



QUANTIFICATION DE LA DOSE DE LESSIVAGE ET PERFORMANCE DU RESEAU DE DRAINAGE DANS LE PERIMETRE IRRIGUE DE KALAAT EL ANDALOUS (TUNISIE)

MORRIM.¹, DAGHARI H.¹

¹Département du Génie rural, eaux et forêts, Institut National Agronomique de Tunisie
(INAT)- 43, Avenue Charles Nicolle 1082, Mahrajène, Tunis.

morri.mabrouka@yahoo.fr

RESUME

En Tunisie, les sols salés occupent une superficie de 1,5 millions d'hectares, soit à peu près 25% de la surface totale des sols cultivables du pays. Le périmètre irrigué de Kalâat EL Andalous, objet de notre étude, fait partie de ce milieu et déjà, de faibles rendements agricoles y sont observés. Le présent travail a pour objectif de la quantification de la dose de lessivage de sel et la vérification de son efficacité pour prédire le risque de la salinité sur le sol et sur les plantes. La dose de lessivage mesurée est d'environ 1100 m³/ha, proche de la valeur théorique déterminée par la formule de Rhoades. Les quantités des sels apportées par l'eau d'irrigation sont d'environ 15 t/ha, les quantités lessivées sont d'environ de 9 t/ha. Les quantités accumulées dans la zone racinaire durant la saison d'irrigation sont de 6 t/ha.

Mots clés : Salinité, périmètre irrigué, Kalâat EL Andalous, dose de lessivage, drainage

ABSTRACT

In Tunisia, saline soils occupy an area of 1,5 million hectares, roughly 25% of the total area of arable land in the country. The irrigated area of Kalâat EL Andalous, is a part of this environment and already characterized by low yields. The present work aims to quantify the dose of salt leaching and verification of its effectiveness to predict the risk of salinity on the soil and on plants. The measured of leaching dose is about 1100 m³/ha, close to the theoretical value

determined by the formula of Rhoades. A quantity of salts made by the irrigation water is about 15 t / ha, the amount of leached salt is about 9 t / ha. The amounts of salt accumulated in the root zone during the irrigation season is 6 t / ha.

Keywords: Salinity, irrigated area, Kalâat El Andalous, leaching dose, drainage.

INTRODUCTION

Dans le monde et en Méditerranée particulièrement, l'eau est une ressource rare, fragile et inégalement répartie dans l'espace et dans le temps. Les demandes en eau ont doublé dans la deuxième moitié du 20^{ème} siècle pour atteindre, en 2005, 280 km³/an pour l'ensemble des pays riverains. L'agriculture, premier secteur consommateur d'eau, représente 64 % de la demande totale en eau (Fedrignon et al., 2001). Les approvisionnements en eau sont fragilisés dans plusieurs pays méditerranéens d'une part par la surexploitation d'une partie des eaux souterraines renouvelables (générant des intrusions salines qui rendent l'eau inutilisable) et, d'autre part, du fait de l'exploitation des ressources non renouvelables (dont les eaux fossiles).

Le climat tunisien est de type méditerranéen, caractérisé par des précipitations très irrégulières, et très variables dans l'espace qui peuvent atteindre 1200 mm dans le Nord et chute à moins de 100 mm dans le Sud. Aujourd'hui, la disponibilité de l'eau est la contrainte principale pour le développement de l'agriculture. En effet, le recours à l'irrigation est nécessaire pour assurer la rentabilité des différentes cultures en Tunisie (Chahed et al., 2008). C'est un moyen très ancien d'intensification de la production agricole. Elle s'est améliorée au cours des dernières décennies pour couvrir des centaines de milliers d'hectares répartis sur tout le territoire. Les périmètres irrigués sont aménagés le plus souvent dans des plaines alluviales, de part et d'autre des cours d'eau (vallée de la Medjerda), dans les plaines côtières et dans les oasis autour des puits et des forages.

