

Ahmed Saidi<sup>1</sup>  
 Moncef Hammami<sup>2</sup>  
 Hedi Daghari<sup>1</sup>  
 Abdessatar Hatira<sup>3</sup>  
 Wael Ltifi<sup>1</sup>  
 Khaled Hachani<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Institut national agronomique de Tunisie  
 43, avenue Charles Nicolle  
 1082 Cité Mahrajène  
 Tunis

Tunisie  
 Tunisie  
 <saidiahmed44@yahoo.fr>  
 <daghari.hedi@inat.agrinet.tn>  
 <ltifi\_wael@yahoo.fr>

<sup>2</sup> École supérieure d'agriculture de Mateur  
 Bizerte

Tunisie  
 Tunisie  
 <hammami.moncef@iresa.agrinet>

<sup>3</sup> Faculté des sciences de Tunis  
 Campus universitaire, 2092  
 EL Manar

Tunisie  
 Tunisie  
 Tunisie  
 <absat.hatira@fst.rnu.tn>

<sup>4</sup> SECADENORD  
 Route de Naassan  
 Ben Arous  
 Tunisie  
 <Khaled.hachani@gmail.com>

## Bilans d'eau et des sels dans le périmètre irrigué de Kalâat Landalous (Tunisie)

### Résumé

Une évaluation des bilans d'eau et de sel à l'échelle du périmètre irrigué de Kalâat Landalous au cours des campagnes 2006-2007 et 2007-2008 a été réalisée. Les résultats des bilans d'eau et des sels montrent une tendance annuelle à la dessalination du sol puisque les quantités de sels évacués par les eaux de drainage sont généralement supérieures à celles apportées par les eaux d'irrigation. Cette dessalination est d'autant plus importante que l'année est pluvieuse. En revanche, une accumulation de sels durant la saison d'irrigation a été enregistrée.

**Mots clés :** bilan hydrosalin, périmètre irrigué, salinité, Tunisie.

### Abstract

#### *Budgets for water and salts in the irrigated district of Kalâat Landalous (Tunisia)*

The main objective of this study was to assess the water and salt budgets in the Kalâat Landalous district for two consecutive hydrological years (2006-2007 and 2007-2008). The results obtained showed a clear desalination process. In fact, yearly off-site salt amounts were higher than input salt amounts. Still, seasonal salt accumulations could be observed and were recorded. These accumulated salt quantities were principally induced by an excessively high level of evapoconcentration.

**Key words:** irrigated district, salt balance, Tunisia, water balance.

Les ressources naturelles en eau et en sol sont de plus en plus sujettes à la surexploitation, à une mauvaise gestion et à la pollution [1]. En effet, plus de 1/6 des terres dans le monde sont touchées par la dégradation et la déforestation ; 6,4 % des terres seraient touchées par des phénomènes de salinité ou d'alcalinité, soit une superficie d'environ 10 millions de km<sup>2</sup> [2]. En conséquence, la superficie moyenne arable par habitant à travers le monde ne cesse de diminuer passant de 0,38 hectare en 1970 à 0,28 hectare en 1990 [3].

En zones arides et semi-arides, les surfaces à hautes potentialités agricoles sont de plus en plus rares et les surfaces irriguées sont en nette augmentation. Il est donc impératif d'accorder une grande importance à ces espaces irrigués.

Dans un pays à dominance climatique aride comme la Tunisie, l'irrigation

s'impose comme un choix incontournable pour améliorer la productivité agricole et pour répondre aux besoins diversifiés de la population. La Tunisie compte plus de 400 000 hectares de surfaces irriguées dont 25 % sont touchées par la salinisation [4]. Dans ces zones, les sols sont pauvres en azote minéral surtout sous formes ammoniacale et nitrique. Néanmoins, l'excès de ce dernier dans les sols irrigués suite aux amendements azotés pourrait constituer un problème environnemental pour les systèmes hydrologiques.

Le périmètre irrigué de Kalâat Landalous, objet de cette étude, présente une vulnérabilité à l'hydromorphie et à la salinisation. Ces problèmes sont dus à l'utilisation des eaux salées (30 % des ressources disponibles en Tunisie ont une salinité supérieure à 3 g/L) mais aussi aux caractéristiques climatiques et hydrologiques de la zone.

L'objectif de notre travail est d'établir les bilans d'eau et des sels du périmètre irrigué de Kalâat Landalous. Les mesures ont été menées durant deux années hydrologiques consécutives : 2006-2007 et 2007-2008.

