

**CARACTÉRISATION ET AMÉLIORATION
DES SOLS SALÉS ET À ALCALIS**

par

Ali Mohamad MASSOUMI

P A R I S

1968

CARACTERISATION ET AMELIORATION DES SOLS

SALES ET A ALCALIS

par Ali Mohamad MASSOUMI

O.R.S.T.O.M.

1968

Table des matières

	page
Introduction	I
PARTIE I : Caractérisation des sols salés et à alcalis	2
Sols salés	2
Etude quantitative de la salinisation	5
Les Takyras	6
Sols à alcalis	7
Sols à alcalis lessivés	8
Caractères analytiques des sols salés et à alcalis	10
Sources d'accumulation des sels solubles dans le sol.....	11
Qualité de l'eau d'irrigation	13
Evolution des sols salés et à alcalis	14
Les facteurs qui modifient l'effet de sodium échangeable dans le sol	14
Mise en valeur agronomique des sols salés et à alcalis	15
PARTIE II : Amélioration des sols salés et à alcalis	17
Problème d'échantillonnage	17
Lessivage des sels en excès	19
Variation quantitative des sels solubles pendant le lessivage	23
Amélioration des sols à alcalis	25
Nature des amendements chimiques	26
Réactions caractéristiques des différents amendements ...	27
Estimation de la quantité d'amendement nécessaire	30
Conclusion	33
Bibliographie	

INTRODUCTION

L'accumulation dans le sol de sels solubles en excès, qui provoque la formation des sols salés et à alcalis, se produit surtout dans les régions arides et semi-arides, bien qu'on l'observe également en dehors de ces régions.

Dans les zones sèches, la pluie ne parvient pas à éliminer les sels solubles qui sont libérés par décomposition des roches-mères, ou qui sont présents dès l'origine dans les matériaux originels du sol. Le plus souvent les sels sont transportés latéralement sur de courtes distances, et, en raison d'un drainage superficiel insuffisant, s'accumulent dans les dépressions. On a constaté que la profondeur la plus grande de pénétration de l'eau des précipitations naturelles dans les régions arides, provenant soit de la fonte des neiges, ou des pluies de la saison humide, varie de 30-300 mm suivant la quantité et la durée de la précipitation, et la nature du sol. Cette absence de drainage à travers les sols arides, et en même temps la forte évaporation dans ces régions, augmente l'accumulation dans le sol, des sels solubles, qui ont certains effets nuisibles, en particulier sur les propriétés physiques des sols et sur la végétation.

Les conditions climatiques défavorables, associées à l'accumulation des sels, constituent les problèmes les plus graves dans la mise en valeur des sols de ces régions.

L'étude des sols salés et à alcalis, leurs caractérisations, leurs propriétés, est donc d'une importance capitale pour la mise en valeur de ces régions, la nature des sols salés et leur amélioration constituera le sujet de notre *rapport*.

.../...

CARACTERISATIONS DES SOLS SALES ET A ALCALIS

Généralités

D'une façon générale, les sols salés sont caractérisés par la présence de sels en excès dans leur profil, ces sels peuvent leur donner certaines propriétés physico-chimiques, qui se manifestent dans le cas des sols évolués par des caractéristiques morphologiques et des structures particulières. D'après la classification française (AUBERT 1967), les sols salés sont divisés en deux sous-classes suivant que leur structure est dégradée ou non par l'action du sodium, la première comporte les sols à alcalis (sols à alcalis non lessivés, solonetz, solod), et la deuxième les sols salins proprement dit.

Pour mettre en évidence l'action des sels solubles sur les caractères physico-chimiques du sol, il paraît utile de rappeler rapidement les définitions essentielles des sols salés et à alcalis.

1°) Sols salés ou Solontchaks.

Ce sont les sols qui contiennent une quantité élevée de sels solubles. Une limite conventionnelle a été proposée afin de définir les sols salés. SCHOFIELD a montré que le sol est considéré comme salé lorsque la conductivité électrique de l'extrait de la pâte saturée a une valeur supérieure ou égale (1) à 4 mmhos/cm à 25° avec un taux de saturation de sodium inférieur à 15% de la capacité d'échange, normalement le pH est également inférieur à 8,5. Dans ces conditions, seuls les végétaux résistants au sel peuvent y pousser.

Les sols qui possèdent les caractéristiques indiquées ci-dessus correspondent au "white alcali" de HILGARD, ou au "Solontchak" des pédologues russes, ou aux sols salins de la classification française, ils présentent très souvent des efflorescences ou une croûte blanche à la surface de l'horizon supérieur du sol.

.../...

(1) - La limite de 4 mmhos/cm paraît trop basse à bien des chercheurs. Certains ont proposé 7 mmhos/cm (nouvelle édition de la classification française) ou 16 mmhos/cm (horizon "salique", classification U.S.D.A.)

Néanmoins le chiffre de 4 mmhos représente la valeur au-dessus de laquelle un grand nombre de plantes commencent à souffrir de l'excès de sels.

Dans des régions humides, ces sols n'existent que très rarement, sauf en bordure de mer, les sels solubles sont lessivés, par l'action des précipitations, et ils sont évacués en majeure partie du profil du sol. Les sols salins sont au contraire fréquents dans les régions arides, ou semi-arides. Dans ces sols les processus de lessivage vertical et de déplacement latéral des sels sont moins complets que dans les régions humides. S'il se produit un phénomène de lessivage il reste limité au profil ; et les sels ne sont pas exportés en dehors, ils ont au contraire tendance sous l'action de l'évaporation et du déficit d'humidité à se concentrer dans le profil et surtout dans les horizons superficiels. Par ailleurs, dans le cas où il n'y a pas de drainage général permettant d'évacuer les nappes salées, le mouvement capillaire intervient, et par conséquent le sol évolue vers le type salé ou à alcali selon la nature et la concentration des sels, ainsi que des rapports cationiques dans l'eau de la nappe.

Les caractéristiques chimiques du sol dépendent de la qualité et de la quantité des sels solubles, la quantité totale de sel influe surtout sur la pression osmotique de la solution du sol. Les anions les plus importants sont Cl^- et SO_4^{--} , parfois une faible quantité de CO_3H^- peut exister, les cations les plus habituels sont : Na^+ , Ca^{++} , Mg^{++} , et dans quelques cas K^+ .

Les caractéristiques physiques des sols salés sont parfois assez favorables, grâce à la présence de sels en excès et à l'absence de quantité appréciable de sodium échangeable, les colloïdes dans certains sols salins sont très flocculés et ainsi donnent une structure favorable et une bonne perméabilité. Cependant certains sols salins ont des perméabilités très basses.

.../...

KOVDA V.A. (1961), a noté que dans les régions arides et semi-arides, une accumulation intense de sels s'observe parfois à la surface du sol, ces sels représentent souvent jusqu'à 50-60 % de la masse du sol, leur épaisseur atteint 3 à 5 cm, et parfois de 50-100 cm, leur structure est très dense, et ils forment une couche impénétrable. Leur composition chimique est variable. Les formations les plus importantes sont : les croûtes calcaires, avec une quantité de 50-70 % de carbonate de calcium, les croûtes gypseuses qui contiennent 60-80% de gypse et les croûtes salées, qui sont constituées d'un mélange de différents sels et en particulier de chlorures.

Cet auteur décrit également des sols salés qui contiennent une quantité importante de sels surtout dans l'horizon superficiel (0-30 ou 0-40 cm), le pourcentage de sels atteint 1-2 % et parfois 10-30 %. D'après leur composition chimique, il les a divisés en quatre catégories.

1°) Solontchak sodique qui contient Na_2CO_3 , NaHCO_3 , et MgCO_3 , le pH est 9,5 - 10,5.

2°) Solontchak sulfaté qui contient Na_2SO_4 , MgSO_4 et CaSO_4 .

3°) Solontchak chloruré qui contient NaCl , MgCl_2 , et CaCl_2 .

4°) Solontchak nitraté avec NaNO_3 et KNO_3 .