Les ressources en sols et en eau de bonne qualité sont limitées, notamment dans la basse vallée de la Medjerda, lieu de notre expérimentation. De plus, pour créer des nouvelles zones irriguées, il est fréquent d'implanter des périmètres sur des sols médiocres et d'utiliser des eaux chargées en sels pour l'irrigation. Il en résulte des risques de salinisation à plus ou moins long terme. Les problèmes de salinisation rencontrés dans les périmètres irrigués sont également associés à des mauvaises pratiques de l'irrigation et à un manque de maîtrise et de contrôle d'une nappe peu profonde et salée. Une telle salinisation peut aboutir à la dégradation et à la stérilisation du sol cultivable, ce qui se répercute négativement sur les rendements des cultures. En effet, pour éviter cette salinisation à partir du plan d'eau souterrain, la majorité des périmètres exposés

à de possibles remontés de la nappe phréatique ont été équipés par des réseaux de drainage pour assurer le lessivage des sels et éviter l'hydromorphie. D'autre part, l'utilisation d'une eau chargée en sel pour l'irrigation nécessite de prévoir une dose de lessivage. Dans un souci d'économie d'eau et dans un pays où l'eau est rare et sous une irrigation localisée, on peut se demander si les pluies de la saison humide sont suffisantes pour lessiver tous les sels accumulés, durant la saison d'irrigation. Dans ce cadre, ce travail a été initié dans le but d'analyser l'efficacité de la dose de lessivage, le fonctionnement et le choix de la profondeur du réseau de drainage dans le cas de Kalâat El Andalous.

MATERIEL ET METHODES

Description du site

Le périmètre irrigué de Kalâat El Andalous couvre une superficie irrigable de 2905 ha. Géographiquement, il est localisé entre les parallèles 37° 6' et 37° 2' Nord et les méridiens 10°5' et 10°10' Est. Le climat est de type méditerranéen semi-aride supérieur à hiver doux. La pluviométrie moyenne annuelle est de 490 mm pour la période allant de 1987 à 2008 avec un maximum de 800 mm (2003/2004) (Figure 1).

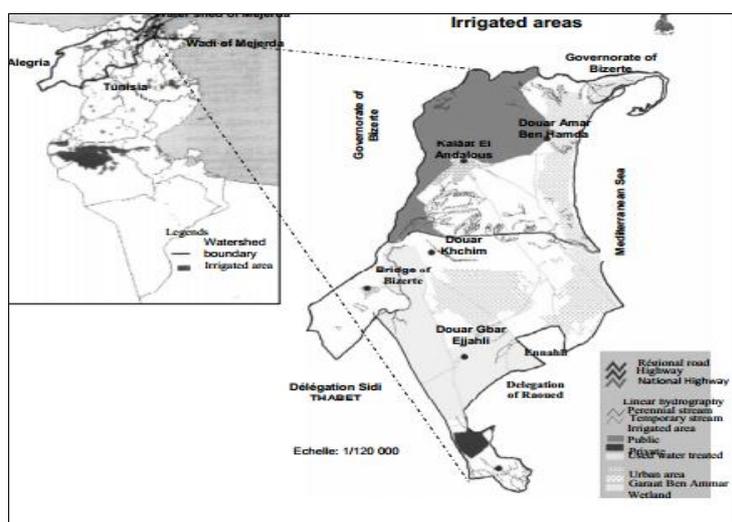


Figure 1 : Localisation du périmètre irrigué Kalâat EL Andalous

Caractérisation de la parcelle étudiée

L'exploitation agricole retenue pour la réalisation des différentes opérations de suivi se situe au Nord-Ouest du périmètre de Kalâat El Andalous à environ 1 Km de la zone urbaine. La superficie totale de la parcelle est de 2 ha occupée de courges plantées à partir du 20 avril 2011.