## Matériel et méthode

### Description de la zone d'étude

Le périmètre irrigué de Kalâat Landalous (figure 1) est situé à 35 km au nord de Tunis sur la rive droite de la Mejerda et en bordure de la Méditerranée à une altitude de 3 à 5 m. C'est une plaine alluviale récemment gagnée sur la mer [5]. Le climat est de type méditerranéen semi-aride supérieur à hiver doux. La moyenne annuelle

des précipitations sur deux années (2006-2007 et 2007-2008) est de 428 mm. Les mois les plus pluvieux sont décembre et mars avec un cumul mensuel de 136,5 et 126 mm respectivement. La période sèche s'étale de fin avril jusqu'à septembre. La température moyenne maximale (32,2 °C) est enregistrée au mois d'août ; en revanche, le mois le plus froid est janvier avec une température minimale mensuelle de 10,1 °C.

### Ressources en sol

Les sols sont généralement peu évolués, d'apport alluvial à caractère vertique, récemment gagnés sur la mer [5]. Ils sont profonds et caractérisés par une texture fine (limono-argileuse à argilo-limoneuse) avec la présence, par endroits, d'hydromorphie et d'halomorphie [6].

L'analyse granulométrique menée dans quatre profils différents a montré la dominance des fractions fines. Les sols sont très argileux en surface et relativement moins fins en profondeur. La conductivité hydraulique mesurée dans les mêmes profils par deux méthodes différentes (de Porchet et de Müntz) varie entre 0,2 cm/h et 3,6 cm/h. Les caractéristiques physico-chimiques du sol d'un site représentatif de la parcelle d'étude sont consignées dans le tableau 1. Cette texture fine limitant l'infiltration et l'évacuation naturelle des eaux excédentaires est probablement la cause de problèmes liés à l'engorgement et à la salinisation des sols.

La conductivité électrique (CE) de l'extrait de la pâte saturée (tableau 1) montre un gradient croissant de sels, de la surface vers la profondeur, dû à l'influence de la

