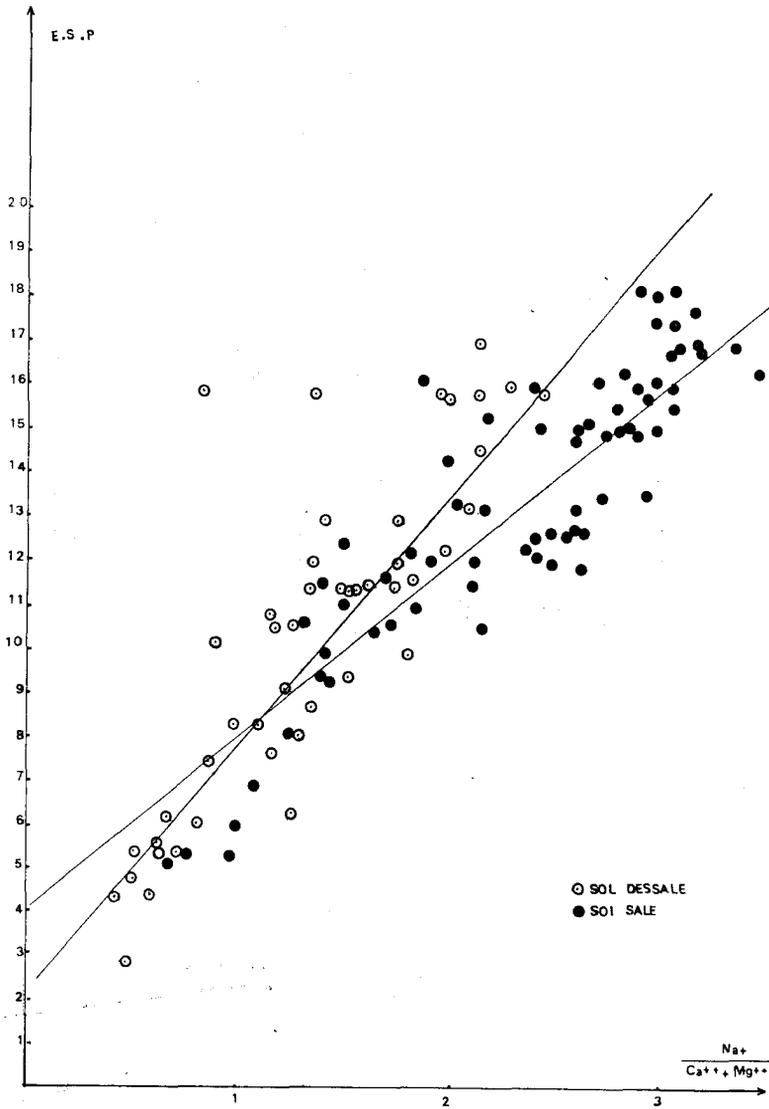


Figure 4 - Relation entre l'E.S.P. et le rapport $\frac{Na^+}{Ca^{++} + Mg^{++}}$ de la solution du sol.

la solution du sol en cet ion mais aussi d'autres facteurs, tels que le taux du cation à remplacer sur le complexe.

En effet, la concentration dans le complexe absorbant varie moins vite que celle de la solution du sol. C'est pourquoi, la représentation graphique de l'évolution du pourcentage de calcium échangeable en fonction de la concen-

tration en Ca^{++} dans la solution du sol (figures 5a et 5b) a l'allure d'une courbe en puissance de la forme (tableau 5):

$$Y = X^a$$

a = Constante d'équilibre

Sur le plan pratique, cette constatation montre que plus l'E.S.P. est faible, plus les quantités de cations bivalents nécessaires à la désorption du Na^+ échangeable seront grandes.

