

Comprehension of the kinetics of water in the soil from an irrigation test with a bubbler under date palm tree

Compréhension de la cinétique de l'eau dans le sol à partir d'un essai d'irrigation par barboteur sous palmier dattier

LATIFA DHAOUADI^{1,2}, NISSAF KHARBOUT³, HOUDA BESSER⁴, SIHEM BEN MAACHIA^{4,5}

¹Regional Research Center for Oasis Agriculture of Degueche-Tunisia

²Water Sciences and Technologies Laboratory, National Institute of Agronomy of Tunisia, University Carthage ;

³Institute of arid regions Médnine Tunisia

⁴Research Unit of Geo-systems, Geo-resources and Geo-environments (UR3G), Department of Earth Sciences, Faculty of Sciences of Gabes

⁵Laboratory of Horticulture, National Institute of Agronomy of Tunisia, University Carthage

*Corresponding author: latifa_hydro@yahoo.fr

Abstract - Because of its high efficiency compared to other irrigation systems, several farmers in the Tunisian oases introduced the bubbler irrigation system (SIB) arbitrarily under date palms. In this context, the design and management of this technique is essential to rationalize its use. SIB has carried out a preliminary experimental study with the aim of evaluating the water kinetics in the soil. To reach this objective, a monitoring of the SIB-wetting front during and just after irrigation was carried out for two durations: 5h and 2.5h. Three zones were observed on the soil surface namely a saturated zone, a transmission zone and a humected zone. The radius of the saturated zone is the same for both durations while the radii of the transmission and humected zones are different.

Keywords: date palm, Bubbler, irrigation duration, wetting front

Resumé - En raison de son efficacité importante par rapport aux autres systèmes d'irrigations le système d'irrigation par barboteur (SIB) a été introduit arbitrairement sous palmiers dattiers par plusieurs agriculteurs dans les oasis tunisiennes. Dans ce cadre une conception et gestion de cette technique est indispensable pour rationaliser son utilisation. Une étude expérimentale préliminaire a été réalisée dont l'objectif est l'évaluation de la cinétique de l'eau par SIB dans le sol. Pour atteindre cet objectif un suivi du front de SIB au cours et juste après irrigation a été fait pour deux durées 5h et 2,5h. Trois zones ont été observées à la surface du sol à savoir une zone saturée, une zone de transmission et une zone d'humectation. Le rayon de la zone saturée est le même pour les deux durées tandis que les rayons des zones de transmission et d'humectations sont différents.

Mots-clés: Palmiers dattier, barboteur, durée d'irrigation, front d'humectation.

1. Introduction

Le stress global de l'eau, est en augmentation due à une forte baisse des précipitations dans la majorité des pays des zones arides et semi arides (GIEC 2007 ; Anil, 2014 ; Hamed 2015 ; Besser et al. 2017, 2019 ; Haj-Amor et al, 2020). Les activités agricoles qui consomment plus de 80% de ces eaux, constituent un défi majeur pour l'aménagement et la conservation de leur valeur écologique du stock hydrique qui nécessite une bonne gouvernance de l'irrigation surtout dans les zones qui révèlent une pénurie croissante dont la Tunisie fait le bon exemple. En fait, la Tunisie est un pays particulièrement vulnérable aux changements climatiques (Vicente-Serrano 2006). La situation géographique de la Tunisie entre la méditerranée au Nord et le désert au Sud lui confère un climat dominé par l'aridité vu que 16,4% du territoire est semi-aride et 77% du territoire est aride (Aida, 2012) dont la pluviométrie moyenne annuelle est de l'ordre de moins de 100mm à l'extrême Sud. Ces conditions naturelles difficiles définissent un recours continu aux cultures les plus tolérantes à la sécheresse et la à la salinité notamment les agro-systèmes oasiens localisés principalement dans les gouvernorats de Tozeur, Kébili, Gabès et Gafsa (Dhaouadi et al., 2017; Dhaouadi et al., 2015). Malgré leur importance

économique, la gestion de l'irrigation dans ces régions est peu efficace et l'introduction des méthodes modernes d'irrigation reste limitée. En effet, le palmier est la principale spéculation de ces oasis (Sghaier 2010) où l'exportation des dattes représente 16 % des exportations agricoles et la Tunisie prend le 4ème rang mondial pour le volume des exportations des dattes et le 1er pour la valeur des exportations (Abdedayem 2015). En dépit de nombreux investissements et projets d'aménagement qui ont été mobilisés dans le secteur de l'eau agricole dans ces régions tels que le plan directeur des eaux du Sud, La stratégie de mobilisation des ressources en eau, Projet APIOS (Hamdène 2016, Najet Gharbi 2010) l'irrigation, est soumise à plusieurs contraintes jusqu'à nos jours. En fait, les deux principaux problèmes présentant une menace pour la durabilité de l'agriculture oasisienne : un système d'irrigation peu adapté à la demande et une gestion de l'eau d'irrigation peu efficace. L'irrigation, telle qu'est pratiquée dans l'oasis, marque la présence de pertes assez importantes aussi bien au niveau du forage, de réseau de distribution et d'adduction et du réseau terminal qu'au niveau de la parcelle (Abdedayem, 2015; Louhichi, 1999 ; Khoualidia, 2016). L'irrigation par bassin et surtout la technique par cuvettes a été depuis longtemps le système préconisé. Ainsi l'excès d'eau souvent lié à cette technique servirait à lessiver les sels accumulés au cours des irrigations précédentes (Walker et Zaccaria, 2014). Beaucoup d'études se sont intéressées à l'amélioration de l'irrigation sous palmier dattier. Ces études ont été focalisées sur les besoins en eau des palmiers, l'effet des techniques d'irrigation sur la production et le développement végétatif de la culture (Al-Amoud et al, 2012; Amiri et al, 2007). Ahmed et al., (2011) ; Oada, (1998) alors que les travaux abordant la relation de la technique d'irrigation sous palmier dattier avec la dynamique de l'eau dans le sol et dans la zone racinaire sont rares.

