

LESSIVAGE A L'EAU SAUMATRE +

par J.W. van HOORN, R. COMBREMONT, O. NANAA, Ch. OLLAT et M. SAID

Centre de Recherches sur l'Utilisation de l'Eau Salée en Irrigation \*

I - INTRODUCTION

Un des problèmes majeurs de l'irrigation à l'eau saumâtre est celui de trouver des méthodes rationnelles de lessivage nécessaire pour maintenir la salure du sol à un niveau acceptable pour les cultures.

Le besoin de lessivage (L R) est défini comme le rapport entre d'une part la quantité d'eau de drainage ( $D_{dw}$ ), qui doit passer par la zone d'enracinement pour maintenir la salure du sol à un certain niveau, et d'autre part les quantités d'eau d'irrigation et de pluie ( $D_{iw} + D_{rw}$ ).

A condition qu'il n'y ait pas de cristallisation des sels dans le sol ou de consommation des sels par les végétaux et que l'eau soit répartie d'une façon uniforme, ces quantités exprimées en unité de longueur sont inversement proportionnelles avec leurs concentrations en sels et par voie de conséquence approximativement avec leurs conductivités.

Théoriquement le besoin de lessivage et la quantité d'eau de drainage peuvent donc se calculer à l'aide des formules suivantes (Reeve, 1957) :

---

\* Les travaux, objet de cette publication, ont été réalisés avec le concours des chercheurs du C.R.U.E.S.I. :  
H. Becvarova, A. Bouzaïdi, Z. Chaabouni, H. Chaari, A. Combeau,  
R. Combremont, O. Nanaa, Ch. Ollat, P. Seyral, M. Saïd, J.W. van Hoorn.

+ Cette communication sera présentée au Congrès "Arid lands in a changing world" à Tucson (Arizona) en Juin 1969.

$$L R = \frac{D_{dw}}{D_{iw} + D_{rw}} = \frac{EC_{iw+rw}}{EC_{dw}} \quad (1) \quad \text{et} \quad D_{dw} = \frac{EC_{iw+rw}}{EC_{dw} - EC_{iw+rw}} D_{cw} \quad (2)$$

Il ressort de ces formules que la quantité d'eau de drainage nécessaire pour maintenir la salure du sol dans la zone des racines à un certain niveau dépend de :

- la salure de l'eau d'irrigation.
- la pluviométrie qui intervient dans le facteur  $EC_{iw+rw}$ .
- la consommation de la culture ( $D_{cw}$ ).
- la tolérance de la culture à la salure, qui est prise en compte dans le choix de la valeur  $E_{dw}$ .

Afin de rester dans les limites raisonnables de lessivage il est évident qu'au fur et à mesure que la salure de l'eau d'irrigation augmente, on est obligé d'admettre une valeur  $E_{dw}$  plus élevée, donc de choisir des cultures plus résistantes à la salure. Par exemple, pour une valeur  $EC_{iw}$  de 3 à 4 on sera obligé d'admettre au moins une valeur  $EC_{dw}$  de 8; c'est dire que la conductivité électrique de l'extrait de la pâte saturée  $EC_e$  sera de l'ordre de 4, compte tenu d'un rapport de 2 sur 1 entre l'humidité de la pâte saturée et l'humidité du sol à la saturation au champ.

En dérivant les formules on a également supposé que les eaux d'irrigation et de pluie se mélangent complètement avec la solution du sol. Comme l'eau passe plus vite par des fissures et des grands pores que par des petits pores, il est cependant tout à fait possible que ce mélange ne soit pas complet, surtout dans les couches supérieures du sol. L'eau percolant à la limite inférieure de la zone des racines serait donc moins salée que la solution du sol. On peut pallier cet inconvénient en multipliant la valeur  $E_{dw}$  par un facteur  $f$ , qui est plus petit que 1 et représente l'efficacité du lessivage (Dieleman et al., 1963).

Etant donné que les suppositions d'un régime permanent et d'une répartition uniforme de l'eau ne sont pas généralement valables à court terme, il faut plutôt considérer ces formules comme approximatives permettant de calculer le lessivage nécessaire à long terme. Cependant au lieu du lessivage permanent on peut aussi envisager le lessivage comme un procédé saisonnier, qui se fait à certaines époques, soit au début ou à la fin de la culture, soit sur terre nue en jachère. Le lessivage saisonnier présente par rapport au lessivage permanent les avantages de pouvoir :

- réduire la pointe du besoin en eau d'un périmètre irrigué en été.

- adapter le lessivage aux exigences des cultures et éviter des excès d'eau qui risquent d'asphyxier les plantes.
- diminuer la quantité d'eau de lessivage. En effet la quantité d'eau nécessaire au lessivage n'est pas directement proportionnelle à la salure du sol. La quantité de sels exportée par mm d'eau drainée augmente au fur et à mesure que la salure du sol devient plus élevée.

Afin de comparer les deux méthodes de lessivage nous avons mis en place un dispositif, qui comprend d'une part une étude du bilan hydrique et du bilan des sels et d'autre part des essais d'irrigation pour étudier la relation entre l'apport d'eau, le rendement des cultures et l'évolution de la salure du sol (van Hoorn 1966).

Au chapitre II de cet article nous exposerons les résultats obtenus à la station de Cherfech au sujet de la comparaison entre le lessivage permanent et le lessivage saisonnier. A cette station le problème essentiel consiste à irriguer des sols auparavant non ou peu salés à l'eau saumâtre en maintenant la salure du sol à un niveau, qui permet d'obtenir des rendements raisonnables.

Au chapitre III nous présenterons les résultats obtenus aux stations de Tozeur et d'Utique au sujet du lessivage des sols très salés.

## II - LESSIVAGE A LA STATION DE CHERFECH

### a) Conditions du sol, de l'eau d'irrigation et du climat

Le sol peut être défini comme étant de texture argilo-limoneuse et limono-argileuse, comprenant environ 60 % d'argile et de limon (0-20  $\mu$ ). Il contient de l'ordre de 40 % de calcaire réparti sur les différentes fractions et 2 % de matière organique. Dans le profil des couches argilo-limoneuses, limono-argileuses et limono-sableuses se succèdent alternativement.

La densité apparente varie de 1.3 en surface, ce qui correspond à une porosité de 50 %, à 1.6 (porosité de 40 %) dans la couche compacte à 50 cm de profondeur. Elle diminue ensuite jusqu'à 1.45 dans la couche limono-sableuse à 1 m de profondeur pour augmenter de nouveau vers 1.6 à 1.50 m de profondeur. La réserve hydrique théorique comprise entre le point de ressuyage et le point de flétrissement est de l'ordre de 100 mm jusqu'à 80 cm et de 150 mm jusqu'à 1 m de profondeur.

La perméabilité est de l'ordre de 0.5 à 1 m par jour jusqu'à 1.50 m de profondeur, niveau des drains en poterie. Au-dessous de ce niveau et

.../...

jusqu'à 3.50 m de profondeur la perméabilité est de l'ordre de 2.5 m par jour. A partir de cette profondeur on trouve une couche argileuse très lourde (90 % d'argile et de limon), qui peut être considérée comme imperméable.

Au début de l'expérimentation, en 1964, la salure du sol augmentait progressivement de la surface vers la profondeur, la conductivité de l'extrait de la pâte saturée  $EC_e$  étant de 1 dans la couche 0-20 cm et de 10 dans la couche 120-150 cm.

L'eau d'irrigation provenant de la Medjerdah subit au cours de l'année des variations de salure allant de 1 à 3 grammes par litre, la moyenne en été étant de 2.4 grammes par litre, dont à peu près 60 % de chlorure de sodium et 40 % de sulfate de calcium et de magnésium. La valeur S.A.R. varie de 6 à 7 entre l'hiver et l'été. L'eau d'irrigation se classifie comme  $C_4 - S_1$  d'après Handbook 60 of U.S. Salinity Laboratory.

Le climat de la Basse Vallée de la Medjerdah (latitude  $36^{\circ}50' N$ ) se caractérise par un été chaud et sec (température moyenne en Juillet et Août  $25^{\circ} C$ ) et par un hiver relativement froid et humide (température moyenne en Décembre et Janvier  $10^{\circ} C$ ). La pluviosité est de l'ordre de 400 à 450 mm entre mi-Septembre et mi-Mai.