Réseau d'irrigation

L'eau d'irrigation est fournie par la SECADENORD. Les rampes sont de diamètre nominal de 16 mm espacées de 2,5 m, les plantes sont espacées de 2,5 m. L'espacement entre les goutteurs est de 0,4 m. Une distribution uniforme du débit sur l'ensemble de la parcelle n'est pas possible. En effet la détermination de débit moyen consiste à mesurer au moins sur quatre rampes le débit d'au moins de quatre goutteurs. La moyenne de l'ensemble des débits mesurés.

$$q_{\text{moyen}} = (\text{somme des 16 valeurs} / 16) \quad (1)$$

Réseau de drainage

Le réseau de drainage de l'exploitation agricole est composé de drains enterrés. Pour la parcelle concernée par l'étude, elle se trouve drainée moyennant 3 files de drains dont l'écartement est de 40 m, posées à 1,8 m de profondeur, avec 80 mm de diamètre et 170 m de longueur.

Mesure de la profondeur de la nappe

La profondeur de la nappe est mesurée à l'aide d'un piézomètre par une sonde.

ETUDE DES SOLS

Mesure de la salinité

Pour mesurer la salinité du sol, une campagne d'échantillonnage a été réalisée avant et au cours de la saison d'irrigation 2011. Les principales mesures effectuées au laboratoire de la direction des sols ont porté sur la conductivité électrique du sol, la salinité de l'eau d'irrigation, la densité apparente pour les couches du sol : 0- 20, 20-40, 40-60 et 60-80 cm.

Détermination de la conductivité électrique du sol

La salinité au niveau du profil du sol est évaluée par la méthode de l'extrait de la pâte saturée qui a été établie par les chercheurs de l'U.S. Salinity Laboratory à Riverside (USSS, 1954). Cette méthode sert de standard pour mesurer la charge en sels solubles dans le sol. Elle consiste à mettre le sol à un état hydrique de façon à se rapprocher des solutions salines existantes réellement dans le sol en place. Cette méthode exige une bonne expérience de la part de l'opérateur. Le principe de cette technique se résume comme suit : on prend 200 g de sol sec tamisés à 2 mm, les mettre dans une boîte puis on procède à la préparation de la pâte saturée par l'ajout progressif de l'eau distillée, tout en mélangeant. Une fois la pâte devient brillante, on y crée une fente au moyen d'une spatule. Ainsi, si la fermeture de cette cicatrice se fait rapidement, on doit cesser l'ajout de l'eau distillée. La boîte doit être fermée et laissée en repos pendant 24 heures. Après 24 heures, la pâte est mise dans un dispositif en connexion avec une pompe à vide qui permet la succion de la solution du sol (extrait de la pâte saturée). Cette solution est récupérée dans un flacon pour servir à la mesure de la conductivité électrique moyennant un conductimètre de laboratoire.

Détermination de la densité apparente

Ce paramètre est déterminé par la méthode des cylindres qui consiste à prélever des échantillons de sol moyennant des cylindres de volume connu. Une fois récupérés, ces échantillons sont mis en étuve (105 °C) pour séchage jusqu'à stabilisation de leur poids sec. Ainsi, le rapport (Pourcentage de la saturation / Volume total) donne la densité apparente (d_a).

Calcul de stock de sel

On a utilisé l'équation proposée par Cruesi (1970) pour le calcul du stock de sels dans le profil du sol :

$$S = C * Z * D_a * P_s * 100 \quad (2)$$

S: stock de sels (kg/ha)

C : concentration en sels (g/l)

Z : profondeur du sol (cm)

D_a : densité apparente (g/cm^3)

P_s : pourcentage de saturation (%)

Nous avons calculé le pourcentage de saturation moyen des échantillons de sol pour les couches comprises entre 0 et 80 cm ; le pourcentage de saturation est

le rapport du volume d'eau distillée ajoutée à un poids du sol sec jusqu'à l'obtention de la pâte saturée.

$$P_s = (V/P) \times 100 \quad (3)$$

V : volume d'eau distillée (cm³)

P : poids du sol (g)

P_s : pourcentage de saturation(%)

Caractérisation des eaux

On s'intéresse au suivi de l'évolution de la salinité pendant la saison d'irrigation. Pour cela on réalise des prélèvements d'eau au niveau de la station de tête du système d'irrigation. L'analyse de la salinité de l'eau d'irrigation et de drainage a été réalisée au laboratoire de la direction des sols.