Les systèmes d'irrigations localisées pourraient être une solution plus rustique. Dans ce contexte cet article aborde une étude d'un essai d'irrigation par une technique largement utilisée sous palmier dattier dans le monde et étroitement en Tunisie ; le barboteur connu par « Bubbler » ; une technique qui peut minimiser le gaspillage d'eau d'irrigation en respectant les besoins des palmiers. Et par conséquent, ce travail de recherche porte sur une étude expérimentale de la dynamique de l'eau d'irrigation sous barboteur en irrigant un palmier dattier. Les résultats obtenus jouissent d'une importance indispensable dans le dimensionnement du réseau d'irrigation par barboteur à l'échelle d'une parcelle plantée des palmiers dattiers pour une mesure de gestion raisonnable des ressources naturelles en eau et sol.

2. Matériel et Méthodes

2.1. Aperçu sur le site expérimental

Les essais ont été conduits dans une parcelle oasisienne qui appartient à la station expérimentale du Centre Régional de Recherche en Agriculture Oasisienne (CRRAO) (Fig1) qui est située sur le versant du Chott El Djérid au Nord-ouest de l'ancien oasis de Degueche ($33^{\circ}59'28.27''N$, $8^{\circ}14'16.44''E$) dans la région de Tozeur au Sud du pays (Fig1), caractérisée par le faible taux des précipitations qui ne dépassent que rarement les 100 mm/ an et par de fortes valeurs de température et d'évaporation.

La région de Degueche est dominée par les cultures oasisiennes, le plus souvent basées sur la phoeniculture dont la superficie occupée totale est de 1452ha avec une production qui est de l'ordre de 7810 tonnes (ODS, 2018).

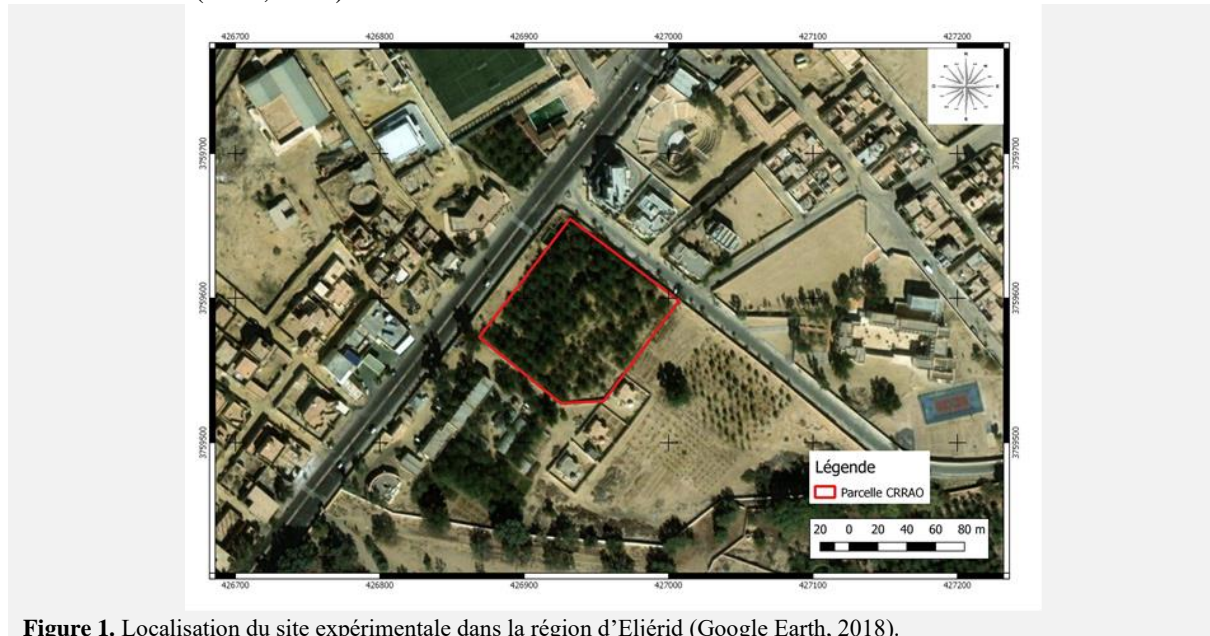


Figure 1. Localisation du site expérimentale dans la région d'Eljérid (Google Earth, 2018).

→ **Les ressources en sol**

Les oasis sont couverts par un sol généralement de texture légèrement fine, qui ne sont pas bien drainés, en raison du niveau de la nappe proche de la surface. A la surface, les sols se concentrent sous forme de plages ou en profondeur sous forme d'horizon gypseux continu formant des croûtes et des encroûtements gypseux de nappes. Le sol est bien pourvu en matière organique (0.08%) se réchauffe rapidement en début de saison quand les températures sont encore basses. Le réchauffement du sol a pour conséquence un démarrage précoce de l'activité racinaire. Ainsi, les arbres pourront consommer leurs réserves rapidement pour subvenir à leur besoin alimentaire en début de saison et assurer un bon développement racinaire qui leur permet de mieux résister aux difficultés estivales (chaleur, vent, manque d'eau). Le rapport C/N qui est de l'ordre de 2.66 montre que la minéralisation est rapide selon Duchaufour, (1984). Elle est due à une activité intense des micro-organismes par rapport aux faibles quantités de matière organique disponible dans le sol. Le sol est de faible salinité avec une conductivité électrique de l'ordre de 1.73 ms/cm Les teneurs en azote total, phosphore assimilable, potassium échangeable et en magnésium échangeables sont faibles. La teneur en calcium échangeable est très élevée (fig2).