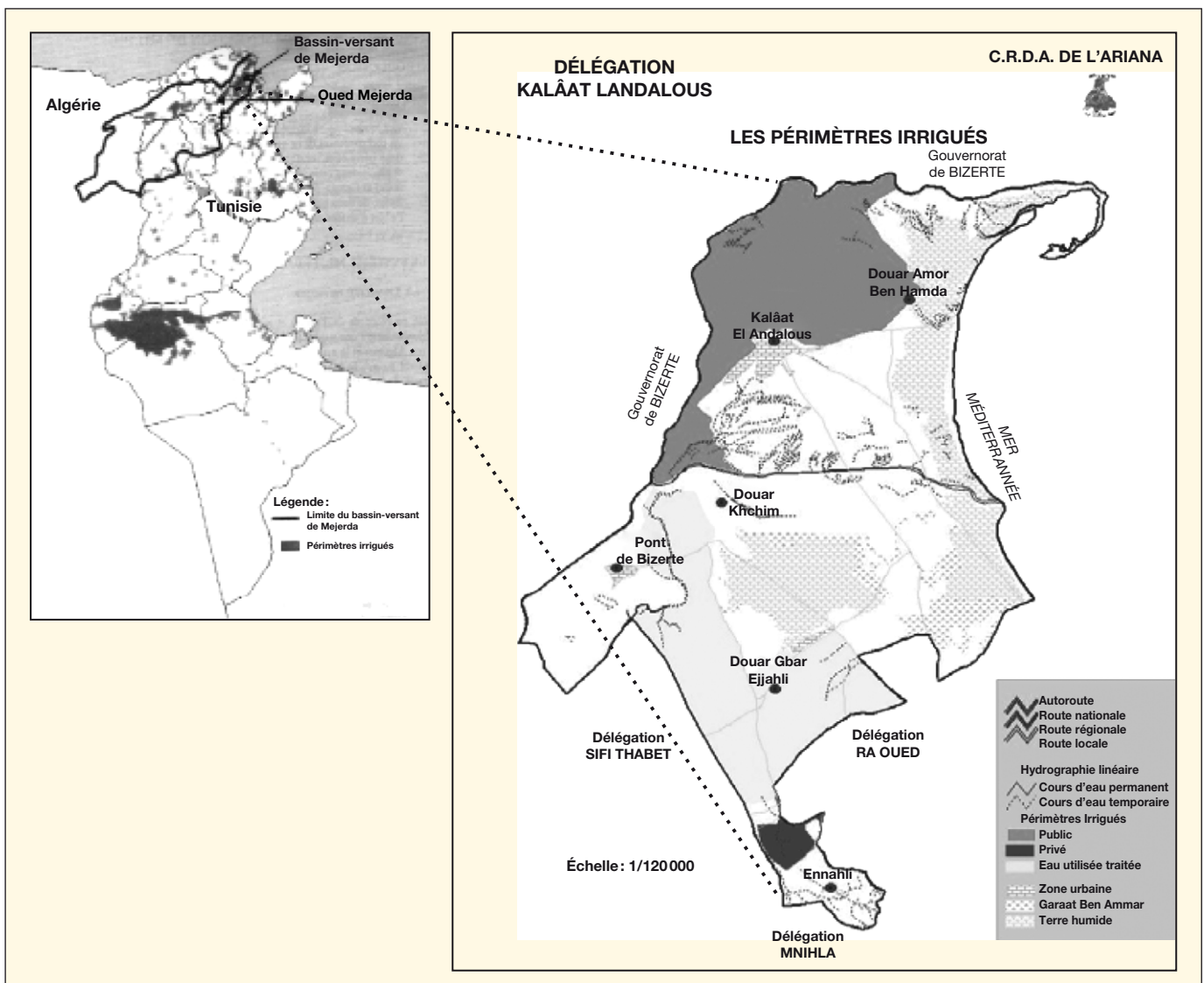


Figure 1. Localisation du périmètre irrigué de Kalâat Landalous.

nappe phréatique présente à partir de 130 cm de profondeur.

Le taux de matière organique (MO [tableau 1]) est élevé en surface en raison des amendements en fertilisants et reste inférieur à 2 % en profondeur. Le taux de calcaire total est élevé et atteint un maximum de 48 % dans l'horizon (0-60 cm). Le pH du sol est généralement basique, de l'ordre de 8. La capacité d'échange cationique (CEC) croît avec la profondeur et atteint 87,9 méq/100 g de sol entre 100 et 120 cm de profondeur (tableau 1).

### Ressources en eau et infrastructures hydrauliques

Le périmètre est alimenté à partir de l'oued Mejerda, principal cours d'eau en Tunisie. L'adduction en eau est assurée par trois stations de pompage gérées par la Société d'Exploitation des Canaux et des Adductions des Eaux du Nord (SECADENORD). Le réseau est sous pression et la desserte est à la demande. Ce réseau comprend 760 bornes, chacune équipée d'un compteur et d'un limiteur de débit de 3 L/s pour servir une superficie de 5 hectares. Le débit maximum disponible en tête du réseau est de 1 443 L/s répartis uniformément sur l'ensemble du périmètre. Les techniques d'irrigation adoptées sont principalement le goutte à goutte et l'aspersion.

Le drainage du périmètre est assuré par un réseau de tuyaux en PVC perforés de 80 mm de diamètre. Les files de drains sont espacées de 40 m et enterrées à une profondeur de 1,8 m. Les collecteurs secondaires sont des fossés à ciel ouvert de forme trapézoïdale, d'une profondeur de 1,6 à 1,9 m et écartés de 360 m. Ils déversent l'eau dans deux émissaires principaux qui débouchent dans la station de pompage (SP4) dont la cote est plus faible que le niveau de la mer (figures 2 et 3). Les eaux de drainage sont donc refoulées vers la mer grâce à 4 pompes dont le débit est de 3 000 L/s.

### Occupation des sols

Les grandes cultures représentent les principales spéculations agricoles (81 % de la superficie irrigable). Elles sont cultivées principalement en pluvial bien que la totalité du périmètre soit équipé par des réseaux d'irrigation et un réseau de drainage. L'irrigation de complément est très limitée. En effet, la céréaliculture en irrigué ne couvrirait que 600 hectares (soit 20 %) au cours de l'année 2007-2008.

Les cultures maraîchères occupent environ 20 % de la surface moyenne emblavée ; elles sont constituées essentiellement de cultures d'été : tomate, piment, courge

Tableau 1. Caractéristiques physico-chimiques du sol dans une parcelle à Kalâat Landalous.

