

DYNAMIQUE DE L'EAU DANS LE SOL SOUS UN SYSTEME D'IRRIGATION LOCALISEE SOUTERRAIN

WATER DYNAMICS IN SOIL UNDER A SUBSURFACE DRIP IRRIGATION SYSTEM

Boutheina DOUH, Abdelhamid BOUJELBEN, Amel Belhaj MGUIDICHE & Rania HARRABI. *Institut Supérieur Agronomique de Chott Mariem, Université de Sousse, Tunisie. boutheina_dou@yahoo.fr*

RESUME: La durabilité de la production agricole dépend de la conservation et la gestion ressources en eau qui sont rares en particulier dans les zones arides et semi-arides où l'irrigation devient nécessaire pour garantir une production stable. L'expérimentation a été conduite en 2011 à l'Institut Supérieur Agronomique de Chott Meriem (Longitude 10°38'E, Latitude 35°55'N, l'altitude de 15 m d'altitude) sur un sol de texture sablo-limoneux. La conception et la gestion des systèmes d'irrigation souterraine (SDI) nécessitent une connaissance précise de la distribution de l'eau autour du goutteur. Nous avons mené des expériences en plein champ pour évaluer la distribution de l'eau dans le sol entre deux goutteurs voisins lorsque les bulbes d'humectation commencent à se chevaucher. Cette étude a été réalisée pour évaluer les effets de l'irrigation au goutte à goutte de surface et souterraine à 15 et 30cm de profondeur sur la dynamique de l'eau dans le sol (répartition de l'humidité des sols, le stock d'eau dans le sol et l'efficacité d'utilisation des eaux d'irrigation). Les résultats indiquent que l'humidité du sol sous l'irrigation goutte à goutte à 15 cm de profondeur était plus uniforme que l'irrigation au goutte à goutte de surface (T0) et celle enterrée à 30 cm (T2). Les résultats de l'étude ont montré que le système d'irrigation souterrain permet une humidification uniforme du sol, une diminution des pertes par évaporation et une distribution d'eau directement dans la zone des racines des plantes plus uniforme et par conséquent une augmentation de l'efficacité d'utilisation d'eau d'irrigation. Selon les caractéristiques du sol et du débit du goutteur, la profondeur optimale du système d'irrigation se situe entre 0,15 et 0,30 m.

Mots-clés: Région Aride, Irrigation Souterraine, TDR, Dynamique de l'eau dans le sol, Efficacité de l'eau d'irrigation, Tunisie.

ABSTRACT: The sustainability of agricultural production depends on conservation and appropriate use and management of scarce water resources especially in arid and semi-arid areas where irrigation is required for the production of food and cash crops. Experimental site conducted in 2011 at the Higher Institute of Agronomy of Chott Meriem (Longitude 10°38'E, Latitude 35°55'N, altitude 15 m above sea level) on a sandy loam textured soil. The proper design and management of SDI systems requires knowledges of precise distribution of water around the emitters. We conducted field experiments to evaluate the soil water content distributions between two neighboring emitters when their wetting patterns started to overlap. This study was carried out to evaluate the effects of surface and subsurface drip irrigation at 15 and 30 cm depths on water's dynamic in soil (Soil moisture distribution, water's stock in soil and irrigation water use efficiency). The results indicated that the soil moisture content under subsurface drip irrigation at 15 cm depth (T1) was more uniform compared surface drip irrigation (T0) and SDI 30 cm (T2). The results of this study showed that the subsurface drip irrigation allows uniform soil moisture, minimize the evaporation loss and delivery water directly to the plant root zone and consequently increases the use efficiency. According to our soil characteristics and the emitter flow, optimum dripline depth was found to be between 0.15 m and 0.30 m.

Keywords: Arid region, Subsurface drip irrigation, TDR, Water dynamics in soil TDR, Irrigation water use Efficiency, Tunisia.

INTRODUCTION

La Tunisie est sous un climat semi-aride à aride marqué par des précipitations irrégulières dans le temps et mal réparties dans l'espace. Il s'ensuit que la plupart des cultures ne peuvent être conduites en régime pluvial d'où le recours inexorable à l'irrigation, qui consomme plus que 83% des ressources en eaux mobilisées (Douh et boujelben, 2011). Le recours à l'irrigation s'avère nécessaire pour garantir une production suffisante, et pour rentabiliser l'investissement consenti afin de se prémunir contre les aléas climatiques et sécuriser la production (Mailhol, 2005). Différentes études ont été menées, dans le monde, sur l'irrigation localisée souterraine et sur différentes cultures (Tiwari et *al.*, 1998; Cicero et Pumo 1997; Tiwari et *al.*, 2003, Capra et Scicolone 2004; Provenzano et *al.* 2007; Douh et Boujelben 2011). La réponse agronomique de la culture à l'irrigation avec SDI (Subsurface Drip Irrigation) est nécessaire pour être en

mesure d'évaluer la faisabilité économique et technique de l'utilisation du système d'irrigation enterré dans les conditions locales et de fournir des informations pratiques scientifiquement fondées aux agriculteurs. Les résultats seront également discutés dans le contexte de travaux similaires dans d'autres pays. L'interaction du climat- sol et cultures présente des combinaisons uniques qui nécessitent des recherches locales pour adapter les systèmes de production. Dans cette étude, nous nous sommes intéressés à l'évaluation de l'effet du système d'irrigation goutte-à-goutte en surface et sous-sol, sur la dynamique de l'eau dans le sol ainsi que sur le développement végétatif de la culture d'aubergine.