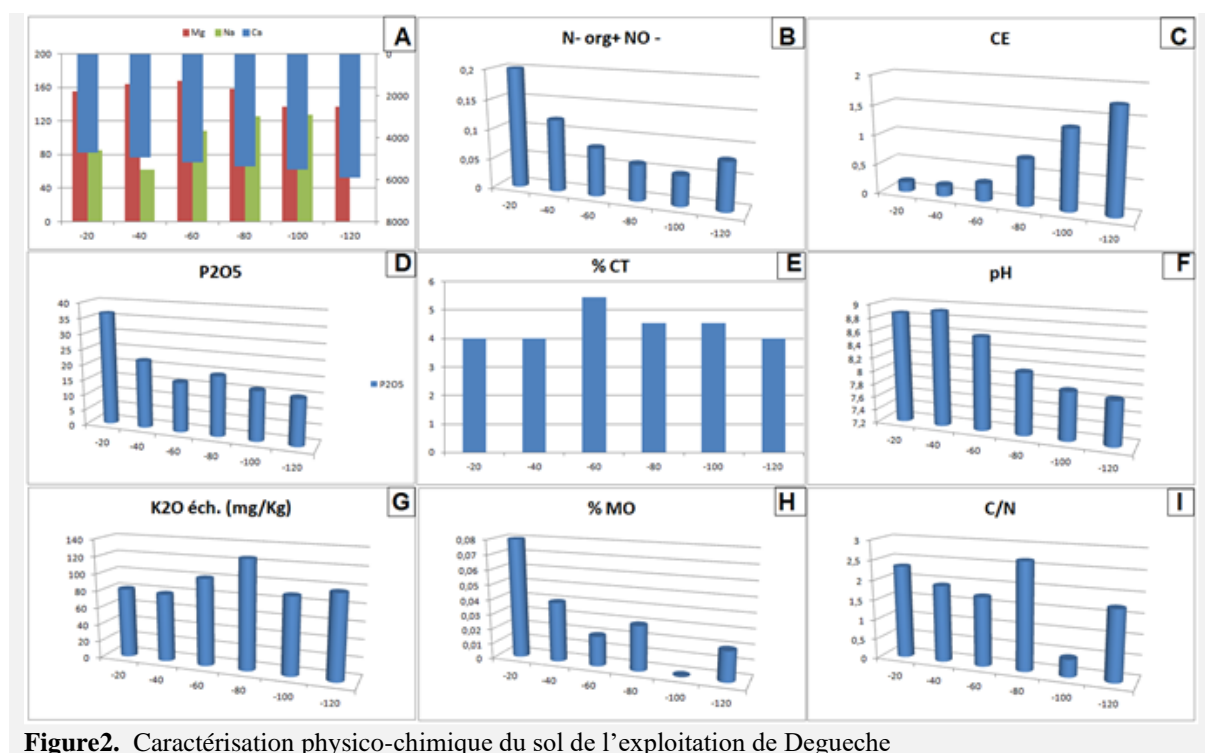


Figure2. Caractérisation physico-chimique du sol de l'exploitation de Degueche

→ **Les teneurs en eau caractéristiques des sols *in situ***

Dans ce travail les chambres de Richards ont été utilisées pour estimer les teneurs en eaux θ_{CC} et θ_{pf} . Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau 1.

Tableau1 : les teneurs en eau volumiques θ_{CC} et θ_{pf}

Profondeur en cm	θ_{CC} %	θ_{pf} %
30	11,9±0,58	6,2±0,28
60	11,3 ± 0,46	6,4±0,15
90	11,6 ±0,10)	6,4± 0,17
120	9,3 ± 0,34	6,3± 0,19

→ **Les ressources en eau utilisées**

L'irrigation dans les oasis de Degueche est faite par deux types des eaux qui sont l'eau de forage et l'eau de l'association selon la disponibilité des eaux. Les analyses physico-chimiques des deux sources d'eau d'irrigation sont illustrées dans le tableau 2, qui montre que les deux sources d'irrigation sont de salinité acceptable car elle ne dépasse pas 2g/l ainsi que le SAR qui est de l'ordre de 6,37. Cette valeur est inférieure à 10 donc le risque d'accumulation du sodium dans le sol est faible (N'Diaye et al., 2010).

Cependant, les fortes concentrations de chlorure, de bicarbonates, de calcium et de sulfates suggèrent de risques élevés liés à la corrosion et à des problèmes d'infiltration. En fait, le rapport de salinité

potentielle est largement supérieur à 35 meq/l et le rapport de bicarbonate résiduel est loin d'être négligeable. En outre, les différents indices de corrosion indiquent que ces eaux pourraient engendrer des problèmes de maintien du réseau de distribution ainsi que pour la perméabilité du sol. Les concentrations mesurées affichent également, un risque élevé de contamination liée à de fortes valeurs de nitrate qui dépassent les limites internationales pour les eaux destinées à l'irrigation

Tableau 2. Analyse physico-chimique des eaux d'irrigation de l'exploitation de Degueche.

	Eau de forage du centre	Eau de l'association
T (°C)	25,3	23,4
pH	7,46	7,5
Cond (ms/cm)	3,38	3,84
Rs (mg/l)	1,91	1,66
Teneur en ions	mg/l	mg/l
Calcium	152,8	131,2
Magnésium	78,04	72
Sodium	3,89	516,5
Potassium	23	27,4
Bicarbonate	352	128,1
Sulfate	427	489
Chlorure	568	504
Nitrate	8,7	3,1

2.2. Protocole expérimental

La valeur socio-économique de cette activité agricole nécessite un système de suivi continu de différents facteurs influençant et (ou) dégradant les ressources en eau et en sol entre autres les techniques d'irrigation. En fait, dans cette région, l'irrigation par bassin est souvent utilisée par les agriculteurs qui sont conscients de ses inconvénients majeurs notamment le gaspillage d'eau, l'hydromorphie du sol... causes principales de la chute de production en quantité et en qualité.

Les travaux de Dhaouadi et al., (2015) et Dhaouadi, (2017) ont montré l'efficacité de la technique de barboteur sous palmier dattier en termes de conservation de l'eau et de la fertilité du sol tout en respectant les besoins réelles en eau d'irrigation. Du coup, au cours de cette étude une expérience d'irrigation sous palmier a été réalisée par barboteur à l'échelle d'une exploitation agricole dans la station expérimentale du CRRAO.

→ Calcul des besoins : CROPWAT8 .0

Les besoins en eau estimés par Cropwat.8 ont été effectués en utilisant les données climatiques au cours de l'année 2013.