#### b) Résultats de la parcelle "Bilan hydrique et Bilan des sels"

A la station de Cherfech nous disposons d'une parcelle de 4 ha, qui est drainée à 1.50 m de profondeur par des drains en poterie débouchant sur un fossé à ciel ouvert avec un plan d'eau à 1.80 m et qui est irriguée d'une façon uniforme. Nous y pratiquons deux cultures par an, une culture d'été de Mai à Septembre et une culture d'hiver d'Octobre à Avril. Cette parcelle nous permet d'étudier d'une part la consommation nette des cultures en plein champ et d'autre part l'évolution de la salure du sol et de faire le bilan des sels apportés et évacués.

Etant donné que la dose d'eau à chaque irrigation dépasse la consommation, la quantité d'eau drainée étant de l'ordre de 10 à 30 %, on peut considérer que le régime d'irrigation correspond à celui du lessivage permanent.

! Figure 1 à placer dans le chapitre 2 b, de préférence ici !

La figure 1 montre la variation saisonnière de la salure du sol au cours des quatre années passées. La couche supérieure (0-40 cm) se sale en été et se déssale en hiver. La couche intermédiaire (40-80 cm) varie peu,

.../...

mais se dessale quand même. Enfin les couches profondes se sont dessalées assez régulièrement. La conductivité moyenne, calculée en fonction de l'épaisseur de chaque couche, est descendue de 6 vers 3.9 mmhos.

Tableau 1 - Quantités d'eau d'irrigation, de pluie et d'eau drainée et conductivité électrique de l'eau d'irrigation

Période	Eté 1964	Hiver 64-65	Eté 1965	Hiver 65-66	Eté 1966	Hiver 66-67	Eté 1967	Hiver 67-68	Total
Irr mm	452	110	645	100	530	467	860	182	3346
Pluie mm	26	481	61	417	173	271	56	270	1755
Dr mm	121	139	141	56	138	200	217	141	1153
en % de (I+P)	25	24	20	11	20	27	24	31	23
EC <sub>iw</sub>	3.6	2.8	3.7	3.0	3.2	2.8	3.7	3.7	3.4

Dans le tableau 1 nous avons résumé les quantités d'eau d'irrigation, de pluie et de drainage ainsi que la conductivité électrique de l'eau d'irrigation. L'eau drainée a été mesurée à la sortie des drains en poterie. Cette quantité mesurée a été majorée de 2 mm par mois pour tenir compte du drainage vers le fossé à ciel ouvert.

Considérant, que l'évolution de la salure du sol sur une période de 4 ans s'approche de celle à long terme, on peut calculer à l'aide de la formule 2 la quantité de drainage théoriquement nécessaire pour maintenir la valeur EC<sub>e</sub> de la couche 40-80 cm, couche qui correspond à la limite inférieure de la zone d'enracinement, à sa valeur moyenne sur 4 ans de 4.2. Le rapport entre l'humidité de la pâte saturée et celle du sol à la saturation au champ étant de l'ordre de 2, une valeur EC<sub>e</sub> de 4.2 correspondrait à une valeur E<sub>dw</sub> de 8.4 pour l'eau percolant à 80 cm de profondeur. Le tableau 2 montre les éléments de base pour ce calcul, ainsi que le résultat pour la valeur théorique D<sub>dw</sub>.

Tableau 2 - Calcul de la valeur théorique D<sub>dw</sub>

Irr.	Pl.	Dr-mesurée	D <sub>dw</sub> = I+P-Dr	EC <sub>iw+rw</sub>	EC <sub>dw</sub>	D <sub>dw</sub> -calculée
3346 mm	1755 mm	1153 mm	3948 mm	2.2	8.4	1400 mm

.../...

D'après ce calcul il semble que la quantité de drainage théoriquement nécessaire est environ 20 % plus élevée que la quantité réellement mesurée, qui a d'ailleurs permis un abaissement de la salure dans la couche 40-80 cm de 5.1 vers 3.2 mmhos lors des 4 ans d'expérimentation. Ceci pourrait s'expliquer par l'action de la pluie en hiver, qui est plus efficace en réalité par rapport au calcul théorique, dans lequel on utilise une moyenne pondérée de l'eau d'irrigation et de la pluie.

Le lessivage en hiver varie d'une année à l'autre en fonction des irrigations et de la pluviométrie; ces deux facteurs peuvent d'ailleurs interférer : l'action de la pluie est rendue beaucoup plus efficace quand elle se produit peu de temps après une irrigation ou quand elle est concentrée en peu de mois au lieu d'être répartie sur tout l'hiver.

La quantité d'eau drainée de 56 mm en hiver 1965-66 n'a pas ramené la salure du sol à son niveau du printemps précédent. En revanche des quantités, qui dépassent 140 mm, ont dessalé le sol jusqu'au niveau du printemps précédent ou même au-dessous de ce niveau. Il semble donc que la quantité d'eau drainée nécessaire en hiver pour maintenir la salure à un niveau stable, se situe entre ces deux valeurs.

Compte tenu de l'interférence entre les irrigations et la pluie, la quantité drainée nécessaire pour le lessivage en hiver, que nous venons de citer, doit être considérée comme une valeur moyenne, obtenue dans nos conditions d'expérimentation sur 4 ans. En fonction de la répartition des pluies et des irrigations pratiquées cette quantité peut être plus ou moins élevée.

Tableau 3 - Salure ( $EC_e$ ) des couches profondes en Juillet 1967

Couche	150-200	200-240	240-280	280-320	320-360	360-400
$EC_e$	6.5	6.6	7.1	9.2	9.4	9.2

Le tableau 3 montre la salure des couches profondes en Juillet 1967. Il en ressort qu'en Juillet 1967 la conductivité à 1.50 m de profondeur est de 6.5 à 7 et à partir de 2.80 m plus de 9. Bien que nous ne disposions pas d'analyses de ces couches profondes au début de l'expérimentation, le fait de retrouver à partir de 2.80 m des valeurs de 9 semblables à celles trouvées autrefois à partir de 0.80 m semble justifier la supposition, qu'au début la salure du sol à partir de 0.80 m jusqu'à 4 m correspondait à une valeur  $EC_e$  de 9 environ. La réduction de la conductivité de 9.2 en moyenne jusqu'à 6.7 pour la couche 150-280 cm est comparable à celle de

la salure des eaux de drainage qui titraient 12.5 gr/litre en Mai 1964 contre 8.5 gr/litre en Juillet 1967.

Le dessalage des couches profondes se confirme par le calcul du bilan des sels. D'après les analyses des eaux d'irrigation et de drainage une quantité de 27 tonnes de sels par ha a été exportée lors des 4 ans. D'après les analyses du sol jusqu'à 1.50 m de profondeur cette quantité est de 15 tonnes par ha, donc beaucoup plus basse. Cependant en tenant compte d'un dessalage du sol jusqu'à 2.80 m de profondeur cette quantité est de 32 tonnes contre 27 tonnes d'après les analyses des eaux. Ceci semble acceptable, compte tenu de l'hétérogénéité de la salure du sol.

### c) Résultats des essais d'irrigation

#### 1. Essais "Dose et Fréquence d'irrigation"

A la station de Cherfech nous avons également mis en place des essais "Dose et Fréquence d'irrigation" comportant trois doses d'eau et deux fréquences et un essai "Dose d'irrigation" qui met quatre doses en comparaison.

Dans les essais "Dose et Fréquence d'irrigation" les trois doses sont dans le rapport 3, 4, 5. En période de pleine croissance en été nous essayons de tenir ces doses respectivement à 75 % ( $D_1$ ), 100 % ( $D_2$ ) et 125 % ( $D_3$ ) de la consommation, c'est à dire que la dose  $D_1$  représente l'économie d'eau et la dose  $D_3$  le lessivage permanent. Pendant le premier et le dernier stade de la culture, où la consommation est plus basse, la dose minimale  $D_1$  est celle nécessaire pour arriver en bout de parcelle. Comme la dose minimale dépasse à ce moment là la consommation, le lessivage a donc lieu sur tous les traitements en début et souvent aussi en fin de culture. Les irrigations sont espacées de  $n$  et de  $1.5$  ou  $2 n$  jours en été.