MATERIEL ET METHODES

Site expérimental

L'essai a été conduit du 19 avril au 23 Mai 2011, au sein du domaine expérimental de l'Institut Supérieur Agronomique de Chott Meriem qui fait partie de la délégation de Akouda, gouvernorat de Sousse, Tunisie (Longitude 10°38'E, Latitude 35°55'N, altitude 15 m). Le site expérimental couvre une superficie de 266 m² (9,6 x 27,7) avec une pente moyenne de 1 mm.m⁻¹. Le sol a une texture sablo-argileuse, ses teneurs en eau à la capacité au champ et au point de flétrissement permanent sont respectivement égales à 37.1 et de 6.4%. Le sol a une perméabilité moyenne de 14 mm.h⁻¹ et une densité apparente moyenne de 1,62 t.m⁻³. Les écartements entre les goutteurs et entre les rames sont respectivement de 0.40 et de 0,8 m. Les rampes d'irrigation sont de type polyéthylène de diamètre de 16 mm et des goutteurs intégrés espacés de 40 cm débitant 4 l.h⁻¹ d'eau, à une pression de 1 bar. La figure 1 présente le dispositif expérimental dont quatre rampes ont été consacrées pour chaque système d'irrigation localisée (de surface (T0), enterré à 15 cm (T1) et un deuxième enterré à 30 cm (T2)). L'eau d'irrigation tirant en moyenne 1.5 g.l⁻¹ de sels totaux, provient du barrage de Nebhana situé à environ 80 km au Sud-Ouest du site expérimental.

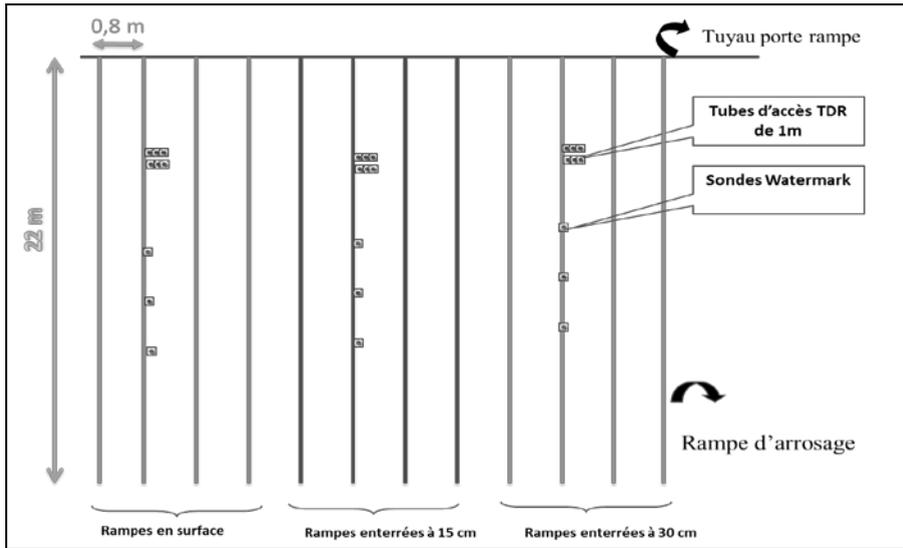


Fig. 1 Dispositif expérimental

Teneur en eau dans le sol

Les mesures de l’humidité du sol ont été effectuées à l’aide d’une TDR (*Trime FM3*). Six (6) tubes d’accès de 1m de longueur pour chaque système d’irrigation sont implantés. Des mesures journalières sont faites par couche de 10 cm pour chaque tube. La disposition des tubes d’accès par rapport à l’emplacement des goutteurs est illustrée en figure 2.

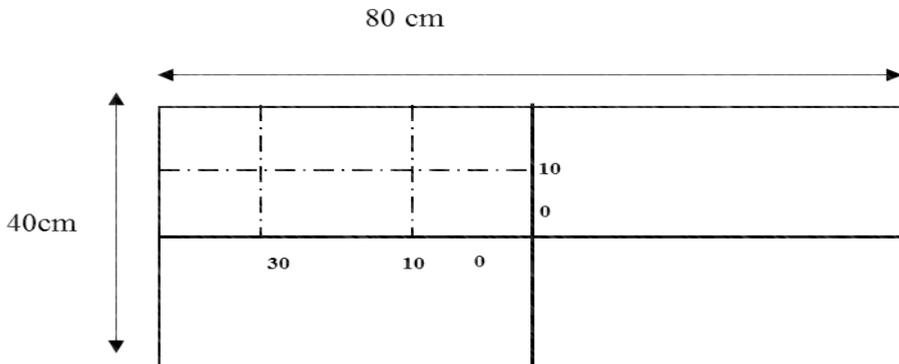


Fig. 2 Disposition des tubes d’accès par rapport à l’emplacement du goutteur

Le stock en eau (S) est calculé selon l’équation (1) en intégrant les profils hydriques du sol relatif au domaine (D) composé des volumes élémentaires du sol pour une profondeur de 60 cm.

$$S = 4 \iiint_D \theta(X, Y, Z) dx, dy, dz \quad (1)$$

Avec:

$\theta(x,y,z)$: Teneur en eau volumique du sol au point nodal de coordonnées X, Y, Z;

dx,dy,dz : prennent différentes valeurs pour couvrir l'ensemble du domaine d'intégration D en cm;

S: stock en eau [m^3 /goutteur].

