

Salure et alcalisation d'un sol salé et calcaire irrigué avec des eaux saumâtres

CH. OLLAT, H. BECVAROVA, H. CHAARI, R. COMBREMONT,
J. W. VAN HOORN et M. SAID

*Centre de Recherches sur l'Utilisation de l'Eau Salée en
Irrigation, Ariana, Tunisie*

L'objet de ce travail a été de déterminer les évolutions de la salure et de l'alcalisation dans un sol salé et calcaire pendant trois années de culture irriguée avec des eaux saumâtres.

Deux essais similaires (sole I et sole II) ont été installés en plein champ à la Station expérimentale de Cherfeh située dans la basse Vallée de la Medjerdah en Tunisie. Ils comportèrent quatre traitements concernant la qualité de l'eau d'irrigation utilisée et ont été faits en quatre répétitions, soit seize parcelles dont la surface était de 140 m² chacune.

Le rythme et les apports d'eau d'irrigation, les quantités d'engrais, les façons culturales ont été les mêmes pour les quatre qualités d'eau, la qualité d'eau d'irrigation étant la seule variable dans chaque essai. Les apports ont été de l'ordre de 1000 mm par an. La pluviosité de cette région est de 450 mm environ dont 400 mm en hiver.

Les cultures faites ainsi que le mode d'irrigation pratiqué au cours de l'expérimentation sont données dans le tableau 1.

Le sol

Le sol peut être défini comme étant à texture limono-argileuse comprenant 60% d'argile et de limon. Il contient de l'ordre de 45% de calcaire réparti sur les différentes fractions. Dans le profil des couches limono-argileuses et limono-sableuses se succèdent alternativement. La densité apparente, augmente de 1,3 en surface à 1,6 à 50 cm de profondeur où se trouve une couche limono-argileuse, elle diminue ensuite pour atteindre 1,5 dans la couche sous-jacente qui est limono-sableuse et située vers 1 mètre de profondeur. Les couches plus profondes ont sensiblement la même densité apparente que cette dernière jusqu'à 3,50 m, profondeur à laquelle se trouve un horizon argileux très lourd (90% argile et limon-fraction 0-20 μ).

Les caractéristiques chimiques de ce sol ont été déterminées avant le début de l'expérimentation. Entre 0 et 80 cm la salure était faible (1,8 à 2,7 mmhos), elle était nettement plus élevée en profondeur (5,9 à 7,2 mmhos entre 80 et 150 cm). Parallèlement à cette salure, il apparaissait que le pourcentage de sodium fixé sur le complexe marquait un gradient allant de 3% dans l'horizon 0-20 cm à 10,2% dans les couches profondes.

Avant la mise en place des essais, des drains en poterie ont été posés à 1,50 m de profondeur, avec un espacement de 60 mètres. Jusqu'au niveau

Tableau 1
Cultures expérimentales

	Été 65	Hiver 65—66	Été 66	Hiver 66—67	Été 67	Hiver 67—68
Sole I	Luzerne (planche)	Luzerne (planche)	Luzerne (planche)	Trèfle (planche)	Maïs (billon)	Fèves (billon)
Sole II	Maïs (billon)	Ray-Grass (corruga- tion)	Maïs (billon)	Ray-Grass (corruga- tion)	Pastèque (billon)	Betteraves (planche)

des drains la perméabilité est moyenne (0,5 à 1 m par jour), de 1,50 m à 3,50 m elle est bonne (2,5 m par jour) et devient pratiquement nulle à partir de cette profondeur où apparaît la couche très argileuse.

Les eaux d'irrigation

Les irrigations ont été faites avec quatre catégories d'eau, différant entre elles par leur teneur en sels totaux. Les eaux dont nous disposions étaient celle de l'oued Ellil, celle de l'oued Medjerdah, et celle d'un puits situé sur la station. Les quatre qualités d'eau sont obtenues de la façon suivante:

A: eau de l'oued Ellil seule

B: mélange de l'eau de l'oued Ellil et de celle de l'oued Medjerdah dans la proportion 1/1

C: eau de l'oued Medjerdah seule

D: mélange de l'eau de l'oued Medjerdah et de celle du puits dans la proportion 2/1.

