

Evaluation of Soil Salinity in Semi-Arid Regions of Tunisia: Case of The Irrigated Public Perimeter of Lakhmess In Siliana

Evaluation De La Salinite Du Sol Dans Des Regions Semi-Arides De La Tunisie : Cas Du Perimetre Public Irrigue De Lakhmess A Siliana

A. BOUGHDIRI¹, G. TIBAOU¹, M. H. SELLAMI², S. SLIM¹, A. SAIDI³

¹ Ecole Supérieure d'Agriculture de Mateur

² Ecole Supérieure des Ingénieurs de Medjez El Bab

³ Institut National de Recherche en Génie Rural des Eaux et des Forêts de Tunis

*Corresponding author: amor.boughdiri@yahoo.fr

Abstract – The irrigated perimeter of Lakhmess is located in the region of Siliana, covers an area of 1275 ha, totally equipped by an irrigation network. Two study plots were choose, one public and one private owned by a farmer in the area. They occupy an area of two hectares, each 200 m long and 100 m wide. The durum wheat variety "Karim" was used. The irrigation system practiced is the classic sprinkler spreading 12x12m. This study aimed to evaluate and study the effect of salinity on the yield of durum wheat. Monitoring of water content and salinity was done in both farms. Mean real evapotranspiration was 4.8 and 3.4 mm d⁻¹ in the public and private sectors, respectively. Results show that the measured electrical conductivity varies from 0.7 to 0.9 dS/m. The average stock of salt was 4 t ha⁻¹ in both farms. Low yields are not due to salinity but to inefficient water management at the plot scale.

Keywords: electrical conductivity, salt stock, soil water content, real evapotranspiration

Résumé - Le périmètre irrigué de Lakhmess est situé dans la région de Siliana, couvre une superficie de 1275 ha, totalement équipé par un réseau d'irrigation. Deux parcelles d'étude ont été choisies : Une parcelle publique et une parcelle privée à la propriété d'un agriculteur de la région. Elles possèdent chacune une superficie de deux hectares, de longueur 200 m et de largeur 100 m. La variété du blé dur utilisée est Karim. Le système d'irrigation pratiqué est l'aspersion classique d'écartement 12x12m. L'objectif de cette étude est d'évaluer et étudier l'effet de la salinité sur le rendement d'une culture du blé dur. Le suivi des teneurs en eau et de la salinité at été effectué dans les deux parcelles. L'évapotranspiration réelle moyenne a été déterminée de 4,8 et 3,4 mm/j respectivement dans la parcelle publique et dans la parcelle privée. Les résultats montrent que la conductivité électrique mesurée a varié de 0,7 à 0,9 dS/m. Le stock moyen du sel a été estimé de 4 t ha⁻¹ dans les deux parcelles. Les faibles rendements ne sont pas dus à la salinité mais à une gestion inefficace de l'eau à l'échelle de la parcelle.

Mots clés : Conductivité électrique, stock du sel, Teneur en eau du sol, évapotranspiration réelle

1. Introduction

Dans les zones arides et semi-arides, l'irrigation des terres est impérative pour l'augmentation et la stabilisation de la production agricole. En effet l'apport d'eau d'irrigation entraine une diversification des cultures et une augmentation de leur rendement pour subvenir aux besoins des populations. Selon l'organisation des Nations Unis pour l'alimentation et l'agriculture (FAO, 2011), 272 millions d'hectares sont concernés par l'irrigation.

En Tunisie le secteur de l'Agriculture occupe une place importante dans l'économie du pays, elle contribue avec 11 % du PIB et assure l'emploi pour 22% de la population active. Le secteur irrigué occupe 8 % de la superficie agricole et contribue à environ 35 % de la valeur de la production agricole. Néanmoins, la Tunisie est un pays qui dispose des ressources en eau limitées. La part d'eau d'un tunisien



ne dépasse pas les 500 m³ par an. Elle est inférieure à la norme de la FAO qui est de 1000 m³/hab/an. En outre ces ressources en eau présentent une salinité supérieure à 3 g/l. Les sols salés occupent 1,5 millions d'hectares, soit 25 % de la surface totale des sols cultivables (Hamrouni et Daghari, 2007). Les périmètres irrigués sont aménagés le plus souvent dans les plaines alluviales de part et d'autre des cours d'eau (hautes et basses vallées de la Medjerda et dans les plaines côtières et les oasis).

Lorsque la nappe remonte et s'approche de la surface du sol, les sels initialement dissous se précipitent au niveau de la zone racinaire sous l'effet de l'évapotranspiration, entraînant ainsi une augmentation de la concentration saline dans les sols. En plus si la nappe est surexploitée à proximité de la mer, et que son niveau descend en dessous du niveau de la mer, celui-ci remonte pour équilibrer le niveau statique et entraîne l'augmentation de la concentration en sels dans la nappe (Lahlou et al. 2005).

La plupart des travaux de recherche menés dans les périmètres irrigués (Hachicha 1990, Ibrahim 2003, Slama et al, 2004, Saidi et al, 2010.) montrent une tendance annuelle à la désalinisation des sols suite au lessivage des sels par la pluie et une évacuation importante des sels grâce au réseau de drainage durant la saison pluviale.

L'effet de la salinité sur la plante peut varier selon le stade de développement. La réponse des cultures peut être différente au cours de la germination que pendant les stades ultérieurs (Van Horn, 1991).

Dans les conditions de salinité du milieu et d'eau d'irrigation, les plantes se confrontent à beaucoup des problèmes au moment de la germination et à la levée qu'aux derniers stades de développement végétatif, et dans certains cas la germination, ceci est remarqué chez les espèces sensibles. (Van Horn, 1991).

Les racines ont généralement une croissance moins inhibée que celle de la partie aérienne bien qu'elles sont les organes de la plante qui sont en contact avec l'excès de sels (Bernstein et Hayword, 1958 ; Strogonav, 1962).

