RESEARCH PAPER

Suivi journalier des variations de l'humidité d'un sol sableux à l'aide de TDR et par la méthode gravimétrique (Cas de palmeraie de l'Oued Righ)

Daily monitoring of moisture variations in a sandy soil by using TDR and a gravimetric method (Case of palm grove of Oued Righ)

S. Helimi[1,2], S. Mokhtari[1], A. Mihoub[1] et A. Halitim[1]

1. Division sol, Centre de Recherche Scientifique et Technique sur les Régions Arides (CRSTRA), Biskra, Algérie.
2. Laboratoire Biogéochimie des Milieux Désertique. Université de Kasdi Merbah Ouargla. Algérie.

Received 10 October 2016; Revised 15 November 2016; Accepted 21 November 2016

Résumé

Les oasis ont toujours été perçues comme symboles de gestion d'une eau rare, les techniques hydrauliques adoptées ont créé un paradoxe au Sahara : des oasis malades de trop d'eau!. L'accroissement des débits fournis et la forte minéralisation des eaux ont eu des conséquences directes et à plusieurs niveaux; donc la connaissance de la variabilité temporelle du stock d'eau dans le sol est très demandée à l'échelle de la parcelle, à fin de bien gérer les quantités d'eau apportées dans chaque irrigation.

L'utilisation des méthodes modernes comme le TDR permet a priori d'estimer l'humidité des couches superficielles du sol. En outre, la simplicité relative de la mesure et son caractère non destructif sont autant d'avantages de cette technique de mesure.

La vérification de l'efficacité de cette technique dans les conditions pédoclimatiques de la région de l'Oued-Righ est déterminée par le biais de la comparaison de ses résultats d'humidité (TDR) avec celle de la méthode classique (méthode gravimétrique). Les résultats montrent que les variations sont bien caractérisées dans le temps ; mais, les mesures réalisées par TDR ne sont pas bien corrélées aux mesures gravimétriques. Cette différence est liée à certains nombres de facteurs qui ont un impact sur les valeurs d'humidité volumique mesurées par TDR, on note essentiellement : la température du sol et les caractéristiques physiques du sol (texture et structure …).

Mots-clés: humidité, sol sableux, TDR, méthode gravimétrique, Oued Righ.

Abstract

Oued Righ oasis has always been considered as symbols of water management, adopted hydraulic techniques have generated a paradox at the Sahara oasis sick of too much water! The increase of provided flow rates and the strong mineralization of water have a direct influence on multiple levels. Consequently, the knowledge of the temporal variability of soil water content is in high demand over the land, to manage the amount of water supplied by each irrigation.

Using the modern technics such as TDR could be an alternative and effective method for estimating moisture content in topsoil. In addition, the relative simplicity of the measure and its non-destructive nature are all advantages of this measurement technique.

In the current study, the efficacy of this technique in soil and climatic conditions of the Oued-Righ region was investigated by correlating the moisture values of TDR with the others obtained by the standard method (gravimetric method). Results showed that the changes were well characterized in time but the measurements obtained by TDR were not well correlated with gravimetric measurements; This difference could be related to different factors, especially soil temperature and soil physical characteristics that can affect volumetric moisture values measured by TDR.

Keywords: *Moisture, sandy soil, TDR, gravimetric method, Oued Righ*

Corresponding author

S. Helimi
E-mail: helimisamia@yahoo.fr

1. INTRODUCTION

Si la rareté des ressources en eau ou leur limitation est une caractéristique intrinsèque du climat des pays du Maghreb, ce phénomène semble connaître une certaine accentuation au cours des dernières décennies marquées par des sécheresses plus fréquentes (Mailhol 2005). L'Algérie occupe un territoire soumis à un climat semi-aride à aride marqué par des précipitations irrégulières dans le temps et dans l'espace. Par conséquent, le régime pluvial ne pourrait plus satisfaire les besoins en eau des cultures et garantir une production agricole stable et suffisante, d'où le recours à l'irrigation afin de se prémunir contre les aléas climatiques

La région de l'Oued Righ ayant une vocation d'agronomie saharienne dominée par la phœniciculture, cette vocation s'expliquer par l'existence de conditions climatiques et hydrauliques exceptionnelles. En effet, la vallée de l'Oued Righ fait partie du Bas-Sahara algérien qui recèle d'importantes nappes d'eau souterraines, notamment celle du continental intercalaire

Si l'importance des ressources hydrauliques et leur utilisation ont permis le développement du patrimoine phoenicicole de cette région, leur exploitation immodérée a considérablement perturbé l'équilibre des nappes (baisse des niveaux hydrostatiques). Aujourd'hui d'après Bouzid (1986), pour sauvegarder les oasis et les nappes de cette région, des exigences s'imposent. De gros investissements sont nécessaires d'une part, pour une irrigation moderne et rationnelle et une diversification des cultures, d'autre part, pour une limitation des ouvrages de captage et un contrôle plus rigoureux de l'exploitation des eaux. Le tout s'insère dans un plan d'aménagement global concernant toute la région

Ce problème hydrique nécessite, dans la région de Oued Righ d'améliorer l'efficacité des systèmes d'irrigation et de maitriser le contrôle de l'humidité de sol dans le temps et dans l'espace.