Au sujet de la relation entre l'apport d'eau et le rendement des cultures nous avons récemment exposé les résultats (van Hoorn et al. 1969). Dans les conditions de Cherfech l'étude des rendements montre que les différences de rendement en fonction des doses et des fréquences d'irrigation sont relativement faibles, de l'ordre de 0 à 15 %, et varient d'une année à l'autre. Malgré une légère baisse de rendement on a intérêt à orienter les irrigations vers l'économie d'eau en été. Sur une culture comme la luzerne, le lessivage permanent peut même amener à une baisse de rendement et une disparition des plantes à cause des conditions asphyxiantes créées par l'excès d'eau. Comme en Tunisie les disponibilités en eau d'irrigation sont réduites et le prix élevé, cette optique permet une meilleure valorisation de l'eau. On peut tenir l'apport d'eau pour des cultures du maïs, des tomates et du sorgho fourrager à un équivalent de 5 à 6 mm par jour et celui pour la luzerne à 4 à 5 mm par jour.

L'étude de la salure du sol sur les essais "Dose et Fréquence d'irrigation" a montré que sous le climat de la Basse Vallée de la Medjerdah la variation saisonnière, à savoir une augmentation de la salure en été et une diminution en hiver, est plus importante que les effets des différents traitements. Le lessivage en hiver et lors des premières et dernières irrigations sur les cultures d'été peut réduire la salure jusqu'à son niveau originel. Aussi bien pour la salure que pour les rendements des cultures il ne semble donc pas nécessaire de donner un surplus d'eau en été afin d'obtenir un lessivage permanent. La quantité d'eau drainée en hiver pour le traitement D<sub>1</sub>, qui a permis de réduire la salure jusqu'au niveau du printemps précédent ou même au-dessous, serait de 50 à 150 mm.

## 2. Essai "Dose d'irrigation"

Un essai "Dose d'irrigation" comportant quatre doses a été mis en place dans le but de disposer d'une gamme de doses plus large que celle des essais "Dose et Fréquence d'irrigation" afin de mieux étudier l'économie d'eau. La dose D<sub>0</sub> est la dose minimale pour permettre à l'eau d'arriver en bout de parcelle. Le rapport entre les quatre doses est de 1 sur 1.5 sur 2 sur 2.5. En été les doses D<sub>0</sub>, D<sub>1</sub>, D<sub>2</sub> et D<sub>3</sub> correspondent respectivement à un apport journalier de 4, 6, 8 et 10 mm par jour, se situant autour de la consommation en plein champ de 7 mm par jour.

Au sujet de l'évolution de la salure du sol cet essai est particulièrement intéressant, puisque la dose la plus faible D<sub>0</sub>, équivalent à 4 mm par jour, ne crée pas de drainage en été. Ce régime d'irrigation peut donc être considéré comme celui de l'économie d'eau en été combiné avec le lessivage en hiver par la pluie et les irrigations d'automne.

! Figure 2 à placer dans le chapitre 2 c, de préférence ici !

La figure 2 montre l'évolution de la salure du sol du printemps 1967 à celui de 1968. Aussi bien en automne 1967 qu'au printemps 1968 il y a une différence nette sur tout le profil entre les quatre doses, dont le classement se fait dans l'ordre croissant  $D_0 > D_1 > D_2 > D_3$ . Mais il n'en demeure pas moins que la salure moyenne du profil de la dose D<sub>0</sub> est revenue à peu près à sa valeur d'origine, la salure des couches supérieures étant un peu plus basse et celle des couches en profondeur un peu plus élevée.

Le lessivage au cours de l'automne et de l'hiver, à la suite d'un apport de 166 mm d'eau d'irrigation du 6 Octobre au 16 Novembre et de 301 mm de pluie entre les deux dates de prélèvement, a produit ce dessalement. Toutefois il est à noter que la pluviométrie a été favorable, 46 mm tombant 4 jours après l'irrigation du 16 Novembre et 160 mm en Décembre et Janvier, ce

.../...

qui représente un apport d'eau nettement excédentaire par rapport à la consommation de l'ordre de 2 mm par jour. La quantité d'eau drainée serait de l'ordre de 50 à 75 mm au cours de l'hiver.

### 3. Essai "Lessivage d'hiver"

Afin d'obtenir plus de renseignements sur la quantité d'eau à apporter en hiver pour le lessivage, nous avons mis en place un essai "Lessivage d'hiver". Cet essai a comporté en hiver 1966-67 deux doses et deux modes d'irrigation. La dose D<sub>1</sub> a été celle nécessaire pour arriver en bout de parcelle, la dose D<sub>2</sub> a reçu 40 % en plus. Les deux modes d'irrigation ont été la planche et la corrugation.

Les apports d'eau en 4 irrigations ont été de 458 mm pour la dose D<sub>1</sub> et de 640 mm pour la dose D<sub>2</sub>, les quantités d'eau drainée étant de l'ordre de 180 et de 360 mm. Les traitements n'ont pas marqué d'une façon nette sur le rendement du ray-grass. La corrugation, permettant probablement un meilleur ressuyage, semble très légèrement supérieure à la planche. En ce qui concerne la salure du sol, qui a été suivie régulièrement au cours de l'hiver (voir tableau 11 au chapitre IV) ni les doses ni les modes d'irrigation ont fait apparaître des différences.

Afin de disposer d'une gamme plus large pour les doses, l'essai a comporté en hiver 1967-68 quatre doses, le mode d'irrigation étant la planche :

- D<sub>1</sub>, une irrigation au semis
- D<sub>2</sub>, une irrigation au semis, suivie d'une deuxième irrigation
- D<sub>3</sub>, plusieurs irrigations en hiver en fonction de la pluviométrie
- D<sub>4</sub>, comme D<sub>3</sub>, la dose étant majorée de 40 %.

Le tableau 4 montre les irrigations. La pluviométrie lors de cette période a été de 300 mm. La quantité drainée pour la dose D<sub>1</sub> serait de l'ordre de 75 mm.

Tableau 4 - Apports d'eau sur l'essai "Lessivage d'hiver"

Date	10.11.67	26.11.67	8.4.68	20.4.68	Total
D <sub>1</sub>	112.5 mm	0 mm	0	0	112.5 mm
D <sub>2</sub>	112.5	97.5	0	0	210
D <sub>3</sub>	112.5	97.5	211	112	533
D <sub>4</sub>	157.5	122	295	157	731.5

.../...

A la première coupe de ray-grass une différence est apparue en faveur du traitement D<sub>1</sub>, qui a reçu une seule irrigation, ce qui a probablement diminué l'asphyxie. Les deux autres coupes avant la reprise des irrigations au 8 Avril n'ont pas révélé de différences. La quatrième coupe en Mai a réagi favorablement aux irrigations du printemps.

Du point de vue salure du sol, les quatre traitements n'ont pas amené à des différences nettes.

#### d) Conclusions

A Cherfech, sol argilo-limoneux recevant environ 400 mm de pluie en hiver, le problème en irrigation à l'eau saumâtre est de réduire la salure, qui monte au cours de l'été, soit en ajoutant à chaque irrigation un complément (lessivage permanent) soit en donnant des apports réduits et en pratiquant le lessivage lors de certaines périodes (économie d'eau en été et lessivage saisonnier). Comme en irrigation par écoulement la dose d'eau est fonction des paramètres d'irrigation (vitesse d'infiltration, pente, longueur et débit), il est évident que souvent le lessivage se fait dans la pratique automatiquement lors des périodes où les besoins en eau des cultures sont faibles.

D'après les résultats des différents essais d'irrigation on a intérêt à orienter les irrigations vers l'économie d'eau en été, alors que le lessivage se fait aux premières et dernières irrigations et surtout en hiver.

Si l'on pratique deux cultures par an, la pluie seule en hiver, sans irrigation, ne suffit en général pas pour créer un drainage suffisant pour l'évacuation des sels, à cause du déficit d'eau dans le sol au début de l'automne et de la consommation d'eau par les cultures d'hiver. Il y a en principe deux possibilités :

- soit une irrigation assez importante au début pour saturer plus ou moins le sol, suivie éventuellement par d'autres irrigations en fonction de la pluviométrie. Ceci permettrait de mieux profiter de la pluie pour l'évacuation des sels.

- soit, si les risques d'asphyxie sont importants, une légère irrigation au début, alors que les pluies et des irrigations de printemps pourraient évacuer les sels.

Si au contraire on pratique un assolement moins intense, une culture par an ou trois cultures par deux ans, on peut utiliser la période de jachère pour réduire la salure. Comme un sol en jachère consomme moins d'eau qu'un sol couvert de culture, l'action de la pluie en hiver pourrait suffire ou serait à compléter par des irrigations de lessivage avant la mise en place de la nouvelle culture.