Cette étude vise à la détermination et l'évaluation de la salinité sous une culture du blé dur « Karim » cultivée dans deux parcelles, une publique et une autre privée.

2. Matériel et Méthodes

L'expérimentation a été conduite dans l'exploitation du centre de formation professionnelle en Machinisme Agricole d'Elgantra Siliana (Nord Ouest de la Tunisie) située à 400 m d'altitude. Le sol est profond de texture limono-argileuse. Compte tenu de l'humidité à la capacité au champ volumique (Hccv); et l'humidité au point de flétrissement volumique (Hpfv); la réserve utile est de l'ordre de 130 mm/m. les paramètres mesurés sont résumés dans le tableau 1.

Tableau 1. Paramètres mesurés

Horizon (cm)	0- 20	20- 40	40- 60	60- 100
Argile (%)	60	65	60	40
Limon (%)	30	30	25	30
Sable (%)	10	5	15	30
Da	1.3	1.45	1.5	-
Hcc (%)	24.5	24	22.5	25
Hpf (%)	15	14	14	15
Stock hydrique à CC (mm/m)			340	
Stock hydrique à Pf (mm/m)			210	
Réserve utile (mm/m)			130	
PH			7.42	
Conductivité hydraulique (mm/h)			14	
Conductivité électrique de l'eau (dS/m)			0.75	
Niveau piézométrique de la nappe (m)			17	

2.1. Conditions climatiques

La région d'étude se caractérise par un climat de type méditerranéen, aride à semi-aride, à hiver doux et généralement pluvieux et été sec et habituellement chaud avec un automne et un printemps généralement tempéré. La pluviométrie moyenne de la région est de 380 mm pour une période de 24 ans (1974 à 1997), elle était de 666 mm durant l'année 2008/2009 (tableau 2). Les cumuls des précipitations enregistrées pour l'année 2008/2009 étaient de 414 mm entre le mois de décembre et mai. Elle est caractérisée par sa variation mensuelle et décadaire. Durant la deuxième décade du mois de janvier la hauteur de pluie la plus importante enregistrée était de 133 mm (tableau 3). Durant le cycle

végétatif du blé, la température moyenne durant l'année 2008/2009 était maximale durant le mois de mai, avec 27 °C. Tandis qu'elle était minimale durant le mois de janvier, avec 4°C. L'évapotranspiration potentielle de la zone d'étude a été déterminée par le modèle CROPWAT, elle était de 1560 mm durant l'année 2008/2009 dans la région.

Tableau 2. Paramètres climatiques dans la région de Siliana pour l'année 2008/2009

Mois	sep	oct	nov	déc	jan	fév	ma	avr	mai	juin	juill	août
Pluvio- métrie moyenne (mm)	43	39	41	32	35	39	46	39	35	11	6	14
Pluvio (2008/2009)	72	56	4	14	177	30	27	129	37	0	47	73
T max (°C)	31	25	20	15	14	14	18	19	27	33	38	36
T min (°C)	17	14	7	5	5	4	5	8	12	15	19	20
T moy (°C)	24	19	14	10	10	9	11	13	19	24	29	28
Evapo- transpiration (mm)	177	99	107	64	52	69	86	57	144	240	251	214

Tableau 3. Pluie mesurée par décade durant le cycle du blé pour l'année 2008/2009

Mois	déc			jan			février			mars			avril			mai		
Decade	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Pluie (mm)	14	0	0	16	133	28	4	19	9	14	0	13	24	93	10	2	35	0

2.1.1. Présentation de la zone d'étude

Le périmètre étudié appartient à la partie Sud-Est de la plaine de Siliana (rive gauche d'Oued Lakhmess), situé à 10 Kilomètres de la ville de Siliana sur la route 73 joignant Siliana et Ouesletia (figure 1). La longitude et la latitude du périmètre sont représentées ci-après :

- Longitude Est 7G81' et 7G89'
- Latitude Nord 39G97' et 40G69'