Il n'existe pas à l'heure actuelle de méthode de mesure unique de la teneur en eau, universelle et applicable à toutes les situations, mais au contraire, une gamme assez vaste de méthodes souvent complémentaires les une par rapport aux autres (Baron et Tran Ngon Lan 1977 ; Schmugge et al 1980). Parmi ces techniques celles basés sur les relations entre l'humidité et les propriétés diélectriques des sols se développent régulièrement. On peut citer la rétrodiffusion des microondes active, la réflectrométrie temporelle (Time Domain Reflectrometry ou TDR) et la méthode capacitive…etc.

La réflectrométrie temporelle est basée sur la mesure de la permittivité diélectrique relative du sol (Topp et al 1982, 1985,1985a, 1985b. Reeves et al, 1989 ; Rawels et al 1989 ; Douh et Boujelben 2012…).

Cette étude présente une approche expérimentale et a pour but de vérifier l'efficacité de cette technique aux conditions pédoclimatiques de la Région de Oued-Righ en comparant les valeurs d'humidité du sol données par le TDR avec celle de la méthode classique (méthode gravimétrique).

2. MATERIEL ET METHODES

2.1. Principe de mesure (TDR TRIME-PICO IPH T3)

La mesure de la teneur en eau du sol avec TDR (réflectométrie) est maintenant bien établie. Cependant la teneur en eau profilage n'est pas possible avec les sondes à tige TDR classiques. La sonde à tube TRIME-PICO IPH (Fig 01) a été développé pour cette raison.

Le capteur intelligent et compact T3 TRIME-PICO IPH est un des dispositifs de mesure pour la détermination continue et non-destructive de l'humidité volumétrique du sol. Il est conçu pour une utilisation mobile sur le terrain et peut être connecté à un PICO-BT Bluetooth module ou un enregistreur de données ou un PC à des fins de suivi et d'enregistrer les données.

La sonde du tube est constituée d'un PVC-corps cylindrique, qui dispose de quatre plaques d'aluminium montés sur ressort que les guides d'onde TDR sur les côtés opposé.

Les mesures sont effectuées à partir de TECANAT tubes d'accès en plastique qui peuvent être laissés dans le sol. Les tubes doivent être installés avant la prise de mesure en utilisant un ensemble de forage spécialement développé. Le système permet des longueurs de câble jusqu'à 25 m. L'électronique de lecture automatique à courbe TDR intelligente est logée dans un cylindre en PVC robuste et étanche, résistant même aux exigences d'utilisation permanente sur le terrain.

Le dispositif de TRIME génère une impulsion à haute fréquence (jusqu'à 1 GHz) qui se propage le long des coques métalliques, générant un champ électromagnétique autour de la sonde. A la fin de la coquille, l'impulsion est réfléchie vers la source. Le temps de transit résultant peut être mesuré et permettant de déterminer la vitesse de propagation, qui dépend principalement de la teneur en eau. La teneur volumique en

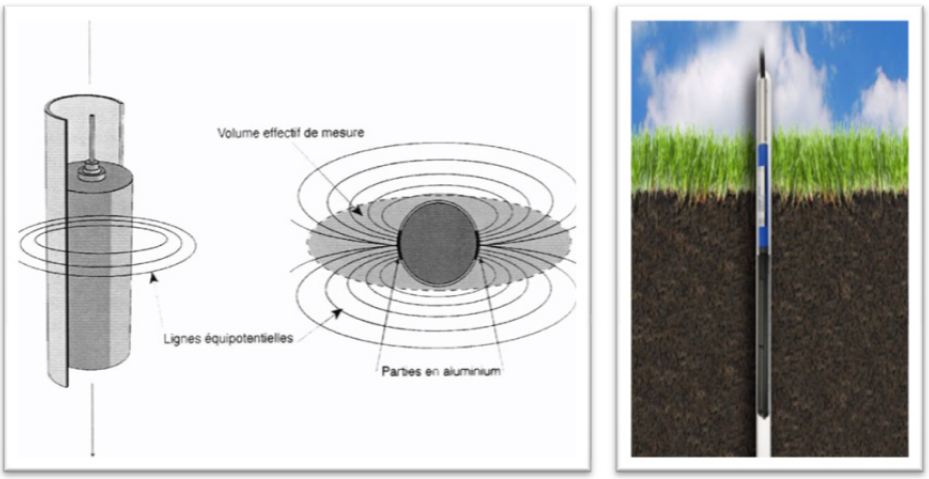

Figure 01 : Sonde tube TRIME et son volume de mesure

eau est alors calculée par la vitesse et est représentée sur le panneau d'affichage immédiatement.

