

Pedo

VIII<sup>e</sup> Congrès International de la Science du Sol

-----  
BUCAREST - 31 Août à 9 Septembre 1964  
-----

Les sols salés et alcalisés en profondeur  
de la Plaine du Zebra (Basse-Moulouya ; Maroc) :  
Premiers résultats d'une expérimentation destinée à étudier  
leur amélioration et leur évolution sous irrigation

-----  
Alain RUELLAN  
Pédologue ORSTOM  
Office National des Irrigations

BERKANE

MAROC

O. R. S. I. O. M.

Collection de Référence

B 11280

Située dans le Maroc Oriental, à 35 km de la Méditerranée, le long de la Moulouya, la plaine du Zebra, au climat sub-aride (\*) doit être irriguée sur 10.000 hectares!

Cependant, l'étude pédologique entreprise en 1959, nous a rapidement montré que les sols de cette plaine sont très médiocres. Il s'agit, généralement, de sols bruns steppiques subtropicaux (classification française : AUBERT, 1962), calcaires dès la surface (15 - 25 %), que l'on peut classer, sur le plan agronomique, en deux groupes :

- Les sols profonds : l'accumulation de calcaire, commençant vers 30 - 50 cm, se fait sous la forme de taches ou granules et dose 25 à 45 %!

- Les sols peu profonds (30 - 50 cm) : l'accumulation de calcaire, qui limite la profondeur, est une croûte calcaire, souvent coiffée par une dalle (2 à 20 cm). Les croûtes peuvent avoir 30 à plus de 100 cm d'épaisseur et contenir 55 à 90 % de calcaire!

---

(\*) Pluviométrie moyenne annuelle : 250-300 mm ; température moyenne annuelle : 19° C ; température maxima moyenne : 35° C. en Juillet-Août ; température minima moyenne : 3° C en Janvier-Février ; indice de THORNTWAITE : - 39,5, D B'3 d a'.

La texture de ces sols est souvent très fine en profondeur. Dans les sols profonds, la teneur en argile augmente progressivement avec la profondeur, atteint un maximum de 35 - 55 % vers 50 - 80 cm, puis rediminue un peu. Dans les sols peu profonds et sous les croûtes, la texture est généralement moins fine.

Mais ce qui caractérise surtout ces sols, sur le plan de la mise en valeur, c'est d'une part la salure et l'alcalisation qui les affectent en profondeur (pédogénèses anciennes ou origine pétrographique : il n'y a pas de nappe phréatique), d'autre part l'instabilité structurale. Dans les sols profonds, la conductivité de l'extrait de saturation oscille généralement entre 8 et 20 mmhos à partir de 40 - 50 cm de profondeur (ClNa domine), et l'alcalisation, jugée d'après les pH, peut commencer à 30 cm ; les pH eau (\*) oscillent entre 8,5 et 9,3, et les pH KCl entre 7,7 et 8,2. Dans les sols peu profonds, la salure, qui commence dans la croûte, peut être encore plus forte (jusqu'à 30 mmhos), et l'alcalisation qui commence un peu au-dessus de la croûte, peut être très violente dans celle-ci : les pH eau peuvent atteindre 9,5 - 9,8 et les pH KCl 8,3 - 8,5.

Quant à l'instabilité structurale, nous l'avons mesurée par la méthode HENIN (1955) : les Is oscillent généralement entre 2 et 5 en surface, 5 et 20 en profondeur (quelquefois plus) ; et la perméabilité mesurée au laboratoire est généralement de 5 à 10 cm/h en surface, 1 à 4 en profondeur.

---

(\*) Pour la mesure du pH : terre/eau ou KCl normal : 1/2,5.

La mise en valeur de ces sols pose donc des problèmes assez complexes. Sans parler de ceux qui sont liés à la présence du calcaire, l'existence de ces salures et alcalisation, de l'instabilité structurale en profondeur dans des horizons argileux mais aussi en surface, impose des améliorations préalables, une mise en eau prudente du périmètre irrigué, un choix judicieux des cultures et des méthodes de travail du sol.

Dès 1960, nous avons entrepris d'essayer de résoudre ces problèmes :

- par des essais au laboratoire ;
- et surtout par une expérimentation sur le terrain : sur une petite surface d'abord (200 m<sup>2</sup>) puis en station expérimentale (trois hectares; 144 parcelles ; essais sur deux types de sols : un sol profond et un sol peu profond sur croûte calcaire tendre de 50 cm d'épaisseur).