Tableau 2
Composition des quatre eaux utilisées

Qualité d'eau	Epoque	CE mmhos	RS g/l	mé/l							
				Cl	SO ₄	CO ₂ H	Ca	Mg	K	Na	SAR
A	Été et Hiver	0.3	0.2	1.1	0.7	1.1	1.5	0.4	0.1	0.8	0.8
	B										
C	Hiver	1.8	1.1	10.0	6.2	1.4	5.3	2.5	0.1	10.0	5.1
	Été	3.7	2.4	22.7	13.9	2.3	11.1	5.2	0.2	22.4	7.8
D	Hiver	3.2	2.1	19.1	11.8	2.0	9.4	4.4	0.2	19.0	7.2
	Été	5.2	3.6	33.1	21.1	2.7	16.3	8.9	2.6	30.8	8.7
	Hiver	4.9	3.3	30.5	19.4	2.5	15.0	8.2	2.4	28.3	8.3

L'eau de la Medjerdah subit au cours de l'année des variations allant en moyenne de 1 à 3 g/l. Les qualités B, C et D ne sont donc pas constantes, mais varient au cours de l'année. C'est pourquoi à chaque irrigation la composition chimique de ces eaux a été déterminée: elle est donnée dans le tableau 2 dont les valeurs représentent les moyennes des étés 1965, 66 et 67

et des hivers 65–66, 66–67, 67–68. Pour les qualités B, C et D qui sont des eaux salées, seule la teneur en sels totaux varie, mais le rapport entre les ions reste pratiquement le même.

Les resultats

Evolution de la salure du sol

Des déterminations de salure du sol ont été effectuées au printemps et à l'automne de chaque année, c'est à dire au début et à la fin de la culture.

De l'ensemble des résultats (figure 1) il ressort que la salure du sol a atteint des niveaux différents suivant la qualité de l'eau, l'époque de l'année, les supports d'eau et le drainage consécutif et enfin le mode d'irrigation.

1. *La qualité de l'eau*: l'observation des profils de salure (sole I) représentée sur la figure 2 montre que dès l'automne 65 les quatre qualités d'eau apportent des différences de salure dans les couches 0–20, 20–40 et 40–80 cm et qu'à partir de l'automne 66 ces différences commencent à se manifester aussi dans les couches plus profondes. Les niveaux de salure vont croissants depuis les parcelles ayant reçu la qualité A jusqu'à celles ayant reçu la qualité D.

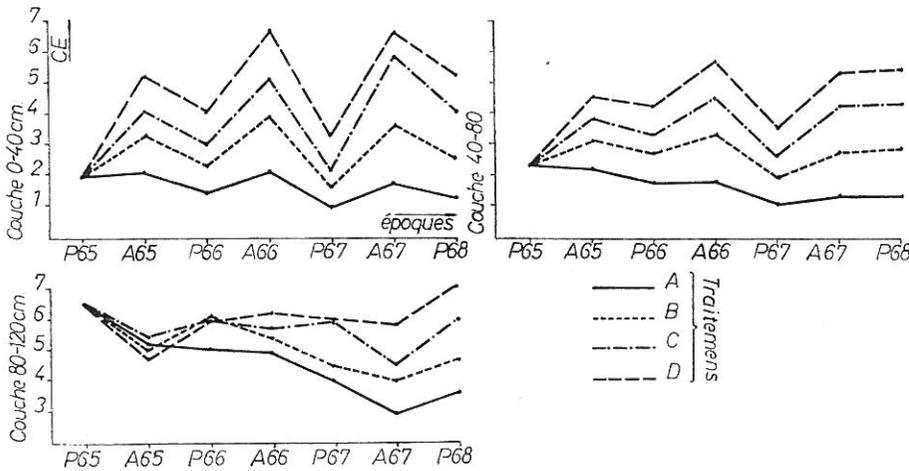


Fig. 1

Évolution de la conductivité électrique de l'extrait saturé (mmhos 25°C) au cours de l'expérimentation (Axe horizontale: P = printemps, A = automne)