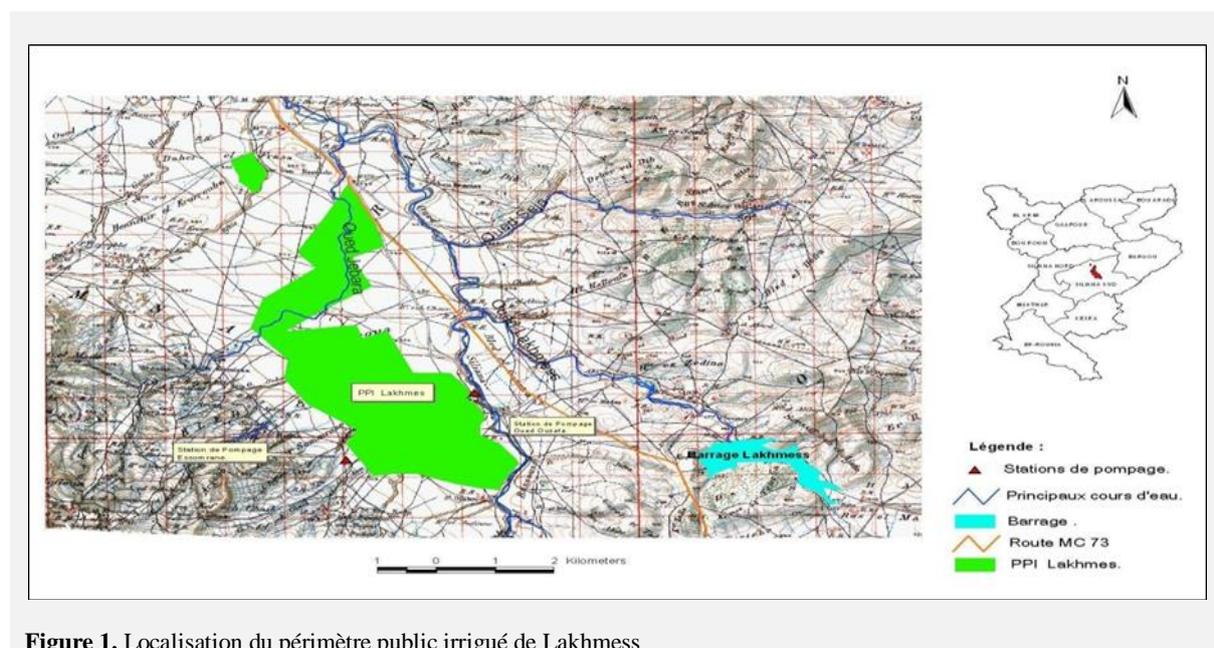


Figure 1. Localisation du périmètre public irrigué de Lakhmess

2.1.2. Paramètres mesurés

2.1.2.1. Teneur en eau pondérale

Le suivi d'humidité se fait par la méthode gravimétrique qui consiste à prendre des échantillons du sol à l'aide d'une tarière sur une profondeur de 1m et tous les 10 cm, l'humidité pondérale « Hm » est alors calculée par la relation :

$$H_m = 100 \times \frac{M_h - M_s}{M_s} \quad (2)$$

Hm : Humidité pondérale en %

Mh : Poids de l'échantillon humide en g

Ms : Poids de l'échantillon sec en g

2.2. Bilan hydrique

Le bilan hydrique dans les deux exploitations a été déterminé comme suit :

$$ETR = P + I - \Delta S \quad (3)$$

Avec : P : La quantité de pluie en mm enregistrée

I : Lame d'eau d'irrigation apportée en mm

ΔS : Variation de stock en mm

2.1.2.2. Conductivité électrique

Des mesures de la conductivité électrique ont été effectuées dans l'exploitation publique et privée. Elle est évaluée par la méthode de l'extrait de la pâte saturée (figure 2) qui a été établie par les chercheurs de l'U.S. Salinity Laboratory à Riverside (USSS, 1954).



Figure 2. Dispositif de mesure de la conductivité électrique

2.1.2.3. Détermination du stock du sel

Le stock du sel S dans le sol a été déterminé par la formule de CRUSEUI

$$S = 0,7x(CEe)xDa x PSxZx104 \quad (4)$$

Avec, CEe : conductivité électrique de la pâte saturée, Da : densité apparente du sol, PS : pourcentage de saturation, Z : Profondeur d'enracinement

2.2. Protocol expérimentale

Deux parcelles d'étude, l'une appartient à la propriété d'une exploitation publique et l'autre appartient à une exploitation privée, couvrant chacune une superficie de 2 ha. La variété du blé dur utilisée est Karim.

Les sources d'eau sont à partir d'un forage de débit 10 l/s et une borne d'irrigation qui irriguent respectivement la parcelle publique et la parcelle privée. La borne d'irrigation a un débit moyen de 4 l/s alimentée à partir du barrage de Lakhmess de salinité 1 g/l.

Le système d'irrigation pratiqué est l'aspersion classique d'un écartement 12x12 m. les deux exploitations sont conduites en régime d'irrigation de complément.

3. Résultats et Discussion

3.1. Apports d'eau

La pluviométrie totale mesurée dans les deux parcelles durant le cycle végétatif de la culture du blé a été de 414 mm.

La lame d'eau d'irrigation de complément a été de 100 mm dans la parcelle publique apportée en deux doses de 50 mm chacune : après semis et fin tallage (figure 3).

Dans la parcelle privée la lame d'irrigation est de 150 mm apporté en trois doses de 50 mm chacune : après semis, fin tallage et floraison (figure 4).