$$Ka = ((t.c)/L)2$$

t : temps de transit du début à l'extrémité du guide d'onde (nanosecondes)

c : vitesse de la lumière (cm / nanosecondes)

L : longueur du guide d'onde (cm)

2.2. Site expérimental

Le site expérimental sur lequel s'est effectuée l'étude est une palmeraie de 10 hectares de superficie, avec plus de 1000 palmiers, variés entre deglet Nour, deglat Bayda et Ghars. Cette exploitation est équipée par un système d'irrigation localisé (ajutage). Le sol possède une texture sablo-limoneuse, avec une densité apparente moyenne de 1,35. La réserve utile calculé au laboratoire est de l'ordre de 60.95 mm/m. Le sol est gypseux salin (plus de 17%) avec un peu de calcaire et un pH neutre a légèrement alcalin (tableau 1).

2.3. Mesure de l'état hydrique du sol

L'état hydrique du sol (Fig 02) a été évalué comme suit :

• Des mesures TDR avec une sonde TRIME-PICO IPH, les points de mesure ont été équipés par l'installation verticale d'un tube d'accès. Les relevés ont été faits chaque jour pendant une période de dix jours sur quatre niveaux de profondeurs (0-20, 20-40, 40-60 et 60-80 cm).

• Des mesures gravimétriques sur les même points et pour les mêmes profondeurs ; L'estimation de l'humidité du sol par la méthode de gravimétrie est extrêmement simple de mise en œuvre, mais néanmoins lourde, coûteuse en temps et perturbant le terrain. Il s'agit de prélever avec une tarière, à différentes profondeurs sur un axe vertical, des échantillons de sol que l'on place immédiatement dans une boîte hermétique. Chaque échantillon est pesé à l'état frais et après un séchage de 48 heures à l'étuve (température de 105°C). L'humidité volumique de chaque prélèvement est déduite d'une simple relation entre l'humidité pondérale et la densité du sol.

3. Résultats et discussion

3.1. Evolution temporelle de la variation du stock en eau du sol

Les figures 03 et 04 montrent des exemples de suivi de la teneur en eau obtenu par la sonde TDR dans deux périodes saisonnières différentes pour le même type du sol et pour quatre niveaux de profondeur.

On observe qu'il y a une bonne concordance entre les allures des courbes d'humidité des quatre niveaux de profondeur pour les mesures de TDR dans les deux périodes.

Durant la période d'étude, les mesures obtenues indiquent que les variations quotidiennes du stock d'eau oscillent entre 261.26 l/m^3 et 362.94 l/m^3 pour la période estivale (29/06/2014 - 08/07/2014), alors que celles de la période automnale (16/11/2014 -26/11/2014) varient entre 194.17.17 l/m^3 et 340.30 l/m^3. On note que l'humidité volumique moyenne

Tableau 01 : Paramètres physiques, chimiques et hydrodynamiques du sol

Couches (cm)		0-20	20-40	40-60	60-80
Classe		Sablo- limoneux	Sablo- limoneux	Sablo- limoneux	Sablo- limoneux
Texture	Sable (%)	72.28	73.63	79.24	73.34
	Limon (%)	21.68	20.10	13.53	15.50
	Argile (%)	6.13	6.27	7.23	11.16
Teneur en eau	pF2 (%)	28,41	18,89	17,48	18
	pF2,5 (%)	17,68	11,69	12,34	11,21
	pF4,2 (%)	10,57	7,45	7,6	8,75
CE	dS/cm	3.20	2.85	2.72	2.89
Da	g/cm3	1.14	1.33	1.39	1.42
Calc T	(%)	4.8	4.8	4	4.8
Gypse	(%)	17.81	22.34	20.5	18.76
pH		7.80	7.83	7.86	7.79

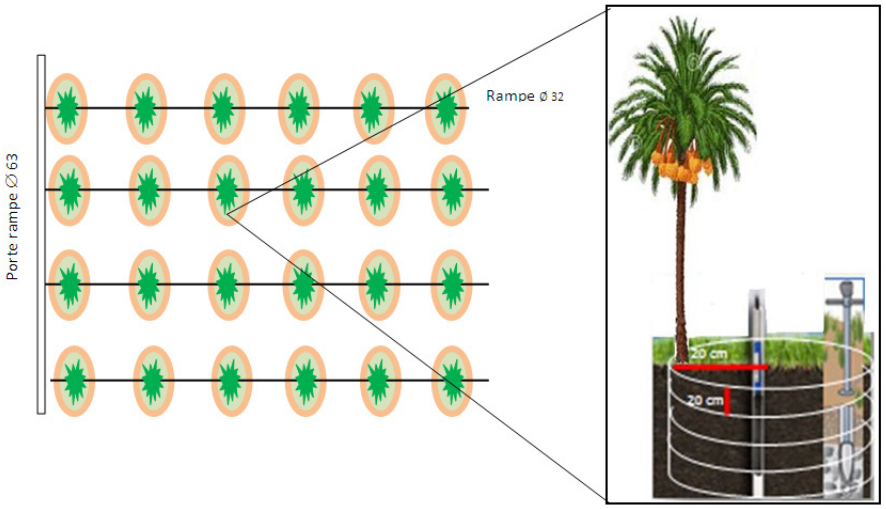

Figure 02 : Protocole de mesure de l'humidité du sol par la sonde TDR et la méthode gravimétrique.