.../...

D'après les différents essais effectués à Cherfech il semble que si les irrigations et la pluie arrivent à provoquer en hiver un drainage de l'ordre de 50 à 100 mm, la salure redescend à peu près jusqu'au niveau du printemps précédent. Cette quantité d'eau drainée doit être considérée comme une valeur moyenne étant fonction de la répartition des pluies et des irrigations.

Le lessivage saisonnier par rapport au lessivage permanent permet d'une part d'économiser de l'eau, d'autre part ce système est plus souple, parce qu'il permet de tenir compte des exigences des cultures et des conditions du climat.

### III - LESSIVAGE DES SOLS TRES SALES

#### a) Résultats de la station de Tozeur

##### 1. Parcelle "Bilan hydrique et Bilan des sels"

Le sol peut être défini comme étant à texture finement sableuse à limoneuse avec une teneur en gypse de 50 à 60 %. La densité apparente varie de 1.3 à 1.4. La perméabilité est de l'ordre de 1 m par jour jusqu'à 1.60 m de profondeur, le niveau des drains à ciel ouvert, ensuite de 2 m par jour jusqu'à grande profondeur (environ 30 m). L'eau d'irrigation contient 2.1 gr de sels par litre, dont à peu près la moitié en chlorure de sodium. Le climat est désertique, la pluviométrie étant de 80 mm par an.

Au début de l'expérimentation en 1964 le sol était très salé à cause des effets combinés d'une sous-irrigation et d'un manque de drainage. Le réseau d'irrigation a été amélioré et permet d'irriguer maintenant avec un débit fictif continu d'environ 0.8 l/sec/ha en été, soit un apport de 75 mm tous les 10 jours. L'ancien réseau de drainage, qui consistait en des collecteurs de 1.25 m de profondeur et des drains à ciel ouvert espacés de 20 m à 0.70 m de profondeur, a été remplacé par un nouveau système : des collecteurs de 2 à 2.25 m de profondeur et des drains espacés de 40 m à 1.60 m de profondeur. L'espacement de 40 m a été choisi pour nous permettre de disposer d'un nombre suffisant de drains pour les mesures du débit. La parcelle est plantée en palmier dattier.

! Figure 3 à placer dans le chapitre 3 a 1, de préférence ici !

La figure 3 montre l'évolution de la salure du sol au cours des 4 ans d'expérimentation. Au cours de la première année un dessalage très

.../...

important s'est produit. Par la suite il semble que la salure se soit stabilisée ou conserve une légère tendance à la diminution. La valeur  $EC_e$  de la couche de surface ne s'abaisse pas au-dessous de 5 à 6, ce qui peut être considéré comme une valeur d'équilibre, étant donné la teneur en gypse d'une part et la salure de l'eau d'irrigation d'autre part.

Dans le tableau 5 nous avons résumé les quantités d'eau d'irrigation, de pluie et de drainage, ainsi que le bilan des sels. Comme à Cherfech le bilan comprend deux parties :

- la quantité de sels évacuée d'après les analyses des eaux d'irrigation et de drainage.

- la quantité de sels évacuée d'après les analyses du sol jusqu'à 1.60 m de profondeur.

Tableau 5 - Quantités d'eau d'irrigation, de pluie et d'eau drainée et le bilan des sels

Période	Irr. en mm	Pluie en mm	Dr. en mm	Sels évacués en tonne/ha	
				Sol	Eaux
Juillet 64-65	1138	54	252	90.8	13.2
65-66	1782	64	256	2.1	5.3
66-67	2325	68	412	3.4	6.8
67-Mai 68	1525	142	379	3.0	10.0

L'examen de ce bilan montre un déséquilibre entre les chiffres obtenus à partir du sol et ceux obtenus à partir des eaux. Pour la première période ce déséquilibre est très fort et contraire à celui constaté à Cherfech. Pour les périodes suivantes il est moins prononcé et va dans le même sens qu'à Cherfech, où nous constatons également, que la quantité de sels évacuée d'après les analyses du sol jusqu'à 150 cm de profondeur est plus faible que celle calculée d'après les analyses des eaux. A Cherfech ceci est dû au fait que le profil au-dessous de 1.50 m n'a pas été pris en compte et que la salure de l'eau des drains a dû donc être plus élevée que celle de l'eau percolant la couche 120-150 cm. Mais en tenant compte des sels évacués en profondeur au-dessous du niveau des drains, la quantité de sels évacuée d'après les analyses du sol correspond assez bien à celle calculée d'après les analyses des eaux. On peut donc penser, que le même raisonnement est valable pour la période de Juillet 1965 à Mai 1968 à Tozeur.

.../...

Dans un sol gypseux tel que celui de Tozeur le gypse peut se solubiliser dans les eaux percolant le sol sans qu'il y ait une diminution de la conductivité mesurée dans l'extrait de la pâte saturée. Il est donc également possible que la différence pour la période de Juillet 1965 à Mai 1968 soit due à ce phénomène.

En revanche la première période de Juillet 1964 à Juillet 1965 montre un déséquilibre dans le sens contraire, la quantité de sels évacuée d'après les analyses du sol étant plus élevée que celle calculée d'après les eaux. Compte tenu de la salure très élevée du sol au début de l'expérimentation, il y a lieu de penser que la salure de l'eau de drainage a été plus faible lors de cette période que celle de l'eau percolant la couche 120-150 cm et qu'il s'est produit un stockage de sels en profondeur au-dessous du niveau du réseau de drainage qui s'évacuent par la suite. La salure des eaux de drainage diminue au cours des années de 15 gr par litre vers 10 gr par litre, indiquant une désalinisation lente en profondeur. Afin de vérifier cette hypothèse nous avons effectué une expérimentation de lessivage du sol en bac, qui permet de mesurer la salure des eaux percolant le sol à 1 m de profondeur sans être contaminées par la présence d'une nappe.

## 2. Essai de lessivage sur bac

Dans un bac de 4 m<sup>2</sup> de surface et de 1.20 m de profondeur nous avons reconstitué le profil de la parcelle en le remplissant par couche de 20 cm. Le lessivage a été effectué avec l'eau d'irrigation titrant 2.1 gr par litre. Trois essais ont été effectués :

- |                   |   |         |               |       |           |        |             |
|-------------------|---|---------|---------------|-------|-----------|--------|-------------|
| - premier essai   | : | 1100 mm | d'irrigation, | 86 mm | de pluie, | 500 mm | de drainage |
| - deuxième essai  | : | 290 mm  | "             | 6 mm  | "         | 150 mm | "           |
| - troisième essai | : | 618 mm  | "             | 33 mm | "         | 300 mm | "           |

Au début de chaque essai plusieurs irrigations successives ont été données pour saturer le sol en eau, puis des irrigations de 50 mm tous les 4 à 5 jours. A chacun de ces apports a correspondu un drainage d'environ 20 mm. La différence entre l'apport et la quantité drainée représente la quantité stockée dans le sol et l'évaporation du sol nu.

Tableau 6 - Salure du sol ( $EC_e$ ) des essais de lessivage en bac

Couche	1e Essai		2e Essai	
	500 mm drainés		150 mm drainés	
	Début	Fin	Début	Fin
0-20 cm	94.8	5.9	84.3	11.1
20-40	63.5	5.8	47.3	14.4
40-80	25.2	5.4	21.5	34.4
80-120	17.4	5.0	14.3	30.4
moyenne	45.2	5.4	37.0	25.9

Le tableau 6 présente la salure du sol au début et à la fin du premier et du deuxième essai. Après 150 mm de drainage on constate que les sels se sont déplacés en profondeur par rapport à la répartition du départ. Après 500 mm de drainage la salure du sol est presque homogène, la valeur  $EC_e$  de 5 à 6 correspondant aux valeurs mesurées sur la parcelle "Bilan".

Figure 4 à placer dans le chapitre 3 a 2, de préférence ici

La figure 4 montre la relation entre la conductivité de l'eau de drainage et la quantité d'eau évacuée. On constate qu'en effet au début la salure de l'eau percolant à 1.20 m de profondeur a été très élevée pour diminuer ensuite jusqu'à une valeur de 12 à 13. Nous discuterons au chapitre IV la courbe indiquant les valeurs théoriques.

En conclusion on peut donc dire que les essais de lessivage sur bac confirment l'hypothèse évoquée au sujet du bilan des sels, que les eaux percolant le sol à 1.20 m de profondeur ont au début du lessivage une salure très élevée, qui diminue par la suite au fur et à mesure que les sels sont évacués.