Dans cette note nous donnerons l'essentiel des résultats déjà obtenus en particulier en micro-expérimentation (type de sol profond : voir tableau n° 1). Cependant, nous insisterons d'abord sur certains problèmes de méthodes d'analyses que nous avons eu à aborder : l'étude de l'évolution du complexe adsorbant d'un sol calcaire et salé n'est pas facile ; nous indiquerons rapidement les principales difficultés que nous avons rencontrées et comment nous les avons provisoirement résolues.

## I.- ANALYSE DE L'ALCALISATION

Les résultats résumés ci-dessous proviennent de l'étude de près de 900 échantillons sur lesquelles les analyses suivantes furent réalisées :

- pH : eau, KCl, pâte saturée ;
- extrait 1/5 à l'eau distillée (E.A.) : mesure de la conductivité, des anions ( $\text{Cl}$ ,  $\text{SO}_4$ ,  $\text{CO}_3$ ,  $\text{CO}_3\text{H}$ ) et des cations ( $\text{Na}$ ,  $\text{K}$ ,  $\text{Ca}$ ,  $\text{Mg}$ ) ;
- extrait de saturation (E.S.) : idem-E.A. ;
- extrait par  $\text{NH}_4$  Ac normal, pH 8,5 (E.Ac) : dosages des cations ;
- extrait par  $\text{NH}_4$  Cl normal, pH 8,5 (E.Cl) : dosages des cations , puis extrait par  $\text{KNO}_3$  normal pour déterminer la capacité d'échange T.

Le but essentiel que nous essayons d'atteindre est celui de la mesure de l'alcalisation : cette alcalisation est-elle seulement sodique et peut-on l'estimer correctement par la simple et rapide mesure du pH?. Ce dernier point est important étant donné que sur la station expérimentale chaque série de prélèvement d'échantillons pour contrôler l'évolution des sols en contient 864. Nous avons donc d'abord comparé les différents extraits entre eux, puis nous avons essayé de relier au pH la composition de ces extraits. De nombreuses corrélations ont été étudiées : nous nous contenterons de citer ci-dessous les résultats importants.

A.- Comparaison des extraits

Pour le sodium, on constate le plus souvent que :

- L'E.Ac n'extrait pas tout le sodium (soluble + échangeable). Ce résultat est étonnant, mais nous l'avons maintes fois vérifié: très souvent l'E.A. extrait plus de sodium que l'E.Ac et cela arrive même quelquefois pour l'E.S.

- L'E.A. extrait toujours plus de sodium que l'E.S., et souvent, par contre, il contient moins de chlore ; ce dernier point rejoint les résultats de BOWER et HATCHER (1962). Il semble donc que l'E.S. surestime un peu le sodium soluble, et surtout que l'E.A. extrait une partie du sodium échangeable.

- C'est l'E.Cl qui extrait le mieux le sodium soluble plus échangeable, et il semble que le sodium échangeable puisse être pris comme égal à  $\text{Na E.Cl} - \text{Na E.S.}$  ( $\text{Na E.S.}$  préalablement corrigé en multipliant par  $\text{Cl E.A.} / \text{Cl E.S.}$ ).

- Cependant, nous n'avons pas encore réussi à mesurer T d'une façon précise, ni par  $\text{Cl NH}_4 - \text{NO}_3\text{K}$ , ni par aucune autre méthode classique ( $\text{Cl}_2\text{Ba}$ ,  $\text{Ac NH}_4$ ) ; ceci provient certainement de la richesse en calcaire et peut-être aussi de la présence de sels peu solubles. Il en résulte que nous ne connaissons pas  $\text{Na/T}$  avec précision.

Pour le calcium l'E.Ac en contient toujours plus que l'E.Cl : c'est un résultat connu. Mais il contient également souvent plus de magnésium : ceci indique qu'une partie du calcaire est du  $\text{CO}_3\text{Mg}$  dont nous

verrons l'énorme influence sur les pH.

B.- Relations entre pH et composition des extraits

La mesure exacte des T ayant été impossible, nous avons cherché à relier le pH avec la composition des E.A. et E.S.

De multiples rapports ont été étudiés. Mais jusqu'à présent un seul donne des résultats intéressants: Na/Ca dans l'E.S. (Figure 1)!