Le logiciel *Surfer* a été utilisé pour tracer les courbes d'égale humidité basé sur une interpolation entre les différentes valeurs de la teneur en eau dans le sol. Pour déterminer les points intermédiaires, les valeurs mesurées ont été interpolées à l'aide de la méthode multivariée de l'inverse de la distance pondérée (Inverse Distance Weighing: IDW).

Analyse statistique

Les analyses statistiques sont réalisées avec le logiciel SPSS (Version 17) pour toutes les données concernant les effets de la profondeur du système d'irrigation sur la teneur en eau, le stock en eau, les paramètres agronomiques. Pour les analyses de la variance, la procédure GLM), pour modèle linéaire général et le test de comparaison multiple SNK (Student-Newman-Keuls) ont été utilisés au seuil de $\alpha=5\%$.

RESULTATS ET DISCUSSION

Evolution du stock d'eau dans le sol en fonction du temps

Le stock d'eau est calculé en intégrant la fonction $\theta_t(x, y, z)$. Grâce aux différentes mesures des teneurs en eau du sol à différentes profondeurs et en différents points, le stock d'eau dans le sol est calculé et son évolution en fonction du temps est suivie. L'examen de la figure 3 montre que le stock d'eau dans le sol augmente remarquablement suite à une irrigation ou à une pluviométrie et décroît entre deux irrigations successives en absence de pluie. Cette diminution du stock d'eau devient plus rapide au fur et à mesure que le climat devient plus chaud et que la culture atteint un stade végétatif plus avancé.

Le stock d'eau est beaucoup plus important dans le cas de l'irrigation localisée de surface (témoin) enterrée à 15cm (T1) comparé à l'irrigation localisée souterraine à 30 cm (T2).

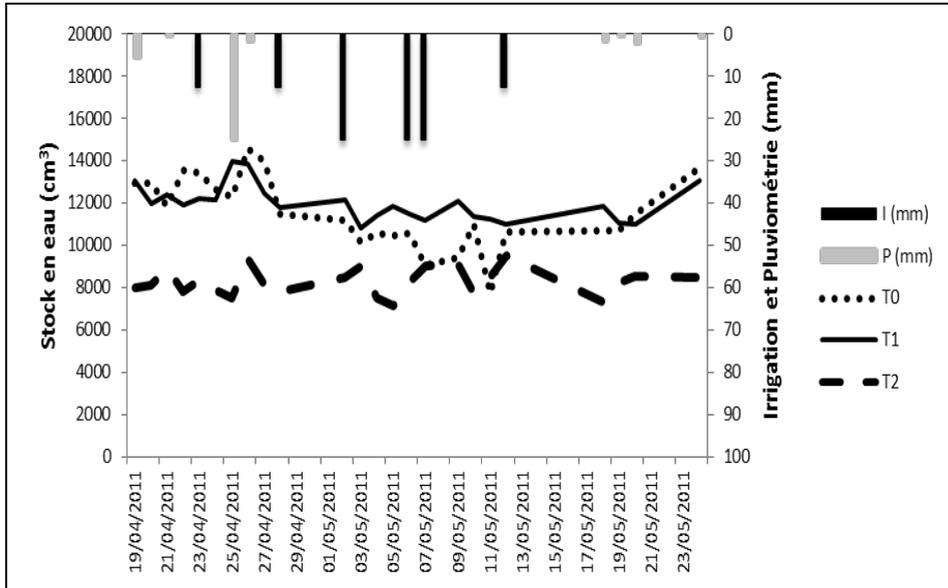


Fig. 3 Evolution du stock en eau dans le sol en fonction du temps

Les valeurs importantes du stock d'eau pour T0 et T1 sont dues aux apports d'eau par pluviométrie et par irrigation alors qu'à 30 cm de profondeur, le stock en eau devient plus faible. En effet, la moyenne du stock en eau journalière est de l'ordre de 12447, 11295 et 8439 cm³ respectivement pour T1, T0 et T2 donc soit un enregistrement maximal du stock en eau en T1 avec un pourcentage d'amélioration de 10,2% par rapport à T0 et 45% par rapport à T2 pour le volume du sol (40x80x65) cm³. L'analyse de la variance par le test SNK, a permis de classer les traitements en 3 groupes. Cela s'explique par l'extraction racinaire du fait de la densité racinaire qui est maximale dans les couches 30-50 cm. Ces résultats sont similaires à ceux trouvés par Douh *et al.* (2010). Ces derniers ont étudié l'effet de l'irrigation souterraine sur l'évolution du stock d'eau dans le sol et ont remarqué que le stock optimum pour une bonne économie en eau et un développement végétatif de la culture d'aubergine s'obtient pour l'irrigation localisée enterrée entre 15 et 35 cm. Hanson et May (2004) ont suivi le stock d'eau dans le sol tout le long du côté ouest de la vallée de San Joaquin en Californie et ont conclu qu'un système d'irrigation localisé souterrain bien géré peut réduire la percolation sous la zone racinaire.