Le logiciel Cropwat exige plusieurs types de données climatiques. Les données climatiques utilisées sont enregistrées à la station Heavy Weather, WS230 au cours de l'année 2013, installée dans la parcelle expérimentale de Degueche. L'analyse de ces données indique les caractéristiques suivantes :

- **Température** : La palmeraie est caractérisée par une température moyenne annuelle de 21,75°C pour l'année 2013. Les mois les plus chauds, à l'intérieur du site expérimental, sont Juillet, Août, Septembre et Octobre où la température moyenne oscille entre 28 et 32°C. Pour la saison fraîche, la température moyenne mensuelle descend à 11°C (au mois de Janvier, Février et Mars, Fig. 2).
- **Humidité relative** : Les plus forts taux d'humidité sont enregistrés durant la saison fraîche et varient de 44 à 50 %. Durant la saison chaude, ce taux d'humidité est faible et varie de 33 à 36 %.
- **Vitesse du vent** : Dans le site expérimental, la vitesse moyenne annuelle du vent reste assez faible (0,39 m/s) pour l'année 2013. C'est durant Janvier, Février qu'on a enregistré les vitesses les plus importantes, de l'ordre de 0,8 à 0,9 m/s
- **Précipitations** : Le site expérimental est caractérisé par une très faible pluviométrie. Durant l'année 2013, on n'a enregistré que 84,9 mm de pluie. Les mois de Mars et Décembre 2013 ont été les plus pluvieux avec une précipitation respectivement de 28,5 mm et de 40,4mm (fig.2).
- **Evapotranspiration** : L'Et₀ mensuelle moyenne, calculée par le Cropwat.8, est de 96 mm pour la période 2013. C'est durant l'été, que les températures sont élevées, et on enregistre les plus fortes Et₀: 143,4 mm au mois de juin, 149,73 mm au cours du mois de Juillet et 131,75 mm au mois d'août. En 2013, l'Et₀ cumulée enregistrée est de 1153,47 mm, soit 3,2 mm par jour (fig. 2).
- **Les données liées au sol** : les paramètres pédologiques permettront d'estimer la réserve en eau utile du sol.
- **Les données liées à la culture** : sont la réserve en eau facilement utilisable par la plante (type de culture, les phases de développement, et le Kc). Le coefficient cultural Kc n'est pas homogène pour le palmier

dattier (Dhahbi, 1996). La valeur de K_c du palmier dattier est entre 0,8 et 0,99 en Saudia (Al-Amoud et al, 2012), cette valeur est entre 0,80 et 0,92 dans les palmeraies koweitiennes (Bhat et al., 2012). En 1996, Dhahbi a montré que cette valeur oscille entre 0,4 et 1,2 dans la même zone d'étude où ces travaux ont été menés. Par contre K_c variait entre 0,9 et 0,95 dans les oasis de Touggourt- Algérie (Mihoub et al., 2016); dans ce travail on a utilisé les K_c élaborées en 2016 par Mokhtari.

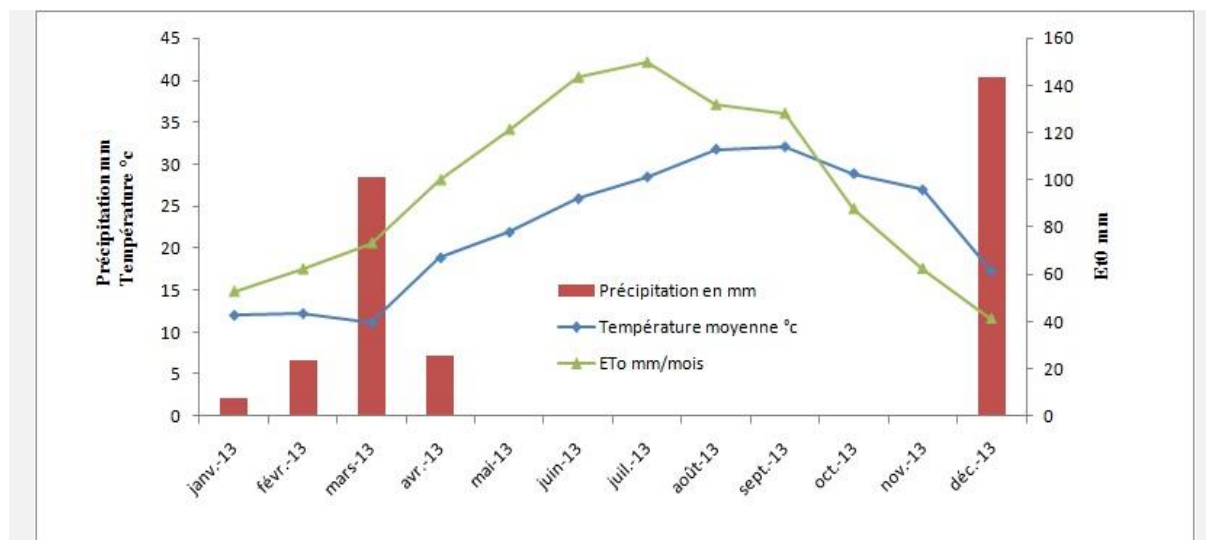


Figure 2. Diagramme ombrothermique de la parcelle de Degueche, 2013.

→ Travaux du terrain

Vu l'importance de la technique d'irrigation par barboteur dans les oasis, une analyse plus approfondie a été menée sous un seul barboteur en appliquant deux durées d'irrigation qui ont été choisies à effectuer en respectant la dose calculée par CropWat8.0 à savoir 5h et 2.5h. Le suivi de l'humidité des bulbes d'humectation dans le sol a été fait sous un seul bubbler au niveau de différentes zones humectées. Les observations du terrain ont guidé les différentes mesures réalisées pour caractériser le site expérimental (Fig. 3).



Figure 3. Suivi expérimental de la cinétique de l'eau sous un barboteur

3. Résultats et discussion

3.1. Besoins en eau calculés par CROPWAT

Selon le modèle Cropwat.8 appliqués sur le site expérimental, Le palmier dattier a un déficit pluviométrique de l'ordre de 945,4 mm par an. La figure 3 explique que le taux de consommation de l'eau par le palmier, au cours de l'année 2017, augmente à partir du mois

d'avril jusqu'au mois d'octobre. A noter que le nombre des palmiers par hectare s'élève à 100 palmiers en moyenne, le besoin par palmier est donc $94,540\text{m}^3/\text{an}$. En plus, vu que la station météorologique qui est installée au sein de l'oasis, le coefficient de réduction admis généralement à 0,7 Slimani (1995) n'a pas été considéré.