2. *La saison*: au cours de l'année dans les deux essais on observe une fluctuation de la salure du sol illustrée par les graphiques de la figure 1. Cette variation saisonnière est très marquée sur une profondeur de 0–40 cm et encore visible dans la couche 40–80 cm: en général elle augmente en été et diminue en hiver, ces variations régulières se produisant sous l'influence des irrigations et des pluies. Dans les couches profondes cette variation n'est plus visible par suite des influences conjuguées de l'augmentation progressive de salure des eaux percolantes et de la remontée de sels présents dans la nappe

bien que la quantité d'eau remontant par capillarité soit négligeable pour la consommation de la plante. Ces deux facteurs «tamponnent» en quelque sorte la salure du sol à un niveau peu variable.

3. *Les apports d'eau et le drainage consécutif*: ces deux facteurs doivent être considérés ensemble, la combinaison des deux influençant la salure du sol. Le pourcentage de la quantité d'eau drainée par rapport à la quantité d'eau apportée peut être en relation directe avec la salure du sol obtenu à la fin de cette période: ceci s'est vérifié aux cours des 2 cultures de ray-grass et des 3 cultures de maïs: à chaque saison où le pourcentage de drainage a été plus fort, la salure du sol a accusé une diminution plus forte, ou une augmentation plus faible. Le tableau 1 donne les pourcentages de lessivage et les différences de salure, exprimées en CEE, sur l'ensemble du profil entre le début et la fin de la culture.

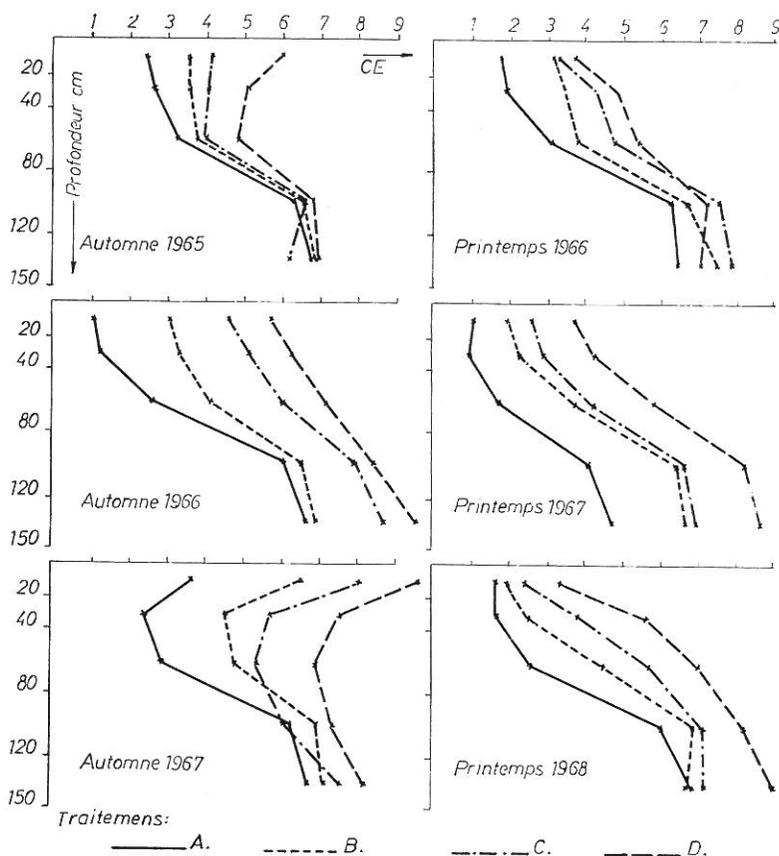


Fig. 2

Conductivité électrique de l'extrait saturé (mmhos 25°C) aux époques successives. (Sole I.)