Les solontchaks sont alimentés surtout par la nappe salée. AUBERT et BOULAIN (1967), considèrent que si la nappe salée est peu profonde et que la remontée des sels se produit par évaporation tout l'été, il se produit un solontchak vif. Si la nappe au contraire est plus basse ou n'existe pas, que la remontée des sels n'a lieu que pendant le début de la saison sèche, ou que ce n'est que par suite du manque de drainage ou des apports latéraux que le taux des sels se maintient à un niveau élevé dans le sol, alors on peut l'appeler parfois solontchak mort.

.../...

- Etude quantitative de la salinisation dans les solontchaks -

En vue de préciser la nature et le type de la salinisation, SADONIKOV (1953) a proposé d'utiliser le rapport $\frac{Cl^-}{SO_4^{--}}$ dont il indique les valeurs caractéristiques ci-dessous :

type anionique de salinisation

$\frac{Cl^-}{SO_4^{--}}$	>	5	!	salinisation chlorurée
			!	
		1 - 5	!	salinisation chlorurée - sulfatée
			!	
		0,2 - 1	!	salinisation sulfato-chlorurée
			!	
		< 0,2	!	salinisation sulfatée

En ce qui concerne les cations solubles, G.M. IVANOVA et A.M. ROSANOV ont considéré les rapports suivants :

type cationique de salinisation

salinisation sodique	}	$\frac{Na + K}{Ca + Mg}$	>	4
salinisation sodico-magnésienne	{	$\frac{Na + K}{Ca + Mg}$	<	4 avec $\frac{Ca}{Mg} < 1$
salinisation sodico-calcique	{	$\frac{Na + K}{Ca + Mg}$	<	4 avec $\frac{Ca}{Mg} > 1$
salinisation calcique	}	$\frac{Na + K}{Ca + Mg}$	<	1 avec $\frac{Ca}{Mg} > 1$

La mesure de la conductivité électrique de l'extrait aqueux permet de distinguer l'importance de la salinisation selon une échelle de conductivité. Au laboratoire de salinité de Riverside (U.S.A.) une échelle de salinité a été établie et fournit des indications importantes au point de vue agronomie et physiologie végétale.

Conductivité électrique de l'extrait aqueux à saturation à 25°

Sol non salé	}	< 2 mmhos / cm
Sol faiblement salé	}	2 - 4
Sol moyennement salé	}	4 - 8
Sol fortement salé	}	8 - 16
Sol excessivement salé	}	> 16

2°) Les Takyr

D'après KOVDA ce sont des sols qui se forment pendant le processus de désalinisation sur certains plateaux dans les climats chauds. Ils n'ont pratiquement pas de végétation et ils sont très argileux. Pendant les périodes de sécheresse la surface du sol prend une forme polygonale, mais pendant la période de pluie ils deviennent engorgés et imperméables, la surface du sol est couverte par une croûte argileuse de 3 - 5 m. Au-dessous de cet horizon la quantité de sels atteint à 0,5 - 2 %. Le calcium et le sodium sont en quantité à peu près égales, et il en est de même pour les chlorures par rapport aux sulfates, le gypse est souvent présent parfois à forte concentration. La nappe est profonde et varie entre 10 - 30 m, leurs caractéristiques physiques sont défavorables, leur pH est entre

.../...

Le nom Takyr en Uzbek et Kazakh signifie nu, pauvre, semblable au mot fakir d'arab, Kavir en Iran.

9 - 10, il n'y a souvent ni humus ni activité bactérienne. KUZNETSOVA (1958) a décrit l'évolution vers les solods, des takyrs du sud-ouest de la ~~Turkmenie~~ ~~Turkmanie~~.

L'amélioration de ces sols est compliquée, elle comporte à la fois la modification des propriétés physiques par mélange de sable (300 - 700 T/ha) et de la matière organique, et le lessivage de terrain par l'eau de 5 000 - 10 000 m³/ha.

3°) Les sols dégradés

A) Sols salés à alcalis

Ce sont des sols dont la conductivité électrique de l'extrait de la pâte saturée est supérieure à 4 mmhos/cm à 25°, et dont le degré de saturation du sodium du complexe absorbant est supérieur à 15 %, ce qui provoque une dégradation des propriétés physiques du sol.

La formation de ces sols est le résultat de la combinaison des processus de salinisation et d'alcalisation. Ils présentent à la fois les propriétés des sols salés, et celles des sols à alcalis.

Si un phénomène de lessivage a lieu dans cette catégorie de sol, leurs propriétés peuvent se modifier, et ils deviennent alors sols à alcalis. Une certaine quantité de sodium en s'hydrolysant peut donner naissance à de l'hydroxyde de sodium, ainsi qu'à du carbonate de sodium.

B) Sols à alcalis

Le nom de sols à alcalis s'applique aux sols dans lesquels le sodium échangeable dépasse 15 % de T, et la conductivité électrique de l'extrait de la pâte saturée est inférieure à 4 mmhos / cm à 25°, le pH varie entre 8,5 - 10.

.../...

Ces sols correspondent en particulier aux "black alkali" de HELLGALRD et aux solonetz des pédologues Russes, ils se trouvent fréquemment dans les régions arides et surtout semi-arides. La matière organique du sol est très dispersée et répartie sur les particules de sol assombrissant ainsi sa couleur. Quand le sol contient une quantité appréciable de matière organique, sa surface peut-être de couleur noire, d'où le terme de "black alkali". De toutes façons les humates sodiques solubles peuvent remonter en surface et former une petite croûte noirâtre, même dans des sols assez peu humifères.

Si ces sols sont soumis aux facteurs de dégradation pendant une durée assez longue, ils peuvent évoluer et leur profil acquiert une morphologie particulière, les particules argileuses partiellement saturées en sodium se dispersent et peuvent migrer et s'accumuler dans les horizons inférieurs du sol, qui présentent alors une structure compacte à forme colonnaire ou prismatique à faible perméabilité (solonetz).

Comme nous ~~avons~~ *avons* ~~dit~~ lorsqu'il se produit un mouvement capillaire des sels sodiques dans le sol, la partie inférieure du profil évolue vers la formation de sols à alcalis. Il est possible semble-t-il que le mouvement ascendant de sels sodiques provoque une dégradation de la structure et une formation du solonetz. L'expérience de SZABOLOCZ confirme aussi cette hypothèse.

C) Les sols à alcalis lessivés

En outre à la partie supérieure de l'horizon B les colloïdes argileux peuvent être dégradés par hydrolyse en milieu sodique.

Dans certains sols, la ligne blanche irrégulière, festonnée, très riche en silice, que l'on observe entre les horizons A et B, peut-être plus épaisse et constituer un véritable horizon A₂. Ce sont alors des solonetz solodisés, et les solods.

Il semble cependant que les solonetz et les solods se forment souvent dans un milieu pauvre en sels solubles mais dans des conditions permettant l'enrichissement de leur complexe absorbant en sodium.

La composition chimique de la solution des sols à alcalis montre une quantité relativement faible des sels solubles par rapport au sol salé, les anions principaux sont : chlore, sulfate et bicarbonate avec parfois une faible quantité de carbonate.

En présence de carbonate et sulfate, les cations calcium et magnésium précipitent, et en conséquence les solutions des sols à alcalis ne contiennent normalement qu'une petite quantité de ces cations à l'état soluble. Le sodium restant l'ion prédominant dans la phase soluble.

- MORPHOLOGIE DES SOLS A ALCALIS LESSIVES

D'après KOVDA, les sols à alcalis et en particulier les solonetz comportent 3 horizons principaux :

A = alluvial, désalinisé, humique 5 - 20 cm

B = illuvial, structure prismatique au colonnaire $pH \approx 9$
 $\frac{Na}{T} = 20 - 25 \% \text{ ou plus.}$

C = horizon fortement salé, carbonaté, sulfaté au chloruré

Exemple : profil d'un solonetz décrit par AUBERT et HUBBLE (1955)
en Queensland -Australie-

En zone plane, sous boisement couvert d'eucalyptus.

0 - 15 cm : horizon gris humifère, limono-sableux, faiblement grumeleux.

15- 35 cm : horizon plus clair, porosité due à la présence de petites cavités.

35- 60 cm : horizon gris-brun, argileux, à structure prismatique en larges colonnes à sommets bien arrondis ; quelques taches de pseudogley ; compact ; ligne plus blanche, irrégulière au sommet des colonnes.