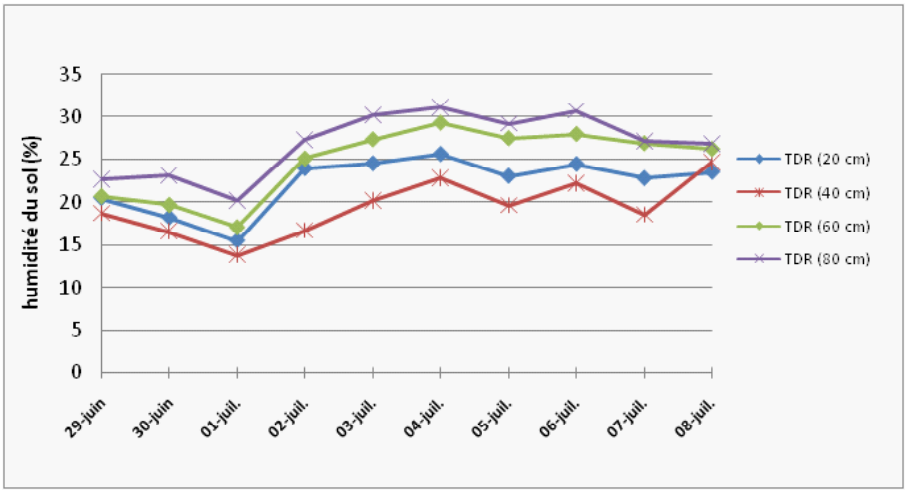

Figure 03: Variation du stock en eau du sol pour le système d'irrigation localisé à 20, 40,60 et 80 cm de profondeur pour la période estivale

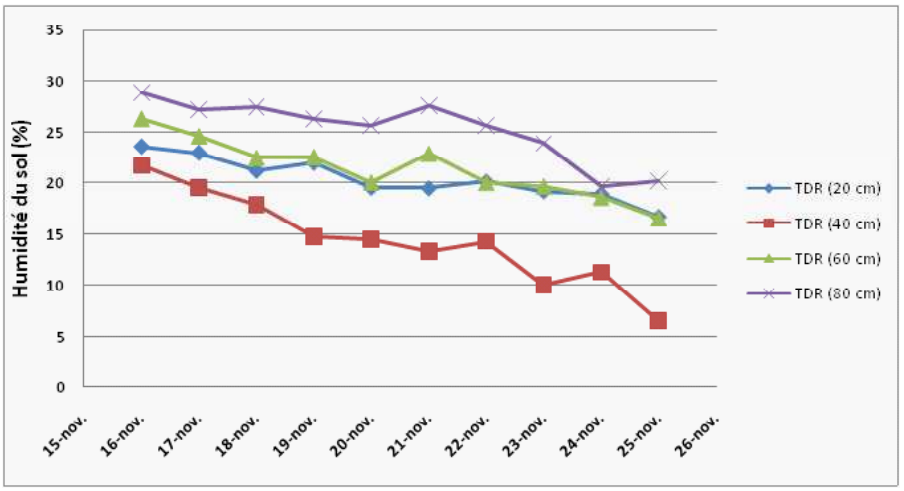

Figure 04: Variation du stock en eau du sol pour le système d'irrigation localisé à 20, 40,60 et 80 cm de profondeur pour la période automnale.

augmente sensiblement avec la profondeur, et le sol est toujours plus humide au fond de tube d'accès.

On remarque que les valeurs d'humidité volumique du sol pour la couche profonde (80 cm) sont supérieures à celles des couches 20, 40 et 60 cm. Ceci est probablement dû à l'influence de la remontée de la nappe phréatique et à l'éloignement de l'effet des aléas climatiques atmosphériques. Contrairement au stock d'eau de la couche superficielle, soumis directement aux conditions climatiques sévères, surtout pour la période estivale dans les régions sahariennes, par conséquent l'intervention par irrigation est plus fréquente.

La deuxième couche (20 cm) enregistre les valeurs les plus faibles par rapport aux autres couches, cette faiblesse est liée, probablement, à la densité de la charge racinaire du palmier dattier, donc à la grande consommation hydrique à ce niveau.

