

Contribution de la nappe phréatique à l'alimentation hydrique du palmier dattier (*Phoenix dactylifera*) dans les zones oasiennes

Wafae El Khoumsi^{1,*}, Ali Hammani¹, Sami Bouarfa², Ahmed Bouaziz¹ et Imed Ben Aïssa³

¹ IAV Hassan II, Madinat Al-Irfane, BP 6202-Instituts, 10101 Rabat, Maroc

² Irstea, UMR G-eau, 361, rue J-F Breton, BP 5095, 34196 Montpellier Cedex 05, France

³ CRRHAB / IRESA, Irrigation & Plant-Water relations, BP 57, Chott Mariem, 4042 Sousse, Tunisie

Résumé – Dans les régions arides, les ressources en eau sont extrêmement limitées. La contribution de la nappe phréatique pour satisfaire les besoins en eau des cultures, en particulier le palmier dattier, peut être très importante dans ces zones, mais est souvent méconnue. Cette contribution dépend de l'environnement de la zone racinaire et de la profondeur de la nappe phréatique. Comprendre l'interaction entre la nappe phréatique et le développement du palmier dattier est essentiel pour améliorer l'efficacité de l'utilisation de l'eau. Les objectifs de cet article sont d'étudier l'impact de la nappe phréatique peu profonde sur la distribution racinaire du palmier dattier et de déterminer la contribution de cette nappe à sa consommation en eau. Une expérimentation a été menée chez un agriculteur dans une exploitation de palmiers dattiers (variété Mejhoul) située dans l'oasis de Tafilalet (Maroc). La profondeur du niveau piézométrique varie entre 4 et 5 m avec une salinité moyenne de 5 g.L⁻¹. De nombreuses mesures ont été faites : suivi de l'humidité du sol, cartographie de la distribution du système racinaire et mesure de transpiration. Les résultats montrent que, pendant la saison sèche (juin, juillet et août), et sans apport d'irrigation, 50 % de la transpiration du palmier dattier provient des eaux souterraines. Les résultats révèlent également que le système racinaire du palmier dattier peut atteindre des profondeurs très importantes (jusqu'à 9 m) pour prélever l'eau de la nappe phréatique. Par conséquent, la détermination des besoins en eau du palmier dattier doit prendre en compte l'interaction de son système racinaire avec la nappe phréatique.

Mots clés : oasis / palmier dattier / nappe phréatique / prélèvement racinaire / transpiration

Abstract – Contribution of groundwater to date palm (*Phoenix dactylifera*) water use in the oases. In arid regions, water resources are extremely limited. The contribution of groundwater to satisfy crop water requirements can be very high, but is often not known. This contribution depends on the root zone environment and the water table depth. Understanding the interaction between groundwater tables and plant development is fundamental to improve water use efficiency. The objectives of this paper are to study the effect of shallow water tables on date palm root distribution, and to determine the contribution of groundwater to date palm water consumption. Experimental research was conducted in a farm located in the Tafilalet oasis (Morocco) with Mejhoul palm tree variety. The groundwater depth fluctuated from 4 to 5 m with an average salinity of 5 g.L⁻¹. Many measurements were undertaken to determine soil moisture, roots characterization and transpiration. The results show that during the dry season (June, July and August), and without irrigation supply, 50% of date palm transpiration is satisfied by groundwater. The results also revealed that the root system of date palm tree can reach very important depth (up to 9 m) to withdraw water from the aquifer. Therefore, the determination of palm tree water requirements has to take into account the interaction of its root system with the phreatic water table.

Keywords: oasis / date palm / groundwater table / root water uptake / transpiration

1 Introduction

Dans les régions arides, la relation entre le développement des cultures et la nappe phréatique est forte, car cette dernière

peut couvrir une bonne partie des besoins en eau (Wallender *et al.*, 1979; Yang *et al.*, 2000). Cette relation ne dépend pas seulement du type de végétation et de la profondeur de la nappe, mais elle dépend également des propriétés du sol telles que la rétention et la transmission de l'eau, la demande climatique, la répartition du système racinaire et la salinité (Grismar et Gates, 1988; Sepaskhah *et al.*, 2002; Zhao *et al.*,

* Auteur de correspondance : wafae.elkhoumsi@gmail.com

2005 ; Zeineldin et Aldakheel, 2010). Des travaux de recherche effectués en Californie et au Texas ont montré que les cultures tolérantes à la salinité sont capables d'extraire des quantités significatives d'eau à partir de la nappe phréatique, même quand elle est saline (Ayars et Schoneman, 1986 ; Ayars *et al.*, 2003). En effet, la nappe phréatique peut satisfaire jusqu'à 50 % des besoins en eau de la culture (Ayars *et al.*, 1999, 2006 ; Hutmacher *et al.*, 1996) et ce chiffre peut aller jusqu'à 70 % en conditions arides, en fonction de la tolérance au sel, de la qualité et de la profondeur de la nappe (Grismer et Gates, 1988).

Les palmeraies sont des agrosystèmes spécifiques aux zones arides dont la structure dépend principalement des composantes désert-eau-palmier (Yang *et al.*, 2010). Depuis toujours, l'existence des oasis était liée à la présence de l'eau et à la pratique de l'irrigation. Elles se développaient généralement tout au long des cours d'eau, des sources et des nappes phréatiques (Grenade, 2013 ; Zella et Smadhi, 2006). Au sein de cet agrosystème, les interactions entre la nappe phréatique et les cultures existantes, en particulier le palmier dattier (*Phoenix dactylifera*) sont très importantes (El Khoumsi *et al.*, 2016). L'étude réalisée par Ben Aïssa *et al.* (2009) en Tunisie, dans l'oasis de Fatnassa, a révélé l'existence d'une bonne corrélation entre la transpiration du palmier dattier et la dynamique nyctémérale de la nappe phréatique.