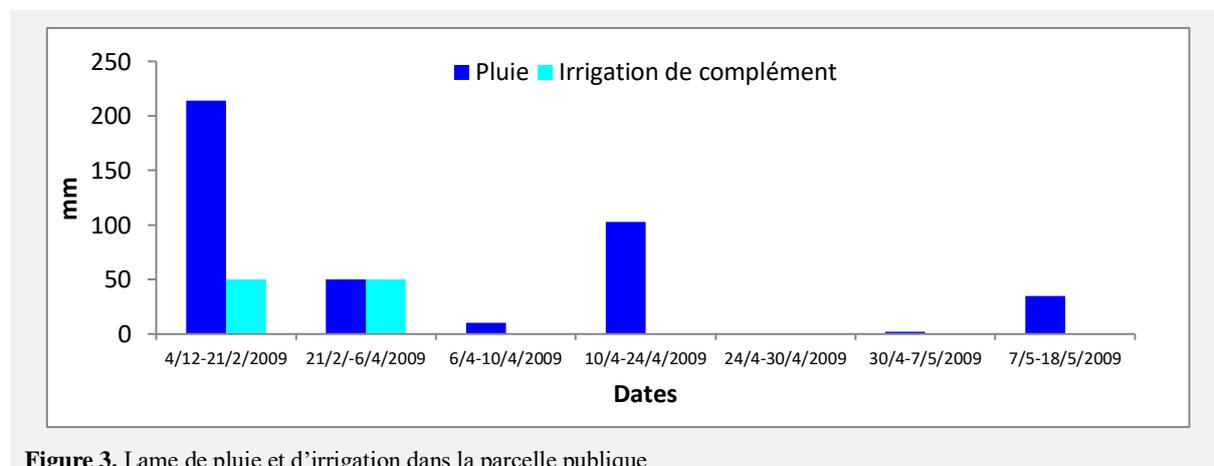


Figure 3. lame de pluie et d'irrigation dans la parcelle publique

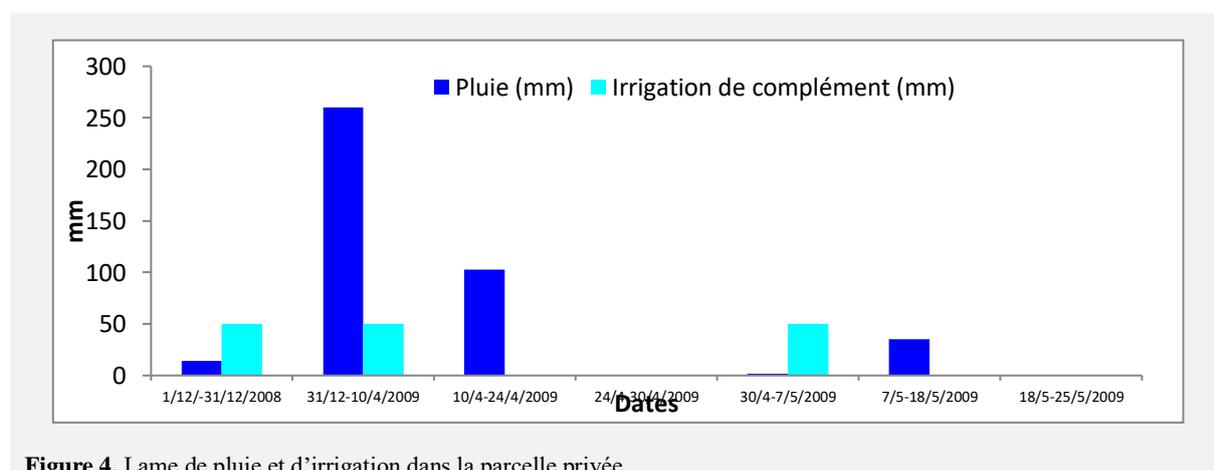


Figure 4. lame de pluie et d'irrigation dans la parcelle privée

3.2. Teneurs en eau mesurées

Les teneurs en eau du sol ont été suivies dans la parcelle publique à partir de la date de 21/02/2009 jusqu'à la date du 18/5/2009 et dans une parcelle privée relevant d'un agriculteur à partir de la date de 10/4/2009 jusqu'à la date du 25/5/2009. Cette période de suivi a été choisie car il s'agit d'une phase critique pour les cultures du blé.

Dans le cas de parcelle privée, la teneur en eau a été toujours supérieure à l'humidité au point de flétrissement permanent (figure 5), contrairement à la parcelle publique où on a enregistré une teneur en eau inférieure à l'humidité au point de flétrissement permanent aux dates du 7/5/2009 et 18/5/2009.

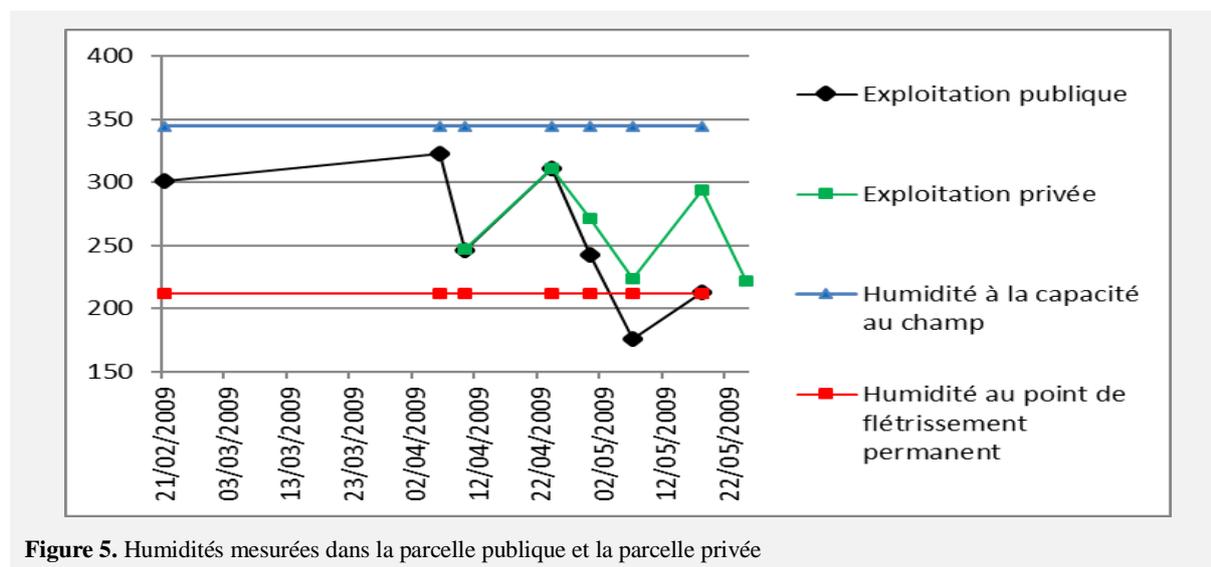


Figure 5. Humidités mesurées dans la parcelle publique et la parcelle privée

3.3. Bilan hydrique

Vu que la majorité des teneurs en eau mesurées sont comprises entre l'humidité à la capacité au champ et au point de flétrissement, le terme de drainage a été négligé. L'effet de capillarité a été aussi négligé car le niveau piézométrique moyenne de la nappe mesurée a été de 17 m. L'évapotranspiration réelle a été de 3,3 et 4,8 mm/j respectivement dans la parcelle publique et la parcelle privée (tableau 4). Cette différence peut être expliquée par la différence de stock entre les deux parcelles durant la période de suivi.

Tableau 4. Bilan hydrique de la parcelle publique et privée

	Exploitation publique	Exploitation privée
Pluie (mm)	200	140
Irrigation (mm)	50	50
Stock initial (mm)	301	250
Stock final (mm)	212	222
Evapotranspiration réelle (mm)	349	218
Evapotranspiration réelle (mm/j)	3.34	4.84

3.4. Variations du stock d'eau couche par couche

La variation cumulée du stock d'eau montre que dans la parcelle publique les variations sont dans la majorité des cas négatives, elles varient en moyenne de - 5 à -17 mm. Ces variations montrent l'importance de l'épuisement de l'eau dans les couches 60 à 100 cm (figure 6). Dans la parcelle privée ces variations demeurent positives variant de 2 à 6 mm en moyenne (figure 7). Dans les deux parcelles l'augmentation et la diminution du stock touchent toutes les couches.