Tableau 3

Relation entre le pourcentage de drainage et l'efficacité du lessivage

Culture	Epoque	% drainage	Différence entre la salure du sol au début et celle à la fin de la culture			
			A	B	C	D
<i>Ray-grass</i>						
Sole II	Print. 66	11	-0.3	+0.3	0	+0.4
Sole II	Print. 67	24	-0.9	-1.2	-0.9	-1.3
<i>Maïs</i>						
Sole II	Aut. 65	23	-0.6	-0.2	+0.4	+0.4
Sole II	Aut. 66	18	0	0	+0.4	+0.9
Sole I	Aut. 67	9	+1.8	+1.4	+1.4	+1.2

Cependant le pourcentage de drainage ne suffit pas à lui seul à expliquer les variations de salure dues aux quantités d'eaux apportées et drainées. En effet, l'action produite sur la salure du sol par les apports d'eau, qu'ils proviennent de l'irrigation ou de la pluie, dépend de l'importance de ces apports, mais aussi de leur mode de répartition et de l'époque où ils ont été faits; par voie de conséquence il en est de même pour les eaux de drainage: l'importance des quantités totales drainées n'est pas seule en cause dans la salure du sol; il faut aussi prendre en considération la répartition du drainage au cours de la période considérée.

4. *Le mode d'irrigation*: les irrigations par billon provoquent dans les couches supérieures du sol une salure plus élevée que les irrigations pratiquées par planche ou corrugation; ceci est nettement mis en évidence par la comparaison des profils de salure, concernant la sole I par exemple, de l'automne 66 après irrigation par planche avec celui observé en automne 67 après irrigation par billon, le pourcentage de drainage étant pratiquement le même. D'ailleurs un autre essai mis en place dans la même station et traitant spécialement de la comparaison billon-calant a confirmé cette conclusion.

Le complexe absorbant

1. *Evolution*. — Des déterminations de la capacité d'échange et du sodium échangeable ont été faites systématiquement au début et à la fin de chaque culture depuis le printemps 65 jusqu'à l'automne 67 sur la sole I.

Au début de l'expérimentation, c'est à dire au printemps 65, les valeurs du rapport Na/T des cinq couches de sol de toutes les parcelles étaient identiques.

Les rapports Na/T (tableau 5, figure 3a) atteignent très vite, pratiquement dès la fin de la première culture, des valeurs sinon définitives, du moins relativement constantes, mis à part une faible variation saisonnière, tant que le mode d'irrigation reste le même. Les augmentations observées en automne 67 sont dues au changement de mode d'irrigation, la planche étant remplacée par le billon. Dans ces conditions, et pour juger plus facilement du degré d'alcalisation provoqué par les quatre qualités d'eaux utilisées, on a établi les moyennes des résultats obtenus dans chaque traitement et pour toute la

Tableau 4
Valeurs moyennes du Na/T au cours des 3 années d'expérimentation

Couche cm	Qualité de l'eau			
	A	B	C	D
0—20	2.9	6.7	7.7	8.6
20—40	4.4	6.7	7.8	8.8
40—80	6.7	7.4	8.3	8.6
80—120	7.9	8.4	8.4	9.2
120—150	8.3	9.2	9.8	10.3

durée de l'expérimentation. Les valeurs moyennes sont données dans le tableau 4 et représentées dans la figure 3b.

Les différences du rapport Na/T constatées sont fonction de la qualité de l'eau employée; mais ce n'est pas évidemment l'eau d'irrigation elle-même qui fait évoluer la composition du complexe absorbant, c'est la solution du sol; étant données que l'on a affaire à un sol peu salé en surface et de plus en plus salé en profondeur, la composition des solutions du sol dans les couches supérieures reflète assez bien les qualités des eaux utilisées; par contre, au fur

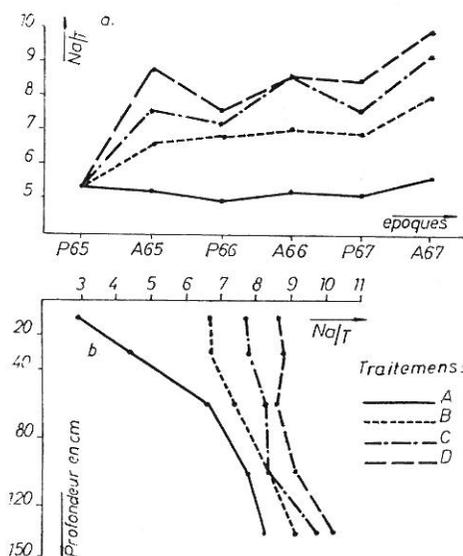


Fig. 3

a) Evolution du rapport Na/T de la couche 0—80 cm au cours de l'expérimentation. (Sole I.) b) Valeurs moyennes du rapport Na/T au cours de l'expérimentation. (Sole I)