La compréhension de l'interaction entre la nappe phréatique et le développement du palmier dattier est essentielle pour améliorer l'utilisation de l'eau et assurer la durabilité du système oasien, qui est de plus en plus confronté à des problèmes de pénurie d'eau (El Khoumsi *et al.*, 2014). En effet, la quantification de la participation de la nappe apparaît comme un terme important du bilan hydrique, afin d'assurer une gestion rationnelle des ressources en eau à travers la limitation des apports en eau d'irrigation et des volumes d'eau à évacuer par drainage (Grismer et Gates, 1988), surtout lorsque l'eau est très rare et onéreuse à mobiliser. Toutefois, cela nécessite une connaissance préalable d'un ensemble de termes qui interviennent dans cette relation, à savoir la transpiration du palmier dattier et la répartition de son système racinaire.

Les travaux qui ont étudié la participation de la nappe phréatique à l'alimentation en eau du palmier dattier restent très limités et sont relativement récents (Ben Aïssa *et al.*, 2009 ; Zeineldin et Aldakheel, 2010). Par ailleurs, la majorité de ces travaux n'a traité que le cas des nappes superficielles dont la profondeur ne dépasse pas 2 m ou le cas de jeunes palmiers dattiers. L'étude conduite par Zeineldin et Aldakheel (2010) en Arabie Saoudite dans la palmeraie d'Al-Hassa sur des jeunes palmiers, cultivés en lysimètres, montre qu'il y a effectivement une contribution de la nappe superficielle dans l'alimentation en eau du palmier dattier quand on réduit les apports en eau d'irrigation.

Les objectifs de cet article sont d'analyser la contribution directe de la nappe aux besoins en eau du palmier dattier *via* l'analyse de sa distribution racinaire et la mesure directe de la transpiration par la technique du flux de sève.

2 Méthodologie

2.1 Présentation du contexte physique

La palmeraie de Tafilalet est l'une des plus grandes palmeraies du Maroc. Elle représente 29 % du patrimoine

phoenicicole marocain. Elle est située au sud-est du Royaume, dans la zone présaharienne sud-atlasique et s'étend sur une superficie estimée à 700 km². La plaine de Tafilalet au sens strict s'étend longitudinalement entre la latitude 30° et 30° 31' ; elle est traversée par les oueds Ziz et Ghris qui assurent l'irrigation de la végétation des oasis et l'alimentation de la nappe phréatique (Margat, 1962).

Le climat est désertique, à forte influence continentale, avec des précipitations très faibles, en moyenne 86 mm par an, et présentant une grande irrégularité spatiotemporelle. Le régime annuel des pluies indique l'existence de deux saisons pluvieuses, l'automne (septembre-décembre) et le printemps (mars-avril), caractérisées par des crues importantes avec un nombre de jours de pluie par an très réduit (10 à 15 j par an). Les chutes de pluie directes sur la plaine sont d'une faible utilité pour l'agriculture et présentent peu d'intérêt pour les oueds et l'infiltration, ils ne permettent qu'un apport de moins de 4 % des ressources en eau superficielle (Margat, 2001).

Les températures moyennes annuelles sont de l'ordre de 20 °C et se caractérisent par des amplitudes journalières très élevées qui atteignent 30 °C. En moyenne, l'évaporation potentielle s'élève à 2500 mm par an. Cependant, l'existence des palmiers crée un microclimat qui rend les conditions climatiques moins rudes et par conséquent fait diminuer l'évapotranspiration potentielle jusqu'à 1200 mm par an à l'intérieur de la palmeraie. Les valeurs maximales sont atteintes en mois de juillet (220 mm) et le minimum en mois de janvier (12 mm). Le faible rapport pluie/évapotranspiration nécessite un recours à l'irrigation pour la pratique de l'agriculture (Guemimi, 1991). La rareté des ressources en eau de surface dans la plaine, face à une demande qui ne cesse de croître, font de l'eau souterraine la ressource la plus exploitable et la plus sûre. La structure géologique de la région, qui fait obstacle à l'existence des nappes profondes, a facilité la constitution d'une nappe phréatique étendue sur toute la plaine (Margat, 1962), représentant ainsi la seule ressource souterraine de la palmeraie.

Dans le Tafilalet, on distingue trois types de palmeraies : des palmeraies denses qui sont bien irriguées par des eaux pérennes (eaux du barrage, des *khattaras*, de pompage, etc.), des palmeraies claires assez régulièrement inondées par les crues ou les lâchers du barrage (au moins une inondation par an), et des palmeraies en « pluvial » qui ne sont alimentées en eau que très rarement, par les précipitations ou les crues exceptionnelles (El Khoumsi *et al.*, 2014). Ceci laisse supposer que le palmier dattier puise une grande partie de ses besoins en eau directement dans la nappe phréatique pour assurer sa survie.

2.2 Site expérimental

Pour bien comprendre les diverses interactions entre nappe phréatique et palmier dattier, nous avons mis en place un site expérimental afin de déterminer les paramètres suivants : la transpiration du palmier dattier, l'humidité du sol ainsi que la répartition spatiale du système racinaire du palmier.