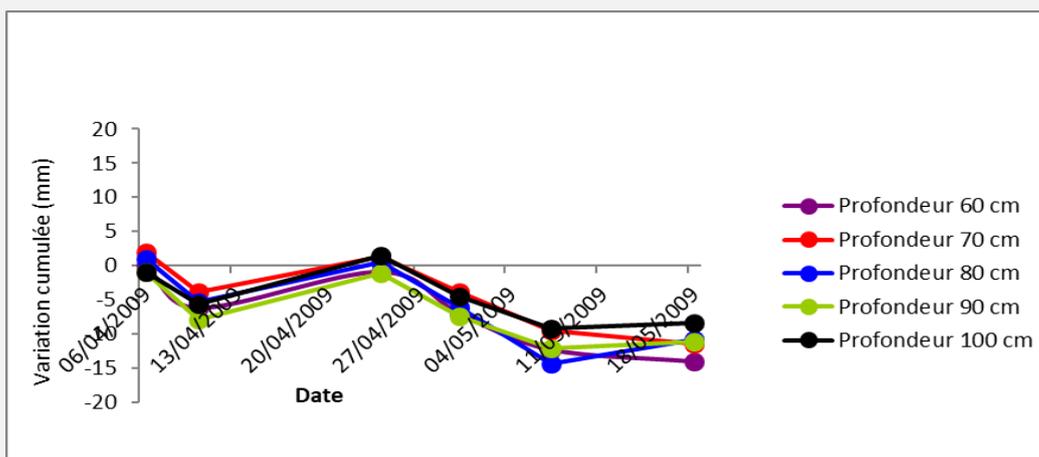


Figure 6. Variation cumulée dans la parcelle publique

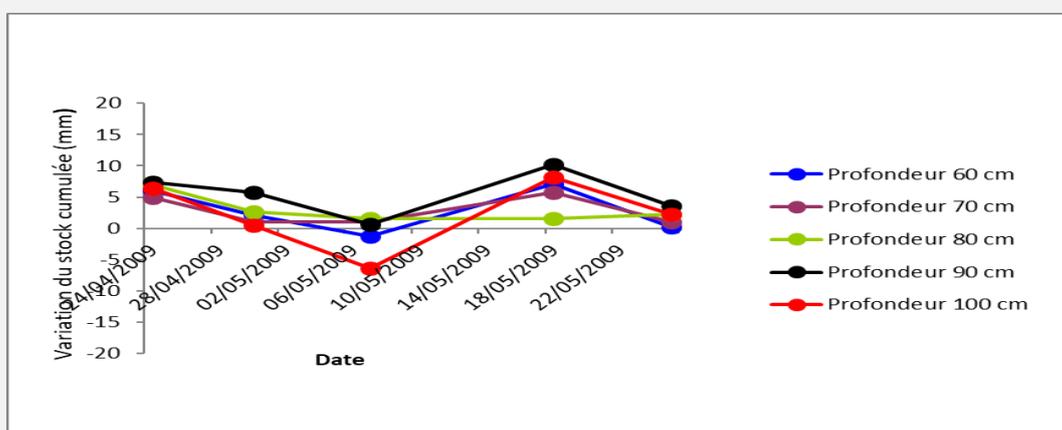


Figure 7. Variation cumulée dans la parcelle privée

3.5. Analyse de la salinité

3.5.1. Conductivité électrique du sol

Dans la parcelle publique la conductivité électrique varie de 772 à 1043 $\mu\text{s}/\text{cm}$ (figure 8), dans la parcelle privée varie de 639 à 702 $\mu\text{s}/\text{cm}$ (figure 9). Cette légère différence est expliquée par l'utilisation de sources d'eau de concentrations différentes en sels.

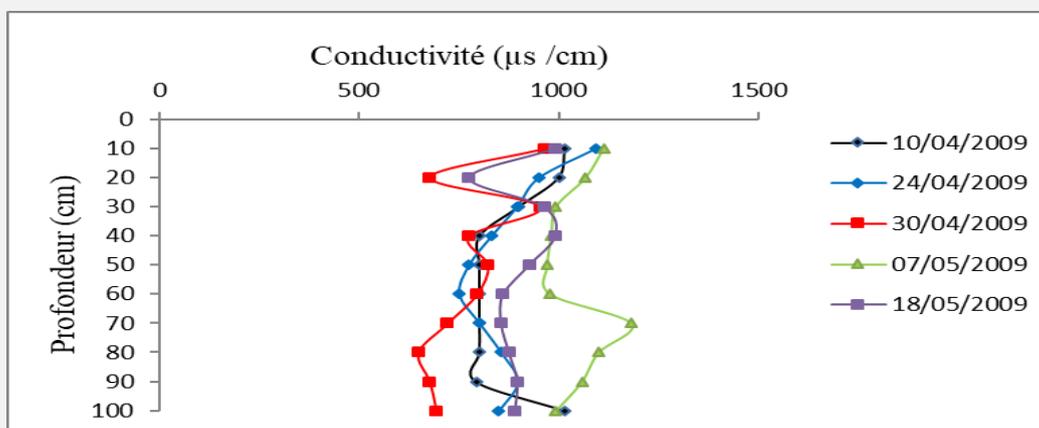


Figure 8. Evolution des conductivités électriques mesurées dans la parcelle publique