60- 80 cm : horizon gris-beige, argilo-sableux, cubique large, compact et à larges taches ferrugineuses ocre-rouille.

en-dessous: limon sableux, gris-beige à larges taches et trainées ferrugineuses subhorizontales ocre-rouille.

- CARACTERES ANALYTIQUES DES SOLS SALES ET A ALCALIS

RICHARDS et AL ont utilisé le rapport S.A.R. (Sodium Absorption Ratio) et la conductivité électrique de l'extrait de la pâte saturée du sol, pour la classification des sols.halomorphes.

Le S.A.R. tiré de l'équation de Gapon s'exprime par la formule suivante :

$$S.A.R. = \sqrt{\frac{Na}{\frac{Ca + Mg}{2}}}$$

Na^+ , Ca^{++} , Mg^{++} sont les cations dosés dans l'extrait aqueux de la pâte saturée, et exprimés en $me/litre$.

SCHEMA DE CLASSIFICATION DES SOLS HOLOMORPHES
EN FONCTION DES DONNEES DE L'EXTRAIT AQUEUX A SATURATION

: CE _{éas} :	S.A.R..		
: EXTRAIT SATURE:	0 - 4	4 - 10	10
: 0 - 2 :	:	: Sol non salin, : faiblement à : alcali :	:
: 2 - 4 :	: Sol faiblement : salin :	: Sol faiblement : salin, : faiblement à alcali:	: Sol à alcali : " Solonetz " :
: >4 :	: Sol salin : " Solonchak " :	: Sol salin, faible- : ment à alcali :	: "Solonchak" : " Solonetz " : : Sol salin à alcali :

- SOURCE D'ACCUMULATION DES SELS SOLUBLES DANS LE SOL

Le processus d'accumulation des sels dans le sol peut être attribué à différents facteurs, les plus caractéristiques étant les conditions géomorphologiques: " comme le relief, des sédiments marins pendant les périodes géologiques, l'effet actuel d'un bord de mer," ou des facteurs hydrogéologiques " : remontée capillaire des nappes salées, surtout dans les régions arides et semi-arides où l'évaporation est supérieure aux précipitations."

G.N. VYSOTSKII et N.A. DIMO avaient proposé la théorie de la " pulvérisation " des sols par les sels provenant de la mer, et apportés par le vent.

V.R. VILYAMS a indiqué l'importance du facteur biologique dans l'accumulation des sels dans le sol ; il considère que dans les conditions aérobiques de décomposition des matières organiques par certaines bactéries, la libération de CO₂ peut constituer l'une des origines de formation des carbonates dans le sol.

Dans la pratique, les facteurs les plus importants pour la formation des sols salés et à alcalis sont la remontée des sels à partir des nappes phréatiques et l'utilisation des eaux salées pour l'irrigation.

- NAPPES PHREATIQUES

On considère que les plans d'eau proches de la surface et sujets à fluctuations sont à l'origine des sols salés.

DARAB (1956), a noté qu'en Hongrie, l'alcalisation secondaire est fonction des fluctuations du plan d'eau et de la salure des eaux de la nappe phréatique.

ZAKHARINA (1958) note un déplacement latéral des sels et une salinisation des secteurs voisins, dans la mise en valeur des sols de steppes.

Dans l'étude des sols du centre d'IRAQ, SMITH et ROBERTSON (1956) ont indiqué que la salinisation et la désalinisation sont les principaux processus d'évolution observés dans ces sols. Seuls, les sols bien drainés, à texture grossière sont non salins. Bien que les eaux fluviales utilisées pour l'irrigation n'aient que des teneurs assez faibles en sel, ils considèrent que c'est le manque de drainage qui a provoqué la salure des sols. Alors que les ions calcium et bicarbonate prédominent dans les eaux des fleuves, les ions chlore et sodium prédominent dans le sol et dans la nappe phréatique. EATON (1950) a expliqué que ce phénomène était dû à la précipitation du carbonate de calcium dans le sol, laissant comme principaux ions en solution le chlore et le sodium. HAFIZ (1958) a indiqué que l'insuffisance du drainage profond est l'une des causes principales de l'augmentation de la salinité du sol dans l'ouest du Pakistan, et il a déclaré, d'après ASGHAR, qu'il se perd par salure, un hectare de sol productif, toutes les trente minutes, dans le seul Pendjab.

Bien entendu, l'eau de la nappe phréatique est plus ou moins dangereuse surtout en fonction de sa composition chimique.

PETROVIC (1956) et SCHOLLER M. ont noté que la composition ionique du sol est tout à fait semblable à celle de l'eau de la nappe phréatique.

FLOREA (1956) a dit que, dans le nord-est de la plaine roumaine, la teneur en sel de la nappe phréatique varie de 0,25 à 84 g/litre, avec une moyenne de 2-8 g/litre. Les eaux bicarbonatées ont tendance à être moins salines, les eaux chlorurées plus salines, les eaux sulfatées-chlorurées étant intermédiaires. L'accumulation du sel dans le sol augmente à mesure que diminue la profondeur du plan d'eau.

EGOROV et ZAKHARINA (1956) disent qu'il existe une profondeur critique de la nappe pour laquelle l'accumulation de sel est maximum. Si la nappe phréatique est à une profondeur inférieure, les sels retournent à la nappe entraînés dans l'écoulement d'eau par gravité et augmentent la teneur en sel des parties superficielles de cette nappe. Au dessus de la profondeur critique, les sels précipitent à la surface du sol, tandis qu'à de plus grandes profondeurs, la partie reprise par l'ascension capillaire diminue.

KOVDA a considéré que la profondeur critique de la nappe salée dépend de l'intensité d'évaporation, il a proposé la formule empirique suivante pour cette profondeur en fonction de la température moyenne annuelle :

$$y = 170 + 8 t^{\circ} \pm 15$$

y = profondeur critique en cm

t = température moyenne annuelle en °

Au delà de cette profondeur, la nappe phréatique ne peut pas provoquer de salinisation intense dans le sol.

En ce qui concerne l'utilisation de la nappe phréatique par les végétaux pour réaliser une économie d'eau d'irrigation, il faut remarquer qu'il est indispensable de contrôler soigneusement le niveau de la nappe. En effet, une forte concentration de racines se produit immédiatement au-dessus d'elle, et une élévation même temporaire du niveau de l'eau dans la zone des racines suffit à provoquer leur asphyxie. (PEARSON et AL 1957)

C'est seulement lorsqu'on peut régler soigneusement le niveau d'eau comme aux Pays-Bas, que le maintien d'une nappe près de la surface donne de bons résultats.

- QUALITE DE L'EAU D'IRRIGATION

On doit d'abord étudier les conditions générales de l'irrigation avant de classer les eaux d'irrigation d'après leur qualité. Une eau de bonne qualité peut aussi causer des dégâts si on l'utilise mal ou si on l'applique à un sol très imperméable. On peut ainsi, non seulement élever le niveau de la nappe, mais encore lessiver inutilement les éléments nutritifs en les entraînant au-delà de la zone explorée par les racines. Une eau est alcalisante si elle abandonne du sodium au sol. Elle est améliorante si elle lui en enlève. Mais on peut améliorer un sol avec une eau alcalisante, si elle contient moins de 500 mg par litre d'extrait sec, en y ajoutant du gypse en quantité équivalente au sodium en excédent.

Dans un sol drainé et irrigué de façon parfaite, la conductivité électrique de l'extrait de saturation pourrait atteindre approximativement, comme limite inférieure, la moitié de la valeur de la conductivité de l'eau d'irrigation, étant donné que le taux de saturation d'un sol est approximativement double de sa capacité de rétention.

Au Laboratoire de salinité à RIVERSIDE (U.S.A.), cette proportion se vérifie généralement dans des parcelles salées artificiellement, irriguées pendant toute une saison avec de l'eau de salure donnée. Dans la pratique la conductivité électrique de l'extrait de saturation est égale à trois ou quatre fois la conductivité de l'eau appliquée à une profondeur quelconque de la zone d'exploration des racines (CHAPMAN et HARDING 1956).

RICHARDS et AL ont considéré une valeur maximum pour la conductivité électrique de l'eau d'irrigation égale à 2.25 m.mhos/cm. CHAPMAN et HARDING ont indiqué les chiffres de 1500-2000 ppm comme limite supérieure de la salure pour les eaux d'irrigation dans le cas de la culture des agrumes.