Evolution de la variation du stock d'eau dans le sol en fonction du temps

A partir des résultats des mesures de la teneur en eau du sol, les stocks d'eau dans le sol puis leurs variations journalières sont calculés. La figure 4 présente l'évolution en fonction du temps de la variation du stock d'eau dans le sol pour l'irrigation localisée de surface, enterrée à 15 et à 30 cm. Cette variation journalière du stock d'eau pour l'irrigation goutte à goutte de surface oscille entre -3000 et +3000 cm³. Cependant, la variation du stock d'eau pour l'irrigation goutte à goutte enterrée est plus faible.

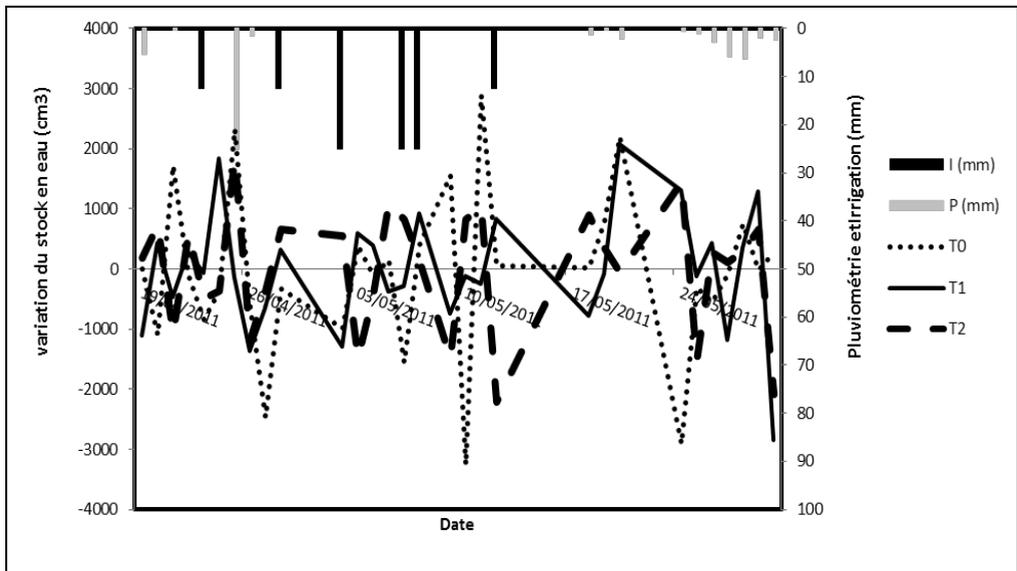


Fig. 4 Evolution de la variation du stock en eau dans le sol en fonction du temps

La variation du stock d'eau dans le sol est positive ce qui correspond aux apports d'eau par irrigation ou par les pluies naturelles (Fig. 4). Les variations négatives correspondent aux pertes d'eau par extraction racinaire et ou par drainage. Par conséquent, l'amplitude moins élevée des variations du stock d'eau a favorisé un développement optimum du système racinaire de la culture dans des conditions plus stables d'humidité du sol. En effet, elle permet une conservation d'humidité satisfaisante du sol au voisinage des racines et offre une bonne économie de l'eau d'irrigation (Payero et al., 2008; Zoldoske et al., 1999). Boujelben (2000) a étudié la dynamique de

l'eau dans le sol et en particulier la variation du stock d'eau dans le sol sur une culture de maïs à Chott Meriem (Tunisie). Il a conclu que plus cette variation est faible plus les conditions du sol sont stables favorisant un bon développement végétatif de la plante.

Distribution de l'eau d'irrigation dans le sol

Des mesures de la teneur en eau volumique, 2 heures avant une irrigation, de durée 1 heure, avec un débit de 4 l/h, à différentes profondeurs (10, 20, 30 et 60 cm) pour les trois systèmes d'irrigation localisée (T0, T1 et T2) ont été effectuées. L'objectif, étant de suivre la distribution spatiale de la teneur en eau dans le sol en fonction des profondeurs et des distances par rapport au goutteur. Procédant par symétrie par rapport au goutteur (0,0), les courbes d'égaux teneurs en eau dans le sol ont été tracées en utilisant le logiciel *SURFER*.

La figure 5 présente la distribution de l'eau horizontale (dans le plan (x,y)) à différentes profondeurs dans le cas du témoin. A, 10 cm de profondeur, les courbes d'égaux teneurs en eau sont bien nettes autour du goutteur disposé à la surface. La teneur en eau varie entre 13 et 20,5 %. Au niveau du goutteur, la teneur en eau est de l'ordre de 13 %, c'est la plus faible valeur détectée. En s'éloignant du goutteur, la teneur en eau augmente, cela s'explique par l'effet de l'extraction de l'eau par les racines superficielles de la plante située autour du goutteur (0,0). A, 20 cm de profondeur, les courbes d'égal teneur en eau se situent nettement sur les 2 extrémités droite et gauche, dont les teneurs sont les plus élevées. Au niveau du goutteur, la teneur en eau est de l'ordre de 20 % ; en s'éloignant du goutteur, la teneur en eau décroît puisque le goutteur est la seule source d'eau. A, 30 cm de profondeur, les courbes d'égaux teneurs en eau se voient en s'éloignant de part et d'autre du goutteur, avec une chute de teneur en eau, de l'ordre de 12 % due à l'extraction racinaire et le développement du système racinaire des plantes qui avoisinent le goutteur. A, 60 cm de profondeur, la teneur en eau est de l'ordre de 25 % au niveau du goutteur, l'eau s'infiltre de la surface pour atteindre cette profondeur. En s'éloignant du goutteur, la teneur en eau décroît pour atteindre une valeur de 18 %. Dans leur étude relative à la distribution de l'eau autour d'un goutteur enterré à différentes profondeurs, Douh et Boujelben (2012) ont montré que la distribution est plus uniforme pour l'irrigation localisée souterraine que pour l'irrigation localisée de surface.