- Ce rapport est parfaitement lié au pH eau, en fonction bien entendu de la conductivité de l'E.S. L'étude statistique donne des corrélations très hautement significatives.

- Il est également très bien relié au pH KCl, et ici indépendamment de la conductivité.

- Nous n'avons pas encore étudié de près la corrélation avec le pH pâte saturée. Elle semble cependant moins bonne, ceci provenant probablement de l'imprécision du pH.

Parmi les rapports étudiés, nous n'avons pas oublié l'E.S.P. déduit du SAR de l'E.S. (U.S.S.L.S. ; 1954)! Mais nous avons constaté que si la corrélation avec le pH eau (Figure 2) est bonne pour des salures très faibles, elle devient rapidement mauvaise quand la salure augmente :

elle est nulle quand la conductivité dépasse 12 mmhos. La relation entre pH KCl et E.S.P.E.S. est meilleure, mais elle n'égale pas celle existant entre pH KCl et Na/Ca E.S.!! Nous pensons que ceci provient de l'influence du magnésium sur l'alcalisation : l'ECl extrait toujours beaucoup de magnésium, quelquefois plus que de calcium ; nous n'avons cependant pas encore réussi à étudier une relation entre ce magnésium échangeable et les pH étant donné l'absence de chiffres pour T!

Afin de déterminer à partir de quelle valeur de Na/Ca E.S. on peut parler d'alcalisation sodique, nous avons établi la relation existant entre ce rapport et l'E.S.P.. Cette relation est assez faible. On peut cependant estimer qu'il y a alcalisation quand  $Na/Ca > 5$ , ce qui correspond à E.S.P. = 10 - 15 (ce chiffre a été confirmé sur quelques échantillons pour lesquels nous avons obtenu des valeurs approximatives de T). Si nous nous reportons alors aux relations pH - Na/Ca, on constate que  $Na/Ca = 5$  correspond à

-- pH KCl = 7,8 - 7,9

-- pH eau = 9,0 quand conductivité  $<$  4 mmhos

= 8,6 - 8,7 quand conductivité  $<$  9 mmhos

= 8,4 - 8,5 quand conductivité  $>$  9 mmhos.

On remarquera toute de suite que ces chiffres de pH sont très élevés et ceci nous a amené à rechercher une autre raison à l'alcalisation. Nous n'avons pu encore établir l'action exacte du magnésium échangeable, mais après avoir déterminé la présence certaine d'environ  $\frac{1}{5}$  % de  $CO_3Mg$  dans tous les sols, nous avons étudié, sur une terre non calcaire, l'action du  $CO_3Mg$  sur les pH, en absence et en présence de quantités variables de  $CO_3Ca$ .

Les résultats essentiels sont consignés sur la figure 3 : l'action du  $\text{CO}_3\text{Mg}$  est foudroyante ; en l'absence de  $\text{CO}_3\text{Ca}$ , il suffit de 1 % de  $\text{CO}_3\text{Mg}$  pour amener le pH eau de 8,1 à 9,0, le pH KCl de 6,6 à 7,8 et le pH pâte saturée de 7,75 à 8,9 ; pour 2,5 %, les pH sont respectivement de 9,3 à 8,3 et 9,1. La présence de  $\text{CO}_3\text{Ca}$  augmente encore les pH. Il serait donc possible qu'une grande partie de l'alcalisation des sols du Zebra soit due à la présence de  $\text{CO}_3\text{Mg}$ .

## II. EVOLUTION DES SOLS

Quelques mots d'abord sur l'eau d'irrigation utilisée (voir tableau 2). Elle est légèrement salée : sous le climat très évaporant du Zebra, son action sur la salinisation des sols ne doit pas être sous-estimée. Mais la composition de cette salure est favorable : en milliéquivalents, elle contient 30 à 60 % de  $\text{SO}_4\text{Ca}$  ; une irrigation annuelle de 10.000 m<sup>3</sup>/ha apporte 3 à 7 tonnes de plâtre. Cependant, elle contient également beaucoup de magnésium.

Après quatre années d'expérimentation, nos résultats actuels sont, sous une forme résumée, les suivants :

#### A.- Salure

Le dessalage des sols profonds, jusqu'à plus d'un mètre de profondeur, est facile : il est immédiat si on réalise une submersion (5.000 m<sup>3</sup>/ha) ; il demande environ un an si à chaque irrigation on augmente les doses d'environ 40 %. La salure est ramenée à 1 o/oo (extrait de saturation : 1 à 2 mmhos). Le dessalage des croûtes et des horizons situés sous la croûte, est plus long.