Si pendant l'irrigation, il n'y a pas de pluie, et soit D_{iw} la hauteur de l'eau d'irrigation présentant une conductivité électrique EC_{iw} , cette quantité d'eau est capable d'augmenter la conductivité électrique d'une profondeur du sol égale à D_s d'une valeur à ΔEC_e . A cet égard, RICHARDS et AL ont proposé la formule suivante :

$$\frac{D_{iw}}{D_s} = \frac{d_s}{d_w} \cdot \frac{S_p}{100} \cdot \frac{\Delta EC_e}{EC_{iw}}$$

d_s = la densité apparente du sol

d_w = la densité apparente de l'eau

S_p = pourcentage de saturation du sol par l'eau

Par la formule ci-dessus, il est possible de connaître la profondeur du sol et la quantité totale de l'eau d'irrigation qui peut augmenter la conductivité électrique du sol sur cette profondeur jusqu'à une valeur critique.

En plus de la teneur totale en sel, il faut tenir compte de la proportion de sodium, ou du taux d'absorption du sodium (S.A.R.), ainsi que de la teneur en bicarbonate de l'eau.

Une eau d'irrigation ayant un fort pourcentage de sodium fera apparaître après un certain temps une forte proportion de sodium échangeable dans le sol qui modifie les caractéristiques physiques du sol.

- EVOLUTION DES SOLS SALES ET A ALCALIS

De'SIGMOND (1932) a montré que l'évolution et le développement du sol à alcali se fait en cinq étapes : salinisation, alcalisation, désalinisation, dégradation et " regradation ".

La salinisation est l'accumulation des sels dans le profil, c'est le phénomène initial et important pour la formation des sols à alcalis.

L'alcalisation est le phénomène d'absorption du sodium sur le complexe absorbant.

La désalinisation est le lessivage des sels solubles dans le profil du sol.

La dégradation est le déplacement de sodium par l'hydrogène avec acidification de la partie supérieure du sol.

La "regradation" est le phénomène de la réaccumulation des sels dans le sol.

D'après les considérations de De'SIGMOND et les essais en laboratoire et les observations sur le terrain, il existe donc un fort degré de concomitance entre les caractéristiques des solonchaks, des solonetz et des solodes. L'augmentation d'une série quelconque de caractéristiques tend à être accompagnée de l'augmentation des autres séries. L'évolution vers les solodes liée à la teneur en SiO_2 de l'horizon A (ou A_2 pour les solodes) et à l'accumulation de sesquioxydes en B_1 est nettement en relation avec les caractéristiques des solonchaks et des solonetz. PAPA ZOV (1956) a conclu que ces caractéristiques se développent simultanément, et non pas consécutivement, suivant la série habituellement adoptée :

solon[†]cha.k → solonetz → solod

- LES FACTEURS QUI MODIFIENT L'EFFET de Na ECHANGEABLE DANS LES SOLS

Les sols ayant la même teneur en Na échangeable peuvent présenter différentes caractéristiques physiques. La raison de ce phénomène n'est pas encore très bien claire, mais il semble qu'il y ait certains facteurs qui interviennent dans ce cas, et la détermination de ces facteurs peut être très utile pour l'amélioration des sols à alcalis.

- TEXTURE

Il est bien évident que la taille des particules de sol influe sur la rétention de l'humidité et capacité d'échange des sols.

En règle générale, la texture légère provoque une faible capacité de rétention de l'eau et une forte perméabilité, tandis que la texture lourde correspond à une forte capacité de rétention et une faible perméabilité, la présence d'une quantité importante (>50%) de limon diminue la perméabilité du sol; donc en général, les propriétés physiques des sols à texture fine sont plus affectées par la même quantité de Na échangeable qu'un sol à texture légère, par exemple, un sol à texture légère pourrait présenter une plus forte perméabilité avec 50% Na échangeable qu'un sol argileux avec 15 - 20%.

- SURFACE DES PARTICULES, NATURE MINÉRALOGIQUE DES ARGILES

On sait que les particules des sols sont de deux types, les unes ont seulement une surface extérieure, et les autres présentent une surface intérieure et une surface d'extérieure. (Montmorillonite).

Ces dernières présentent des propriétés : gonflement, plasticité et dispersion plus élevées que les premières avec la même quantité de sodium échangeable. Ce phénomène n'est pas encore bien connu et nécessite une étude complémentaire; ces types d'argiles se trouvent surtout dans les régions arides et semi-arides.

- POTASSIUM ET SILICATES SOLUBLES

Plusieurs sols à alcalis à texture fine ont présenté dans des expériences de laboratoire une perméabilité plus élevée que la normale; dans ces types de sols, le potassium échangeable se trouve en quantité élevée (25 - 40%) de même que les silicates (5 - 40 mg/litre). Il semble que le potassium échangeable et les silicates diminuent le gonflement de l'argile, mais ce phénomène n'est pas encore très bien expliqué (DYAL et HENDRICKS 1952).

- MATIÈRE ORGANIQUE

La matière organique a un effet favorable sur les propriétés physiques des sols, et elle diminue l'action défavorable de Na échangeable (RICHARDS et CAMPBELL 1950).

La matière organique favorise la stabilité structurale et diminue la densité apparente du sol, et elle améliore les conditions de vie des micro-organismes du sol.

- ANIONS ASSOCIÉS AU SODIUM

ARNAY (1956) et WAHHAB A. (1961) ont souligné l'importance de l'anion associé au sodium dans la formation des sols à alcalis. Les sels de sodium alcalins (bicarbonates, carbonates et silicates) favorisent le déplacement complet du calcium par le Na en raison de la faible solubilité des sels de calcium correspondants.

D'un autre côté le sulfate et le chlorure de sodium ne donnent lieu qu'à un remplacement partiel du calcium par le sodium. La vitesse d'alcalisation est donc très différente pour les sels basiques et les sels neutres. Ce sont des facteurs très importants surtout pour l'irrigation des sols par des eaux caudates.

- MISE EN VALEUR AGRONOMIQUE DES SOLS SALES ET A ALCALIS

On admet généralement que la croissance des végétaux est en relation déterminée avec la pression osmotique du milieu qui entoure les racines et des espèces différentes. Le laboratoire de salinité de Riverside a constaté que l'influence néfaste de la salinité pouvait se produire pour une conductivité électrique de l'extrait de saturation du sol de l'ordre de 2 m.mhos/cm à 25°, en ce qui concerne des espèces très sensibles (EHLIG et BERNSTEIN 1959). L'action d'ions particuliers (toxicité, troubles de la nutrition) peut se superposer à l'action générale de la pression osmotique, abaissant plus encore les rendements.

GRINFELD (1957) a étudié la capacité de production des différents horizons formant les solonetz de steppe. Il a constaté que, si on leur fournissait assez d'eau et d'engrais, chacun d'eux pouvait être productif. Cependant la fertilité initiale du solonetz diminue avec la profondeur. MALINKIN (1956) a constaté que l'application d'engrais minéraux ou organiques à des sols salés avait peu ou pas d'effet. de zones

Dans les sols/arides, l'azote est souvent le seul élément fertilisant important, nécessaire au début. Mais, après des années de récolte, il arrive qu'il soit utile d'apporter aussi du phosphate et du potassium.

L'influence de la salure sur l'absorption et l'utilisation des éléments nutritifs essentiels par les végétaux est un sujet complexe, étant donné que des espèces différentes réagissent de façon très différente.

On a montré que l'abaissement du pH, par suite de l'application d'ammonium a eu une influence défavorable sur la nitrification, et l'accumulation d'ammonium dans le sol a entraîné la dégradation de ses propriétés physiques.

On ne sait pas grand chose de l'influence de la salure sur les micro-organismes du sol. BERNSTEIN a observé l'absence presque complète du développement des nodosités sur les racines de soja lorsque la conductivité de l'extrait de saturation du sol dépassait 7 m.mhos/cm.

On peut donc estimer que la présence de la quantité excessive des sels dans les sols modifie, non seulement, les propriétés physico-chimiques des sols, mais aussi, influe sur la croissance des plantes, ce qui est important dans la mise en valeur des sols salés et à alcalis.