L'expérimentation a été conduite au sein d'une exploitation agricole d'une superficie de 50 hectares, située dans la plaine de Tafilalet à environ 12 km de la ville d'Erfoud (Longitude 04°20'43,2" Ouest, latitude 31°27'17,3" Nord) (Fig. 1). Elle a été menée sur des palmiers adultes de variété Majhoul, connue pour son attractivité sur le marché. Les palmiers qui ont fait l'objet de l'étude ont été plantés en 1987 (âgés de 30 ans au

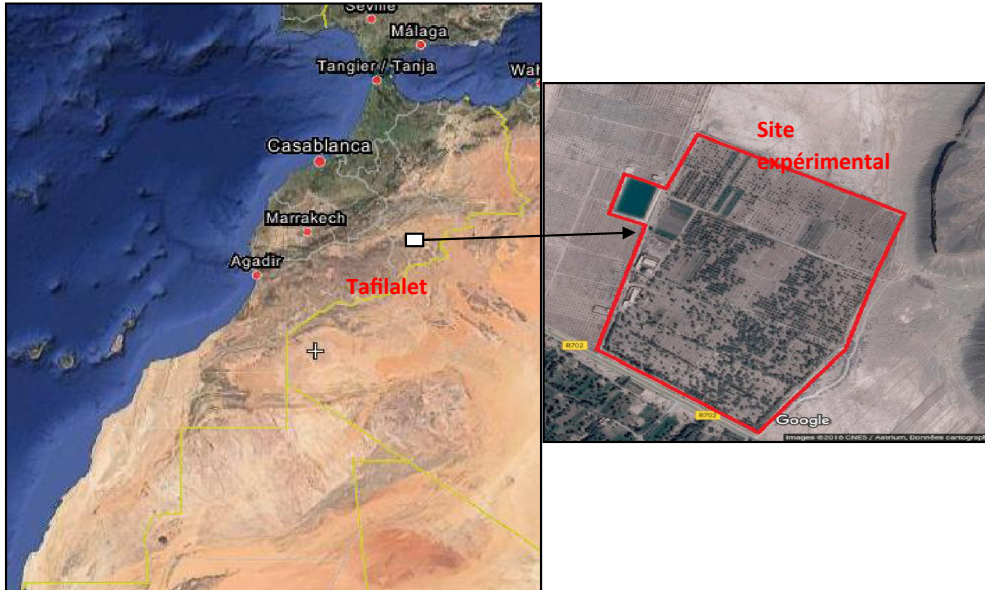


Fig. 1. Carte de localisation du site expérimental.
Fig. 1. Experimental site location map.

moment de l'expérimentation), avec une densité moyenne de 224 palmiers par hectare, soit un écartement entre arbres et entre lignes de 7×7 m. Les palmiers dattiers sont exploités en monoculture ce qui, pour nous, évite l'effet des cultures intercalaires sur le bilan hydrique.

Les eaux d'irrigation proviennent principalement de la nappe phréatique. À l'échelle intra-annuelle, la profondeur du niveau piézométrique de la nappe oscille entre 4 et 5 m (4,3 m en juillet) avec une salinité moyenne de 5 g.L^{-1} . À son installation, l'exploitation était irriguée par système gravitaire, mais l'irrigation au goutte à goutte a été introduite en 2005, ce qui permet de mieux estimer les volumes d'eau apportés. Les données climatiques utilisées ont été recueillies à partir d'une station météorologique située à 10 km de l'exploitation.

2.3 Dispositif expérimental

2.3.1 La transpiration du palmier dattier

La transpiration est un terme important du bilan hydrique qui reflète la consommation hydrique nette de la culture. De nombreuses méthodes permettent d'estimer la transpiration à des pas de temps variés. Pour les cultures couvrant bien le sol, le choix est large. En revanche, pour les cultures discontinues, ou en rang (palmier, vergers, etc.), on se heurte à des problèmes d'échantillonnage ou de représentativité (Valancogne et Nasr, 1989). Parmi les méthodes qui présentent un réel intérêt, on peut citer la méthode de mesures de flux de sève qui est considérée comme une référence pour estimer la transpiration directe des plantes, sans pour autant modifier son environnement (Ben Aïssa *et al.*, 2009). L'utilisation de cette technique a été validée pour mesurer la transpiration des arbres dans différents agrosystèmes : savanes, peuplements forestiers, vergers arboricoles, etc. (Köstner *et al.*, 1998; Sellami et Sifaoui, 2003), y compris les cocotiers en conditions tropicales (Roupsard *et al.*, 2006).

Sur le site expérimental, le suivi de la transpiration directe a été réalisé selon la méthode de dissipation de chaleur proposée par Granier (1985, 1987). L'avantage de cette

approche est qu'elle intègre les hétérogénéités du système racinaire et de la canopée à travers le stipe, voie unique de passage de l'eau (Ben Aïssa *et al.*, 2009). À l'instar des travaux précédents, quatre palmiers voisins ont été équipés chacun d'un dispositif de mesure de flux de sève depuis 2013 (Fig. 2). Le choix des palmiers s'est basé sur plusieurs critères propres à l'arbre (âge, hauteur du stipe, circonférence, etc.) pour qu'ils puissent constituer, par simplification, un échantillon « représentatif » de toute la parcelle (Tab. 1).

Les capteurs de flux de sève ont été installés, conformément à la méthode de Granier, dans la direction nord à une hauteur de 1,5 m. Chaque capteur est constitué de deux sondes ayant une longueur de 100 mm chacune, insérées radialement dans le stipe, permettant ainsi de mesurer le flux de sève sur trois profondeurs différentes à savoir 15, 50 et 90 mm. Pour éviter l'effet du chauffage par rayonnement direct, les capteurs sont protégés par un dispositif de réflexion. L'enregistrement des signaux de capteurs est assuré par une centrale d'acquisition de données avec un pas de temps de 30 min.