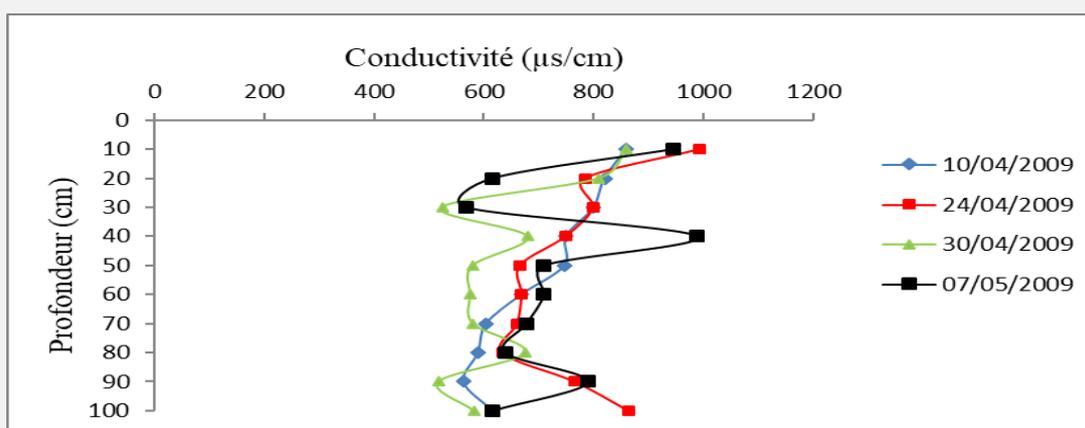


Figure 9. Evolution des conductivités électriques mesurées dans la parcelle privée

3.5.2. Détermination du stock de sel dans la couche 0-100 cm

3.5.2.1. Cas de l'exploitation publique

La quantité totale du sel mesurée dans toute la couche 0-100 cm a passé de 3.72 à 5.25 t/ha (figure 10). Cette augmentation peut être expliquée par l'apport d'irrigation. La diminution de la quantité du sel durant la période s'étalant de 7/05 à 18/05/2009 est due essentiellement au lessivage des sels par une lame de pluie de 35 mm observée durant cette période.

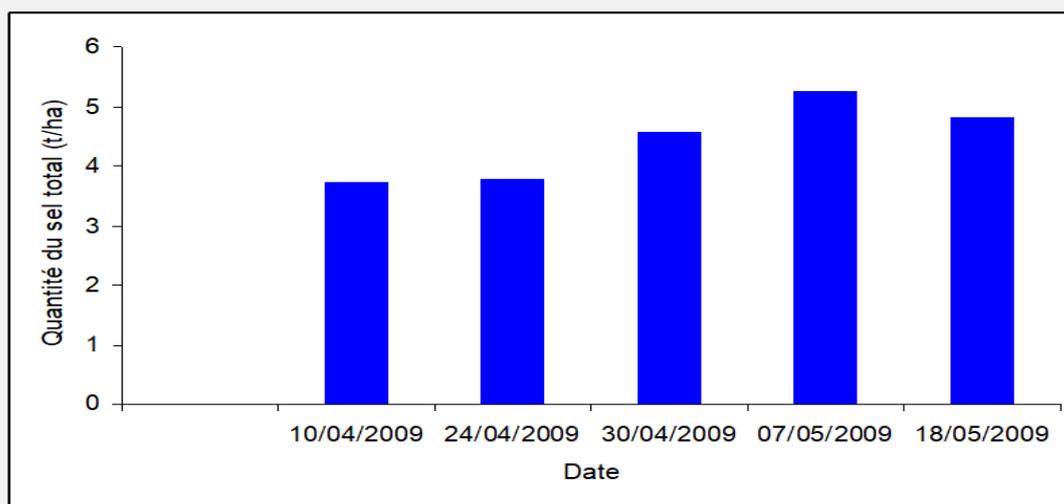


Figure 10. Quantité du sel pour toutes les couches (0-100 cm) dans la parcelle publique

3.5.2.2. Cas de la parcelle privée

Le stock du sel au démarrage de notre campagne de mesure a été de 3.38 t/ha dans la parcelle privée, et 3.72 t/ha dans la parcelle publique. Cette légère différence est expliquée par l'utilisation des différentes sources d'eau d'irrigation de concentration en sel différentes.

La quantité du sel totale accumulée dans la parcelle privée a évolué de 3.38 à 4.32 t/ha (figure 11). L'augmentation de la concentration en sels et du stock observée sont expliqués par le phénomène de l'évaporation du sol et l'application d'une lame d'irrigation de 50 mm le 1/5/2009.

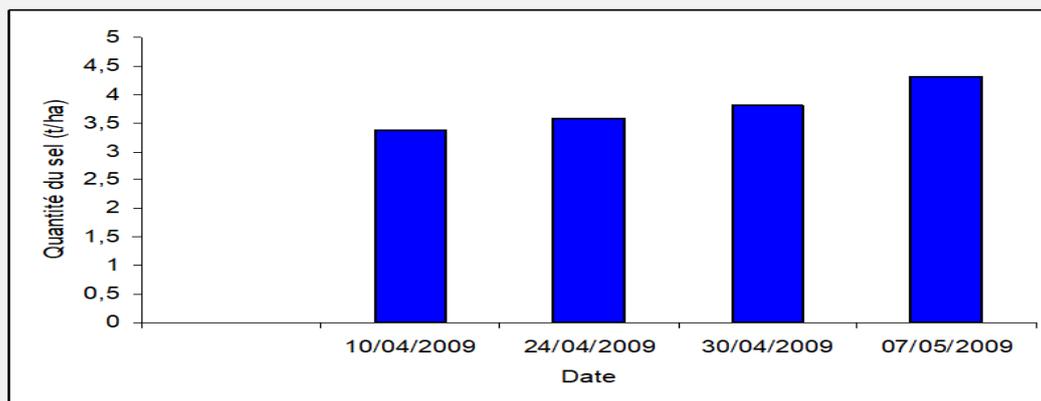


Figure 11. Quantité du sel pour toutes les couches (0-100 cm) dans la parcelle privée

3.5.3. Evolution du stock de sel

3.5.3.1. Cas de l'exploitation publique

Dans les couches 0-10, 10-20 et 20-30 cm, une diminution du stock de sels respectivement de 68, 172, 14 kg/ha en passant de la date 7/5/2009 à la date 18/5/2009 (figure 12). Cette diminution est due au lessivage des sels par une lame de pluie de 35 mm.