CHAPITRE II

AMELIORATION DES SOLS SALES ET A ALCALIS

Méthodologie

Problème d'échantillonnage

Etant donné que les sols halomorphes présentent des variations considérables dans leurs propriétés chimiques et physiques, dans un petit secteur, le prélèvement des échantillons a toujours constitué un problème essentiel. KADER (1956) a déterminé le nombre d'échantillons nécessaire pour obtenir un degré donné de certitude dans l'estimation de la composition d'un solonetz, l'analyse du sol indiquant la variabilité de chaque horizon pédologique. D'après cet auteur, les coefficients de variabilité étaient inférieurs à 10 % pour la potasse (K_2O), de 20 - 40 % pour l'acide phosphorique (P_2O_5), mais de 50 à 156 % pour le gypse (SO_4Ca). En ce qui concerne le sodium soluble et échangeable, les coefficients allaient respectivement de 13 à 92 % et de 12 à 24 %. Certains éléments varient beaucoup plus à une profondeur qu'à l'autre.

SAYEGH et ALL (1958) ont procédé à l'analyse statistique des variations de la conductivité électrique, et du sodium échangeable dans les différentes unités cartographiques des sols et entre les stations à l'intérieur d'une même unité. Ils ont trouvé, pour ces deux paramètres, d'importantes différences entre les unités de cartographie. A l'intérieur d'une unité, les variations de conductivité électrique n'étaient pas considérables, mais celles du sodium échangeable étaient plus importantes, surtout pour les échantillons pris individuellement. Lorsqu'on détermine une zone à étudier, il est évident que l'on doit apporter beaucoup d'attention à l'étude de cette variabilité, pour établir une méthode de prélèvement des échantillons.

.../...

Etant donné que l'on a souvent besoin d'un grand nombre d'échantillons pour analyser une situation pédologique donnée, on s'attache beaucoup à trouver des tests simples de caractérisation. Les chercheurs qui travaillent sur les sols salins et à alcalis (HAYWARD 1956) continuent à se poser des questions sur la confiance qu'ils peuvent accorder au pH en tant qu'indicateur de la teneur en sodium échangeable. CHANG et ALL (1956) ont montré une bonne corrélation entre le pH et la teneur en sodium échangeable, le coefficient de corrélation passe de 0,691 à 0,843. SERVAT et SERVANT ont aussi montré une bonne corrélation entre $\log 100 \frac{\text{Na}}{\text{Ca} + \text{Mg}}$ et le pH des sols de la région de Montpellier.

Le mode d'échantillonnage pour étudier l'amélioration des sols à alcalis pose un problème plus important. MARGULIS V. YU (1965) a montré que la variation de la valeur de la capacité d'échange d'une série d'échantillon est asymétrique et obéit à la loi normale. Mais la variation du sodium échangeable de cette série est différente et nécessite un plus grand nombre d'échantillons, afin de pouvoir estimer avec plus de certitude la variation de sodium échangeable dans le sol.

On peut admettre donc, que dans un but d'amélioration des sols salés et à alcalis, pour pouvoir arriver à des résultats analytiques satisfaisants, il est nécessaire non seulement de bien connaître les propriétés physicochimiques des sols, mais aussi leur distribution dans la région donnée.

Problèmes d'amélioration des sols et d'élimination des sels

Généralités ---

En général, la mise en valeur implique l'évacuation de l'excédent des sels solubles et du sodium échangeable; dans certains types de sol, il faut souvent améliorer, en outre, les propriétés physiques. La première chose à faire est d'assurer un drainage convenable, puisqu'il faut éliminer du sel, par lessivage, en particulier des sels solubles, ainsi que le sodium qui a été déplacé par le calcium, ou d'autres cations que l'on ajoute sous forme soluble.

D'après l'échelle de détermination du diagnostic de salinité ou d'alcalinité du sol, utilisée au laboratoire de Riverside, on mesure d'abord la conductivité électrique de l'extrait de la pâte saturée ainsi que la perméabilité des sols. Après avoir fait ces deux déterminations, on peut connaître l'état global de salinité des sols. A l'aide d'autres déterminations utilisées dans ce laboratoire on peut préciser la nature exacte du problème de salure des sols et établir un ~~projet~~ d'amélioration en conséquence.

Lessivage des sels en excès.

Il est essentiel d'appliquer une quantité suffisante d'eau aux sols salins et de la laisser s'infiltrer dans le sol dans le but de lessiver les sels en excès. Le maintien d'un équilibre favorable de sels dans le sol nécessite des méthodes d'irrigation appropriées et efficaces. L'irrigation doit fournir l'eau pour la croissance des cultures et en même temps fournir assez d'eau pour lessiver les sels en excès par drainage. Le lessivage de sols salés est souvent un travail très long, nécessitant toute une série d'opérations. Etant donné qu'on peut cultiver du riz sur les sols inondés, sa production est devenue un élément important de l'utilisation des sols dans un grand nombre de régions halomorphes.

On peut pratiquer le lessivage d'une façon continue en une seule fois, par intermittence en plusieurs fois ; lorsque la perméabilité du sol n'est pas bonne, il est préférable de faire le lessivage en plusieurs fois. La quantité d'eau nécessaire pour le lessivage dépend de la profondeur du sol qui doit être améliorée, de la quantité initiale et de la quantité admissible des sels dans le profil du sol, des conditions climatiques, et de la concentration des sels dans l'eau d'irrigation.

La quantité d'eau nécessaire au lessivage des sols salés a été le sujet d'étude de nombreux chercheurs. D'après le laboratoire régional de salinité, l'eau nécessaire pour le lessivage est déterminée par la formule suivante :

$$LR = \frac{D_{dw}}{D_{iw}} = \frac{EC_{iw}}{EC_{dw}}$$

ou LR est la quantité d'eau nécessaire au lessivage.

D_{dw} et D_{iw} sont les hauteurs respectives des eaux de drainage et d'irrigation (la hauteur de l'eau de drainage représente en gros la différence entre l'eau apportée et l'eau perdue par évapotranspiration et retenue par le pouvoir absorbant du sol), EC_{iw} et EC_{dw} sont les conductivités électriques des eaux de drainage et d'irrigation.

Il faut signaler que la quantité d'eau nécessaire pour l'irrigation est égale à :

$$D_{iw} = D_{cw} + D_{dw}$$

ou D_{dw} représente la hauteur d'évapotranspiration et D_{dw} la hauteur d'eau de drainage.

On peut conclure :

$$D_{iw} = \frac{D_{cw}}{1 - LR}$$

ou bien
$$D_{iw} = \left(\frac{EC_{dw}}{EC_{dw} - EC_{iw}} \right) D_{cw}$$

Il en résulte que la quantité d'eau de lessivage est fonction de la conductivité électrique de l'eau d'irrigation et de celle de l'eau de drainage ainsi que des conditions climatiques.

Si la chute de pluie est considérable pendant la période de lessivage, il faut tenir compte de la quantité de pluie qui provoque également un lessivage.

KOVDA a montré qu'il y a une relation entre la salinité des sols et la quantité de l'eau de lessivage

$$Y = n \cdot 400 X \pm 100$$

Y = quantité de l'eau de lessivage en mm.

X = quantité moyenne de sel en pourcentage

n = coefficient fonction de la perméabilité du sol, qui varie de 0,5 à 2,0.

VOLOBUYEV V.R., (1964) a noté qu'il y a une relation logarithmique entre la quantité d'eau de lessivage et le rapport des quantités initiales et admissibles de sels dans le sol, il a proposé la formule suivante :

$$N = \log \left(\frac{SH}{So} \right)^{\alpha}$$

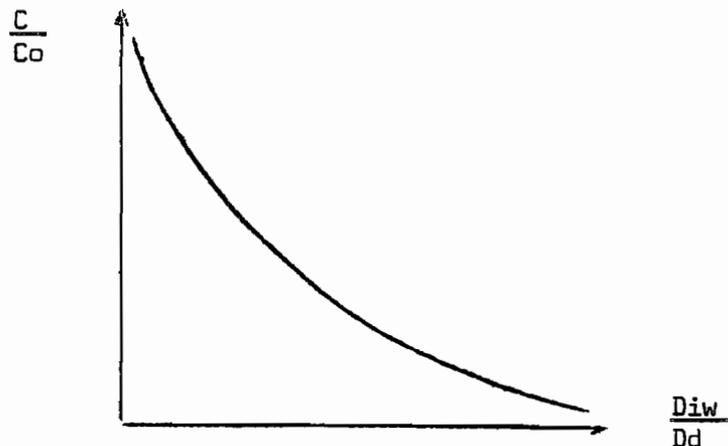
N = quantité d'eau nécessaire au lessivage en m^3 / m^2

SH = quantité initiale de sels dans le sol

So = quantité admissible de sel.