Le principe de mesure est le refroidissement par convection, dû à la circulation de la sève, d'une sonde chauffée à une puissance constante. En effet, lorsque la vitesse de circulation de la sève est nulle ou minimale, la différence de température entre les deux capteurs est maximale (ΔT_{max}); quand le débit augmente, cette différence de température diminue. La décroissance de l'écart de température entre les deux sondes est reliée à la densité de flux par les formules suivantes :

$$\Phi = \alpha \cdot K^\beta,$$

Φ : densité de flux de sève ($\text{m}^3 \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$) ou aussi ($\text{L} \cdot \text{dm}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$);
 α et β : coefficients de calibration et d'ajustement;
 $\Delta T(\Phi)$: flux non nul mesuré.

K : terme sans dimension appelé index de flux et calculé comme suit :

$$K = \left[\frac{\Delta T_{\text{max}} - \Delta T(\Phi)}{\Delta T(\Phi)} \right].$$

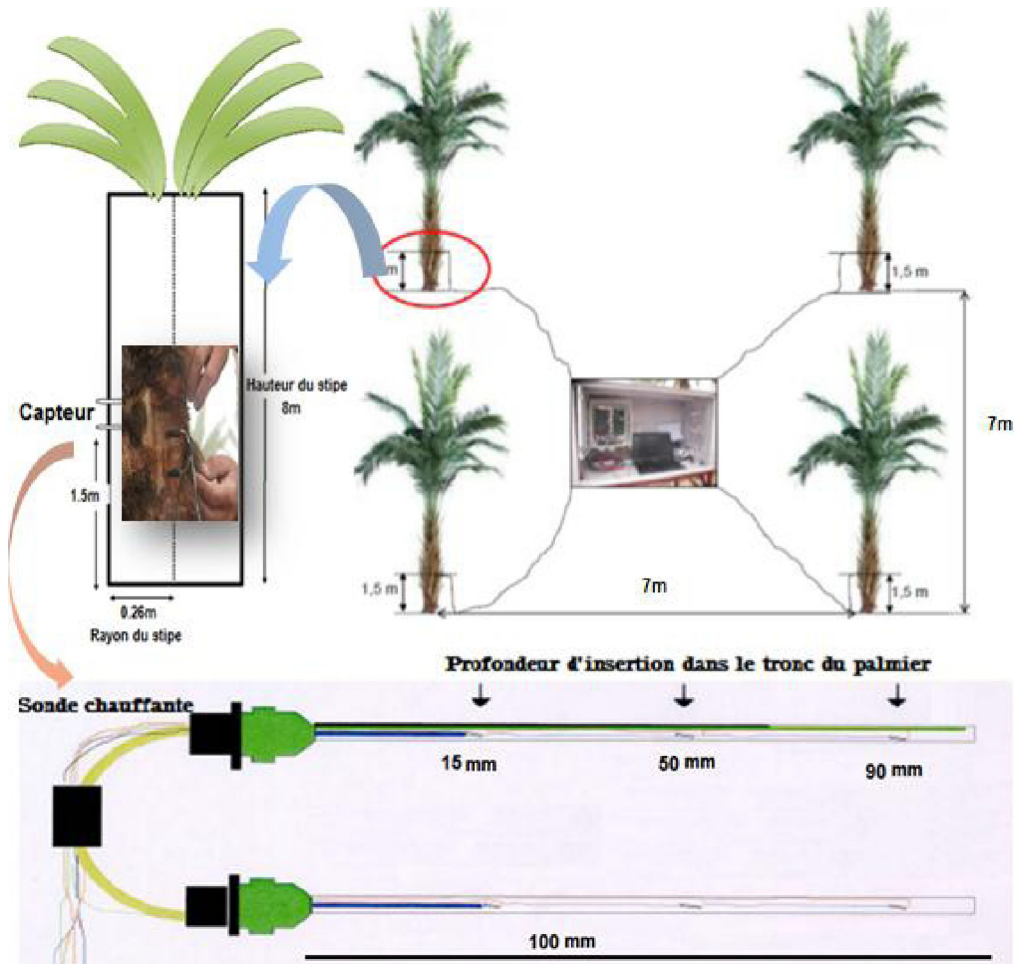


Fig. 2. Schématisation du dispositif expérimental adopté pour l’installation des capteurs de flux de sève. Les palmiers dattiers mesurent en moyenne 8 m de haut, avec un rayon moyen de 0,26 m. Le capteur est installé le long du stipe sur une hauteur de 1,5 m. Les sondes sont équipées de 3 thermocouples permettant de mesurer le flux de sève sur 3 profondeurs différentes.

Fig. 2. Schematic representation of the experimental device adopted for the installation of the sap flow sensors. The date palms are on average 8 m tall, with an average radius of 0.26 m. The sensor is installed along the stipe at a height of 1.5 m; the probes are equipped with 3 thermocouples to measure the sap flow on 3 different depths.

Tableau 1. Caractéristiques de l’échantillon d’arbres utilisé pour la détermination de la densité de flux de sève dans les palmiers-dattiers.
Table 1. Characteristics of the tree sample used for sap flow determination in date palms.

Numéro Palmier	Age (ans)	Hauteur (m)	Circonférence (cm)	Rayon (cm)
1	30	9	160	25,5
2	30	10	179	28,5
3	30	7	151	24
4 ^a	30	8	167	26,5

^a Les données du 4^e palmier ont dû être écartées suite à la défaillance d’un capteur.