3.2. Comparaison des mesures par TDR et par gravimétrie

La mesure de l'évolution temporelle du stock d'eau de sol a été comparée entre les deux méthodes de mesure, TDR et gravimétrique (Fig 05 et 06), pour le système d'irrigation localisée à 20, 40, 60 et 80cm de profond. Les mesures pour les deux méthodes ont été effectuées avec un pas de temps journalier.

Nous allons voir ici les résultats de comparaison entre les mesures TDR et gravimétrique et présenter une probable correction si nécessaire des données TDR par rapport à la méthode gravimétrie.

Les valeurs obtenues par TDR sont sous-estimées par rapport à la teneur en eau mesurée par gravimétrie. Cette sous estimation n'est pas systématique et peut atteindre 10 %, Les différences ne sont pas significatives au seuil de 2 %. On remarque que les grandes différences de mesure sont enregistrées dans les couches les plus humides (plus de 25% d'humidité) donc les couches les plus profondes. Ces résultats ont été déjà remarqués par Brunet et al, (2003) et Clement (2007). Donc les mesures de TDR sont utilisables pour estimer les quantités d'eau dans les sols sablo-salins mais ces données nécessitent une certaine correction pour évaluer les quantités réelles d'eau

Il faut cependant noter qu'un faible épuisement marque les réserves du sol sur le site d'étude entre deux irrigations, surtout pendant la période estivale (différence des quantités d'eau consommées entre deux irrigations dépasse 35,48 l/m3 pour une période de 2 jours), Ceci est probablement dû principalement à la sur irrigation (dose d'irrigation élevé avec des fréquences importantes pendant la semaine). Pour la période fraiche la durée entre deux irrigations est plus importante (7 a 15 jours), par exemple la quantité consommée entre deux irrigations avec une fréquence de 10 jours est 136,99 l/m^3.

3.3. Discussion des résultats de comparaison entre les deux méthodes

Il s'avère qu'un certain nombre de facteurs ont un impact sur les valeurs de l'humidité volumique mesurées par TDR, où dans notre étude nous n'avons pas pu analyser tous les facteurs. Citons essentiellement : la température du sol (Topp et al 1980). D'après nos données on n'a pas trouvé une relation entre la température de l'air,du sol et les mesures de TDR (Fig 07,08 et 09), où les courbes de tendance montrent une corrélation non significative (r^2 =0.001).

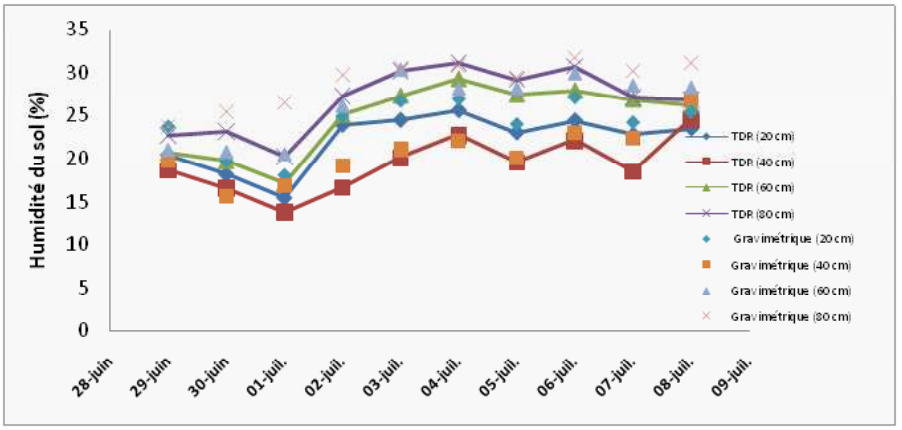

Figure 05: Evolution du stock d'eau selon les mesures TDR et les mesures gravimétriques pour les quatre couches d'un sol sableux pour la période estivale.

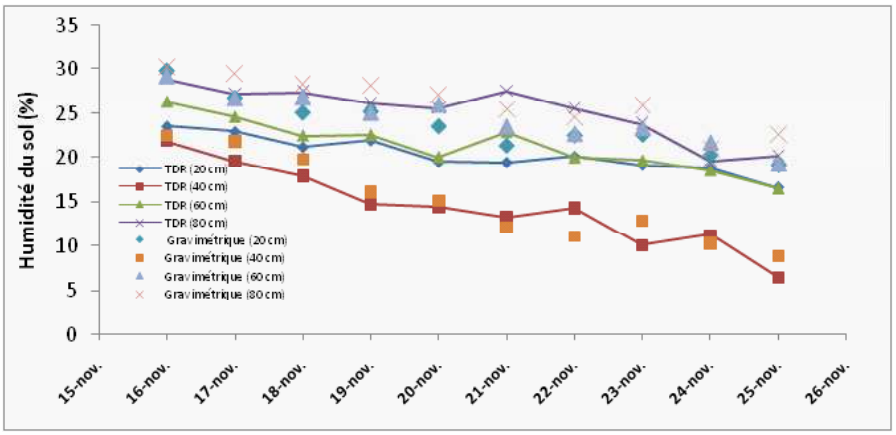

Figure 06: Evolution du stock d'eau selon les mesures TDR et les mesures gravimétriques pour les quatre couches d'un sol sableux pour la période automnale.