#### b) Résultats des essais à Utique

Les conditions du sol, de l'eau d'irrigation et du climat d'Utique, situé également dans la Basse Vallée de la Medjerda, sont identiques à celles de Cherfech, à ceci près, que le sol est un peu plus limoneux et que l'eau d'irrigation en hiver au cours des essais a titré 1.4 gr par litre.

.../...

Il s'agit d'une zone très salée, drainée à 1/40 m de profondeur et destinée à être mise en valeur pour des cultures irriguées. Elle est constituée par un véritable puzzle composé de taches vertes où pousse une végétation halophile et de taches complètement dénudées, la surface occupée par chacune étant pratiquement égale.

Un premier essai a été entrepris en hiver 1966-67, comportant 3 traitements :

- D<sub>0</sub> : 0 mm
- D : 400 mm à un rythme de 100 mm par jour
- 2D : 800 mm à un rythme de 100 mm par jour.

Lors de ce premier essai les irrigations n'ont pas réduit la salure du sol à un taux acceptable pour la mise en culture. Les taches les plus salées sans végétation se sont légèrement dessalées, mais les taches moins salées avec végétation se sont salées.

En été 1967 la moitié de la parcelle a été labourée à 25 cm de profondeur. Lors du deuxième essai en hiver 1967-68 nous avons appliqué aussi bien sur la partie labourée que sur la partie non labourée les traitements suivants :

- D : 400 mm à un rythme de 100 mm à la fois par quinzaine
- 2D : 800 mm à un rythme de 100 mm à la fois par semaine
- 4D : 1600 mm à un rythme de 200 mm à la fois par semaine.

Un exposé plus détaillé des résultats a été publié récemment (Ollat et al. 1969). Nous nous limitons ici aux résultats de la désalinisation des taches très salées sans végétation.

Figure 5 à placer dans le chapitre 3 b, de préférence ici

La figure 5 montre la salure du sol avant et après le lessivage. Bien que la salure au début de l'essai n'a pas été la même pour les six traitements, on constate que :

- les parties labourées se sont mieux dessalées que les parties non labourées. Déjà avant les irrigations la forme de la courbe de salure en profondeur indique pour les parties labourées un début de dessalage, la couche

.../...

de surface étant moins salée contrairement à ce qu'on observe sur les parties non labourées. Ceci peut s'expliquer parce que les pluies tombées entre l'époque du labour et celle du début des irrigations y ont effectué un lessivage plus intense, le labour ayant fait disparaître les fentes de retrait et ainsi homogénéisé la perméabilité.

- aussi bien sur les parties labourées que sur les parties non labourées, la salure a baissé considérablement sans que les trois apports d'eau aient fait apparaître des différences nettes. Dans le tableau 7 nous avons résumé les valeurs moyennes  $EC_e$  du profil avant et après le lessivage ainsi que les différences. Pour les parties labourées le dessalage semble être d'autant plus important que la salure au début est plus élevée.

Tableau 7 - Salure moyenne ( $EC_e$ ) du profil 0-100 cm avant et après lessivage

	D - 400 mm		2D - 800 mm		4D - 1600 mm	
	Labouré	non Labouré	Labouré	non Labouré	Labouré	non Labouré
$EC_e$ avant	22.5	42.1	32.8	25.0	27.2	23.5
après	4.8	30.2	3.8	18.7	3.8	13.8
différence	17.7	11.9	29.0	6.3	23.4	9.7

La différence par rapport au premier essai, dans lequel nous n'avions constaté aucune diminution de salure, pourrait s'expliquer par :

1°) la différence de pluviométrie entre les deux années : il est tombé 15 mm de pluie au cours du mois précédent le premier essai et 135 mm au cours de celui précédent le deuxième essai, de sorte que dans ce dernier cas, le sol était plus humide au départ. De plus, il est tombé seulement 35 mm de pluie pendant le premier essai contre 130 mm pendant le deuxième.

2°) la façon d'irriguer : les apports quotidiens pratiqués dans le premier essai ont été remplacés dans le deuxième par des apports hebdomadaires ou bi-mensuels. L'alternance d'humification et de dessiccation du sol entraînant une modification du système des fissures dans le sol, a créé un meilleur contact de l'eau avec le sol, permettant ainsi une meilleure efficacité du lessivage.

.../...

IV - EFFICIENCE DU LESSIVAGE

D'après Reeve (1957) les observations des essais de lessivage effectués à différents endroits aux Etats Unis ont permis d'établir la formule suivante pour le lessivage des sols très salés :

$$\frac{D_{1w}}{D_s} = \frac{(EC_e)_i}{5(EC_e)_f} + 0.15 \quad (3)$$

Dans cette formule  $D_{1w}$  représente la quantité d'eau de lessivage passée par un profil de profondeur  $D_s$ ,  $(EC_e)_i$  et  $(EC_e)_f$  étant les valeurs moyennes du profil respectivement avant et après le lessivage. Il semble que la quantité de lessivage  $D_{1w}$  soit considérée égale à l'apport d'eau et qu'il s'agisse donc du lessivage effectué sur sol nu en relativement peu de temps, de sorte que l'évaporation soit négligeable. Bien que ceci n'ait pas été le cas dans nos essais, les essais sur bac à Tozeur et sur la parcelle d'Utique s'approchent le plus de ces conditions. En appliquant la formule (3) on arrive aux résultats figurant sur le tableau 8.

Dans le cas de Tozeur la quantité théorique  $D_{1w}$  est à peu près deux fois plus élevée que la quantité d'eau d'irrigation mesurée et quatre fois plus grande que la quantité drainée. C'est également le cas pour les parties labourées à Utique, qui ont reçu des apports de 400 et 800 mm. En revanche la valeur  $D_{1w}$  est beaucoup plus basse pour les parties non-labourées, qui ont reçu des apports de 800 et de 1600 mm. Ceci fait supposer que, soit l'état du sol, soit les techniques d'irrigation, notamment celles des apports fractionnés, en sont les causes et que ces deux facteurs influent sur l'efficacité du lessivage.

Tableau 8 - Comparaison de la valeur théorique  $D_{1w}$  avec l'apport d'eau d'irrigation et la quantité drainée mesurée

Essai	Ir-mesu- rée en mm	Dr-mesu- ré en mm	$(EC_e)_i$	$(EC_e)_f$	$D_{1w}$ en mm
Tozeur - bac	1100	500	45.2	5.4	1990
	290	150	37.0	25.9	520
Utique - labouré					
D	400	-	22.5	4.8	1090
2D	800	-	32.8	3.8	1880
4D	1600	-	27.6	3.8	1570
non-labouré					
D	400	-	42.1	30.2	430
2D	800	-	25.0	18.7	420
4D	1600	-	23.5	13.8	490

En partant du principe que le lessivage se produit par un mélange de l'eau d'irrigation (ou de pluie) d'une concentration  $C_i$  avec l'eau de la solution du sol d'une concentration  $C_s$ , la concentration de la solution du sol après mélange  $C_{x1}$  de la première couche peut être calculée de la façon suivante :

$$a \text{ mm d'irrigation} \times C_i + b \text{ mm d'eau du sol} \times C_{s1} = (a + b) \text{ mm} \times C_{x1}$$

Si la quantité d'eau retenue dans la première couche est égale à  $c$  mm, une quantité  $(a - c)$  ayant une concentration  $C_{x1}$  percole en profondeur et se mélange avec la solution du sol de la deuxième couche. La concentration de la solution du sol après mélange  $C_{x2}$  de la deuxième couche peut être calculée de la même façon :

$$(a - c) \text{ mm} \times C_{x1} + d \text{ mm} \times C_{s2} = (a - c + d) \text{ mm} \times C_{x2}$$

En supposant que les concentrations sont approximativement proportionnelles aux conductivités, on peut effectuer les calculs en utilisant la conductivité électrique. Après avoir calculé ce procédé pour toutes les couches successives, on arrive finalement à la conductivité de l'eau percolant la dernière couche, que l'on peut comparer avec celle mesurée par exemple dans les essais de lessivage sur bac.