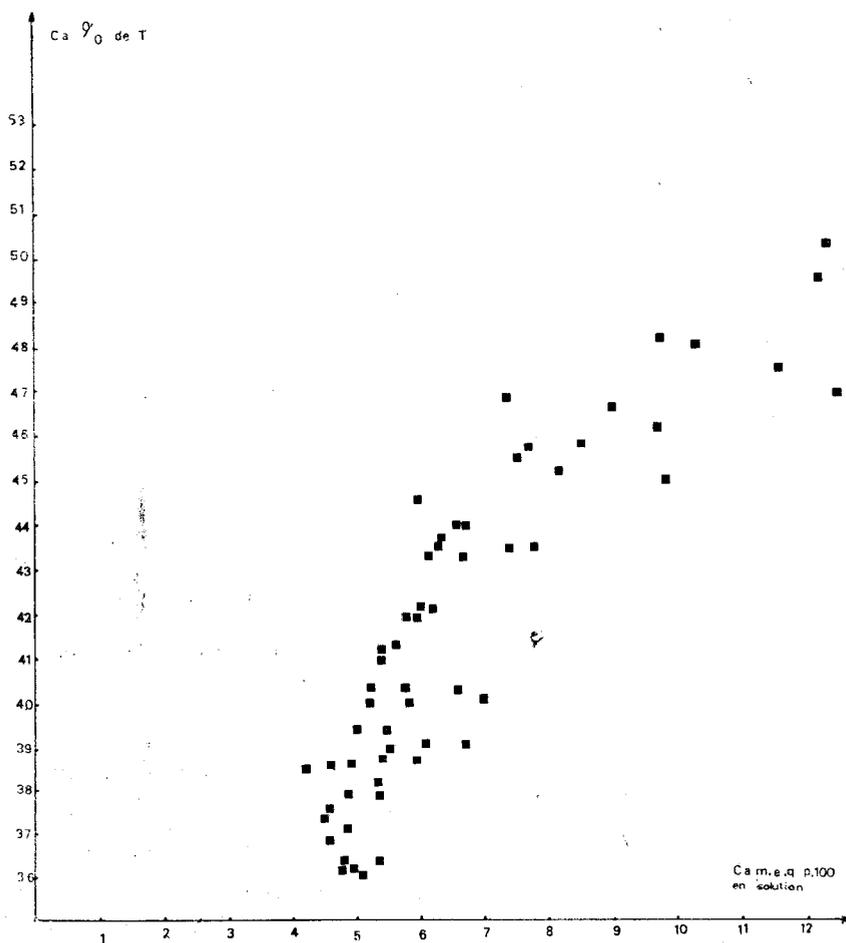


Figure 5a - Relation entre les teneurs de Ca^{++} soluble et Ca^{++} échangeable = sol sale.

TABLEAU 5 - Relations entre la concentration en Ca^{++} soluble et le taux de Ca^{++} échangeable.

Traitements	Nombre de couples	r	Equations de régression
Sol salé	60	0,89	P. Ca. E. = 3,18. Ca_s 0,292
Sol préalablement dessalé	60	0,91	P. Ca. E. = 3,75. Ca_s 0,136

P. Ca. E. = pourcentage de Ca^{++} échangeable.
 Ca_s = teneur en Ca^{++} soluble en meq/100 g.

Le fait que l'apport de paille permette une désorption plus grande de Na^+ et de Mg^{++} s'expliquerait par une solubilisation plus grande des sels de calcium grâce au CO_2 dégagé et aux acides humiques formés au cours de l'évolution de cette paille. Ces phénomènes entraînent une baisse du rapport $\frac{\text{Na}^+}{\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++}}$ dans la solution du sol. Le sulfate de calcium a, sur ce rapport, la même influence due à l'enrichissement de la solution du sol en Ca^{++} .

— Pour ce qui est du magnésium, on remarque que, sans apport extérieur de Ca^{++} ou d'autres éléments permettant la dissolution de composés calciques du sol, sa désorption du complexe est très faible. En effet, le rapport $\frac{\text{Ca}^{++}}{\text{Mg}^{++}}$ dans la solution du sol n'est pas assez élevé pour changer l'équilibre solution du sol \rightleftharpoons complexe absorbant.

Malgré un taux de Mg^{++} nettement plus élevé que celui du Na^+ , sur le complexe, il apparaît que c'est le cation monovalent qui est le plus facilement désorbé. Cette différence de comportement ne peut être due, à notre avis, qu'aux propriétés intrinsèques de ces cations, telles que la taille de l'ion déshydraté (BERNAL et FOWLER, 1933; GRIM, 1953) qui fait que le Na^+ est le plus échangeable, ou à l'ordre d'adsorption par l'argile WIEGNER, 1912). En effet, c'est le cation fixé le premier par la couche adsorbante qui serait le plus énergiquement retenu; les plus fortes liaisons se satureraient les premières. Si cette dernière hypothèse est admise, elle s'expliquerait ainsi: les sols de la région de Remila sont riches en Mg^{++} (les sols calcimagnésiens et les vertisols se rencontrent souvent). La salinisation et l'alcalinisation étant postérieures, l'adsorption du Na^+ se serait faite aux dépens de cations bivalents situés à l'extérieur de la double couche ionique (faibles liaisons). Le Na^+ étant situé à une distance plus grande de la couche négative,

que le Mg^{++} , est donc plus facilement désorbé. Ces différentes constatations permettent d'entrevoir la difficulté qu'il y aurait à remplacer, par le Ca^{++} , le Mg^{++} si ce dernier s'avérait néfaste aux propriétés des sols sodiques.