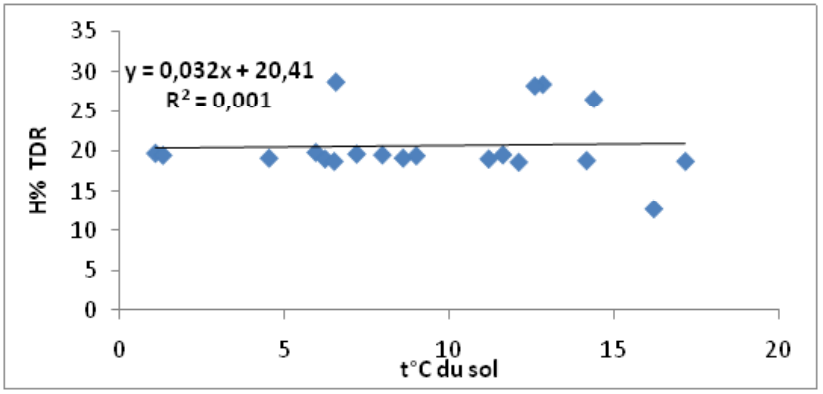

Figure 07 : Corrélation entre la température du sol et l'humidité de TDR

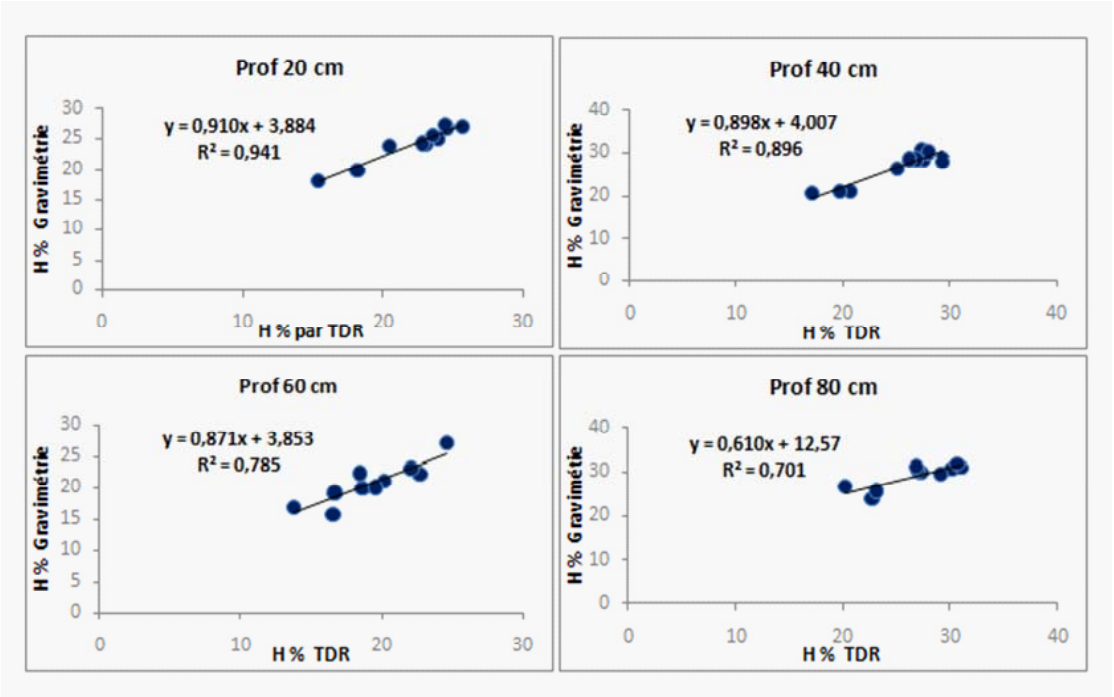

Figure 08 : Comparaison des stocks d'eau moyens sur les quatre niveaux de profondeur entre les mesures TDR et de gravimétrie Période estivale