Afin de pouvoir effectuer ces calculs il faut disposer des valeurs suivantes :

1°) La conductivité de la solution du sol au départ. Cette valeur peut être calculée à partir de la conductivité  $C_{ex}$  de l'extrait de la pâte saturée et des taux d'humidité du sol  $M_s$  et de la pâte saturée  $M_{ex}$  :

$$C_s = \frac{M_{ex}}{M_s} C_{ex}$$

2°) Les teneurs en eau du sol avant et après l'irrigation. Le taux d'humidité après irrigation correspond à celui de la capacité de rétention  $M_{fc}$  et peut être converti en mm d'eau d'après la formule suivante :

$$b \text{ mm d'eau} = \text{épaisseur de la couche en mm} \times M_{fc} \times \text{densité apparente.}$$

Le taux d'humidité avant irrigation dépend de la façon comment la quantité d'eau consommée est répartie sur le profil. Les profils hydriques en combinaison éventuelle avec la densité des racines peuvent nous orienter à ce sujet.

.../...

3°) Comme la distribution des pores, par lesquels passe l'eau, n'est pas homogène et que l'eau passe plus facilement par des grands pores, il est possible que le mélange ne soit pas complet, mais qu'une partie de l'eau d'irrigation percole directement en profondeur sans se mélanger avec la solution du sol. Dans les calculs on peut tenir compte de ce phénomène en introduisant un facteur f, qui exprime l'efficiencia du lessivage, c'est à dire le pourcentage de l'eau d'irrigation, qui se mélange avec la solution du sol.

Si par exemple 50 % de la dose d'irrigation se mélange dans la couche 0-40 cm, 25 % plus l'excès d'eau de la première couche dans la couche 40-80 cm et 25 % plus l'excès d'eau de la deuxième couche dans la couche 80-120 cm, le facteur f en moyenne sur le profil 0-120 cm est égal à  $(4 \times 0.5 + 4 \times 0.75 + 4 \times 1.0)/12 = 0.75$ .

La figure 4 montre la courbe calculée théoriquement pour l'essai de lessivage en bac, en supposant un mélange complet de l'eau d'irrigation avec la solution du sol. On constate que les valeurs mesurées de la conductivité de l'eau drainée ont été plus basses audébut de l'expérimentation, probablement parce que le mélange n'a pas été complet, et qu'elles montent ensuite au moment où les valeurs calculées commencent déjà à baisser. Par la suite les valeurs mesurées baissent plus rapidement, mais en fin de l'expérimentation les conductivités mesurées et calculées sont à peu près égales.

Comme il est possible de convertir de nouveau la conductivité calculée de la solution du sol en conductivité de l'extrait de la pâte saturée en tenant compte des taux d'humidité du sol et de la pâte, nous pouvons comparer les valeurs calculées pour la conductivité de l'extrait de la pâte saturée avec celles mesurées à la fin de l'expérimentation. Le tableau 9 montre les résultats pour les essais de lessivage sur bac à Tozeur.

Tableau 9 - Essais de lessivage sur bac à Tozeur

Couche	Conductivité de l'extrait de la pâte saturée			
	après 150 mm drainage		après 500 mm drainage	
	mesurée	calculée	mesurée	calculée
0-20 cm	11.1	9.0	5.9	3.6
20-40	14.4	19.8	5.8	4.0
40-80	34.4	30.2	5.4	5.5
80-120	30.4	28.4	5.0	6.4

.../...

On constate que les valeurs calculées après 150 mm de drainage correspondent assez bien à celles mesurées. Il en est de même pour la situation après 500 mm de drainage, à ceci près que les conductivités calculées pour les couches 0-20 et 20-40 cm sont plus basses que les conductivités mesurées. Ceci pourrait s'expliquer du fait que dans un sol tel que celui de Tozeur le gypse peut se solubiliser et maintenir la conductivité à une valeur plus élevée que celle qui est calculée sans tenir compte de ce phénomène.

De la même façon nous avons calculé la désalinisation de la parcelle "Bilan" à Tozeur en supposant un mélange complet (efficacité égale à 1) et en tenant compte cette fois-ci du fait que le gypse maintient la conductivité à une valeur d'environ 5 dans la couche de surface. Le tableau 10 met en comparaison les conductivités mesurées et calculées pour Juillet 1965 après environ 250 mm de drainage et montre que les valeurs calculées correspondent assez bien à celles mesurées.

Tableau 10 - Parcelle "Bilan" à Tozeur

Couche	EC - Juillet 1965	
	mesurée	calculée
0-20 cm	5.7	4.8
20-40	6.8	6.0
40-80	8.9	8.3
80-120	8.8	10.3

Pour Cherfech, où il s'agit d'une remontée de la salure en été et d'une descente en hiver, ces calculs ont été faits d'une part pour la parcelle "Bilan", d'autre part pour l'essai de lessivage en hiver 1966-67.

En partant d'une efficacité égale à 1, c'est à dire d'un mélange complet, nous avons ensuite introduit d'autres facteurs d'efficacité plus faibles afin de pouvoir comparer ces calculs successifs avec les valeurs mesurées. D'après l'analyse statistique des conductivités mesurées sur la parcelle "Bilan" la différence entre la valeur mesurée et la valeur théoriquement calculée n'est pas significative, si cette différence est moins de 10 à 15 %. Nous avons donc considéré, que pour des différences plus faibles la valeur théorique correspond à celle observée.

Tableau 11 - Comparaison des conductivités observées et calculées  
Essai de lessivage - Parcelle 1

Date	Couche	Analyse	D1			D2				
			f	f	f	f	f	f	f	f
			100%	0-40 40-80 80-150	50% 75 100 80	100%	0-40 40-80 80-150	50% 75 100 80	0-20 40-80 80-120 120-150	30% 40 60 70 80 60
16.11.66	0-20	2.9	1.7	2.7	1.5	2.0	2.4			
	20-40	3.4	2.7	3.9	2.3	3.1	3.4			
	40-80	4.8	4.6	4.7	4.1	4.2	4.7			
	80-120	7.1	7.7	6.4	6.9	6.0	7.0			
	120-150	6.5	6.9	6.7	6.5	6.1	6.1			
13.12.66	0-20	2.3	2.1	2.5	1.9	2.2	2.3			
	20-40	2.8	2.6	3.3	2.3	2.8	2.9			
	40-80	4.0	4.2	4.3	3.9	4.1	4.3			
	80-120	6.6	7.1	6.7	6.8	6.4	7.1			
	120-150	6.5	6.2	6.1	6.0	5.8	5.8			
28. 3.67	0-20	1.7	1.4	1.5	1.3	1.4	1.5			
	20-40	1.8	1.7	1.9	1.4	1.7	1.7			
	40-80	3.1	2.9	2.9	2.6	2.5	2.9			
	80-120	5.4	5.4	5.1	5.2	4.8	5.3			
	120-150	5.9	6.2	6.2	5.7	5.6	5.7			
13. 4.67	0-20	2.1	1.7	2.0	1.6	1.9	2.0			
	20-40	2.2	1.8	2.1	1.6	1.9	1.9			
	40-80	3.8	3.0	3.2	2.8	2.9	3.2			
	80-120	5.1	5.2	4.9	4.9	4.0	5.0			
	120-150	5.6	5.4	5.3	5.1	4.7	5.0			
Correspondance			14 sur 20	17 sur 20	9 sur 20	12 sur 20	18 sur 20			

Le tableau 11 donne un exemple des résultats pour deux variantes de mélange dans le cas de la dose faible D<sub>1</sub> et trois variantes dans le cas de la dose forte D<sub>2</sub> de l'essai de lessivage. Une efficacité de 80 % provenant d'un mélange de 50 % dans la couche 0-40, 75 % dans la couche 40-80 et 100 % dans la couche 80-150, donné pour D<sub>1</sub> une meilleure correspondance qu'une

.../...

efficience de 100 %, c'est à dire un mélange complet, mais des efficacités plus faibles font de nouveau diminuer la correspondance. Pour la dose D<sub>2</sub> le meilleur résultat est obtenu pour une efficacité de 60 %, provenant d'un mélange de 30 % dans la couche 0-20, 40 % dans la couche 20-40, 60 % dans la couche 40-80, 70 % dans la couche 80-120 et 80 % dans la couche 120-150, alors que 20 % de l'eau passe directement à la nappe.

Pour la parcelle "Bilan" il ressort des calculs une efficacité de 95 % pour la période d'hiver et de 85 % en été. Il semble donc, que

- au fur et à mesure que la dose devient plus forte, l'eau se mélange moins bien avec la solution du sol, ce qui fait diminuer l'efficacité du lessivage.