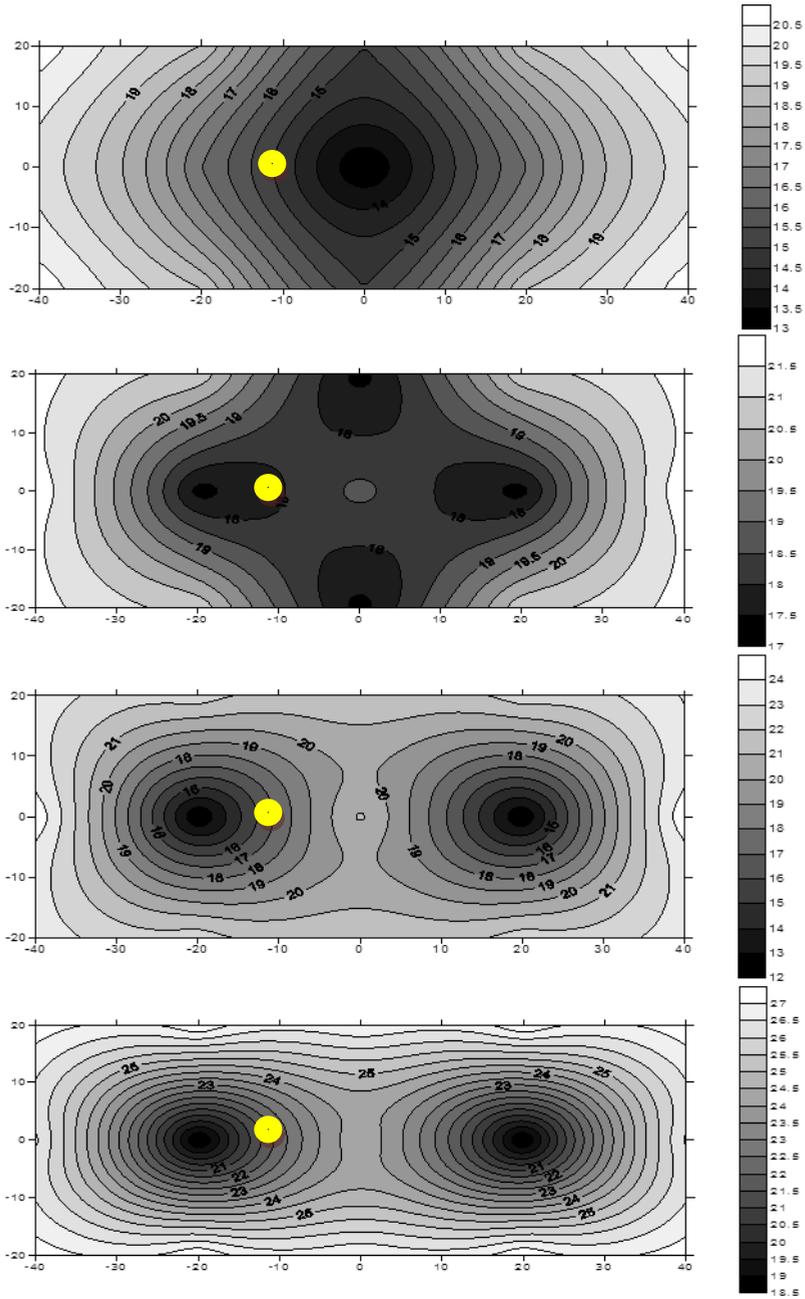


Fig. 5 Distribution de l'eau dans le sol respectivement à 10, 20, 30 et 60 cm dans le cas de l'irrigation localisée de surface (T0)

La distribution de l'eau dans le sol respectivement à 10, 20, 30 et 60 cm dans le cas de l'irrigation localisée souterraine à 15 cm est présentée dans la figure 6. Pour la couche superficielle (0-20 cm), la teneur en eau est de l'ordre de 20 % au niveau du goutteur puis elle décroît en s'éloignant vers les extrémités droite et gauche expliquée par la localisation des systèmes racinaires des plantes qui se développent d'une façon transversale. Une interférence entre plusieurs courbes provenant des deux côtés sur la ligne montre que l'alimentation de cette couche se fait par l'interférence de plusieurs goutteurs puisque le système d'irrigation est localisé à 15 cm de profondeur.

Pour les couches les plus profondes (30-60 cm), les courbes d'égales teneurs en eau sont nettes à 20 cm de part et d'autre du goutteur. Cette distance représente le rayon du système racinaire. Une augmentation au niveau des extrémités jusqu'à 26 %, à 30 cm de part et d'autre du goutteur sur l'interligne, expliquant l'absence de chevauchement entre le système racinaire de deux plantes successives.