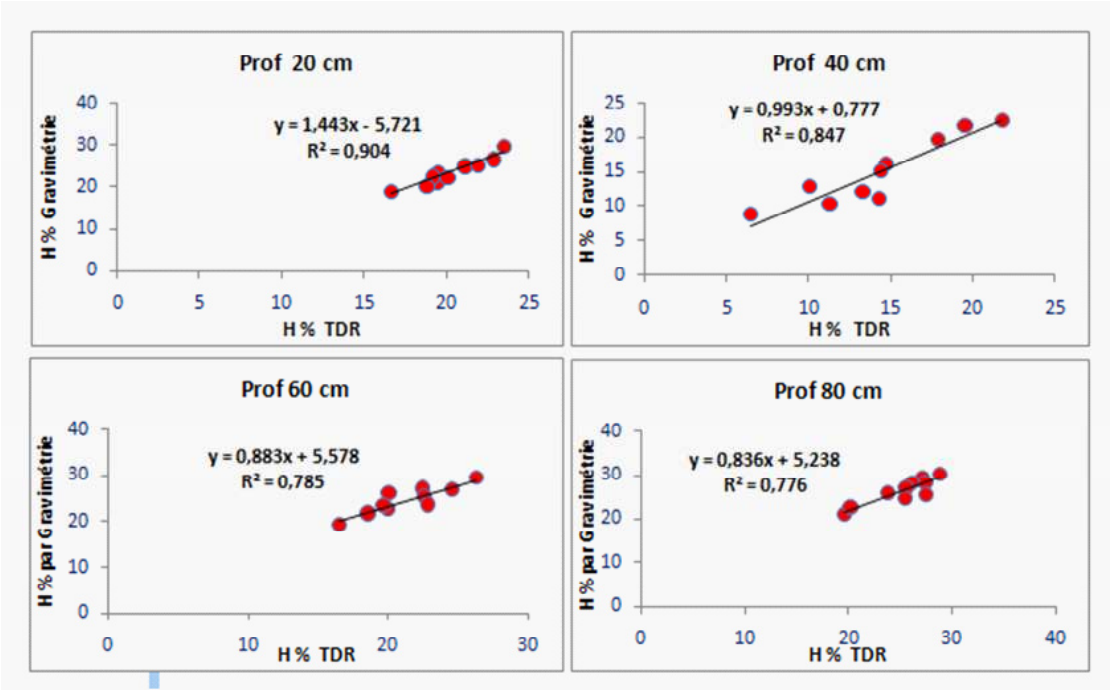

Figure 09: Comparaison des stocks d'eau moyens sur les quatre niveaux de profondeur entre les mesures TDR et de gravimétrie Période automnale

La valeur de la constante diélectrique de la phase solide du sol influencée par un grand nombre de caractéristiques physiques du sol et notamment la densité (Topp et al 1980), la porosité, la surface spécifique (Whalley 1993), la texture et la salinité du sol (Topp et al 1980 ; Soil Moisture Equipment Corp 1993). L'hétérogénéité du sol dans le volume exploré par une sonde est également un facteur d'erreur : il semblerait que sur un sol d'humidité hétérogène, l'humidité moyenne soit sous-estimée selon l'étude de Hokett et al., 1992 (expérimentation sur des sables).

D'après les données d'analyse physiques et chimiques du sol obtenues du site d'étude, la texture du sol est sableuse avec plus de 70% de sable pour la majorité des couches, donc cette caractère de l'homogénéité de la texture de sol entre les quatre couches éloigne l'effet de cette dernière sur les mesures de TDR. La densité apparente augmente avec la profondeur (variée de 1.14g/cm3 a 20 cm jusqu'à 1.42g/cm3 a 80 cm). Le sens de grandeur de la densité apparent est liée inversement à la bonne corrélation enregistré entre les valeurs de TDR et de la gravimétrie.

La comparaison des stocks d'eau réalisée entre les mesures par TDR et par gravimétrie, pour les quatre niveaux de profondeur et dans les deux périodes de mesure (chaude et froide) (Fig. 08 et 09), montre qu'il existe une bonne corrélation entre l'humidité de TDR et l'humidité gravimétrique ($r^2 = 0.70$ pour toutes les couches). On a enregistré à 20 cm une corrélation de $r^2 = 0.94$ et elle diminue avec la profondeur pour atteindre à 80 cm la valeur de $r^2=0.77$.

Les différences d'humidité enregistrées entre les deux méthodes dans notre étude sont probablement liées aux paramètres cités au-dessus, sans oublier le perfectionnement et la qualité de l'appareillage en plus de la manipulation sur terrain.

Pas male d'études théoriques et expérimentales réalisées par des chercheurs, ont tenté d'estimer le poids de ses différents paramètres sur les mesures TDR. Ces études montrent clairement la complexité de la maîtrise de la technique TDR et de l'ajustement des mesures, et traduisent une compréhension encore incomplète de certains mécanismes en cause. Il nous était donc tout à fait illusoire de rechercher des explications détaillées à nos résultats (Rosnoblet 2002).

En toute rigueur, les sources d'erreurs affectant les mesures TDR sont nombreuses, ce qui explique sans doute la valeur importante de l'incertitude fournie par le constructeur. Une loi de correction propre à chaque terme d'erreur devrait être étudiée dans le laboratoire, en conditions parfaitement contrôlées, afin de corriger les erreurs les plus caractéristiques.