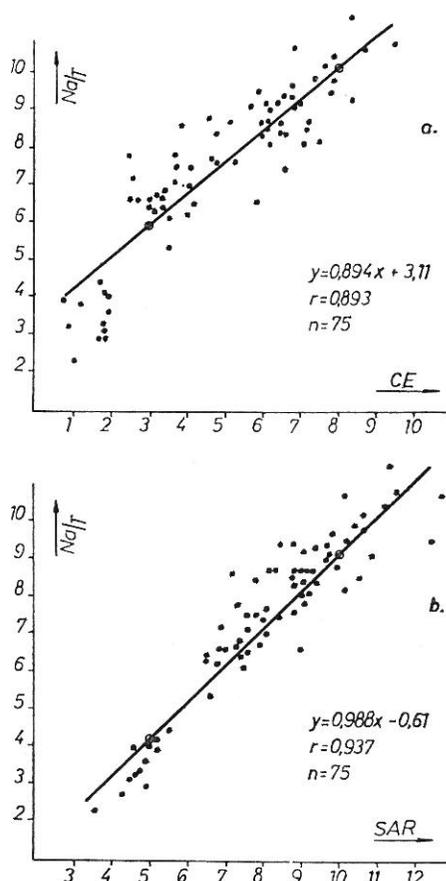


Fig. 4

Correlation entre Na/T et CE resp. Na/T et SAR de l'extrait de saturation

Tableau 5
Evolution des rapports Na/T (du printemps 65 à l'automne 67)

Qualité d'eau	Couche	Période					
		P65	A65	P66	A66	P67	A67
A	0—20	3.1	2.9	2.7	2.3	2.2	4.2
	20—40	4.0	4.4	4.1	3.9	4.7	4.9
	40—80	6.9	6.7	6.4	7.2	6.7	6.5
	80—120	8.1	7.9	8.1	8.7	6.8	6.8
	120—150	10.2	9.2	9.2	9.4	7.1	7.5
B	0—20	3.1	6.1	6.3	6.6	6.2	8.1
	20—40	4.0	5.3	6.4	6.8	6.8	8.2
	40—80	6.9	7.5	7.1	7.5	7.3	7.8
	80—120	8.1	8.7	9.4	8.4	7.2	8.1
	120—150	10.2	9.7	9.9	9.1	8.7	8.8
C	0—20	3.1	7.0	6.7	8.8	6.5	9.4
	20—40	4.0	6.2	6.5	8.7	8.5	9.1
	40—80	6.9	8.6	7.7	8.3	7.7	9.1
	80—120	8.1	7.4	8.2	9.8	8.7	8.0
	120—150	10.2	9.2	9.5	10.7	10.5	9.3
D	0—20	3.1	9.5	7.8	9.1	7.3	9.5
	20—40	4.0	8.7	7.6	9.0	8.9	10.0
	40—80	6.9	8.4	7.5	8.1	8.9	9.9
	80—120	8.1	9.4	8.7	9.3	9.9	8.7
	120—150	10.2	10.7	9.2	10.8	11.4	9.5

et à mesure que l'on descend dans le profil, l'augmentation progressive de salure des eaux percolantes et l'influence de la nappe salée tend, sinon à homogénéiser du moins à diminuer les différences de composition des solutions du sol existant entre les 4 traitements. De ce fait les différences de Na/T entre les 4 traitements pour une même couche sont d'autant plus faibles que les couches considérées sont plus profondes. Ainsi entre le traitement A et le traitement D, il existe des différences de 5,7 dans la couche 0—20 cm, de 4,4 dans la couche 20—40 cm, alors que plus profondément la différence diminue et n'est plus que de 1,3 à 2 dans la couche 80—150 cm. On peut aussi observer dans un même traitement un gradient des valeurs du rapport Na/T, allant du haut vers le bas du profil; mais l'importance de ce gradient diminue à mesure que la salure de l'eau utilisée augmente. Du tableau ci-dessus et du graphique 3b ressort qu'il existe entre la 1^o et la 5^o couche une différence de 5,4 pour la qualité A, 2,5 pour la qualité B, 2,1 pour la qualité C et 1,7 pour la qualité D.