Profondeur (cm)	Distribution granulométrique (%)			%MO	%CaCO <sub>3</sub>	CEC méq/100g	pH	CE mS/cm
	Argile	Limon	Sable					
0-20	32	50	18	4,6	42,2	4,7	8,0	2,5
20-40	45	52	3	1,8	43,5	17,0	8,1	2,0
40-60	47	49	4	1,3	44,0	23,0	8,2	1,9
60-80	35	58	7	1,9	46,2	26,1	8,1	2,9
80-100	24	61	14	1,3	36,8	71,9	7,8	4,7
100-120	21	39	40	2,9	48,0	87,9	7,9	6,1

MO : teneur en matière organique ; CEC : capacité d'échange cationique ; CE : conductivité électrique.

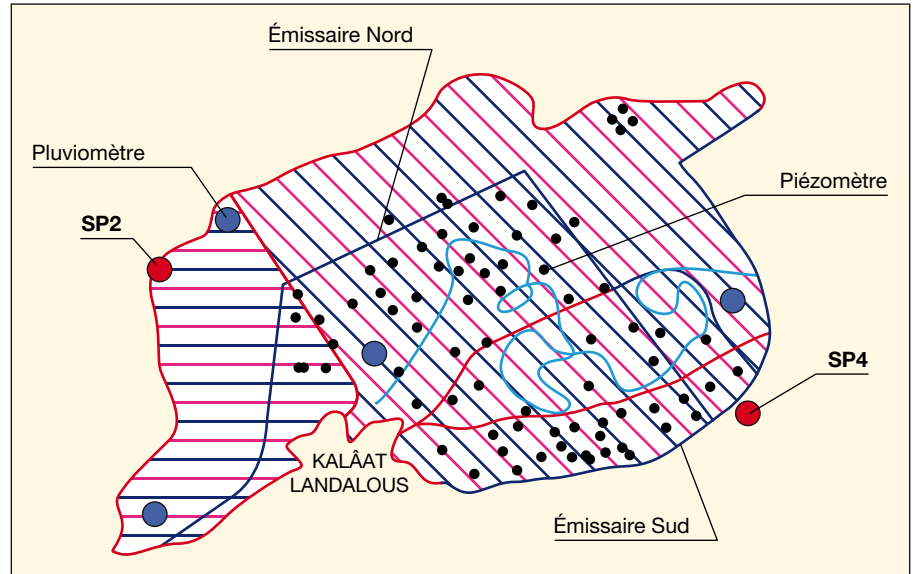


Figure 2. Schéma du réseau de drainage du périmètre irrigué de Kalâat Landalous. Traits rouges : réseau d'irrigation ; traits bleus : réseau de drainage.

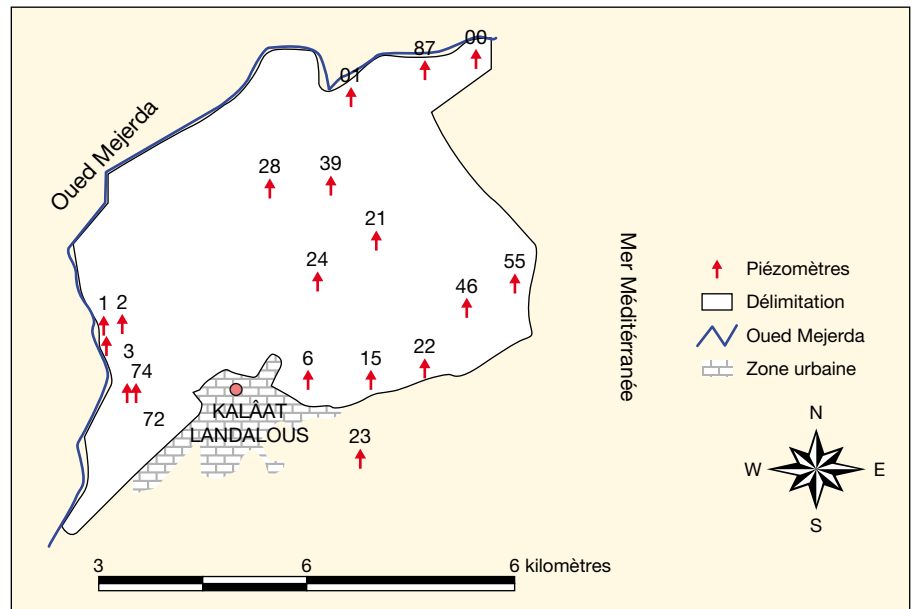


Figure 3. Localisation des piézomètres dans le périmètre irrigué de Kalâat Landalous.

et melon. Les fourrages occupent environ 38 % tandis que l'arboriculture est pratiquement absente.