Une fois le dessalage réalisé, il faut continuer à lutter contre l'accumulation des sels provenant de l'eau d'irrigation. Cette accumulation se produit surtout sous culture billonnée, dans le billon, le travail du sol amenant ensuite ce sel plus profondément : en quelques mois d'irrigation, on obtient 3 à 12 ‰ de sels totaux sur le sommet du billon et en quelques années 1,5 à 5 o/oo dans les 30 premiers cm du sol. Ces sels étant cependant surtout du SO<sub>4</sub> Ca, il ne faut pas surestimer leurs dangers : la conductivité de l'extrait de saturation dépasse rarement 10 mmhos ; cela nous semble malgré tout suffisant pour conseiller la lutte contre cette accumulation, lutte qui ne peut se faire que sous la forme de lessivages annuels : l'augmentation des doses à chaque irrigation entraîne trop de gaspillage et ne peut empêcher la salinisation des billons.

#### B.- Structure et perméabilité

Sous culture de luzerne, recevant 20.000 m<sup>3</sup> d'eau par

hectare et par an, l'évolution de l'horizon profond argileux est le suivant :

- La stabilité structurale reste très faible : Is de 4 à 10, mais semble s'améliorer légèrement.

- La perméabilité mesurée au laboratoire s'est améliorée : elle est maintenant de 3 à 5 cm/h au delà de 50 cm de profondeur.

- Par contre la perméabilité mesurée sur le terrain (Muntz) avec de l'eau dosant 0,6 gr/l, reste très faible : 0,2 - 0,3 cm/h.

Cependant, malgré des irrigations souvent massives, aucune difficulté de drainage n'est apparue : nous attribuons ceci à la légère salure de l'eau d'irrigation.

Pour l'évolution des horizons de surface, il faut distinguer deux cas :

1<sup>o</sup>) Irrigation par calants (luzerne) : il s'agit en somme d'une petite submersion.

On observe une destruction importante de la structure sur les 10 - 30 premiers cm, se traduisant par une augmentation des Is, souvent très importante (variable suivant les types de sols). Par contre, sous cet horizon détruit, entre 10 - 30 et 50 cm, la luzerne fait du bon travail : les Is diminuent. En ce qui concerne la perméabilité, celle mesurée au laboratoire enregistre une baisse importante dans l'horizon détruit : elle peut tomber à 1 cm/h. Par contre, elle a tendance à s'améliorer un peu entre 10 - 30 et

50 cm. Enfin la perméabilité mesurée sur le terrain n'enregistre pas cette destruction de la structure : au contraire, elle peut passer de 1 à 3 cm/h ceci étant probablement dû à la porosité en grand créée par l'enracinement de la luzerne.

L'irrigation par calant d'une luzerne gêne donc considérablement l'amélioration de la structure qu'on en attend. On peut lutter contre ceci par un travail correct du sol (scarifiages), mais il serait surtout nécessaire de changer de méthode d'irrigation (billon plat, aspersion).

2°) Irrigation à la raie : le mauvais travail du sol, (charrue à disque : 15 cm ; pas de scarifiage ; peu de binnages), entraîne rapidement la destruction de la structure sur les 30 premiers cm et surtout l'apparition entre 15 et 30 cm d'un horizon noir, très compact, que les racines pénètrent très difficilement : c'est l'action de l'irrigation sur la semelle de labour. Perméabilité et stabilité structurale y sont très faibles : Is y oscille souvent entre 10 et 20. A signaler également que toute la vie animale se développe juste sous cet horizon. Il est bien entendu facile de lutter contre cette dégradation qui limite très sensiblement les rendements, en particulier par des scarifiages profonds (35 - 40 cm), par des apports de matière organique, et par l'amélioration du système d'irrigation : rétrécissement et approfondissement des raies.

### C.- Alcalisation

La perméabilité s'étant maintenue, la désalcalisation sodique, sur sol profond, s'est faite sans difficulté, jusqu'à 1 mètre de

profondeur, en 18 mois, ceci sans aucun apport de gypse : un essai d'apport en surface de 14 T/ha de plâtre n'a nullement accéléré le phénomène.