Nous avons signalé plus haut l'existence d'une variation saisonnière des rapports Na/T. Cette variation se manifeste principalement dans les couches supérieures des sols soumis à l'action des eaux de qualité B, C et D: le sodium absorbé augmente en été et diminue en hiver. Ainsi pour la couche 0—80 cm de la sole I, les valeurs moyennes du Na/T obtenues respectivement aux trois printemps et aux trois automnes sont les suivantes:

	B	O	C
Printemps	6.8	8.1	8.6
Automne	7.3	8.4	9.1

2. *Relation entre le Na/T du sol et les données fournies par l'extrait de saturation.* — Les résultats obtenus dans cette expérimentation permettent de définir exactement les relations entre le Na/T, la conductivité et le SAR des extraits de saturation dans le cas particulier du sol de nos essais. Les corrélations $\text{Na/T} = f(\text{SAR de l'extrait de saturation})$ et $\text{Na/T} = f(\text{CE de l'extrait de saturation})$ ont été étudiées sur l'ensemble des résultats des 4 traitements obtenus pendant les deux premières années sur la sole I. Elles sont définies par les équations suivantes:

$$\begin{aligned} \text{Na/T} &= 0,988 \text{ SAR} - 0,61 & r &= 0,937 \quad n = 75 \\ \text{Na/T} &= 0,894 \text{ CE} + 3,11 & r &= 0,893 \quad n = 75 \end{aligned}$$

Les deux corrélations (figure 4) sont hautement significatives, la deuxième l'étant à un degré moindre, ce qui est logique puisque ce qui influe sur le Na/T ce n'est pas la teneur totale en ions de la solution (valeur défini par la CEE) mais la quantité de Na par rapport aux ions bivalents (valeur défini par le SAR).

Conclusion

L'examen de l'évolution de la salure et de l'alcalisation du sol au cours de ces années d'expérience, permet de tirer, *dans les conditions de sol, de pluviométrie, d'irrigation et de drainage où nous avons opéré*, les conclusions suivantes:

1. Les variations de la salure et d'alcalisation du sol qui ont été observées sont la résultante de l'influence de plusieurs facteurs: la qualité de l'eau, la saison, les apports d'eau et le drainage, et enfin le mode d'irrigation. Il existe des interférences entre ces facteurs, mais le facteur prédominant est la qualité de l'eau d'irrigation: les niveaux de salure et d'alcalisation atteints sont nettement différents pour les 4 traitements expérimentés.

2. Cependant on a pu constater que même l'eau la plus chargée (3,5 g/l) n'a pas fait apparaître de réels dangers dans les conditions où nous l'avons utilisée. Si la salure est arrivée à des taux parfois élevés en fin de période d'irrigation, chaque fois, au cours de l'hiver suivant, le lessivage provoqué par quelques irrigations et surtout par les pluies a ramené ce taux à une valeur très acceptable pour la prochaine culture. Le sodium fixé sur le complexe atteint pratiquement au cours de la première période d'irrigation le pourcentage prévisible d'après le SAR de l'eau utilisée; il semble s'être ensuite plus ou moins stabilisé: les faibles variations enregistrées au cours des années suivantes étant imputables soit au mode d'irrigation soit à la saison.

Les variations saisonnières du rapport Na/T paraissent en outre indiquer que le phénomène d'alcalisation n'est pas irréversible et qu'en présence de sols suffisamment pourvus en calcium soluble, comme ceux de Cherfech, et avec des eaux de la composition analogue à celle de la Madjedah il est possible, moyennant un drainage adéquat de prévoir la restauration de sols plus ou moins alcalisés.