- l'efficacité soit plus élevée en hiver qu'en été, ce qui peut s'expliquer d'une part par l'absence de fentes de sécheresse, d'autre part du fait que l'apport d'eau en hiver provient pour une partie assez importante de la pluie, dont l'intensité horaire est en général plus basse que celle d'une irrigation.

- pour le même sol l'efficacité puisse varier considérablement en fonction des facteurs mentionnés plus haut, dans le cas de nos essais déjà de 60 à 95 %.

Ceci confirme les résultats des essais de lessivage à Utique, où nous avons également constaté, que la façon d'irriguer, la technique des apports massifs par rapport aux irrigations fractionnées, a une très grande influence sur le lessivage.

Il semble donc probable que les différences entre nos résultats et ceux mentionnés par Reeve proviennent d'une part de la technique d'irrigation utilisée, d'autre part de la qualité du sol et de son état au moment du lessivage.

## RESUME

Le lessivage est nécessaire soit pour dessaler des sols très salés en vue de leur mise en valeur soit pour maintenir la salure des sols auparavant non ou peu salés à un niveau acceptable pour les cultures. Dans ce deuxième but on peut envisager le lessivage soit comme un procédé permanent en ajoutant à chaque irrigation un surplus d'eau au-dessus de la consommation de la culture, soit comme un procédé saisonnier, qui se pratique à certaines époques, soit au début ou à la fin de la culture, soit sur terre nue en jachère. Le lessivage saisonnier par rapport au lessivage permanent permet d'une part d'économiser de l'eau, d'autre part ce système est plus souple, parce qu'il permet de tenir compte des exigences des cultures et des conditions du climat.

Dans les conditions de la Basse Vallée de la Medjerdah, recevant environ 400 mm de pluie en hiver, on a d'après les résultats des essais à la station de Cherfech, située sur un sol argilo-limoneux, intérêt à orienter les irrigations vers l'économie d'eau en été, alors que le lessivage se fait aux premières et dernières irrigations et surtout en hiver. Il semble, que si les irrigations et la pluie arrivent à provoquer en hiver un drainage de l'ordre de 50 à 100 mm, la salure redescend à peu près jusqu'au niveau du printemps précédent. Cette quantité d'eau drainée doit être considérée comme une valeur moyenne étant fonction de la répartition des pluies et des irrigations.

Pour le dessalage des sols très salés la quantité d'eau nécessaire a été beaucoup plus faible que celle d'après les observations aux Etats Unis. Ceci pourrait s'expliquer d'une part par la technique d'irrigation utilisée, d'autre part par la qualité du sol et son état au moment du lessivage. Dans les essais effectués en Tunisie la technique d'irrigation a été celle d'épandre des petites doses sur une période plus longue au lieu de pratiquer un apport massif. L'efficacité du lessivage, c'est à dire le pourcentage de l'eau d'irrigation qui se mélange avec la solution du sol, diminue au fur et à mesure que la dose devient plus forte. Elle est également plus élevée en hiver qu'en été. L'état du sol, labouré ou pas labouré, intervient également sur l'efficacité du lessivage. Pour le même sol l'efficacité du lessivage peut donc varier considérablement en fonction de ces facteurs.

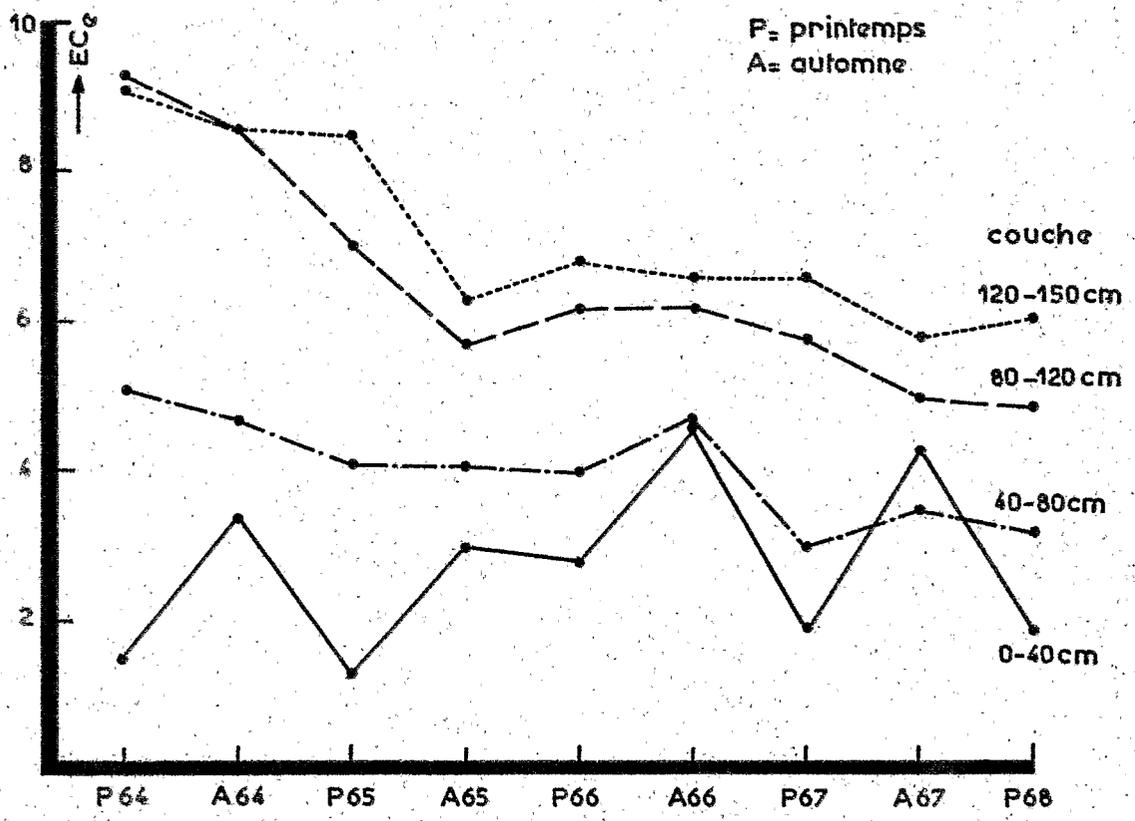
## BIBLIOGRAPHIE

1. Dieleman, P.J., Bonmans, J.H., Hulsbos, W.C., Lindenbergh, H.L.J., and van der Sluis, P.M. Reclamation of salt affected soils in Iraq. Publication 11, 1963. International Institute for Land Reclamation and Improvement.
2. Ollat, Ch., Becvarova, H., Bouzaidi, A., Combremont, R., van Hoorn, J.W., and Nanaa, O. Lessivage et désalcalinisation d'un sol salé à alcali. Symposium on salt affected soils; I.S.S.S. 1969.
3. Reeve, R.C. The relation of salinity to irrigation and drainage requirements. Transactions Third Congress on Irrigation and Drainage, Vol. V, 1957.
4. van Hoorn, J.W. Research on the utilisation of saline water for irrigation in Tunisia. Nature and Resources, Vol. II n° 2, 1966.
5. van Hoorn, J.W., Bierhuizen, J.F., Chaabouni, Z., Combeau, A., Combremont, R., Trabelsi, H., and Ollat, Ch. Besoin en eau des cultures irriguées à l'eau saumâtre. Transactions Seventh Congress on Irrigation and Drainage, 1969.