Le flux ou débit de sève total (FS) traversant le tronc est estimé par la relation suivante :

$$FS(m^3 \cdot s^{-1}) = \Phi \times Sc,$$

avec Sc = section conductrice de sève, estimée en m².

La transpiration d’un palmier en mm.j⁻¹ est calculée par :

$$Tp(mm \cdot j^{-1}) = \sum_{t=1}^{24h} (FS \cdot 3600) \cdot 10^{-7}.$$

Suite au dysfonctionnement de l’un des capteurs, les mesures du palmier n° 4 ont dû être écartées et nous n’avons gardé que celles des trois premiers palmiers.

2.3.2 Estimation de la contribution de la nappe phréatique à la transpiration du palmier dattier

Pour estimer la contribution de la nappe phréatique aux besoins en eau du palmier dattier, plusieurs méthodes existent (lysimètre, bilan hydrique, traceurs isotopiques, etc.) ; chacune de ces méthodes présente des avantages et des limites en termes de facilité d’utilisation, de coût, de type de culture et de faisabilité sur terrain.

Par rapport à notre contexte d’étude, et afin de quantifier les prélèvements racinaires du palmier à partir de la nappe



Fig. 3. a) Profil racinaire (5 × 4 m) réalisé au niveau du site expérimental à côté d'un palmier isolé. b) Galerie réalisée en dessous du stipe du palmier pour examiner les racines de profondeur. Une grille de 1 × 1 m avec un maillage de 10 × 10 cm est utilisée pour le comptage des racines.
Fig. 3. a) Root profile (5 × 4 m) at the experimental site nearby an isolated palm. B) Gallery carried out below the palm stem to examine the depth roots. A grid of 1 × 1 m and with a mesh of 10 × 10 cm is used to count the roots.

phréatique, nous avons adopté une approche qui consiste à mesurer la transpiration tout en suspendant l'irrigation du palmier pendant 15 jours. L'arrêt de l'irrigation a été programmé durant la période de forte demande climatique (du 18 juillet au 2 août), où les besoins en eau sont maximaux. L'hypothèse de base est qu'en absence d'apport d'eau externe, les quantités d'eau transpirées proviennent essentiellement de la nappe phréatique, en supposant que l'écartement entre les palmiers est suffisant pour qu'il n'y ait pas d'interaction entre eux (7 × 7 m). En effet, nous avons constaté que les bulbes d'humectation autour du palmier ne dépassent pas 2 m à partir du tronc de l'arbre, ce qui conforte notre hypothèse.

2.3.3 Cartographie du système racinaire du palmier dattier

Pour caractériser la distribution spatiale du système racinaire du palmier dattier et sa répartition en profondeur sur le site expérimental, nous avons utilisé la méthode de la grille ou *profile wall*. L'essai a été réalisé sur un palmier adulte isolé (écarté de 10 m par rapport aux palmiers voisins) afin de s'assurer qu'il n'y ait pas d'interpénétration des racines des arbres voisins. La méthode du profil racinaire permet d'obtenir des données quantitatives sur le nombre de racines par unité de surface sans causer la destruction de l'arbre (Hami, 2015). Pour notre site, un profil de 5 m de long et de 4 m de profondeur a été réalisé tout près d'un palmier, sous forme d'un mur. Une grille carrée (1 × 1 m) avec un maillage de 10 × 10 cm a été installée au niveau de ce plan pour procéder à un comptage du nombre de racines par maille (Fig. 3). Toutes les racines ont été comptées, quelle que soit leur taille. En partant de l'hypothèse de la symétrie radiale du système racinaire du palmier dattier,

le comptage est fait sur une section verticale de la cuvette au plus proche du stipe du palmier, sur un demi-plan. La somme des racines observées par horizon nous a permis de créer des profils de densité racinaire, que ce soit latéralement ou en profondeur, afin d'identifier l'ensemble de l'espace d'occupation du système racinaire. Ces données ont été converties en carte de densité racinaire par interpolation des résultats obtenus.

Tenant compte de l'architecture du système racinaire du palmier dattier, le fossé réalisé nous a permis d'identifier les racines latérales et de profondeur. Toutefois, une galerie a été créée en dessous du stipe du palmier afin de mieux observer les racines d'absorption profonde.

En plus de ce profil, d'autres observations ont été faites sur d'autres palmiers. La première se situait au niveau d'un puits nouvellement creusé à côté d'un palmier dans une autre exploitation où le niveau de la nappe phréatique est à 9 m. La seconde observation a été effectuée sur un palmier qui se trouvait sur les berges d'un oued. Nous avons également exploité les données d'un autre essai qui a été effectué au domaine expérimental de l'INRA (Institut national de la recherche agronomique) d'Errachidia.

2.3.4 Caractérisation des humidités du sol

Les sols du site expérimental sont d'origine alluviale. L'infiltration mesurée par la méthode du double anneau est de l'ordre de 1,8 cm.h⁻¹. La caractérisation de l'état hydrique du sol a été faite par la méthode gravimétrique en prélevant des échantillons sur le profil établi pour la caractérisation du système racinaire. Les prélèvements ont été faits tous les 25 cm jusqu'à une profondeur de 3,5 m. Des mesures de la

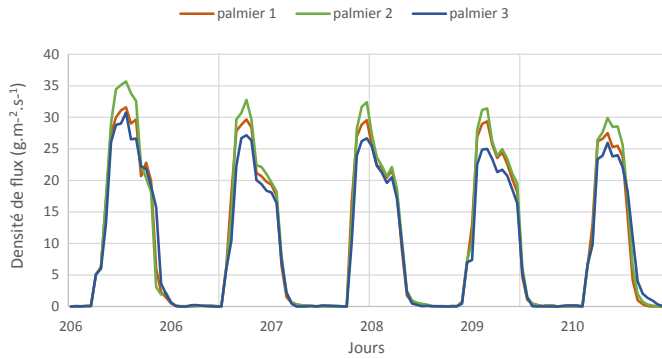


Fig. 4. Variations de la densité de flux ($\text{g.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$) pour trois palmiers voisins pendant 5 jours consécutifs au cours de la période de forte demande climatique (du 25 au 30 juillet).