Nous avons pu suivre de près cette désalcalisation par l'extrait de saturation ; voir le rapport  $Cl/SO_4$  passer rapidement (en 8 mois à 80 cm) de 10 - 15 à 1 ; voir ensuite successivement chaque horizon recevoir le sodium désorbé au-dessus, puis lui-même perdre son sodium. En 18 mois, le rapport Na/Ca fut ramené de 6 - 8 à 0,5 - 1 et l'E.S.P. (SAR) de 20 - 30 à 2 - 5. Quant aux pH, ils ont d'abord enregistré une augmentation due au desalage, puis ils ont diminué au fur et à mesure du départ du sodium : cependant actuellement, après 4 ans d'irrigation, ils se sont stabilisés à 8,8 - 9,0.

Certains essais de laboratoire ayant démontré que :

1<sup>o</sup>) l'eau de la Mouboya, en désorbant le sodium, le remplace en partie par du magnésium ;

2<sup>o</sup>) des percolations à l'eau gypseuse (1 gr/l) peuvent abaisser le pH eau jusqu'à 8,6 - 8,7, ceci correspondant à une désorption importante de magnésium et peut-être aussi de  $CO_3Mg$  ;

nous irrigons depuis trois ans certaines parcelles de la station expérimentale avec de l'eau enrichie en gypse (0,6 gr/l dans le canal d'irrigation ; il n'en arrive que 0,2 - 0,3 à la parcelle). Il semble que ces apports de gypse commencent à marquer (en 1963, sur sol peu profond, une culture de coton a donné 19 quintaux/hectare avec gypse, 16 sans gypse, ceci correspondant à une diminution du pH de 0,2 unité). Nous allons en 1964 essayer d'accélérer le phénomène en augmentant les doses de gypse et par des apports d' $SO_4H_2$ .

#### D.- Comportement des cultures

Trois cultures ont été jusqu'à présent essayées régulièrement : coton, betterave, luzerne.

Il est très net que ces cultures souffrent des pH trop élevés, probablement à cause du blocage des éléments assimilables (oligo-éléments en particulier). La betterave en particulier donne de très mauvais résultats : 15 à 20 T/ha de racines mal formées. La luzerne donne des résultats médiocres : 40 à 60 T/ha de foin humide. Seul le coton donne des résultats corrects : 15 à 20 qtx/ha. Aucune culture n'a enregistré par un meilleur rendement, le dessalage et la désalcalisation sodique.

#### IV.- CONCLUSIONS

Après quatre années d'expérimentation, nous pouvons donc provisoirement conclure que :

1<sup>o</sup>) Il n'y a pas de difficulté de drainage en profondeur. Mais il faut lutter en permanence contre la dégradation de la structure des horizons de surface.

2<sup>o</sup>) Le dessalage en profondeur est facile, mais il faut lutter contre l'accumulation en surface des sels amenés par l'eau d'irrigation.

3<sup>o</sup>) La désalcalisation sodique est facile ; mais elle n'est pas suffisante ; les pH restent élevés et les rendements faibles ; ceci semble du à une alcalisation magnésienne : magnésium adsorbé et  $\text{CO}_3\text{Mg}$  ; alcalisation magnésienne beaucoup plus difficile à éliminer.

BIBLIOGRAPHIE

- AUBERT G.!! 1963 : "La classification des sols. La classification pédologique Française". Cahier de Pédologie O.R.S.T.O.M., n° 3, pp. 1-7.
- BOWER C.A. et HATCHER J.. 1962 : "Characterization of salt-affected soils with respect to sodium". Soil Science, vol . 93, n° 4, pp. 275 - 280.
- HENIN S.!! 1960 : "Le profil cultural ". 320 p.
- RUELLAN A. ! 1960 : "Les sols salés et alcalisés de la plaine du Zebra". Soc. des Sci. Nat. et Phys. du Maroc ; Trav. Sect. de Pédol.; tomes 13 - 14 , pp. 157 - 164.
- RUELLAN A.!! 1963 : "Etude pédologique de la plaine du Zebra". O.N.I. Maroc ; 370 p. ronéo.
- UNITED STATES SALINITY LABORATORY STAFF. 1954 : "Diagnosis and improvement of saline and alkali soils". U.S. Dep. Agr. Handbook n° 60 ; 160 p.