Au cours de la campagne 2007-2008, la superficie cultivée varie d'un mois à l'autre. Elle est de 2 042 hectares pour le mois de novembre et de 589 hectares pour les mois de juin et de juillet. Le taux d'exploitation du sol était de 105 %.

### Suivi et mesures des paramètres des bilans d'eau et des sels

Les principales composantes du bilan d'eau sont la pluie, les volumes d'eau d'irrigation et de drainage, l'évapotranspiration réelle et le stock d'eau dans le sol. Ce dernier a été évalué à travers des mesures de la teneur en eau effectuées dans différents sites du périmètre.

Le périmètre irrigué est un système isolé où la pente est très faible. Il est caractérisé par un sol lourd et un couvert végétal souvent bien développé, ce qui limite tout écoulement de surface. Pour ces raisons, les ruissellements et les infiltrations latérales ont été négligés. Les remontées capillaires sont comptabilisées avec la variation du stock en eau du sol.

L'équation du bilan est donc réduite à :

$$(1) (P + I) = (ETR + D + \Delta W)$$

avec :

- P : pluie totale enregistrée durant toute la période de suivi. À cette fin, quatre pluviomètres ont été installés à différents sites dans le périmètre (figure 1). La hauteur de pluie retenue à chaque épisode est la moyenne de quatre lectures ;

- I : quantité d'eau apportée par irrigation durant toute la période de suivi. Les valeurs quotidiennes de I sont comptabilisées connaissant le débit et la durée de pompage au niveau de la station d'adduction SP2 (figure 2).

- ETR : évapotranspiration réelle des cultures pratiquées durant toute la période de suivi. Les valeurs de ETR sont comptabilisées en appliquant la formule :

$$ETR = K_c * K_s * ETP$$

( $K_c$  : coefficient cultural,  $K_s$  : coefficient de stress et ETP : évapotranspiration potentielle qui est égale à  $K_b * E$  où  $K_b$  est le coefficient du bac et E désigne l'évaporation bac en mm/j) ;

- D : quantité d'eau drainée à partir du périmètre durant toute la période de suivi. Les valeurs quotidiennes de D sont comptabilisées connaissant le débit et la durée de pompage au niveau de la station de refoulement SP4 (figure 2) ;

-  $\Delta W$  : variation du stock en eau du sol entre le début et la fin de l'année hydrologique.

Pour évaluer le stock d'eau dans le sol, des mesures de la teneur en eau ont été effectuées dans différents sites du périmètre. Également, un suivi de l'évolution du niveau et de la salinité de la nappe a été réalisé par le biais de piézomètres installés dans le périmètre (figure 3).

L'équation du bilan de sels utilisée est la suivante :

$$(2) I * C_i - D * C_d = \Delta S$$

avec :

$C_i$  : concentration en sels des eaux d'irrigation ;

$C_d$  : concentration en sels des eaux de drainage ;

$\Delta S$  : variation de la masse de sels dans le sol.

## Résultats et discussion

### Évaluation du bilan d'eau

Au cours des années 2006-2007 et 2007-2008, le niveau moyen de la nappe demeure constant aux alentours de 1,4 m. Le bilan d'eau a été calculé en appliquant l'équation (1). Les résultats sont consignés dans le tableau 2.

Pour les deux campagnes, les apports étaient différents des exports. Cela peut être expliqué par les erreurs de mesures des termes du bilan mais aussi par des éventuelles fuites à partir de la nappe même si son niveau demeure constant. Une future étude pourrait élucider cet aspect.

Par exemple, le volume des eaux de drainage semble être sous-estimé. Cela pour-

**Tableau 2.** Bilans d'eau (en  $10^6 \text{ m}^3$ ) pour les campagnes 2006-2007 et 2007-2008.

	2006-2007	2007-2008
Pluie (P)	12,82	12,02
Irrigation (I)	9,80	10,80
Drainage (D)	5,50	5,90
Évapotranspiration réelle (ETR)	15,90	15,60
Stock d'eau dans le sol (S)	1,10	1,70
Bilan d'eau (W)	0,12	-0,38