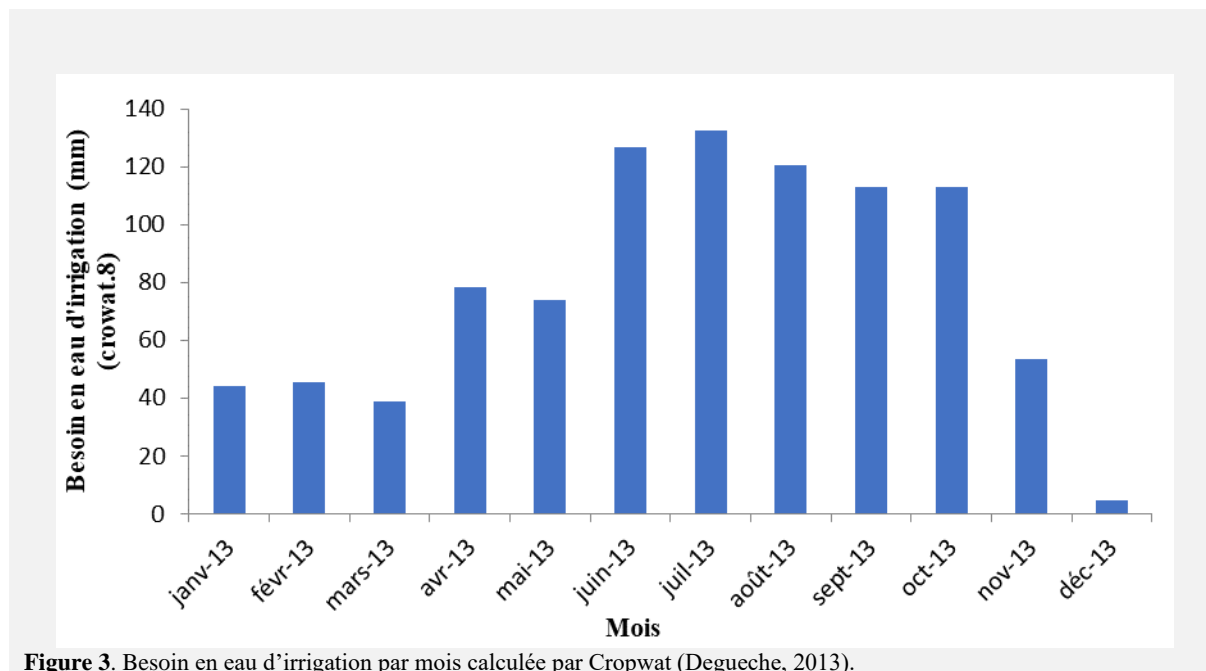


Figure 3. Besoin en eau d'irrigation par mois calculée par Cropwat (Degueche, 2013).

3.2. Effet de l'irrigation par barbotteur

3.2.1. Pour une irrigation de 5h

Le suivi de l'humidité des bulbes d'humectation dans le sol a été fait sous un seul barbotteur au niveau de différentes zones humectées. Les observations du terrain ont montré trois différentes zones définies comme suit : zone (1): sous le chapeau du barbotteur ; zone (2) : la zone de transition et zone (3): zone du front d'humectation. Pour caractériser ces zones, des mesures des teneurs en eau ont été effectuées au niveau de différents degrés d'humectation : Le premier dans la limite du chapeau, le deuxième dans la zone de transition alors que le troisième est plus proche du front.

- **Rayon du bulbe d'humectation au niveau de la zone 1 :** Le diamètre du chapeau fluctuait durant la première phase d'irrigation comprise entre 0 et 15mn. Le rayon était de 12 cm à $t=0$ et a diminué à 7 cm après 15mn. Par la suite, le diamètre est stabilisé à 7 cm. Durant ces 15mn, la vitesse d'infiltration variait de $12 \cdot 10^{-4}$ m/s à $32 \cdot 10^{-4}$ m/s. La pression fluctuait entre 0,75 et 1,5 bar obligatoire ce qui a affecté le débit du barbotteur. Effectivement on a constaté que le débit a varié entre 200 l/h et 178 l/h. Cette variation n'est pas seulement due à la variation de la pression mais aussi à l'avancé de l'onde de l'eau dans la rampe. Après 15 mn, il y a une stabilisation de la surface du chapeau. A partir de 15 mn, la surface a été de 154 cm^2 et la vitesse d'infiltration était de $32 \cdot 10^{-4}$ m/s.
- **Rayon du bulbe d'humectation au niveau de la zone 2 :** A l'interface air-sol, la teneur en eau était initialement faible (4%), l'écoulement se fait dans toute les directions de la même façon. La seule force qui dirige l'écoulement étant le potentiel matriciel. Durant les premières 15mn, la vitesse a augmenté de $12 \cdot 10^{-4}$ m/s à $32 \cdot 10^{-4}$ m/s. D'après la figure 5, la vitesse d'infiltration continue à augmenter puis elle s'est stabilisée après 3h30mn.
- **Rayon du bulbe d'humectation au niveau de la zone 3 :** La zone d'humectation est plus grande que la zone de transmission à partir de 4h30mn, l'avancement du front d'humectation s'arrête et se stabilise au rayon de 124cm. Ceci s'accorde avec la théorie de l'infiltration horizontale qui dit lorsque le temps tend vers l'infini, l'infiltrabilité tend vers zéro ce qui a été observé exactement dans la fig4.

3.2.2. Pour l'irrigation de 2.5 h

- **Rayon du bulbe d'humectation au niveau de la zone 1 :** Le rayon du chapeau varie entre 10 cm de rayon à $t=0$ pour diminuer à 7 cm après 5mn. Après ce temps, le diamètre s'est stabilisé à 7 cm. Durant cette période la vitesse d'infiltration varie de 8.10^{-4} m/s à 9.10^{-4} m/s. Nous avons observé que cette pression change entre 0,5 et 1bar. Effectivement on a vérifié que le débit a varié entre 100 l/h et 90 l/h après 5mn. Après 5 mn, il y a eu une stabilisation de la surface du chapeau. A partir de 5 mn, l'intensité de flux a été de 9.10^{-4} m/s pour une surface de 154 cm^2 (Fig.6).
- **Rayon du bulbe d'humectation au niveau de la zone 2 :** A l'interface air-sol, la teneur en eau était initialement faible (2%), de l'écoulement se fait dans toutes les directions de la même façon. La seule force qui dirige l'écoulement étant le potentiel matriciel. Durant les premières 5mn, la vitesse a augmenté de 8.10^{-4} m/s à 9.10^{-4} m/s, ce passage a permis au sol de stocker de l'eau. D'après les graphiques de la figure5, la vitesse d'infiltration se stabilise à partir d'un temps égal à 2h10mn et le rayon s'arrête à 79 cm.
- **Rayon du bulbe d'humectation au niveau de la zone 3 :** La zone d'humectation est plus grande que la zone de transmission. A partir de 2h40mn, l'avancement du front d'humectation s'arrête et se stabilise au rayon 103 cm. Ceci s'accorde avec la théorie de l'infiltration horizontale qui dit lorsque le temps tend vers l'infini, l'infiltrabilité tend vers zéro, ce qui a été observé réellement dans la figure 5B.