Calcul d'apport d'eau d'irrigation

Le calcul de l'apport d'eau par l'agriculteur se fait par la formule suivante :

$$\text{Apport (m}^3\text{/ha)} = \text{Débit moyen du goutteur} * \text{Nombre de goutteurs/ha} * \text{Durée totale d'irrigation.} \quad (4)$$

Avec débit moyen du goutteur q_m en m³/h et durée totale d'irrigation en h.

RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

Une bonne utilisation de l'eau dans les périmètres irrigués nécessite une évaluation régulière de quantités d'eau délivrées, utilisées par les cultures, perdues par le profil du sol ou stockées dans ce dernier. En effet, l'évaluation de cycle d'eau et des différents processus d'écoulement nécessite l'établissement du bilan d'eau hydrique. C'est une autre formulation de « loi de conservation de la matière ».

BILAN D'EAU

Pluviométrie (P)

Le suivi des précipitations dans le périmètre de Kalâat El Andalous a été fait grâce à un pluviomètre localisé dans le site de la cellule territoriale de vulgarisation (CTV). En effet, les précipitations enregistrées durant la saison d'irrigation (Mai-Août) sont faibles (Tableau 1). Elles n'ont été que de 6,3 mm.

Tableau 1 : Précipitation (mm)

mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août
P (mm)	27,5	101,1	28,4	78,5	6,3	0	0	0

Volume d'eau d'irrigation apporté par l'agriculteur (I)

Les courges d'été sont particulièrement sensibles à la sécheresse. Un manque d'humidité donne souvent un fruit peu ou mal développé. L'irrigation de courge a débuté à partir du début Mai et s'est achevée vers mi - Août (Tableau 2).

Tableau 2 : Calendrier d'irrigation dans la parcelle étudiée

Mois	Mai	Juin	Juillet	Août
Période d'irrigation (jours)	2	1	3	1
Nombre d'irrigation	15	30	11	15
Durée d'irrigation (h)	2	2	4	4

L'importante période d'irrigation retenue en Juillet par comparaison aux autres mois est dictée par les répercussions négatives sur la floraison et la nouaison car un excès d'irrigation au mois de Juillet provoque la chute des fleurs et des jeunes fruits d'après l'agriculteur. Le débit moyen des goutteurs q_m est égal à 2,55 l/h. La quantité d'eau apportée durant chaque mois est présentée dans le tableau 3.

La quantité totale d'eau apportée par l'agriculteur pendant la saison d'irrigation est de 5046 m³/ha.

Tableau 3 : Volume d'eau apporté par l'agriculteur pendant la saison d'irrigation

Mois	Volume d'eau apporté (m ³ /ha)
Mai	780,3
Juin	1560,6
Juillet	1144,4
Août	1560,6

Volume de drainage durant la saison d'irrigation (D)

Durant les mois de Mai et Juin, le débit évacué à travers les sorties de trois drains enterrés est négligeable ou presque nul. Par contre, au cours de mois de Juillet, on a remarqué un écoulement d'eau à travers les trois files du drain. Les

débits mesurés à la sortie de drains D1, D2 et D3. Le volume total de drainage D est d'environ 337m³/ha.

Evaluation de l'évapotranspiration des cultures (ETc)

Selon la définition donnée dans le bulletin de la FAO-56, le besoin en eau d'une culture est la quantité d'eau nécessaire pour couvrir les pertes en eau par évapotranspiration d'une culture saine, cultivée en grande parcelle, sans contraintes du sol (fertilité et humidité). Cette définition correspond à l'évapotranspiration culturale (ETc) qui est le produit de l'évapotranspiration de référence (ET0) et le coefficient cultural (Kc).

L'ET0 a été calculée par le logiciel CROPWAT en utilisant la formule de Penman Monteith (FAO, 1985) et des données climatiques. Le chapitre 6 du FAO 56 comporte les valeurs des coefficients culturaux (kc) pour différentes cultures et différentes phases de croissance. La valeur de l'ETc durant la saison d'irrigation est de 3863 m³/ha (tableau 4).