Fig. 4. Flux density ($\text{g.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$) variations for three neighboring palms for 5 consecutive days during the period of high climatic demand (from 25 to 30 July).

densité apparente du sol ont aussi été effectuées sur le même profil, tous les 25 cm. La réalisation du profil hydrique avait comme but principal de détecter les horizons du sol dans lesquels le palmier peut pomper l'eau et de mettre en évidence l'importance de la remontée capillaire de la nappe phréatique.

3 Résultats et discussions

3.1 Évaluation de la transpiration du palmier dattier

La Figure 4 illustre l'évolution des cinétiques horaires de la densité de flux de sève pour les trois palmiers voisins pendant la période estivale (du 25 au 30 juillet 2014). Durant cette période, la température ambiante a varié entre 22 et 40 °C. Les radiations solaires maximales ont atteint 3,8 Mj.m^{-2} , alors que l'humidité relative fluctue dans la journée entre 9 et 18 %, caractérisant ainsi une période à forte demande climatique. La comparaison des cinétiques horaires de la densité de flux pour les trois palmiers voisins nous a permis de percevoir qu'elles varient de la même manière au cours de la journée. Les valeurs enregistrées sont assez synchrones et présentent une certaine concordance pour les trois palmiers. La variabilité relativement faible des densités de flux de sève entre les arbres a permis d'évaluer la valeur quotidienne de la transpiration à partir de ces données, avec une marge d'erreur qui ne dépasse pas 9 %. Ce faible écart, estimé non-significatif, permet donc de considérer que les palmiers étudiés constituent un échantillon représentatif de toute la parcelle. Les valeurs maximales de la densité de flux de sève observées au cours de la période présentée ont varié entre 30 et 35 $\text{g.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$, soit l'équivalent d'un flux maximal de 17 à 20 L.h^{-1} .

Les ordres de grandeur des flux de sève que nous avons obtenus au cours de notre expérimentation ne sont pas différents des résultats issus d'autres travaux menés dans d'autres contextes similaires. En Tunisie, les travaux de Sellami et Sifaoui (2003) et Ben Aïssa *et al.* (2009) ont rapporté des valeurs maximales de flux qui varient entre 12 et 17 L.h^{-1} en période de forte demande pour la variété Deglet Nour. Les valeurs mentionnées par Sperling *et al.* (2012) sont

Tableau 2. Propriétés physiques du sol dans le site expérimental.
Table 2. Physical soil properties at the experimental site.

Profondeur du sol (cm)	0–20	20–40	40–60	60–80	80–100
Argile	19,8	24,2	22,1	28,1	35,2
Limon	36,9	26,7	29,6	26,7	29,3
Sable	42,1	49,8	49,2	43,7	35,5
Humidité équivalent %	18,6	19,6	24,7	19,7	21,1

très proches de nos résultats : au cours de leurs essais, ils ont obtenu des valeurs maximales de flux allant de 15 à 19 L.h^{-1} en période de forte demande climatique.

3.2 État hydrique du sol

Le sol est parmi les principaux facteurs qui influencent la distribution du système racinaire et qui conditionnent la contribution de la nappe aux besoins en eau du palmier dattier. Les principales propriétés physiques du sol du site expérimental sont présentées dans le Tableau 2. On constate que, bien qu'il y ait une dominance de sable (plus de 40 %), le sol est de type sablo-limoneux. Cela s'explique par la technique de plantation qui consiste à ajouter du sable avant de planter. Les résultats de mesure de l'humidité par gravimétrie et de la densité apparente du sol sont représentés sur la Figure 5.

La répartition de l'eau dans le sol présente une grande variabilité au niveau des différents horizons, allant de 18 à 38 %. En surface, l'humidité est relativement faible, elle est de l'ordre de 18 %; cette faible valeur s'explique par l'évaporation de l'eau en surface, la mesure ayant été effectuée deux jours après irrigation. Sur l'horizon 0,5–1 m, l'humidité augmente pour atteindre 30 %; cela est dû à la percolation de l'eau apportée par la dernière irrigation, deux jours plus tôt. L'humidité baisse ensuite pour la couche comprise entre 1 et 1,5 m et se situe à 21 %. À partir d'une profondeur de 1,5 m, la teneur en eau dans le sol augmente à nouveau jusqu'à atteindre 38 %; cette valeur s'explique par la remontée capillaire de la nappe, qui se situe à 5 m de profondeur. Cela montre l'importance du flux montant à partir de la nappe, qui permet d'assurer une quantité d'eau importante au niveau de la zone racinaire.

3.3 Caractérisation de la distribution du système racinaire du palmier dattier en présence d'une nappe phréatique

Les résultats obtenus montrent que la distribution spatiale du système racinaire du palmier dattier est très hétérogène selon l'étendue latérale à partir du tronc et aussi en profondeur. La Figure 6 représente une carte de répartition racinaire à partir des données collectées. Latéralement, les racines peuvent atteindre 5 m, toutefois, la plus forte densité est observée à côté du stipe. En effet, 50 % des racines sont concentrées sur une distance latérale de 2 m du tronc et s'étalent sur une superficie de 40 m^2 ; au-delà de 3 m, la densité des racines devient très faible et négligeable.