α = paramètre qui dépend de la caractéristique du sol et des sels solubles.

D'après TALSMAN (1967), si l'on porte sur un graphique la variation au cours du lessivage de $\frac{C}{C_0}$ en ordonnée, et de $\frac{D_{iw}}{D_d}$ en abscisse, on obtient une courbe à forme hyperbolique



Co = concentration initiale des sels dans le sol
C = concentration des sels dans le sol pendant le lessivage
Diw = hauteur de l'eau de lessivage
Dd = profondeur de sol lessivé

Cette courbe montre que la quantité d'eau nécessaire au lessivage est fonction des quantités initiales et admissibles de sels solubles dans le sol ainsi que de la profondeur de sol lessivé :

$$\frac{D_{iw}}{D_d} = f \left(\frac{C}{C_o} \right)$$

PANIN P.I. (1962) a montré une relation logarithmique semblable à celles de VOLOBUYEV et TALSMA. Il a proposé la formule suivante pour le calcul de la quantité de l'eau au lessivage.

$$Q_a = 2,3 KF \log \frac{S_i}{S_o}$$

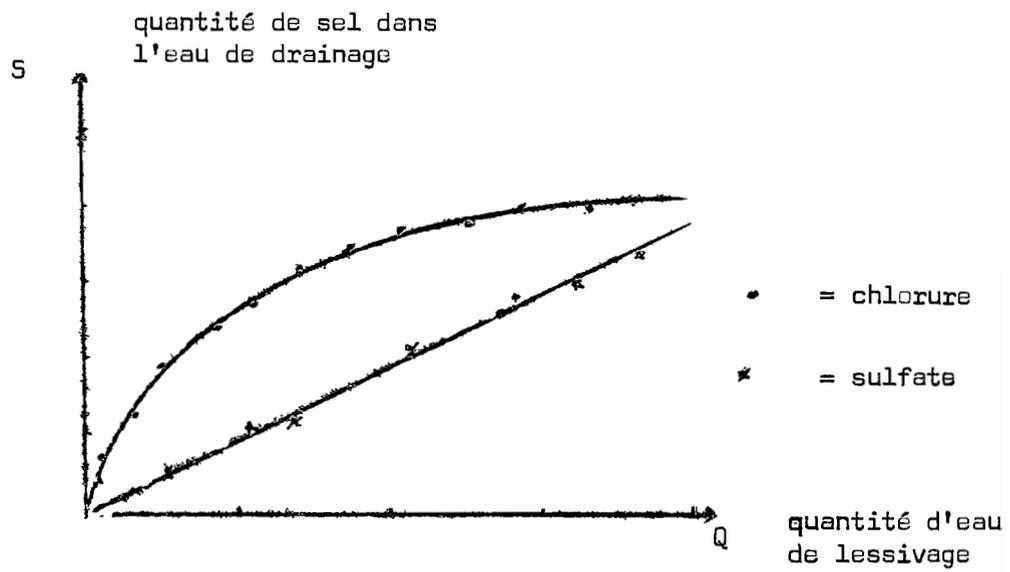
Qa = quantité de l'eau de lessivage en m³ / ha
Si = quantité initiale de sel en T / ha
So = quantité résiduelle de sel après le lessivage en T / ha
F = capacité de rétention de l'humidité dans le sol
K = coefficient empirique qui dépend de la texture, et de la composition chimique du sel. D'après PANIN ce coefficient est égal à 1,67.

Variation quantitative des sels solubles pendant le lessivage

PANIN R.S.(1963) dans ses expériences de lessivage des sols salés sur monolithe a montré qu'il y a une variation quantitative et qualitative entre la composition chimique des sels dans le sol et celle de l'eau de drainage. La concentration des sels dans l'eau de drainage est plus élevée au début qu'à la fin du lessivage. Il a trouvé que la concentration de sulfate de calcium (SO_4Ca) dans l'eau de drainage est 3 à 5 fois plus élevée que celle trouvée dans le sol. La concentration du chlorure de calcium (Cl_2Ca) au contraire est 3 à 4 fois moins élevée que dans le sol. Cette différence peut être attribuée au degré de solubilité variable de ces sels.

L'étude des courbes cumulatives des variations de concentration en sels de l'eau de drainage du monolithe, présentée par cet auteur, montre que la variation des chlorures présente une forme parabolique à l'origine et qu'à partir d'une certaine quantité elle tend vers une forme linéaire.

La variation cumulative de la quantité de sulfate est une fonction linéaire continue, il en résulte que l'élimination du sulfate se poursuit d'une façon régulière jusqu'à la fin du lessivage, tandis que celle du chlorure est rapide pour les premières quantités d'eau de lessivage et qu'au delà elle devient négligeable. Pour cette raison, PANIN a trouvé que le rapport de $\frac{Cl}{SO_4}$ qui était de 20-26 dans l'eau de drainage au début du lessivage devient égale à 0,44 à la fin du lessivage.



Courbe cumulative de lessivage de chlorures et de sulfates en fonction de la quantité de l'eau de lessivage (d'après PANIN P.S. 1963).

AMELIORATION des SOLS à ALCALIS

Si l'on considère essentiellement les sols à alcalis du point de vue de leur morphologie, les techniques de leur amélioration consistent surtout à modifier les caractéristiques physiques pour aboutir à un profil plus convenable pour la culture. L'amélioration de la structure peut être, soit une conséquence naturelle de l'évolution chimique due à l'addition des amendements nécessaires au sol, soit être provoquée par des pratiques culturales supplémentaires.

Il n'est pas possible de juger à priori du mérite relatif de ces deux points de vue. Souvent ce sont les facteurs économiques qui jouent un rôle décisif, dans la mesure où il faut tenir compte de la rapidité relative de la mise en valeur, du coût des amendements, de l'existence de disponibilités en eau, de leur qualité, etc... (BERNSTEIN 1962).

PAK (1957) a montré les avantages des labours profonds pour la mise en culture des solonetz. Le mélange de la couche compacte caractéristique des solonetz avec un horizon A plus normal, et avec un horizon C calcaire ou gypseux, provoque une stimulation des processus biologiques, en particulier la production de CO₂ et une augmentation de la solubilisation de la chaux. Étant donné que l'horizon caractéristique des solonetz ne réagit que lentement à l'apport de gypse et de la chaux, on a mis au point, en U.R.S.S., des techniques accélérées pour constituer une couche supérieure fertile recouvrant le solonetz. On peut même faire, dans ce cas, des apports de terre si l'horizon supérieur naturel est trop peu épais (ANTIPOV - KARATAEV 1956).

En laboratoire et dans de petites expériences sur le terrain, MAKARETS (1957) a étudié l'action des matières organiques sur le solonetz contenant de la chaux. Il a noté que la matière organique diminuait la quantité de sodium échangeable, non seulement en solubilisant le calcium de la chaux, mais encore en éliminant le sodium sous forme d'humate.

En dehors des méthodes physiques, les pratiques les plus habituelles d'amélioration des sols à alcalis sont les techniques chimiques et nous allons voir les modalités d'emploi et l'influence des différents amendements qu'on utilise pour la mise en valeur des sols à alcalis.

On utilise habituellement le sulfate de calcium SO_4Ca pour l'amélioration des sols à alcalis, car non seulement il est plus soluble que le carbonate de calcium, mais aussi il n'augmente pas le pH du sol.