Tableau 4 : Evapotranspiration cultural (mm)

Mois	Mai	Juin	Juillet	Août
ET0	120	136	142,6	121
Kc	0,6	0,7	0,9	0,75
ETC	72	95,2	128,34	90,75

Evaluation de volume d'eau percolé vers la nappe pendant la saison d'irrigation Δw

On rappelle que les files de drains sont installées à 1,8 m de profondeur. Avant le commencement de l'irrigation, le niveau de la nappe a été à 2,2 m (Figure 2). Jusqu'au 15 Juillet, la nappe a été au dessous ou presque au même niveau que les drains et aucun écoulement à la sortie des drains, n'a été observé. On peut dire que les quantités d'eau apportées ont reconstitué la réserve du sol dans la zone racinaire et n'ont pas été suffisantes pour provoquer un écoulement à travers les sorties de drains. Suite aux apports d'eau par irrigation le niveau de la nappe a augmenté pour atteindre 1,48 m à la fin de la saison d'irrigation. Toutes les mesures de la nappe ont été faites à l'inter-drain. Les réserves, qu'ont atteint la nappe peuvent être calculées, en supposant que le sol était initialement à la capacité de champs et par la suite le stock d'eau au-delà de la zone racinaire est calculé comme suite :

$$\Delta W = (e - \theta_{cc})\Delta N \quad (5)$$

ε : Porosité (%)

θ_{cc} : Teneur en eau à la capacité au champ (%)

ΔN : Variation de niveau de nappe durant la saison d'irrigation.

La teneur en eau est de 32%, la porosité est de 43% et la variation de nappe est 0,72 met par la suite ΔW est de 792 m3/ha.

Après la détermination de différentes composantes hydrologique à savoir :
 $P = 6,3$ mm, $I = 504,6$ mm, $D = 33,7$ mm, Etc. = 386,3 mm et $\Delta W = 79,2$ mm

Il devient aise de calculer le bilan hydrologique :

$$V = (P+I) - (D+ET_c + W) \quad (6)$$

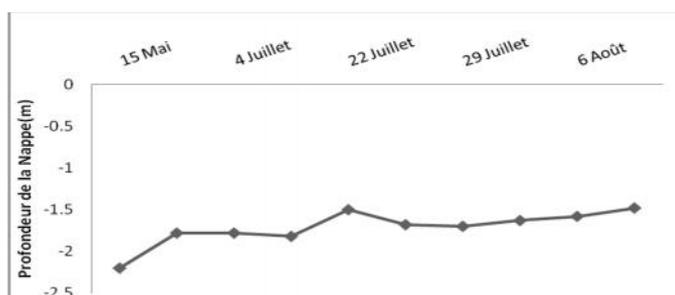


Figure 2 : Variation du niveau de la nappe pendant la saison d'irrigation

$$V = (6,3 + 504,5) - (33,7 + 386,3 + 79,2) = 11,6 \text{ mm.}$$

Un bilan d'eau positif est d'environ 12 mm. En effet, l'erreur observée dans l'établissement de bilan peut être imputée à la précision dans le calcul de différents termes hydriques ou bien à la variation de stock d'eau dans le profil de sol qu'on a supposé négligeable durant la saison d'irrigation vu que le sol était constamment humide. On vérifie par la suite que l'apport de l'eau d'irrigation par l'agriculteur comporte une dose de lessivage. On se pose la question si la dose de lessivage par l'eau d'irrigation est en mesure d'empêcher l'accumulation du sel dans la zone racinaire ce qu'on va vérifier par l'analyse de la salinité du sol afin de procéder à une comparaison entre le stock de sels dans la zone racinaire, avant et après la saison d'irrigation.

Stock de sel

Salinité du sol

Les échantillons du sol ont été prélevés en dessous des goutteurs (sous la plante) (juste après chaque irrigation) pour les couches 0- 20, 20-40, 40-60 et 60-80 cm aux dates suivantes : le 14 Avril 2011, le 17 Mai 2011, le 18 Juin 2011,

le 2 Juillet 2011 et le 2 Août 2011. On remarque l'augmentation de la salinité dans le profil de sol durant la saison d'irrigation (Figure 3).