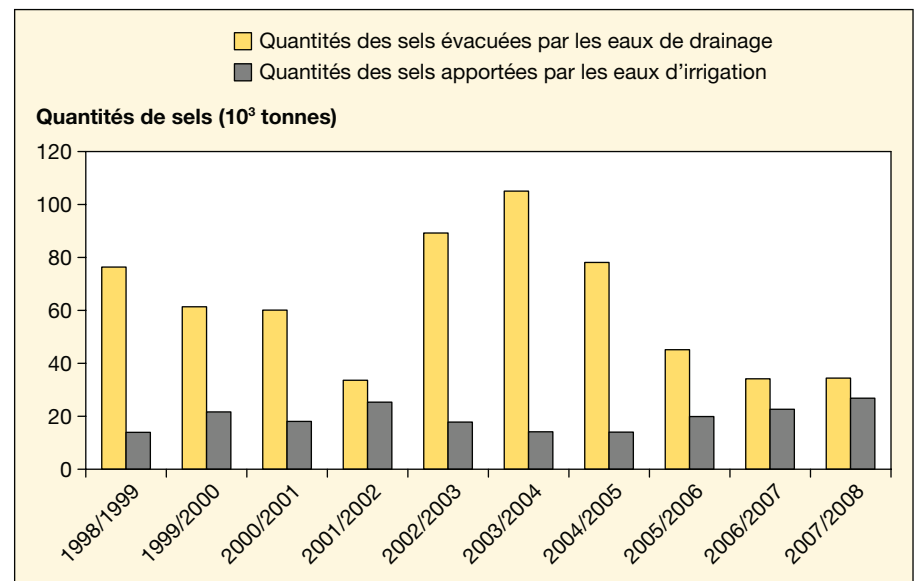
rait être dû, d'une part, à l'évaporation à partir des émissaires et des fossés à ciel ouvert, et, d'autre part, au pompage hivernal des eaux à partir des fossés.

### Évaluation du bilan salin

#### • Bilan salin de la période 1998-2008

Connaissant les quantités d'eau d'irrigation, de drainage et leur salinité, on a pu déterminer le bilan salin à l'échelle du périmètre. L'évolution du bilan salin durant la période 1998-1999 - 2007-2008 est illustrée par la figure 4.

Pour les cinq dernières années, les quantités de sels exportées par drainage sont en chute (figure 4), passant de 100 000 tonnes en 2003-2004 à 34 214 tonnes en 2007-2008. À noter que les pluies ont accusé une baisse au cours de cette période. Les quantités annuelles de sels exportées sont d'autant plus importantes que l'année est pluvieuse. Par exemple, pour les deux campagnes 2003-2004 et 2007-2008, la



**Figure 4.** Quantités de sels apportées par les eaux d'irrigation et évacuées par les eaux de drainage.

quantité de sels évacuée est plus importante durant la première campagne caractérisée par une forte pluviométrie (800 mm/an).

Les quantités de sels exportées sont nettement supérieures aux quantités apportées par irrigation (figure 4), ce qui explique la tendance générale à la dessalination des sols.

• Bilan salin des campagnes 2006-2007 et 2007-2008

Durant les deux campagnes considérées, des accumulations de sels ont été enregistrées durant les saisons d'irrigation (estivale). Elles étaient de 2 804 et 9 071 tonnes respectivement pour 2006-2007 et 2007-2008 (figures 5 et 6). Mais à l'échelle de l'année, on a enregistré d'importantes quantités de sels lessivés : 33 930 et 34 214 tonnes respectivement pour 2006-2007 et 2007-2008.

L'analyse des entrées et des sorties pour chaque campagne, aussi bien du bilan d'eau que du bilan des sels montre une nette dessalination du périmètre. Bien que durant la saison d'irrigation (avril-août), on assiste à une accumulation de sels dans le sol. En effet, dans la parcelle de tomate, la salinité est passée de 2 dS/m le 1<sup>er</sup> mai 2008 à plus de 8 dS/m le 1<sup>er</sup> juillet 2008, dans la couche 0-30 cm. Cette augmentation de la salinité est due aux apports d'eau d'irrigation.