4. Conclusion

L'objectif de ce travail est d'améliorer la valorisation de l'eau d'irrigation dans la conduite des cultures (comme le palmier dattier) et de permettre une meilleure maitrise de la demande en eau. Ce travail s'est appuyé sur une approche expérimentale afin de contrôler les quantités d'eau apportées à la culture et de suivi le bilan hydrique.

Tester notre modèle de bilan hydrique nécessite impérativement de mesurer la valeur de l'humidité volumique du sol et son évolution. Compte tenu de l'importance de ce volet expérimental, nous avons choisi d'utiliser deux techniques différentes et complémentaires; la gravimétrie et le TDR.

Le suivit journalier de l'humidité d'un sol sableux irrigué montre que les variations sont bien caractérisées dans le temps et dans l'espace par les mesures de l'humidité volumique réalisées par TDR et par gravimétrie. Les couches superficielles du sol réagissent fortement aux forçages climatiques, alors que les couches profondes sont moins influencées.

Les deux techniques employés pour estimer l'humidité du sol (TDR et gravimétrie) nous ont permis d'acquérir un grand nombre de mesures d'humidité du sol pendant la période de l'expérimentation. Les résultats de comparaisons entre les mesures d'humidité volumique réalisées par TDR et gravimétrie présentent une corrélation satisfaisante.

Les mesures TDR nous paraissent relativement correctes face à la gravimétrie, compte tenu de l'incertitude de 2% d'humidité volumique de la mesure TDR. Toutefois il existe un écart assez important à certaines profondeurs, et en moyenne le TDR peut sous-estime l'humidité du sol. Alors que c'est toutefois l'inverse dans les couches profondes du sol. Ces données semblent néanmoins indiqués la nécessité d'une correction des mesures de la TDR.

Les facteurs qui peuvent influer sur les estimations du stock d'eau par TDR sont nombreux, tous difficiles a prendre en compte dans notre étude. Soulignons que l'utilisation des résultats précédents pour d'autres appareillages TDR devrait nécessiter des études particulières. Les propriétés des appareils semblant dépendantes des caractéristiques des composants électroniques.

Références bibliographiques

Baron JP et Tran Ngoc Lan (1977): Méthodes de mesure et de contrôle des teneurs en eau des matériaux dans les laboratoires des ponts et chaussée. Bull Liaison Labo P Ch 87, 85-96.

Brunet P, Bouvier C, Perrin JL, Robain H (2003)

: Suivi des variations de l'humidité du sol à l'aide de sondage Schlumberger, p5.

Clement R (2007) : Caractérisation géophysique du stock hydrique des formations superficielles en zone méditerranéenne : application à la prédétermination et à la prévision des crues, rapport de stage, master, p71.

Douh B et Boujelben N (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 Mais et l'efficience de l'utilisation de l'eau, Larhyss journal, 115-126.

Hokett S L, Chapman J B et Russell C E (1992): Potential use of time domain reflectometry for measuring water content in rock , J. Hydrol., 138: 89-96.

Mailhol J.C (2005) Contribution à la maîtrise de l'irrigation et de ses impacts, Mémoire d'Habilitation à Diriger des Recherches, UR Irrigation Cemagref Montpellier, p18.

Rawls W J, Brakensik D L (1989): Estimation of soil water retention and hydraulics properties. Unsaturated flow in hydrologic modeling. Theory and practice. H J Morelseytoux Ed, Nato Series, Mathematical and physics Sciences, 275: 275-300.

Reeves T L, Elgezawi S M et Kaser T G (1989): The use of time domain reflectometry for monitoring in situ volumetric water content in processed oil sharle, 218-225.

Rosnoblet E (2002) Dynamique du bilan hydrique parcellaire au sein de l'espace rural-conséquences sur les transferts hydrologiques. Chap II : expérimentation, Sciences de la Terre. INAPG (AgroParisTech), p 30.

Schmugge T J, Jackson T J, McKim H L (1980): Survey of methods for soil moisture determination Water Resources Research, 16: 961–979.

Topp GC et Davis J L (1985): Measurement of soil water content using TDR: a field evaluationa.SSSA J, 49 (1):10-24.

Topp GC et Davis JL (1985a): Time domain reflectometry (TDR) and its application to irrigation scheduling, 107-127.

Topp GC et Davis JL (1985b): Measurement of soil water content using time domain reflectometry (TDR):a field evaluation, Soil Sci Soc Amer J,49: 19-24.

Topp GC, Davis JL et Annan AP (1980): Electromagnetic determination of soil water content : Mesurement in coaxial transmission lines water resour, Res,16 :574-582.

Topp GC, Davis JL, Annan AP (1982): Electromagnetic determination of soil water content using TDR, l'applications to wetting fronts and steep gradients soil Sci Soc Am J, 46: 672-678.

Whalley W R (1993): Consideration on the use of time domain reflectometry (TDR) for measuring soil water content, J Soil Sci 44 (1): 1-9.