Dans les couches 60, 70, 80 et 90 cm, le stock de sels a augmenté respectivement de 209, 186, 152 et 236 kg/ha en passant de la date 24/4/2009 à la date 7/5/2009. Le stock de sels a diminué respectivement de 39-118-80 et 116 kg/ha durant la période de 7/5/2009 au 18/5/2009 (figure13).

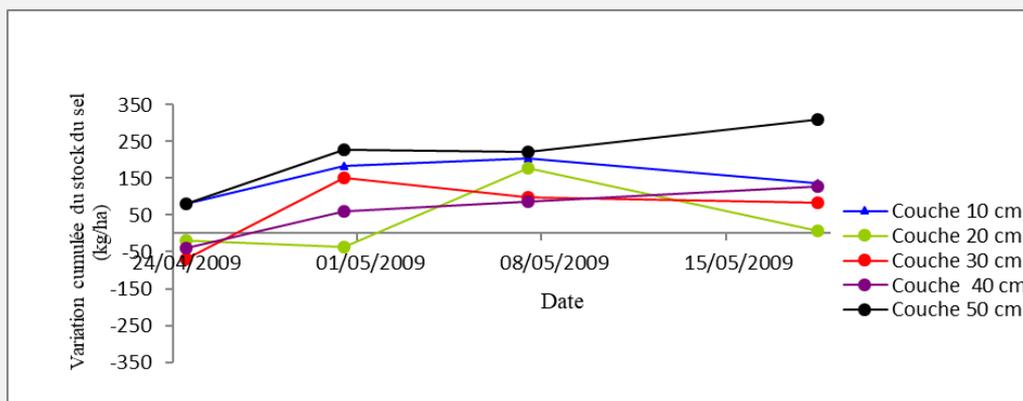


Figure 12. Variation cumulée du stock de sels dans la parcelle publique (0-50 cm)

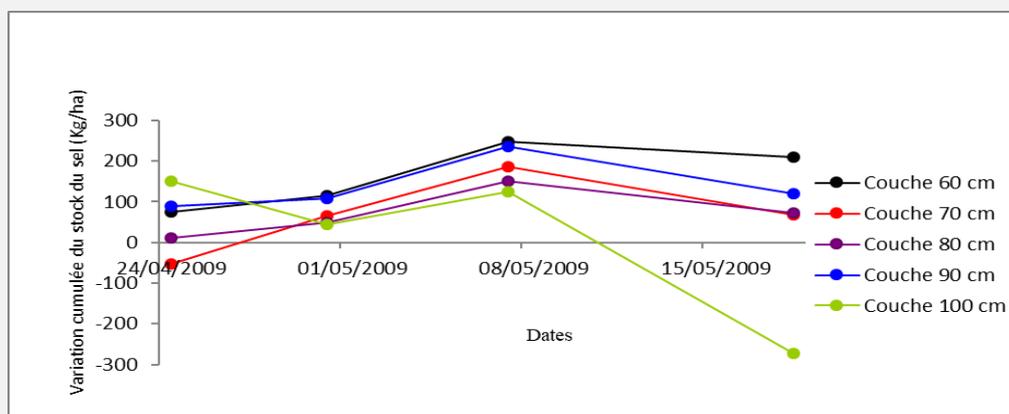


Figure 13. Variation cumulée du stock de sel dans la parcelle publique (60- 100 cm).

3.5.3.2. Cas de la parcelle privée

Dans les couches 20 et 30 cm, une diminution de la salinité a été enregistrée (figure 14). Une tendance à l'augmentation de la salinité pour toutes les couches 60- 100 cm entre le 24/4/2009 et 30 /4/2009 a été observée. Durant cette période on note l'absence de pluie .

La chute remarquable de la salinité à la date du 30/4/2009 dans les couches 90 et 100 cm (figure 15) est due probablement au lessivage provoqué par des pluies abondantes (103 mm) parvenus entre le 10/4/2009 et le 24/4/2009.

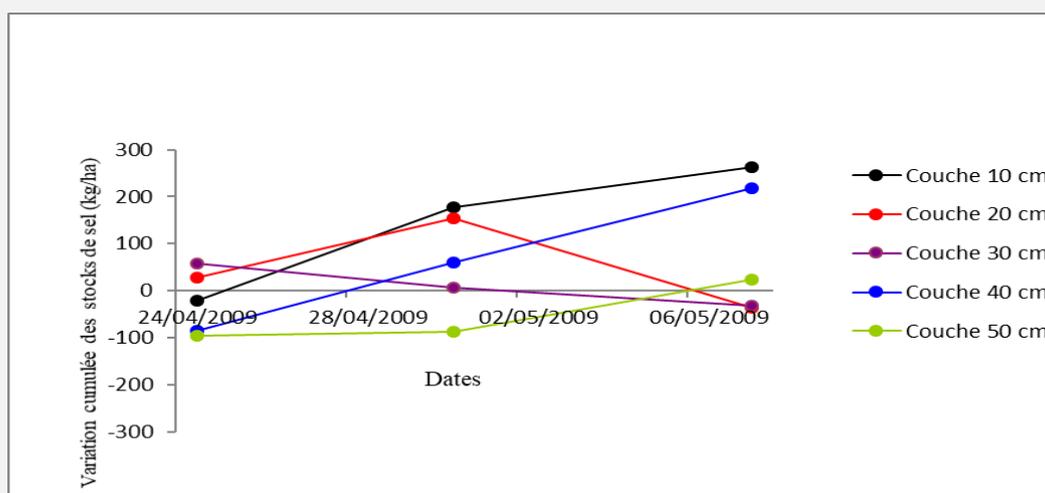


Figure 14. Variations cumulées du stock de sel dans la parcelle privée (0-50 cm)