La figure 7 présente la distribution horizontale de l'eau dans le sol respectivement à 10, 20, 30 et 60 cm dans le cas de l'irrigation localisée souterraine à 30 cm. La couche superficielle est alimentée par capillarité, vu qu'elle soit située au-dessus de la source d'eau. Alors que, pour la couche de 20 à 40 cm de profondeur, la valeur la plus élevée est observée au niveau et autour du goutteur qui représente la source d'eau. Vers les extrémités, les courbes d'égale teneur en eau sont presque parallèles donc le système racinaire présente un développement uniforme et il y'a un chevauchement entre les racines de deux plantes successives sur la ligne. A, 60 cm de profondeur, la teneur en eau volumique est presque constante sur la ligne variant de 21 à 24% et décroît vers les extrémités sur l'interligne pour atteindre 19,5% à 35 cm du goutteur.

Au vu de la figure 7, la couche la plus humide se situe entre 20 à 40 cm, adjacente à la zone racinaire de la plante donc le système T2 favorise un bon développement végétatif et économise l'eau par la diminution des pertes par évaporation.

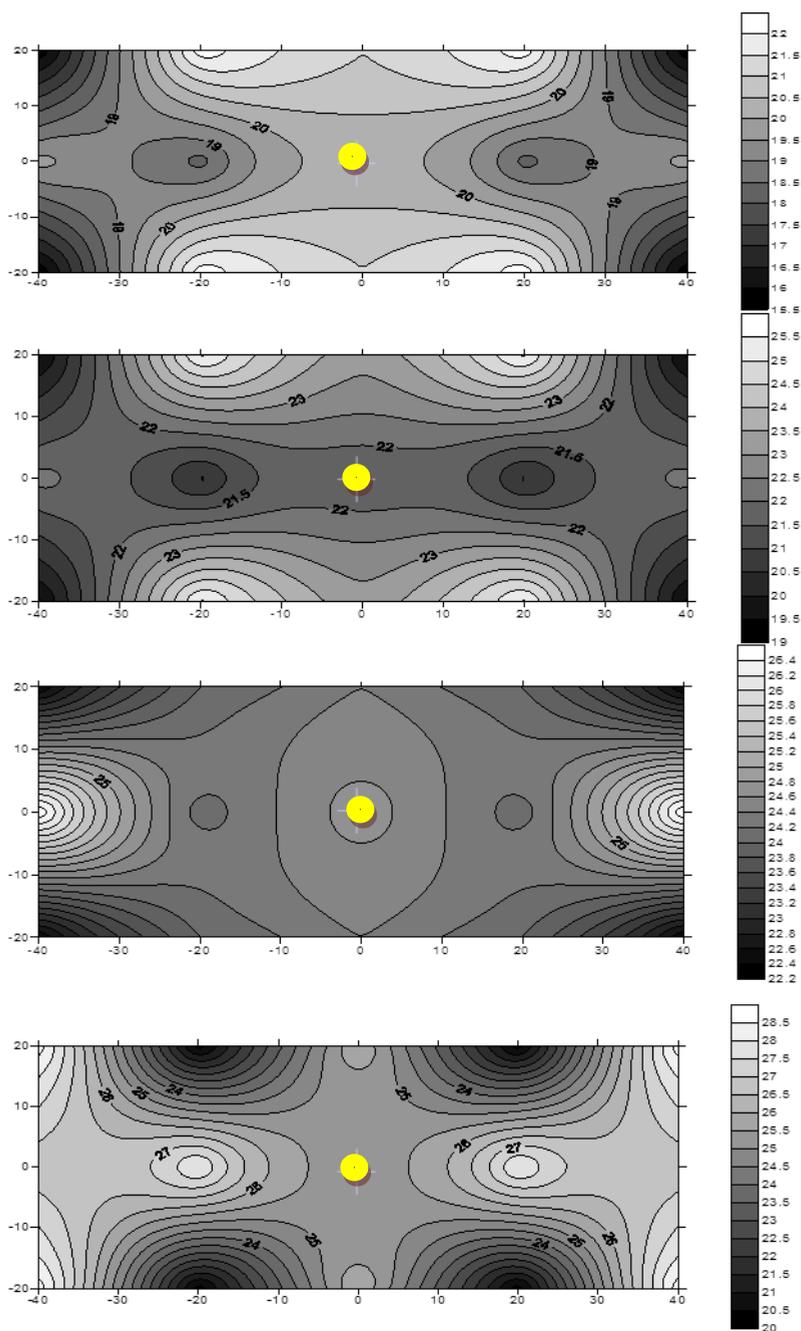


Fig. 6 Distribution de l'eau dans le sol respectivement à 10, 20 ,30 et 60 cm dans le cas de l'irrigation localisée souterraine à 15 cm (T1)