## Conclusion

L'évaluation des bilans d'eau et des sels a montré une tendance annuelle à la dessalination du sol. En effet, pour une année hydrologique, les quantités de sels évacués par les eaux de drainage sont généralement supérieures aux quantités apportées par les eaux d'irrigation. Cette dessalination est d'autant plus importante que l'année est pluvieuse. À l'échelle saisonnière, en revanche, on a remarqué qu'il y a eu toujours une accumulation des sels : 2 804 tonnes et 9 071 tonnes respectivement pour les saisons d'irrigation (avril-août) 2006-2007 et 2007-2008. ■

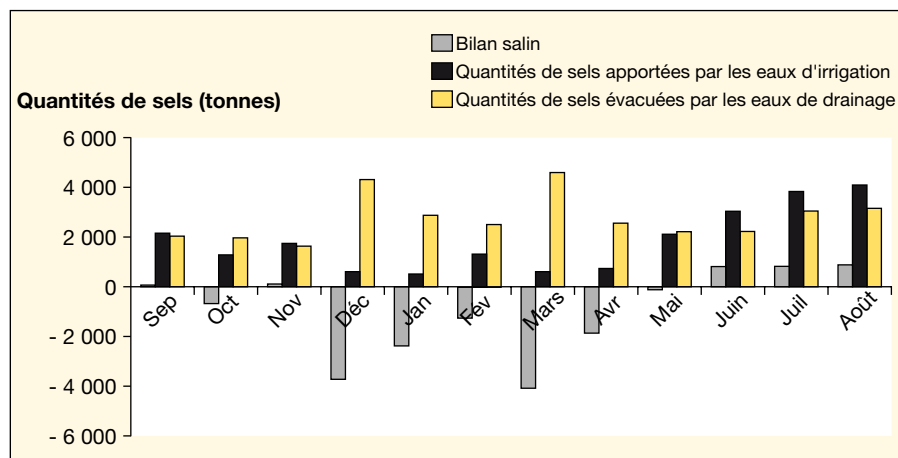


Figure 5. Quantités mensuelles de sels apportées par irrigation et évacuées par drainage pour l'année 2006-2007.

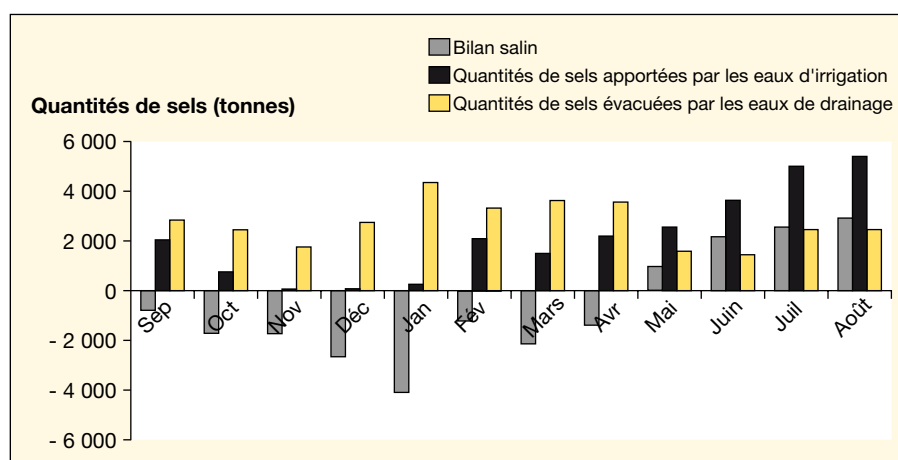


Figure 6. Quantités mensuelles de sels apportées par irrigation et évacuées par drainage pour l'année 2007-2008.

## Références

1. de Fraiture C, Wichelns D. Satisfying future water demands for agriculture. *Agric Water Manage* 2010 ; 97 : 502-11.
2. FAO. *Land resources: Potential and constraints at regional and country levels*. World Soil Resources report n° 90. Rome : FAO, 2000.
3. Ghassimi F, Jakeman AJ, Nix HA. *Salinization of land and water resources*. Canberra(Australia) : University of New South Wales Press Ltd, 1995.

4. Ministère de l'Agriculture et des Ressources hydrauliques de Tunisie. *Indicateurs du secteur agricole*. Tunis : ministère de l'Agriculture et des Ressources hydrauliques de Tunisie, 2006.
5. Jauzein A. *Évolution du delta de la Mejerda*. Travaux du laboratoire de géologie. Cours et documentations Orstom. Paris : Orstom éditions, 1971.
6. Ibrahim K. *Indicateurs de la qualité des terres : Contribution à l'élaboration des indicateurs et mise au point d'un système fonctionnel de suivi de la salinité des terres irriguées de la vallée de Mejerda*. Mémoire de maîtrise de l'Inat, 2003.