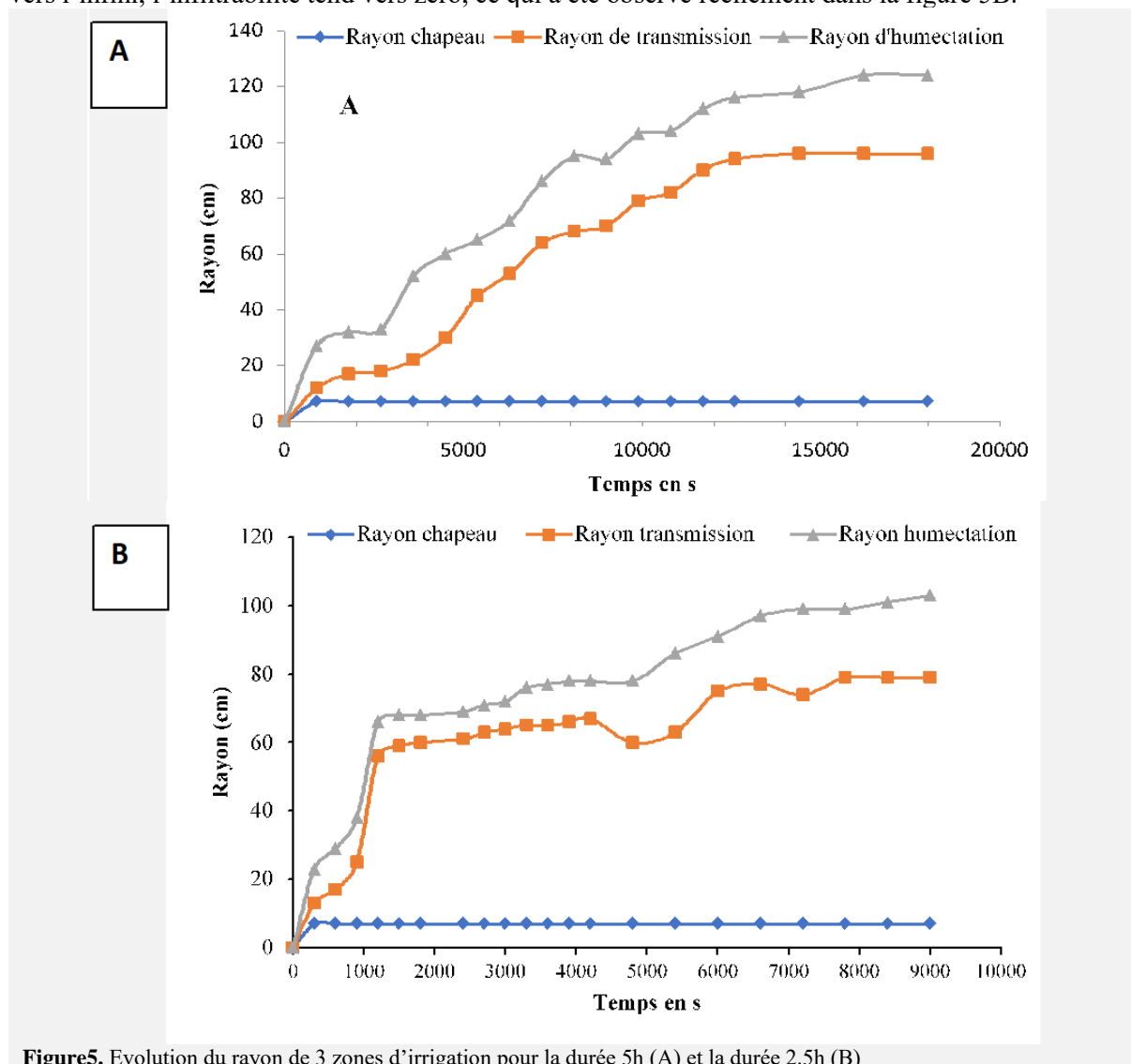


Figure5. Evolution du rayon de 3 zones d'irrigation pour la durée 5h (A) et la durée 2.5h (B)

3.3. Evolution de l'humidité du sol

→ Pour l'irrigation de 5 H

La teneur en eau moyenne au-dessous du chapeau est égale à 17 % qui est strictement supérieure à la teneur en eau moyenne à la capacité au champ ($\theta_{CC} = 11\%$), celle de la zone de transition (à 96 cm) est

de l'ordre de 13% est très proche de θ_{CC} alors que la moyenne de la teneur en eau au niveau du front (à 124 cm) est environ 4% cm^3/cm^3 , cette teneur est inférieure à θ_{pf} (6%). La teneur en eau du sol, à la fin de l'irrigation est toujours inférieure à θ_s et que dans la zone de transition est très proche de θ_{cc} (Fig 6 A), dans ce contexte Li et al. (2018a; 2018b) et Yang et al. (2020) ont affirmé que l'irrigation sous terraine localisée favorise la conservation de l'humidité par rapport aux autres méthodes d'irrigation.

→ **Pour l'irrigation de 2,5 H**

La teneur en eau moyenne au-dessous du chapeau est égale à 13% qui est proche de la teneur en eau moyenne à la capacité du champ θ_{CC} (11%), celle de la zone de transmission (à 79 cm) est de l'ordre de 7% qui est très inférieure à θ_{CC} et proche de la teneur en eau au point de flétrissement permanent θ_{pf} (6%) alors que la moyenne de la teneur en eau au niveau du front (à 103cm) est d'environ 4%. La teneur en eau à la saturation est environ 25 %, cela entraîne que la vitesse d'infiltration à l'intérieur du sol est supérieure à la vitesse de la sortie de l'eau à partir du barboteur (Fig.6 B)