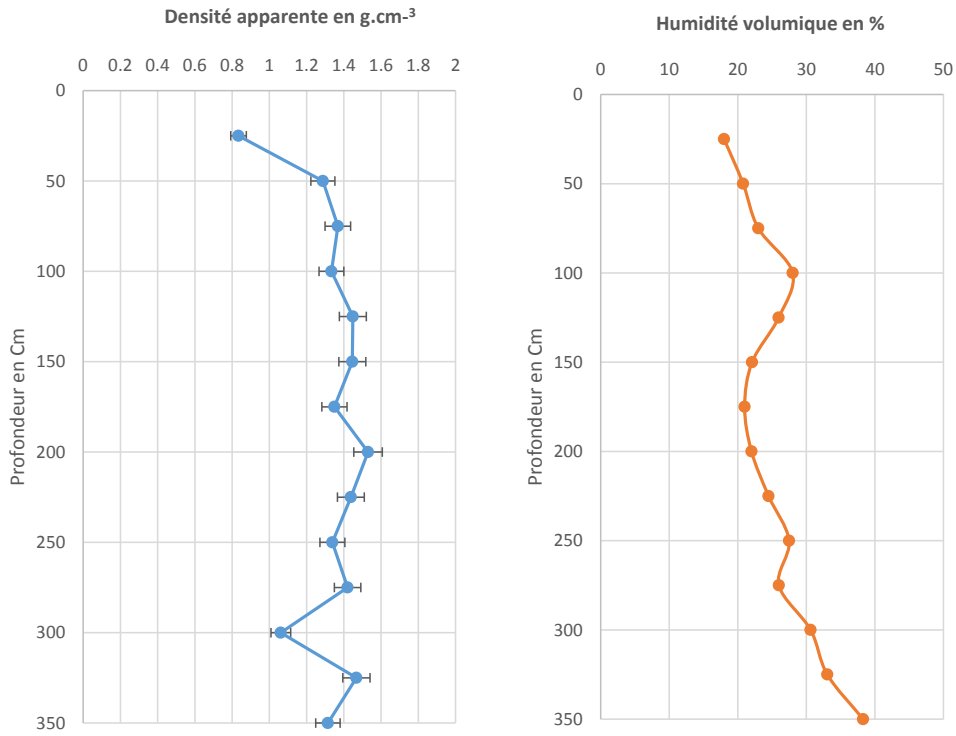


Fig. 5. Variation de l'humidité volumique (Hv) et de la densité apparente (Da) en fonction de la profondeur sur le site expérimental.
Fig. 5. Variation of volumetric moisture (Hv) and bulk density (Da) as a function of depth in the experimental site.

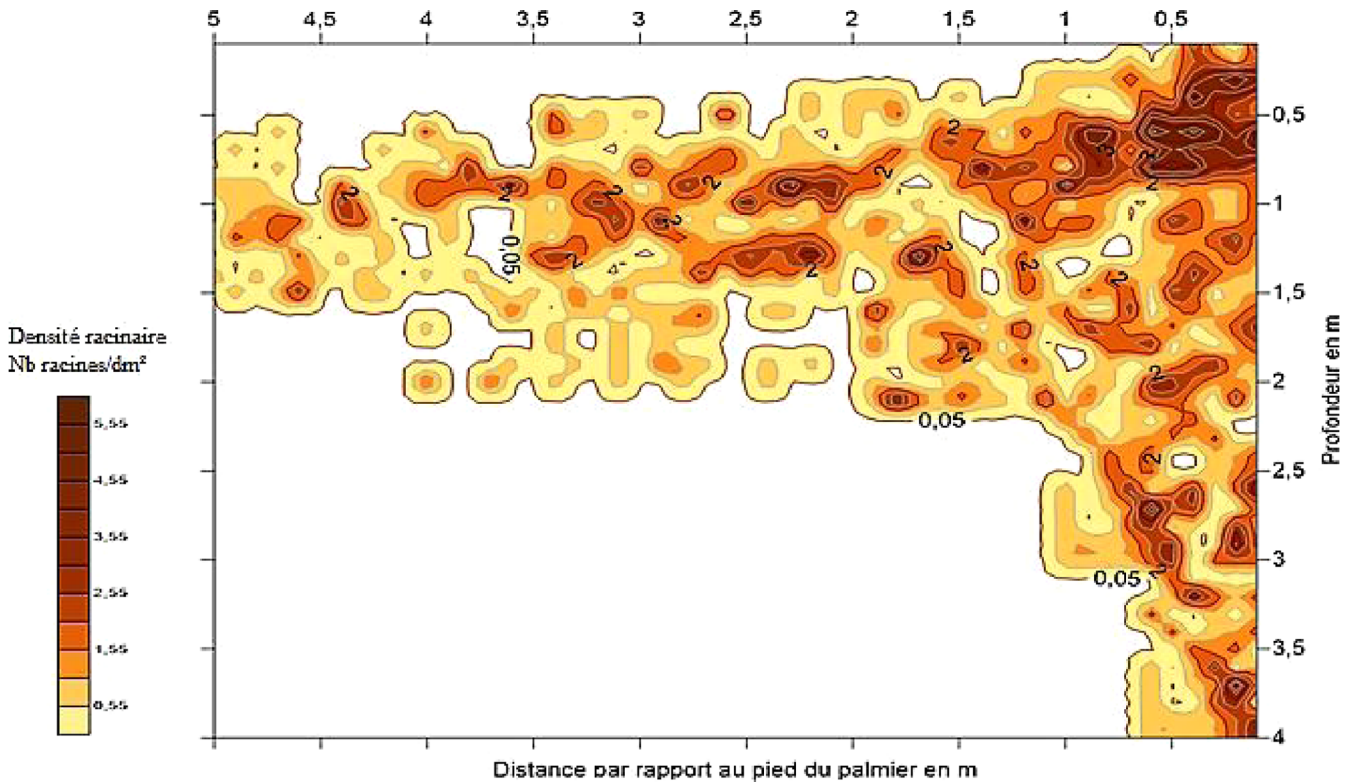


Fig. 6. Cartographie de la répartition du système racinaire du palmier dattier en présence d'une nappe phréatique peu profonde de 5 m (cas d'un palmier adulte).
Fig. 6. Mapping of the distribution of the date palm root system in the presence of a 5 m shallow water table (case of an adult palm).