Figure 1

STATION DE CHERFECH — Parcelle "Bilan"

Evolution de la salure du sol



STATION DE CHERFECH—Essai Dose d'irrigation

Evolution de la salure du sol

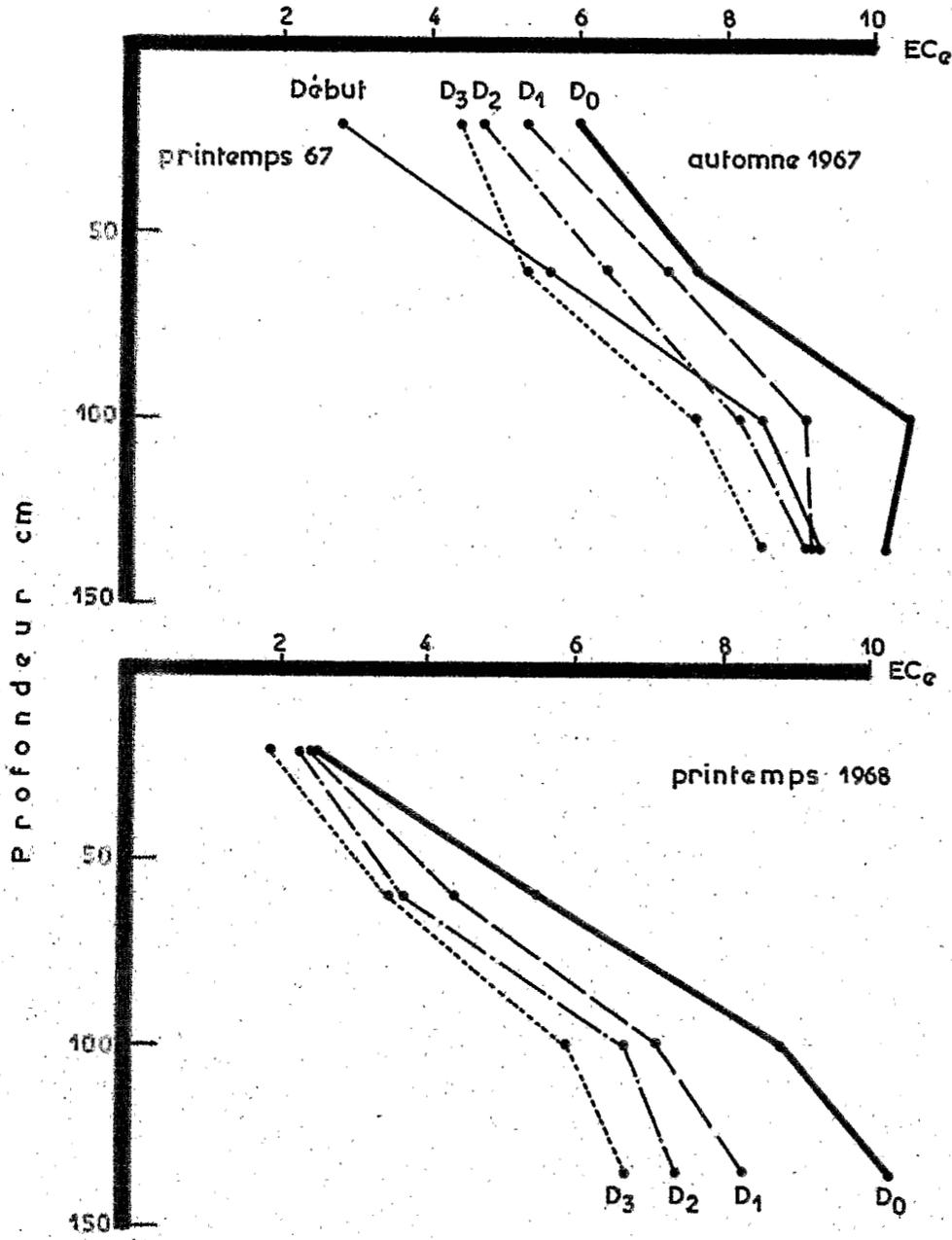


Figure 3

STATION DE TOZEUR—Parcelle "Bilan"  
Evolution de la salure du sol

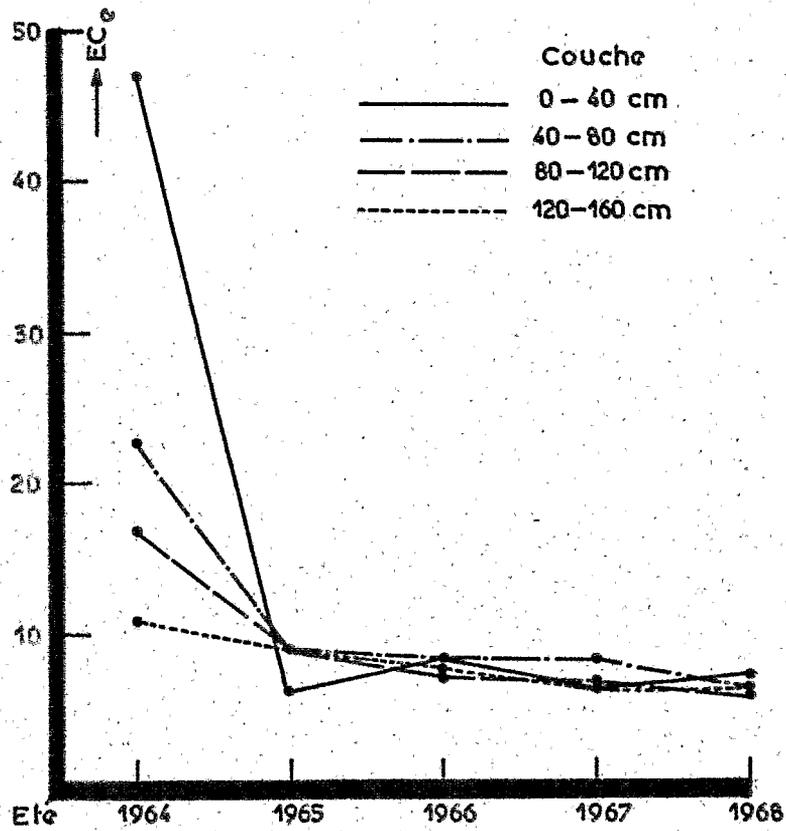
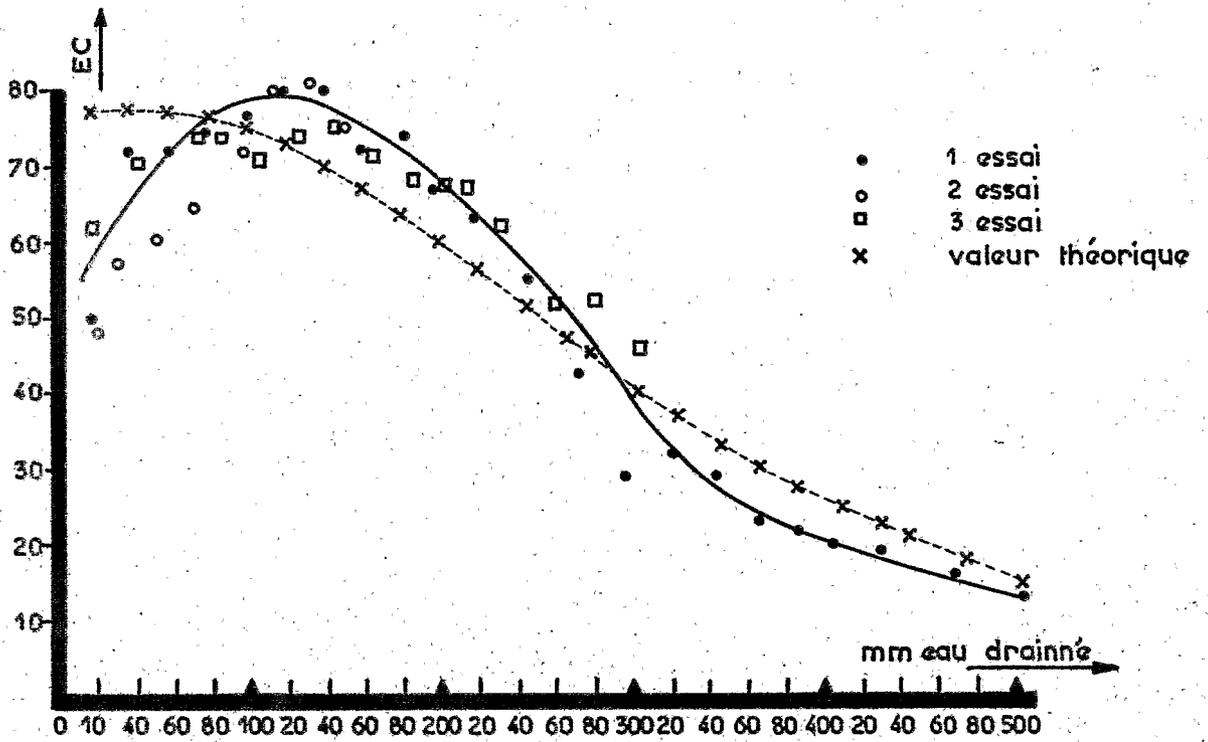


Figure 4

STATION DE TOZEUR—Lessivage sur bac

Relation entre la conductivité et la quantité d'eau drainée



Essai de lessivage à UTIQUE

Evolution de la salure du sol