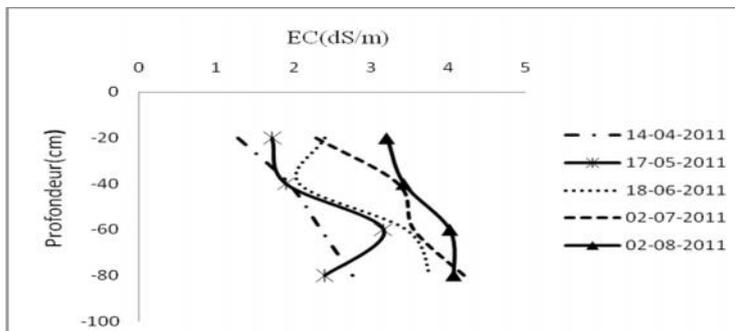


Figure 3 : Profil de salinité à différentes dates sous une culture de courge

En effet, la salinité moyenne au démarrage de la saison d'irrigation est d'environ 2 dS/m, elle augmente à la fin de la saison pour atteindre une salinité d'environ 4dS/m ce qui confirme l'effet de l'eau d'irrigation sur l'accumulation de sel dans la zone racinaire. Les sels dissous dans les eaux d'irrigation tendent à s'accumuler dans le sol sous l'effet de l'évaporation et de la transpiration des plantes qui provoquent la concentration progressive de la solution du sol.

Densité apparente et pourcentage de saturation

Disposant de la densité apparente du sol (1,5 g/l), et du pourcentage de saturation moyenne (57%). On peut calculer les stocks de sels dans le profil du sol en utilisant l'équation (2) proposée par (CRUESI, 1970) (tableau 5). Le stock de sels dans la tranche de sol (0-60 cm) a été de 6,69 t/ha avant le démarrage de l'irrigation le (14/04/2011) et de 12,73 t/ha le (02/08/2011). Cette augmentation est due aux sels apportés par l'eau d'irrigation. Sachant que par volumes apportés ainsi que leurs salinités, on peut calculer les quantités des sels induits par l'irrigation qui sont en total de 14,9 t/ha. La quantité de sels stockés dans la zone racinaire est d'environ 6t/ha et par la suite la quantité lessivée est d'environ 8,86 t/ha au-delà de la zone racinaire. En effet, la salinité moyenne de l'eau de drainage est d'environ 10,2 mS/cm donc une quantité de 2,4 t/ha est exportée dans les eaux de drainage. On voit bien que les quantités de sels exportées sont inférieures aux quantités lessivées en deçà de 60 cm de profondeur. Cette différence correspond aux quantités de sels stockées dans la tranche de sol comprise entre 60 cm et la surface libre de la nappe ou qui sont parvenues à la nappe.

Tableau 5 : Stock de sels dans la parcelle étudiée durant la saison d'irrigation en (t/ha)

Couche (cm)	14Avril 2011	17Mai 2011	18Juin 2011	2Juillet 2011	2Août 2011	Variation du stock de sel (14Avril-2 Août)
0-20	1,54	2,05	2,87	2,74	3,83	2,29
20-40	2,33	2,27	2,48	4,02	4,09	1,76
40-60	2,82	3,78	4,14	4,26	4,81	1,98
Total (zone racinaire)	6,69	8,1	9,49	11,02	12,73	6,03
60-80	3,30	4,58	4,50	5,03	4,86	1,56

Généralement, les volumes d'eau lessivés en deçà de la zone racinaire sont repartis entre :

- Quantités qui vont servir à l'augmentation de la réserve en eau de la tranche du sol comprise entre la zone racinaire et la surface libre de la nappe qui est généralement négligeable
- Quantités qui sont contribuées à l'augmentation de la nappe ΔW
- Quantités évacuées à travers le réseau de drainage.

Détermination de la dose de lessivage (DL)

La détermination de la dose de lessivage apportée par l'eau d'irrigation a été faite par deux méthodes. La première, est basée sur les principaux résultats de mesures relatif ou bilan d'eau et la deuxième, est basée sur l'application de formule de Rhoades .