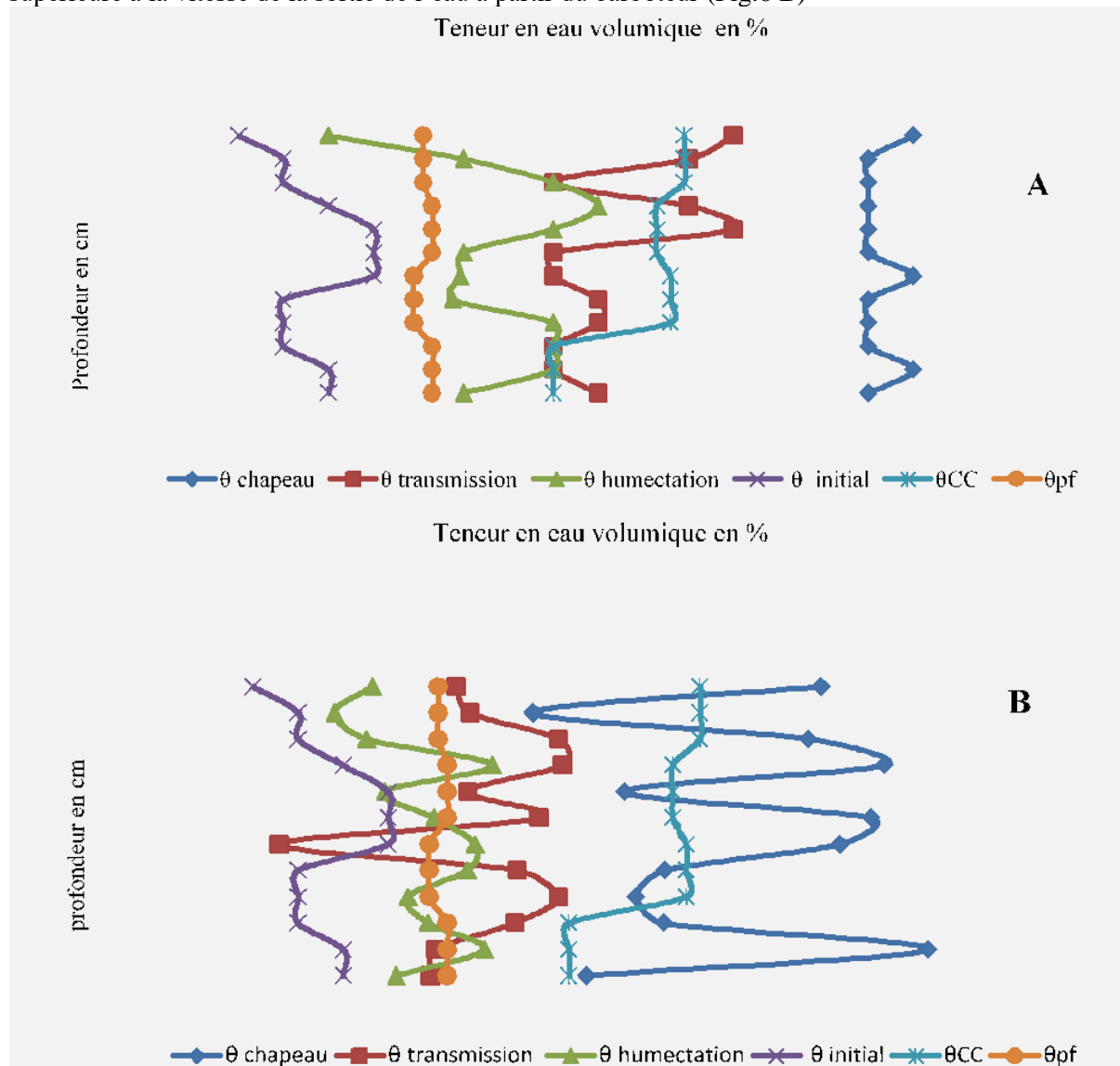


Figure 6. Profils hydriques pour les différentes zones humectées sous barboteur pour les deux durées : Durée 5 heures (A) ; Durée 2,5 heures (B)

4. Conclusion

La production agricole dans les écosystèmes oasiens tunisiens est, actuellement, confrontée à plusieurs contraintes qui menacent sa durabilité notamment une eau de plus en plus rare, une salinisation accrue des sols associées au dérèglement climatique. L'objectif principal de ce travail est de proposer une approche de gestion d'eau via l'évaluation de technique d'irrigation par barboteur. Dans l'oasis de Degueche à Tozeur on a évalué l'efficacité de l'irrigation par barboteur. Une évaluation a été réalisée en respectant les pratiques de l'agriculteur et les résultats obtenus ont permis de conclure la présence

de trois zones différentes à savoir une zone saturée, une zone de transmission et une zone d'humidification. Pour les zones saturées le rayon est le même pour les deux durées. Il est de 7cm. Pour les zones de transmission, les rayons diffèrent et ils sont respectivement de 90 cm et 70 cm pour les durées 5 et 2,5 heures. Les rayons de la zone d'humectation ont été de 125 cm et 100 cm respectivement pour les durées 5h et 2,5 heures.

L'irrigation par barbotteur dans le système oasien avec les sols sableux est une carte intelligente pour lutter contre le déficit hydrique. Cependant, comme tout travail expérimental, Certaines expérimentations devront être reprises surtout en tenant compte de la variation de quelques conditions initiales à savoir l'humidité initiale qui influence les pertes profondes. Les résultats encourageants de cet essai, couplés avec les besoins croissants d'une technique d'aménagement flexible et fiable augmente le recours aux différents processus d'estimation entre autres la modélisation étendue à la forme bi et tridimensionnelle car à l'exception de l'irrigation par bassin les autres techniques s'appêtent à une modélisation bi ou tridimensionnelle pour développer les différents scenarios d'évolution relatifs à la variété des conditions locales.