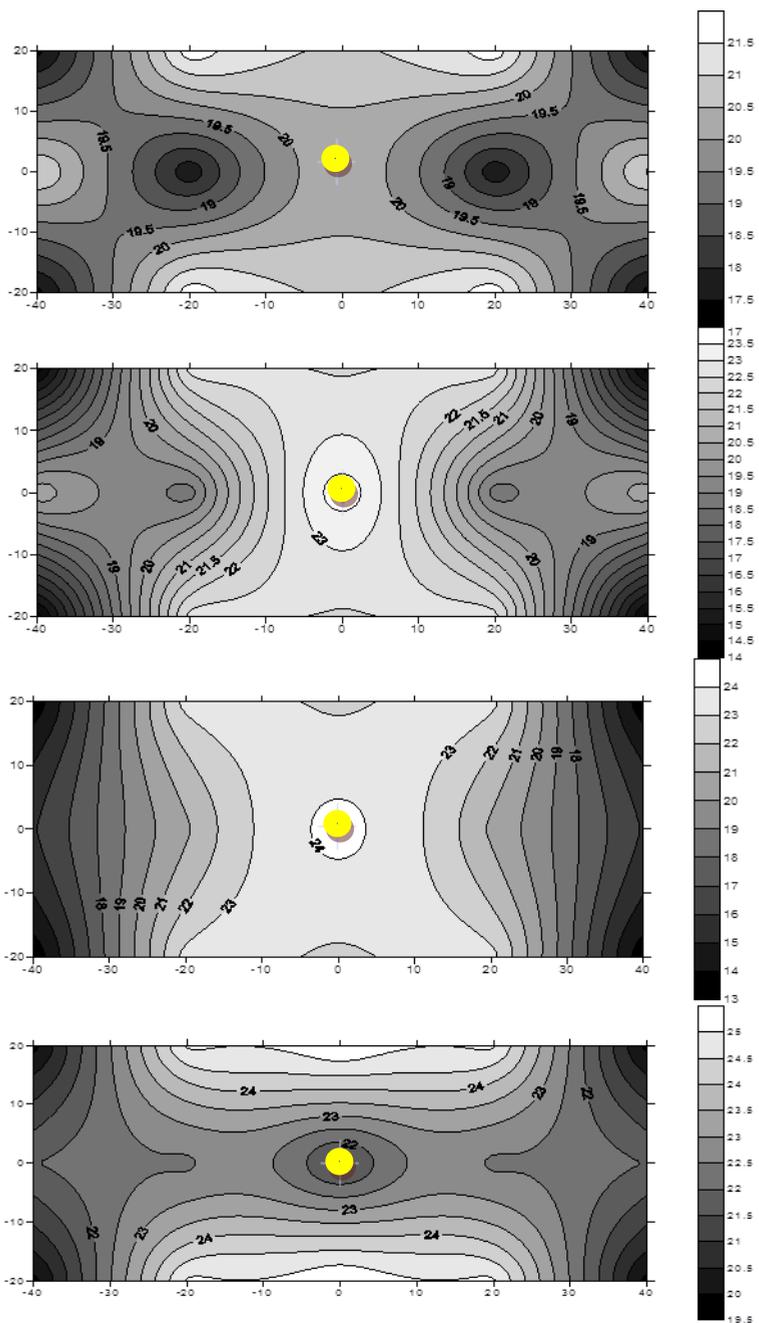


Fig. 7 Distribution de l'eau dans le sol respectivement à 10, 20 ,30 et 60 cm dans le cas de l'irrigation localisée enterrée à 30 cm (T2)

La figure 8 illustre la distribution transversale de l'eau dans le sol pour les trois systèmes d'irrigation localisée de surface, enterrée à 15 cm et à 30 cm. Pour T0, la teneur en eau est faible pour la couche superficielle, de l'ordre de 13% (due à l'évaporation). La teneur en eau augmente en allant en profondeur pour atteindre 27%.

Pour T1, la teneur en eau oscille entre 20 et 25%. Les valeurs les plus élevées se situent à 50 cm de profondeur. Les courbes d'égaux teneurs en eau sont sous forme de lignes presque parallèles ce qui confirme que la teneur en eau résulte de la remontée capillaire à partir des couches profondes ou par une infiltration à partir de la surface du sol.

Pour T2, la teneur en eau oscille entre 20 et 25,5%. A 30 cm de profondeur, la teneur en eau est maximale (25%) grâce à l'effet du goutteur et à l'absence d'évaporation au niveau de cette couche. En effet, elle diminue en surface et vers les profondeurs.

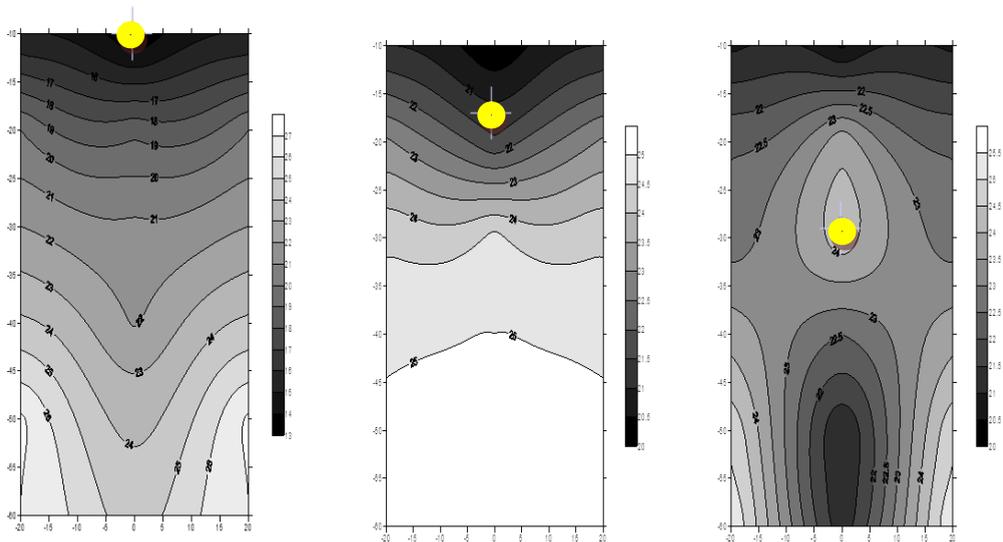


Fig. 8 Distribution transversale de l'eau dans le sol pour les trois systèmes d'irrigation localisée respectivement de surface, enterrée à 15 et à 30 cm