Profond. cm	Granulométrie ( % de terre fine )					Terre fine %
	Argile 0-2 μ	Limons 2-20 μ	Argile + limons	Sables fins 20-200 μ	Sables grossiers 0,2-20 mm	
2	24,4	20,6	45,0	46,5	8,5	96,1
8	26,0	28,0	54,0	38,1	7,9	96,9
11	30,0	28,9	58,9	35,0	6,1	96,9
19	32,9	32,2	65,1	29,8	5,1	96,7
26	36,7	29,4	66,1	29,0	4,9	96,4
36	38,7	31,1	69,8	26,8	3,4	97,4
45	42,2	28,3	70,5	26,6	2,9	97,6
56	46,9	31,0	77,9	20,6	1,5	98,7
69	50,7	31,0	81,7	17,5	0,8	99,3
82	48,4	27,7	76,1	21,8	2,1	98,8
96	47,4	28,2	75,6	23,6	0,8	98,8

Profond. cm	CO <sub>3</sub> total %	Mat. org. %	Salure		pH	Is et K				
			Extr. Aqueux gr/kg	Extr. saturé cond. mmhos		Eau	KCl	Profond. cm	Is	K cm/h
2	19,8	1,68	0,95	1,20	8,80	7,80				
8	19,3	1,32	0,88	0,94	8,70	7,80	0-10	3,0	5,5	
11	19,8	1,30	0,90	1,10	8,75	7,75				
19	20,6	0,84	0,93	1,26	8,75	7,70	10-20	2,5	10,0	
26	20,9	0,86	1,07	1,51	8,95	7,80				
36	22,3	0,66	2,11	4,66	8,95	7,90	25-35	3,5	8,0	
45	23,9	0,49	3,88	8,66	8,70	7,90	40-50	4,5	5,0	
56	24,3	0,29	5,22	10,66	8,65	8,00				
69	24,6	0,23	5,58	12,01	8,50	7,90	55-70	6,0	2,5	
82	26,1	0,16	5,77	12,48	8,55	7,90	75-90	10,0	2,2	
96	26,4	0,13	5,78	12,29	8,55	7,90	100-120	14,0	2,5	

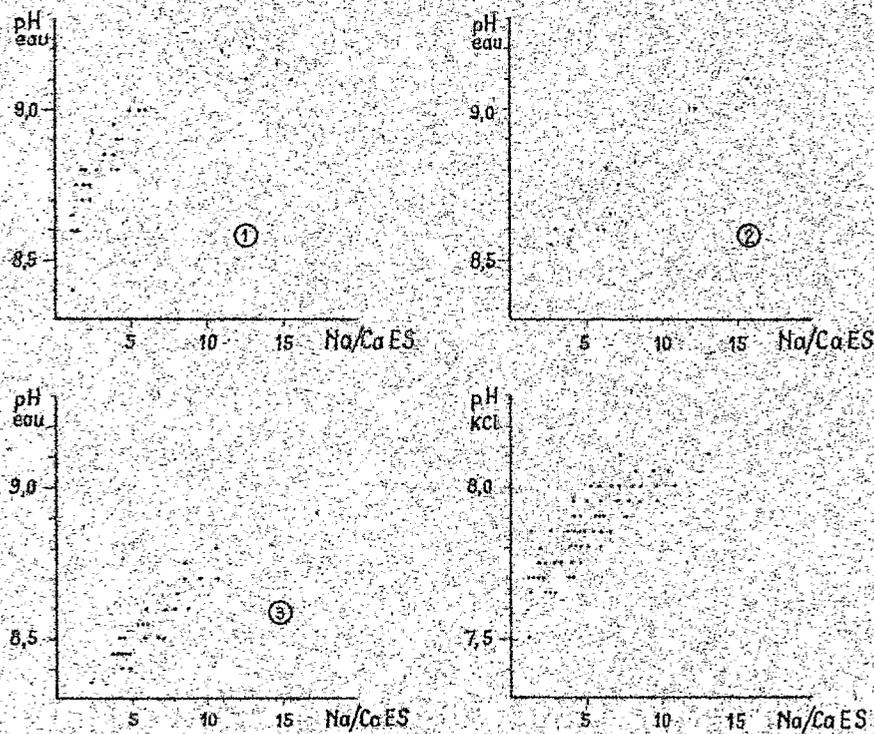
**TABLEAU 1**

Principaux résultats d'analyse  
du sol avant irrigation (moyenne de 11  
profils de 6 à 9 échantillons chacun) (par-  
celles micro-expérimentation).