Détermination de dose de lessivage basée sur les valeurs mesurées

En utilisant le volume de drainage D ainsi la variation de la nappe ΔW mesurés précédemment, on a déterminé la dose de lessivage DL :

$$DL = \Delta W + D \quad (7)$$

La dose de lessivage mesurée est de 1129 m³/ha, par la suite la fraction de lessivage est de 0,22. Cette valeur mesurée on va la comparer avec la valeur théorique calculée par la formule de Rhoades.

En utilisant la formule de Rhoades, le calcul de dose de lessivage se fait par la détermination de fraction de lessivage. La fraction de lessivage (FL) dépend également du débit maximum acheminé par les conduites d'irrigation.

La Formule de Rhoades

Selon Valles et al (1983) la formule de Rhoades est présentée comme suit :

$$FL = \frac{CE_i}{5CE_e - CE_i} \quad (8)$$

CE_i : Conductivité électrique de l'eau d'irrigation (mS/cm)

CE_e : conductivité électrique de la pate saturée (mS/cm). L'application de la formule de Rhoades exige la détermination de la salinité de l'eau d'irrigation, ainsi que la salinité moyenne dans le profil de sol (Tableau 6).

Tableau 6 : dose de lessivage théorique

Mois	Mai	Juin	Juillet	Août
EC _i (ms/cm)	3,2	2,9	2,93	2,9
EC _e (ms/cm)	2,26	2,64	3,06	3,54
FL	0,39	0,28	0,23	0,19
Dose (m ³ /ha)	304,3	436,9	263,2	296,5

La dose de lessivage DL est de 1300 m³/ha très proche de la valeur mesurée précédemment (1129 m³/ha). La fraction de lessivage théorique est d'environ 0,25.

CONCLUSION

Cette étude a été menée dans une exploitation au Nord du périmètre irrigué de Kalâat El Andalous, dont l'objectif est la vérification de l'efficacité de lessivage ainsi que la validité de la profondeur de drains, retenue lors de la réalisation de ce projet, à savoir 1,8 m. Les volumes d'eau d'irrigation, de pluie, de drainage et d'évapotranspiration sont respectivement de 5049 m³/ha, 63 m³/ha, 337 m³/ha et 3863 m³/ha. Quant à la variation de la nappe, elle est de 792 m³/ha. La dose de lessivage correspondant à la somme des volumes d'eau collectée dans le réseau de drainage et percolée vers la nappe, est d'environ 1100 m³/ha. En utilisant la formule de Rhoades, une valeur théorique de la dose de lessivage a été calculée, soit 1300 m³/ha. On remarque que les deux valeurs de dose de lessivage sont concordantes. Malheureusement, le lessivage de sels dans la zone racinaire n'empêche pas l'accumulation de ces derniers, ce qu'on a vérifié par le calcul de bilan de sel, qui indique l'accumulation d'environ 6 t/ha durant la

saison d'irrigation et lessivage d'environ 9 t/ha. Cette étude a montré le rôle de l'eau d'irrigation dans l'apport de sel qui s'accumule dans la zone racinaire et provoque des dégâts sur rendement et peut aboutir à la dégradation et à la stérilisation du sol cultivable. Il est donc impératif de mettre en place une stratégie de lutte contre la salinisation.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- CHAHED J., HAMDANE A et BESBES M. (2008). A comprehensive water balance of Tunisia: blue water, green water and virtual water, 415-424.
- CRUESI (1970). Recherche et formation en matière d'irrigation avec des eaux salées: Rapport Tech. CRUESI, Tunis/UNESCO, Paris.
- FAO (1998). Food and Agriculture ,Organization of the United Nations, Rome.
- FEDRIGONI L., MOHMED K., KAMEL Z., AHMED M., GIAN M.Z. (2001). Origine de la minéralisation et comportement hydrogéochimique d'une nappe phréatique soumise à des contraintes naturelles et anthropiques sévères : exemple de la nappe de Djebeniana (Tunisie), 665-671.
- VALLES V., VALLES A.M., DOSSO M. (1983). Irrigation des sols salés et doses de lessivage Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Pedol., vol. XX, no 2, 119-127.