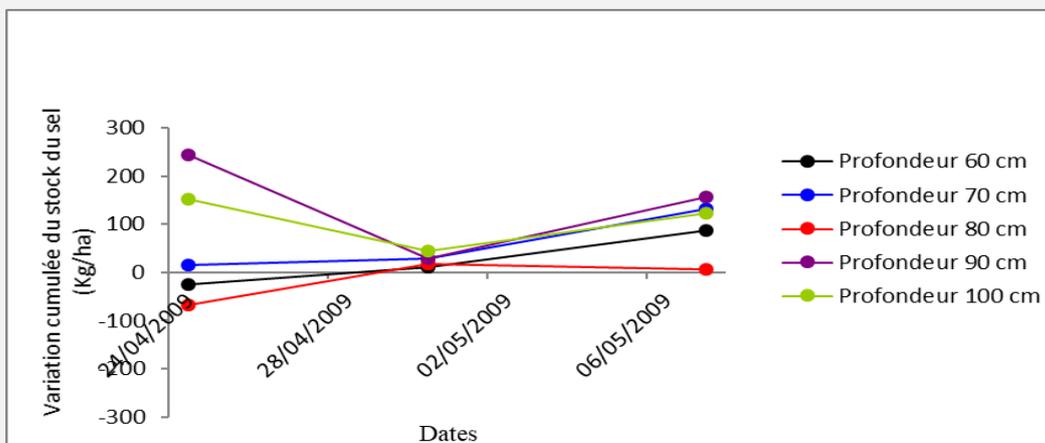


Figure 15. Variations cumulées du stock de sel dans la parcelle privée (60 -100 cm)

4. Conclusion

Le suivi de la teneur en eau a montré que le stock initial et final d'eau dans la profondeur de 1 m étaient respectivement de 301 et 212 mm dans la parcelle publique. Dans la parcelle privée, ils ont été respectivement de 250 mm et 222 mm. Dans le cas de la parcelle privée, la teneur en eau a été toujours supérieure à l'humidité au point de flétrissement permanent, contrairement à la parcelle publique où on a enregistré une teneur en eau inférieure à l'humidité au point de flétrissement. La variation cumulée du stock d'eau a été généralement négative. Ceci explique la diminution du stock d'eau dans la profondeur de 1 m de 89 mm, qui est causée essentiellement par la consommation de l'eau par la culture. Les résultats de suivi de la salinité dans le profil du sol montrent que dans la parcelle publique la salinité moyenne a passé de 0.86 dS/m à 0.90 dS/m, le stock du sel mesuré était respectivement de 3.72 et 4.81 t/ha. Alors que dans la parcelle privée la salinité moyenne a été presque constante (environ 0.7 dS/m),

le stock du sel fluctue entre 3.38 et 4.32 t/ha respectivement. Les cultures maraichères et arboricoles sont généralement les plus sensibles à la concentration des sels dans la zone racinaire, tandis que les céréales et les fourrages supportent une concentration plus élevée sans perte significative de rendement. La culture du blé tolère à une salinité de 6 dS/m. Il s'en suit que dans le périmètre irrigué de Lakhmess le problème de la salinité ne se pose pas et la faiblesse de rendement du blé n'est pas due à la salinité du sol, mais plutôt à une gestion inefficace de l'eau à l'échelle de la parcelle.

5. Références

- Bernstein L, and Hayward H.E. (1958).** Physiology of salt tolerance. *Ann. Rev. Plant Physiol.*, 9: 25-46.
- Boughdiri A. (2017).** Efficience de l'utilisation de l'eau, efficacité de l'irrigation de complément de la variété du blé dur Karim et essai de modélisation : Cas du périmètre public irrigué de Lakhmess à Siliana. Thèse de Doctorat en Sciences Agronomiques INAT. 210 p.
- FAO (2011).** Aquasat Global Map of Irrigation Areas, FAO, Rome.
- Hachicha M. (1990).** L'efficacité des pluies torrentielles dans le lessivage des sels. Séminaire ATRID-AGT « Erosion.Sol.Eau » INAT, 14/11/1990, 15 pages.
- Hamrouni H., Daghari H. et M'timet A. (2007).** Les sols en Tunisie: Problématique et solution. Status of Mediterranean soil resources: Actions needed to support their sustainable use, Tunis, Tunisia 26-31 May 2007. Conference Proceedings. Editors Pandu Zdruli and Guiliana Trisorio Liuzzi.
- Ibrahimi K. (2003).** 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 Medjerda. Mémoire de Mastère de l'INAT.
- Lahlou O. (2005).** Gestion des ressources en eau et effet du régime hydrique sur l'agro-physiologie du blé et de la pomme de terre. Thèse de Doctorat en Science agronomiques. IAV. Hassan II. Rabat.
- Saidi A. (2014).** Gestion de l'irrigation aux eaux saumâtres dans un objectif de maîtrise de la salinité du sol : Cas du périmètre irrigué de Kallâat Landalous. Thèse de Doctorat en Sciences Agronomiques INAT. 181p.
- Slama F., Bahri A., Bouarfa S., Chaumont C., Bouhlila R. (2004).** Pratiques d'irrigation et rôle du drainage pour le contrôle de la salinité : Cas du périmètre irrigué de Kalâat El Andalous en Tunisie. Projet INCO-WADEMED Actes du séminaire Modernisation de l'Agriculture Irriguée Rabat, du 19 au 23 Avril 2004.
- Strogonov T, B.P. (1962).** Physiological basis of salt tolerance of plants. Jerusalem: Trs. Program for sci. Transl. 279.
- Van Hoorn J.W. (1991).** Gestion pour la maîtrise de la salinité dans la zone racinaire. Institut Agronomico Mediterraneo- Bari (Italie),pp.1-15.