Réactions caractéristiques des différents amendements

Lorsqu'on utilise les amendements ci-dessus pour l'amélioration des sols à alcalis, les réactions suivantes peuvent se produire dans le sol :

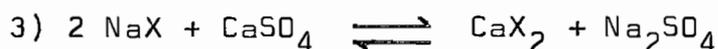
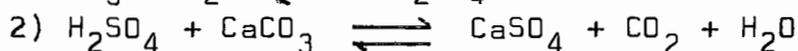
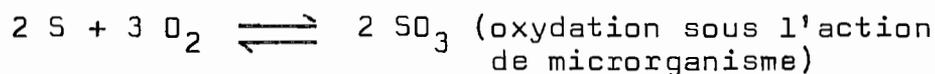
(X désigne le complexe absorbant).

Catégorie 1 : Sols qui contiennent des carbonates alcalino-terreux.

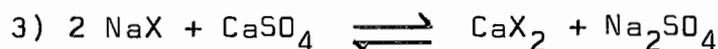
Action du gypse



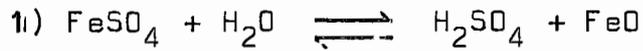
Action du soufre



Action du sulfure de calcium



Action du sulfate de fer :



Catégorie 2 : Sols qui ne contiennent pas de carbonates alcalino-terreux, $\text{pH} \geq 7.5$

Action du gypse

Comme la première catégorie

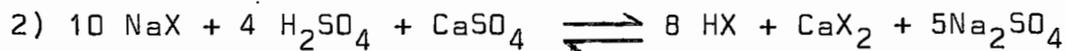
Action du soufre

1) et 2) comme la première catégorie



Action du sulfure de calcium

1) comme la première catégorie



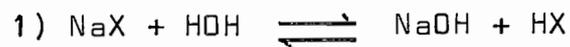
Action du sulfate de fer

1) comme la première catégorie



Action du carbonate de calcium :

Deux possibilités sont envisagées par Kelley et Brown (1934)



Catégorie 3 : Sols qui ne contiennent pas de carbonate alcalino-terreux, pH < 7.5

Action du gypse

Comme les 1ère et 2ème catégories

Action du soufre

Comme la 2ème catégorie

Action du sulfure de calcium

Comme la 2ème catégorie

Action du sulfate de fer

Comme la 2ème catégorie

Action du carbonate de calcium

Comme la 2ème catégorie, et s'il y a de l'hydrogène échangeable



(Signalons que l'amélioration des sols salés et à alcalis par le phénomène d'électrolyse à l'aide de courant électrique n'est pas encore d'application pratique sur le terrain ; on espère utiliser dans l'avenir de l'énergie électrique et atomique pour l'étude et l'amélioration des sols halomorphes et pour celles des relations sols-végétaux).

ESTIMATION de la QUANTITE d'AMENDEMENTS NECESSAIRE

pour l'AMELIORATION des SOLS à ALCALIS

Pour le remplacement de Na échangeable par un autre cation améliorant, il faut déjà connaître la capacité d'échange ainsi que la quantité exacte de Na échangeable du sol. Cette façon d'opérer n'est pas toujours facile et nous avons déjà parlé des variations de distribution de ces deux grandeurs dans les sols à alcalis. La quantité admissible de Na échangeable dépend aussi de la texture du sol. On a accepté dans plusieurs cas la valeur de 10 % Na échangeable comme quantité admissible.

A cet égard, Richards et all. ont calculé la quantité de sulfate de calcium ou de soufre pour améliorer un "acre foot" (1) d'un sol à alcali ; pour remplacer les différentes quantités de Na échangeable, ils ont donné le tableau suivant :

Na éch. mé 100 g	Gypse $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (2) tonnes acre foot	Soufre (S) tonnes acre foot
1	1.7	0.32
2	3.4	0.64
3	5.2	0.96
4	6.9	1.28
5	8.6	1.60
6	10.3	1.92
7	12.0	2.24
8	13.7	2.56
9	15.5	2.88
10	17.2	3.20

(1) Amélioration d'un acre de terre sur une profondeur de 1 pied.

(2) Chaque "acre foot" de sol est approximativement 4×10^6 pounds.

MARGULIS V.YU. (1963) a proposé la formule suivante pour le calcul de la quantité nécessaire de gypse par hectare.

$$M = 0.086 (Na - KT) H.d.$$

M = quantité de gypse en tonne par hectare

Na = quantité de Na échangeable en mé/100 g

T = capacité d'échange du sol en mé/ 100 g

H = profondeur du sol en cm

d = densité apparente du sol

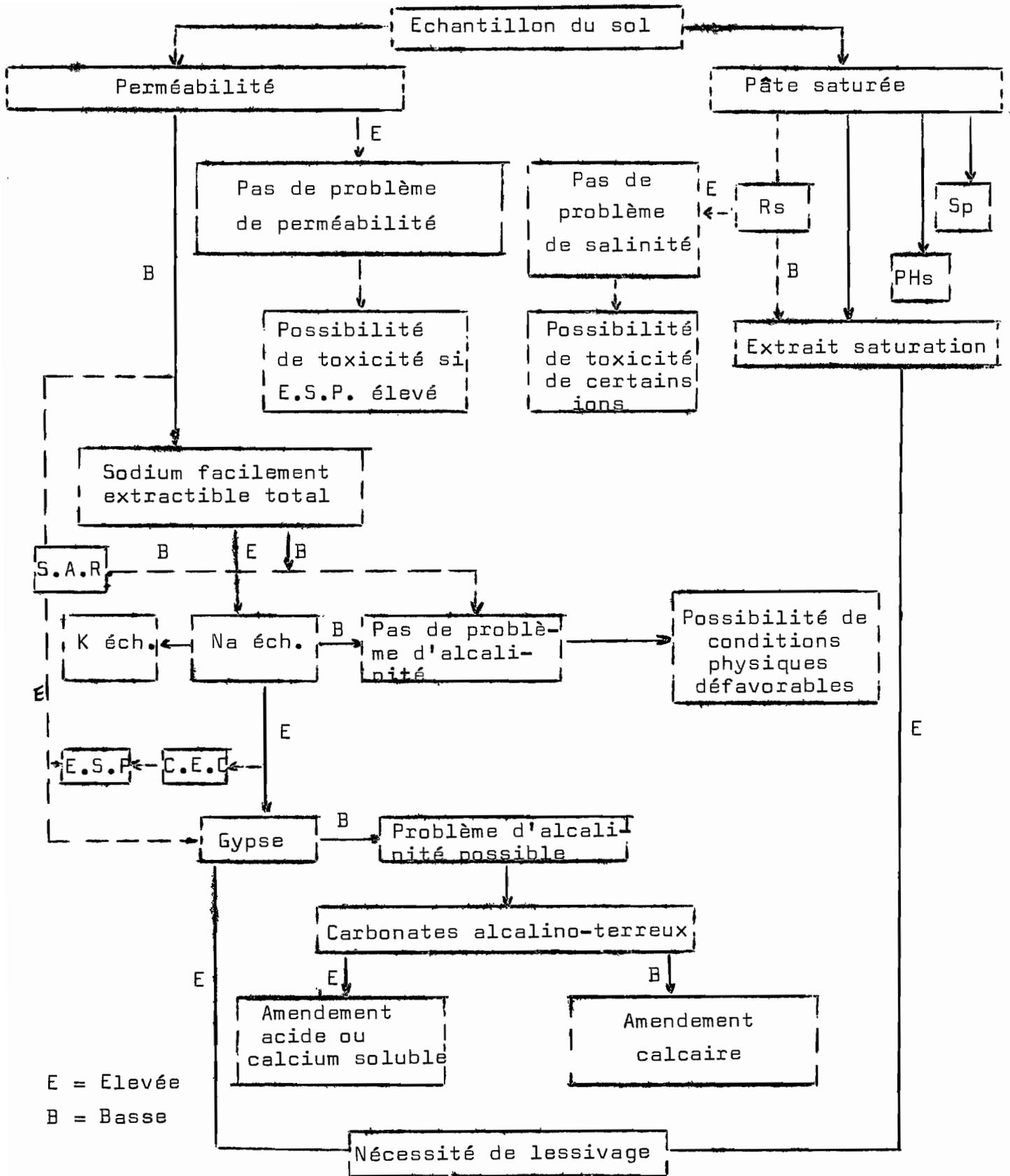
K = facteur qui dépend de la quantité admissible de Na échangeable, qui peut varier de 5 % à 10 % de la capacité d'échange du sol.