Références

- Abdeyem, S. 2015.** "Stratégie et Plan d'action de Développement Durable Des Oasis." WB (World Bank),.
- Al-Amoud, A., F.S. Mohammad, S.A. Al-Hamed et A.M. Alabdulkader. 2012.** "Reference Evapotranspiration and Date Palm Water Use in the Kingdom of Saudi Arabia." International Research Journal of Agricultural Science and Soil Science. 2 (4): 155–169.
- Amiri M, M. Panahi., et G. Aghazadeh. 2007.** "Comparison of Bubbler, Sprinkler and Basin Irrigation for Date Palms (Phoenix Dactylifera, Cv. Zahdi) Growth in Kish Island, Iran." Food, Agriculture and Environment Journal., 185–87.
- Arbat G. P., F. R. Lamm, and A. A. Abou Kheira. 2010.** "Subsurface Drip Irrigation Emitter Spacing Effects on Soil Water Redistribution, Corn Yield, and Water Productivity." Applied Engineering in Agriculture 26 (3): 391–99. <https://doi.org/10.13031/2013.29959>.
- Bhat, N.R., V.S. Lekha, M.K. Suleiman, B. Thomas, S.I. Ali, P. George, and L. Al-Mull. 2012.** "Estimation of Water Requirements for Young Date Palms Under Arid Climatic Conditions of Kuwait." World Journal of Agricultural Sciences. 8 (5): 448–52.
- Costa, J. Miguel, Maria F. Ortuño, and Manuela M. Chaves. 2007.** "Deficit Irrigation as a Strategy to Save Water: Physiology and Potential Application to Horticulture." Journal of Integrative Plant Biology. John Wiley & Sons, Ltd. <https://doi.org/10.1111/j.1672-9072.2007.00556.x>.
- Dhaouadi, L., Boughdiri, A., Daghari, I., Slim, S., Ben maachia, S., and Mkadmic, C. 2017.** "Etude Des Paramètres de Performance de Trois Techniques d'irrigation Localisée Sous Palmiers Dattiers Dans Les Oasis de Deguache,," 12.
- Dhaouadi.L, Maachia B E N.S, Mkademi .C, Oussama . M, and Daghari .H. 2015.** "Etude Comparative Des Techniques d ' Irrigations Sous Palmier Dattier Dans Les Oasis de Deguache Du Sud Tunisien." Journal of New Sciences, Agriculture and Biotechnology 18 (3): 658–67.
- Dhaouadi, L. 2017.** "Etude Experimental Comparative de Technique d'irrigation Sous Palmier Dattier Dans Les Oasis Tunisiennes,," INAT.
- 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'efficience de l'utilisation de l'eau." LARHYSS Journal 10: 115–126.
- Douh, Boutheina, Abdelhamid Boujelben, Amel Belhaj MGUIDICHE, and Rania Harrabi. 2014.** "DYNAMIQUE DE L'EAU DANS LE SOL SOUS UN SYSTEME D'IRRIGATION LOCALISEE SOUTERRAIN WATER DYNAMICS IN SOIL UNDER A SUBSURFACE DRIP IRRIGATION SYSTEM." Revue LJEE. Vol. 0. <https://share.ensh.dz/index.php/ljee/article/view/260>.
- Duchaufour, P. 1984.** Abrégés de Pédologie. Masson. Pa.
- FAO (L'Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture). 2007.** Water for Sustainable Food and Agriculture A Report Produced for the G20 Presidency of Germany. www.fao.org/publications.
- Haj-Amor, Zied, Tapos Kumar Acharjee, Latifa Dhaouadi, and Salem Bouri. 2020.** "Impacts of Climate Change on Irrigation Water Requirement of Date Palms under Future Salinity Trend in Coastal Aquifer of Tunisian Oasis." Agricultural Water Management 228 (February): 105843. <https://doi.org/10.1016/J.AGWAT.2019.105843>.

- Khoualidia, F. 2016.** “Analyse et Diagnostic Des Réseaux d’irrigation Dans Les Oasis de Degueche. Projet de Fin d’étude. Diplôme d’ingénieur En Hydraulique et Aménagement.”
- Li, Jingang, Zhongyi Qu, Jin Chen, Fan Wang, and Qiu Jin. 2018.** “Effect of Different Thresholds of Drip Irrigation Using Saline Water on Soil Salt Transportation and Maize Yield.” *Water* 10 (12): 1855. <https://doi.org/10.3390/w10121855>.
- Li, Xianwen, Menggui Jin, Nianqing Zhou, Simin Jiang, and Yaxian Hu. 2018.** “Inter-Dripper Variation of Soil Water and Salt in a Mulched Drip Irrigated Cotton Field: Advantages of 3-D Modelling.” *Soil and Tillage Research* 184 (December): 186–94. <https://doi.org/10.1016/j.still.2018.07.016>.
- Louhichi, K. 1999.** “L’amélioration de l’efficacité de l’irrigation Pour Une Économie d’eau : Cas d’un Périmètre Irrigué En Tunisie ”. CIHEAM-IAMM Centre International de Hautes Etudes Agronomiques Méditerranéennes.
- Mihoub A., Helimi S, Mokhtari S, et Halitim A. 2016.** “Appréciation d’une Méthode Pour l’estimation Des Besoins En Eau d’une Culture Cultivée Dans Un Milieu Salin (Cas Du Palmier Dattier).” *Revue Agriculture*. Numéro spé: 189–197.
- ODS (Office de Développement du sud). 2018.** “Le Gouvernorat de Kébili Tozeur, Gafsa et Gabes,” 114, 127.
- Sghaier, M. 2010.** Etude de La Gouvernance Des Ressources Naturelles Dans Les Oasis, Cas Des Oasis En Tunisie. Union Internationale Pour La Conservation de La Nature.
- Slimani, M. 1995.** Analyse et diagnostic des périmètres irrigués du gouvernorat de Gafsa. Evaluation à la parcelle.
- Valentín, F., P. A. Nortés, A. Domínguez, J. M. Sánchez, D. S. Intrigliolo, J. J. Alarcón, and R. López-Urrea. 2020.** “Comparing Evapotranspiration and Yield Performance of Maize under Sprinkler, Superficial and Subsurface Drip Irrigation in a Semi-Arid Environment.” *Irrigation Science* 38 (1): 105–15. <https://doi.org/10.1007/s00271-019-00657-z>.
- Vicente-Serrano, S.M. 2006.** “Spatial and Temporal Analysis of Droughts in the Iberian Peninsula (1910-2000).” *Hydrological Science Journal*. 51 (1): 83–97.
- Walker, R., et Zaccaria, D. 2014.** “Agricultural Water Management Challenges in the Western US. Discussion Paper.” In The NSF Water Workshop Cairo, Egypt, August 10-14, 26.
- Yang, Guang, Fadong Li, Lijun Tian, Xinlin He, Yongli Gao, Zelin Wang, and Futian Ren. 2020.** “Soil Physicochemical Properties and Cotton (*Gossypium Hirsutum* L.) Yield under Brackish Water Mulched Drip Irrigation.” *Soil and Tillage Research* 199 (May): 104592. <https://doi.org/10.1016/j.still.2020.104592>.