Période	Date	Ca meq/l	Mg meq/l	Na meq/l	K meq/l	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> meq/l	Cl meq/l	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> meq/l	CO <sub>3</sub> H meq/l	Anions + cations mg/l	Cond. mmhos	SAR	
<u>Automne</u> :	1 <sup>o</sup> crues	28.10.60	5,8	5,0	5,65	0,10	7,5	7,0	0,0	2,9	1917	1,62	2,4
	maxima de salure	27.10.61	6,2	4,6	6,0	0,15	9,0	5,5	0,0	2,8	1121	1,48	2,6
<u>Hiver</u> :	minima	8.2.60	3,3	2,3	1,8	0,05	2,5	2,0	0,0	3,1	522	0,78	1,0
	de salure	3.2.61	2,9	1,8	1,4	0,05	1,75	1,25	0,0	3,1	432	0,63	0,9
<u>Printemps</u> :	salure	14.4.61	3,7	2,3	2,35	0,10	3,75	2,1	0,0	2,5	555	0,83	1,3
	moyenne	8.6.62	3,5	3,0	2,35	0,10	4,2	3,0	0,2	2,1	606	0,85	1,3
<u>Été</u> :	étiage	21.7.61	4,6	3,0	3,0	0,10	5,0	3,25	0,0	2,3	699	1,11	1,6
	salure moyenne	20.7.62	3,85	4,9	4,0	0,10	4,2	3,5	0,4	2,6	732	1,20	2,0

TABLEAU 2

Quelques résultats d'analyses de l'eau de la Moulouya



**FIGURE 1**

Variation du pH en fonction du rapport Na/Ca dans l'extrait de saturation. la conductivité de cet extrait est de :

- 0-4 mmhos en ①
- 4-9 mmhos en ②
- > 9 mmhos en ③

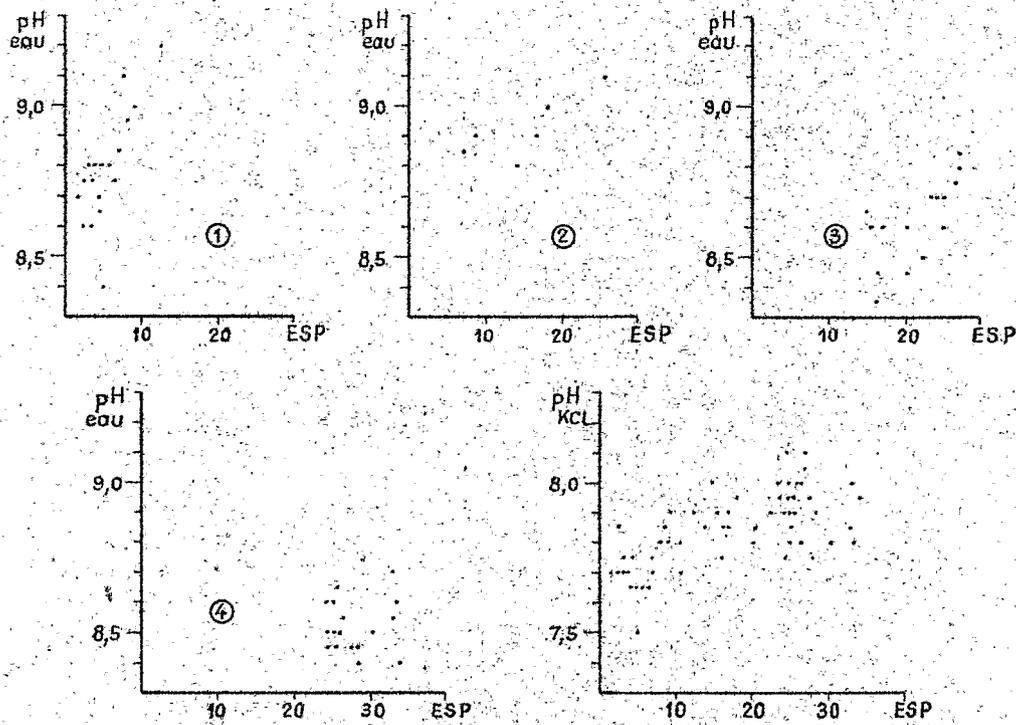


FIGURE 2

Variation du pH en fonction de ESP calculé  
d'après SAR de l'extrait de saturation.  
La conductivité de cet extrait est de :

- 0 - 2 mmhos en ①
- 2 - 6 mmhos en ②
- 6 - 12 mmhos en ③
- > 12 mmhos en ④