Arbat et *al.* (2010) ont abouti aux mêmes conclusions et ont montré que le mouvement de l'eau entre les goutteurs sur la ligne (inter-goutteurs) est plus uniforme qu'entre les rampes (interlignes) et que la teneur en eau augmente en profondeur.

CONCLUSION

Les résultats de cette étude ont montré que le système d'irrigation souterrain présente des avantages par rapport au système d'irrigation goutte à goutte de surface. Selon les caractéristiques du sol et du débit du goutteur, la profondeur optimale du système d'irrigation se situe entre 0,15 et 0,30 m. La distribution transversale de l'eau dans le sol est plus uniforme pour T2 et la teneur en eau oscille entre 20 et 25,5% pour les différents horizons. Alors qu'elle varie entre 13 et 27% pour T0 ce qui peut provoquer un stress hydrique pour la plante. En effet, ce système d'irrigation améliore l'uniformité de la distribution l'eau dans le sol et favorise un développement optimum du système racinaire de la plante et par la suite une amélioration du rendement et de l'efficacité d'utilisation d'eau. Le système d'irrigation permet une économie d'eau puisqu'il diminue les pertes par évaporation.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Boujelben A., 2000 *Etude théorique et expérimentale de l'irrigation par sillon d'une culture de maïs fourrager*. Thèse doctorale es sciences, faculté des sciences de Tunis. 200 p.
- Capra A. and Scicolone R., 2004 *Emitter and filter tests for wastewater reuse by drip irrigation*. Agric. Water Manage, 68, pp 135–149.
- Cicero, S. & Pumo D., 1997 *Experimental study on drip irrigation with reclaimed wastewater*. Proc., Int. Conf. on Water Management, Salinity and Pollution Control Towards Sustainable Irrigation in the Mediterranean Region, Bari.
- Douh B. & Boujelben, A., 2012. *Diagnostic des pratiques d'irrigation localisée souterraine en Tunisie: Effet sur la variation du stock en eau du sol, le rendement d'une culture de maïs et l'efficacité de l'utilisation de l'eau*, LARHYSS journal, Numéro 10, pp 115-126.
- Douh B. et Boujelben A., 2011. *Effects of surface and subsurface drip irrigation on agronomic parameters of maize (Zea mays L.) under Tunisian climatic condition*. J. Nat. Prod. Plant Resour., 2011, 1 (3): pp 8-14.
- Douh B., Chemingui, A., Mhamdi, N., Duchemi M., & Boujelben, A., 2010. *Etude de la dynamique de l'eau dans le sol: Comparaison entre deux systèmes d'irrigation au goutte à goutte sur une culture de maïs (Zea mays)*. Journée des sciences de la terre et de l'environnement, 11^{ème} édition de la JSTE, Québec 29 Mars.

- Hanson B. & May, D., 2004. *Effect of subsurface drip irrigation on processing tomato yield, water table depth, soil salinity, and profitability*, Agricultural Water Management, 68, pp 1–17.
- Provenzano G. 2007 *Using HYDRUS-2D Simulation Model to Evaluate Wetted Soil Volume in Subsurface Drip Irrigation Systems*, journal of irrigation and drainage engineering, pp 342-350.
- Tiwari K. N., Singh A & Mal P. K. 2003 *Effect of drip irrigation on yield of cabbage (Brassica oleracea L. var. capitata) under mulch and non-mulch conditions*. Agr. Water Mgt., 58, pp 19-28.
- Tiwari K.N; Mal P.K; Singh R.M and Chattopadhyay A. 1998, *Response of Okra Abelmoschus esculentus L. Moench to drip irrigation under mulch and non-mulch condition*. Agr. Water Mgt. 38, pp 91-102.
- Payero J.O., Tarkalson D., Irmak S., Davison D. & Petersen J.L., 2008. *Effect of irrigation amounts applied with subsurface drip irrigation on corn evapotranspiration, yield, water use efficiency, and dry matter production in a semiarid climate*. Agr Water Manage, 95 (8), pp 895-908.
- Zoldoske D.F., Genito S., Jorgensen G.S., 1999. *Subsurface Drip Irrigation (SDI) on Turfgrass*. A Univ. Experience. J. Int. Water and Irrigation, Vol. 19, No. 1, pp 18-19.
- Arbat G. P., Lamm, F. R., Abou Kheira A. A., 2010. *Subsurface drip irrigation emitter spacing effects on soil water redistribution, corn yield, and water productivity*, Applied Engineering in Agriculture, 26(3), pp 391-399.

&&&