— Le comportement du potassium est surtout dû à sa faible teneur sur le complexe (WIKLANDER, 1947) et à sa taille. Celle-ci lui permet de se loger entre les feuillets d'argile et le rend ainsi difficilement déplaçable (MARSHALL, 1949). Le lessivage et les amendements utilisés n'influencent que très faiblement la désorption du K^+ dans le cas des sols sodiques étudiés.

V - CONCLUSION.

Nos résultats montrent que la désorption du sodium est surtout importante au début de l'expérience et qu'elle n'est pas totale. En outre, plus l'E.S.P. diminue plus les quantités d'eau de lessivage ou d'amendements nécessaires à la désorption du sodium doivent être élevées. Pour ce qui est du Magnésium, son échange avec le calcium, faible au début de l'expérience, devient important quand une grande partie du Na^+ a été éliminée. La désorption du magnésium est plus difficile que celle du Na^+ . Enfin, le potassium échangeable dans ces types de sols sodiques est très peu influencé par les phénomènes d'échange.

Le lessivage active les phénomènes de désorption du sodium échangeable mais il est sans effet important sur la dynamique du magnésium échangeable. L'incorporation de paille ou de sulfate de calcium a eu pour effet de diminuer nettement le taux de Na^+ et de Mg^{++} échangeables. Cette diminution est surtout importante dans le cas de l'apport du gypse. Néanmoins sans lessivage, la désorption des 2 cations en question est faible.

Les plus grandes quantités éliminées de Na^+ et de Mg^{++} échangeables sont obtenues par le lessivage d'un sol qui a été amendé en paille et en sulfate de calcium.

BIBLIOGRAPHIE

- ALVIN D. AYERS, 1964 - *L'amélioration des sols salins et sodiques*. « A.F.E.S. », n. 3, pp. 148-162.
- BOWER et collab., 1951 - *In diagnosis and improvement of saline and alkali soils*. U.S. Dept. Agri., Hand b. 60.
- CHUDHRY G. H. et WARKENTIN B. P., 1968 - *Studies on exchange of sodium from soils by leaching with calcium sulfate*. « Soil Sci. », 105, 3, pp. 190-197.
- DEMOLON A., 1960 - *Dynamique du sol*. Dunod, Paris, I vol., 520 p.
- DOMMERMES Y. et MANGENOT F., 1970 - *Ecologie microbienne du sol*. Masson et C.ie, Paris, 796 p.
- DURAND J. H., 1951 - *Essais de laboratoire effectués sur les sols de la Station Hydroagricole de Hamadena*. « Terres et Eaux », 13, pp. 43-50.
- GRAVELAND D. N. and TOOGOOD T. A., 1963 - *Gypsum as an ameliorating agent for solonchaki soils in Alberta*. « Can. J. Soil Sci. », 43, pp. 1-6.
- GRIM R. E., 1953 - *Clay mineralogy*. Toronto-Londres, 384 p.
- HALITIM A., 1973 - *Etude expérimentale de l'amélioration des sols sodiques d'Algérie en vue de leur mise en culture*. Thèse de Spécialité, Faculté des sciences de l'Université de Rennes, 176 p.
- HENIN S., GRAS R. et MONNIER G., 1969 - *Le profil cultural*. Masson et C.ie, Paris, I vol., 332 p.
- MARSHALL, 1949 - In RUELLAN A. et DELETANG J., 1967 (référence citée).
- REEVE R. C. and TAMADDONI G. H., 1965 - *Effects of electrolyte concentration on laboratory permeability and field uptake rate of a sodic soil*. « Soil sci. », 99, pp. 261-266.
- RUELLAN A. et DELETANG J., 1967 - *Les phénomènes d'échange de cations et d'anions dans le sol*. « O.R.S.T.O.M. », 1964, 123 p.
- SALAH EL DIN TAHA M. et collab., 1964 - *Les effets des traitements des sols alcalins sur leurs propriétés chimiques et microbiologiques dans la R.A.U.* Comptes rendus du VIIème Congr. Int. de la Sci. du Sol., Bucarest, pp. 171-172.
- SANDHU B. S. et BHUMBLA D. R., 1967 - *Effects of addition of different organic materials and gypsum on soil structure*. « J. Indian Soc. Soil Sci. », pp. 41-51.
- SIMON G., 1960 - *L'enfouissement des pailles dans le sol. Etude générale et répercussions sur la microflore du sol*. « Ann. Agron. », A, pp. 5-55.
- VAN SCHAİK J. C., 1967 - *Influence of adsorbed sodium and gypsum content on permeability of glacial till soils*. « J. of Soil Sci. », 18, I.
- WIEGNER, 1912 - In RUELLAN A. et DELETANG J., 1967 (référence citée).
- WIKLANDER, 1947 - In RUELLAN A. et DELETANG J., 1967 (référence citée).