Il faut signaler, comme nous l'avons vu précédemment, que la réaction entre le gypse ou d'autres amendements chimiques et le Na échangeable n'est pas complète; il y a donc une quantité de calcium qui reste à l'état soluble. Dans ces conditions et d'une façon générale, il serait préférable que l'on ajoute une quantité plus élevée que la quantité calculée pour le remplacement de Na échangeable. A ce propos, Richards a considéré qu'il faut multiplier la quantité théorique nécessaire par 1.25. L'expérience de Mc George et Breazeale (1951) confirme aussi ce point de vue.

Avant l'application des amendements chimiques, il serait préférable d'irriguer le sol par une faible quantité d'eau et distribuer après l'amendement et le mélanger avec le sol par un appareil. Cette façon d'opérer est nécessaire surtout pour faciliter l'oxydation du soufre dans le sol.

On peut ajouter les amendements dans l'eau d'irrigation comme le gypse (Fulmer 1950).

Il faut préciser qu'après avoir procédé à l'application des amendements dans le sol, il faut faire un lessivage du sol dès que possible, afin de provoquer l'échange cationique. Dans le cas où l'on ajoute le soufre au sol, une certaine période de temps est nécessaire pour l'oxydation de cette substance dans le sol. Dans ce cas, le lessivage de sol est donc retardé d'une certaine durée par rapport aux autres modalités d'amélioration des sols à alcalis.



Plan général des opérations d'étude des sols salés et à alcalis (d'après Richards et coll.)

CONCLUSION

Si l'on étudie les caractéristiques physiques et chimiques des sols salés et à alcalis, on s'aperçoit qu'ils sont sous l'influence directe ou indirecte des sels solubles.

L'influence directe des sels solubles provoque une certaine salinisation du sol. L'importance et l'intensité de celle-ci dépend de la quantité totale de sels solubles dans le sol.

L'influence indirecte des sels solubles modifie les propriétés physiques du sol et est provoquée par l'action de Na échangeable surtout lorsque $\frac{Na}{T}$ est supérieur à 15 %. Il faut

considérer l'action de l'alcalinité sur le mouvement et la dégradation de l'argile qui donne au profil du sol une morphologie particulière.

La mise en valeur des sols salés et à alcalis dépend de la dominance quantitative et qualitative de certains sels solubles soit de l'accumulation totale des sels qui provoque l'augmentation de la pression osmotique de la solution du sol, soit de l'action du Na échangeable qui influe surtout les caractéristiques physiques du sol.

L'amélioration de ces sols dépend de leurs propriétés physico-chimiques d'une part, et de la répartition de ces propriétés dans la région d'autre part.

Ils nécessitent l'application d'un système de drainage et le lessivage, surtout pour la catégorie des sols salés, mais en plus, l'amélioration des sols à alcalis dépend d'abord du remplacement de Na échangeable à l'aide d'un amendement chimique approprié, préalablement à l'application de l'irrigation et du drainage.

BIBLIOGRAPHIE

- Antipova-Karataev & Kerzum P.A. (1961). The system of reclamation methodes for exploiting saline and swamped soils against secondry salinisation of irrigated soils in Tadzhikistan.
Salinity problems in the arid zones. P. 281 - 284
UNESCO
- Aristov S.G. (1962). Leaching soils salinized with sodium sulfate.
Soviet Soil Science N. 7 P. 699 - 701
- Asghar A.G. (1961). Use of saline water for irrigation with special refrence to saline soils.
Salinity problems in the arid zones. P. 259 - 265
UNESCO
- Aubert G. (1962). Les sols de la zône aride. Etude de leur formation, de leurs caractères, de leur utilisation et de leur conservation.
Les problèmes de la zône aride. P. 127 - 143
UNESCO
- Aubert G. et BOULAIN J. (1967). La pédologie. Que sais-je ?. P. 62 - 68
- Bernstein L. (1962). Les sols halomorphes et leur vegetation.
Les problèmes de la zone aride. P. 151 - 179
UNESCO
- Boulain J. (1957). Etude des sols des plaines du Chelif.
Thèses. P. 245 - 255
- Bower C.A. (1961). Prediction of affected of irrigation water on soil.
Salinity problems in the arid zones. P. 215 - 220
UNESCO
- Durand J.H. (1958). Les sols irrigables. P. 43 - 56
- Hoon R.C. (1966). Reclamation of saline lands under irrigation.
Sixth Congress, Irrigation & Drainage, New Delhi. P. 19.302 - 19.317
- Hsi. L.C. (1964). Salt-affected soils along the west coast of Taiwan.
Sail and fertilizers in Taiwan. P. 1 - 5
- Israelsen.W. & Hansen E. (1962). Traité pratique de l'irrigation. P. 189 - 209
- Jones L.D. (1966). Measuring the effects of irrigation and drainage on soil salt content.
Sixth Congress, Irrigation & Drainage, New Delhi. P. 19.159 - 19.169

- Kelley W.P. (1951). Alkali soils. P. 76 - 87
- Kizilova A.A. (1961). Mouvement of easily soluble salts in solonchak soils under leaching.
Salinity problems in the arid zones. P. 227 - 232
UNESCO
- Kovda V.A. (1961). Principal of the theory and the practice of reclamation and utilisation of saline soils.
Salinity problems in the arid zones. P. 201 - 211
UNESCO
- Lapatnik J. (1966). Reclamation of saline soil under irrigation conditions.
Sixth Congress, Irrigation & Drainage, New Delhi. P. 19.273 - 19.285
- Margulis V.Yu. (1965). Calculation of gypsum rates in meliorating solonetz.
Soviet Soil Science N. 2. P. 190 - 192
- Matsumura Y. (1966). Electric Conductivity method of measuring salt concentration and its application to saline paddies.
Sixth Congress, Irrigation & Drainage, New Delhi. P. 19.338 - 19.349
- Narasimha G.A. (1966). Reclamation of saline lands under irrigation in Andhra Pradesh (India).
Sixth Congress, Irrigation & Drainage, New Delhi. P. 19.256 - 19.271
- Panin P.I. (1962). Salt discharge from soils and determination of leaching norms.
Soviet Soil Science N. 7. P. 703 - 708
- Panin P.S. (1963). Salt realise by chloride-salinized soils with leaching.
Soviet Soil Science N. II. P. 1083 - 1089
- Raheja P.C. (1966). Salinity and aridity. P. 78 - 80
- Richards and All (1953). Dragnosis and improvement of saline and alkali soils.
United States Salinity Laboratory Staff (U.S.D.A.) P. 4 - 6 & 25 - 54
- Rozanoff A.N. (1961). The system scientific investigation in projects for the irrigation and reclamation of saline soils.
Salinity problems in the arid zones P. 223 - 225
UNESCO
- Servant J. & Servat E. (1966). Introduction à l'étude des sols salés littoraux du Languedoc Roussillon.
Ann . Agro. N.I. P. 53 - 71
- Schoeller M. (1963). Recherche sur l'acquisition de la composition chimique des eaux souterraines.
Thèses. P. 21 - 25

- Szabolcs I.- Kovacs Gy.- Budavari (1966). The types of salt affected soils in Hungary and the methods of their utilization with particular regard to irrigation and leaching.
Sixth Congress, Irrigation & Drainage, New Delhi. P. I9.I7I - I9.I85
- Szabolcs I.- Lestak V. (1967). Capillary movement of solutions of sodium in soil Columns.
Soviet Soil Science N. 4
- Talsma T. (1966). The effect of soil physical conditions on reclamation of saline lands.
Sixth Congress, Irrigation & Drainage, New Delhi. P. I9.83 - I9.9I
- Talsma T. (1967). Leaching of tile-drained saline soils.
Australian journal of soil research. P. 37 - 46
- Uppal H.L. (1966). Reclamation of saline and alkali soils.
Sixth Congress, Irrigation & Drainage, New Delhi. P. I9.382 - I9.436
- Vilenskii D.G. (1957). Soil Science P. 394 - 395
- Volobuyev V.R. (1964). General pattern of changes in the salt content of irrigated and meliorated soils.
Soviet Soil Science N. 5. P. 483 - 489
- Wahhab. A. (1961). Effect of irrigation waters on some soil properties.
Salinity problems in the arid zones. P. 233 - 236
UNESCO