Concernant la distribution des racines en profondeur, nous avons constaté que 80 % des racines se concentrent dans les premiers 1,5 m avec une densité maximale d'enracinement de 7 racines par dm^2 . Au-delà de 3 m, ce sont plutôt les racines d'absorption qui se développent pour chercher l'eau en profondeur et permettre l'ancrage de l'arbre. En effet, les racines du palmier se développent préférentiellement dans les couches humides. La galerie créée sous le palmier nous a permis d'examiner les racines de profondeur partant directement du stipe au-delà de 4 m. Ces racines pivotantes présentent une densité non négligeable, qui peut aller jusqu'à 4 racines par dm^2 avec des diamètres importants.

Les résultats montrent que l'enracinement du palmier se développe pour aller chercher l'eau jusqu'à atteindre la nappe phréatique; autrement dit, plus la nappe est profonde, plus le système racinaire est développé. D'ailleurs, sur l'une des observations, où la nappe phréatique est située à 9 m de profondeur, nous avons identifié des racines qui arrivaient jusqu'à la nappe. Toutefois, la présence d'obstacles mécaniques peut entraver la prolongation racinaire; de plus, l'existence d'un confort hydrique permanent au niveau des couches supérieures ne pousse pas les racines à aller chercher l'eau en profondeur.

Nos résultats confirment ceux de Sedra (2003) et Peyron (2000) qui affirment que la plus grande partie des racines du palmier dattier se concentrent sur les 2 premiers mètres. Des auteurs comme Al-Bakr (1972), Munier (1973) et Oihabi (1991) rapportent que le système racinaire peut s'étaler sur une superficie qui peut atteindre 167 m^2 . Ils ont également constaté que les racines d'un palmier solitaire peuvent puiser l'eau à plus de 8 m, et parfois jusqu'à 15 m de profondeur. La diversité des résultats obtenus est expliquée par l'influence d'un certain nombre de facteurs qui conditionnent le développement du système racinaire à savoir l'âge, les caractéristiques du sol, le mode d'irrigation et bien sûr la profondeur de la nappe.

3.4 Contribution de la nappe phréatique dans la transpiration du palmier dattier

La Figure 7 présente la variation horaire du flux pour deux palmiers voisins, un avec irrigation et l'autre sans irrigation. On observe clairement que pour le palmier non irrigué le flux a chuté de moitié par rapport à celui qui est irrigué. Le flux maximal moyen est de 6 L.h^{-1} pour le palmier non irrigué contre 13 L.h^{-1} pour le palmier irrigué. Sur la Figure 8, nous constatons que l'arrêt de l'irrigation a provoqué une chute progressive de la transpiration pour le palmier étudié jusqu'à 2 mm.j^{-1} , soit presque la moitié de ce que l'arbre transpire dans de telles conditions climatiques.

La combinaison de ces résultats avec ceux obtenus lors de la caractérisation de la répartition spatiale du système racinaire confirme notre hypothèse qui stipule que les quantités d'eau transpirées proviennent essentiellement de la nappe phréatique. En effet, le développement du système racinaire a permis au palmier de puiser ses besoins dans la nappe. Le fait que la zone humectée entourant le palmier irrigué ne dépasse pas 2 m latéralement, et que les racines latérales soient concentrées dans les premiers 3 m, réduit toute interaction entre les deux arbres. Ainsi, on peut estimer qu'en l'absence d'irrigation, la nappe phréatique a couvert presque 50 % des besoins

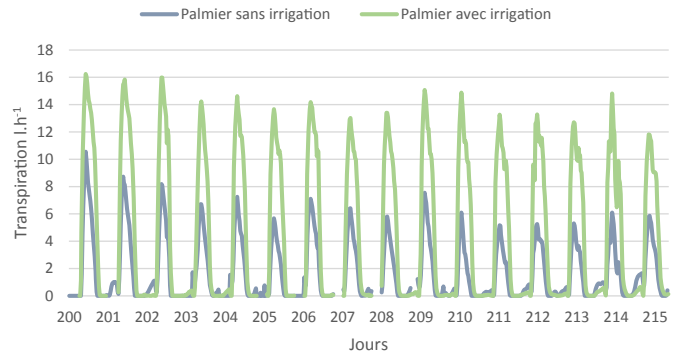


Fig. 7. Comparaison de la variation journalière du flux pour deux palmiers voisins durant une période de forte demande climatique (18 juillet au 2 août), l'un avec irrigation et l'autre sans irrigation. La première courbe (bleue) représente le palmier non irrigué et la seconde courbe (verte) représente le palmier irrigué.

Fig. 7. Comparison of the daily flow variation for two neighboring palms during a period of high climatic demand (18 July to 2 August). The first curve (blue) represents the non-irrigated palm tree and the second curve (green) represents the irrigated palm tree.

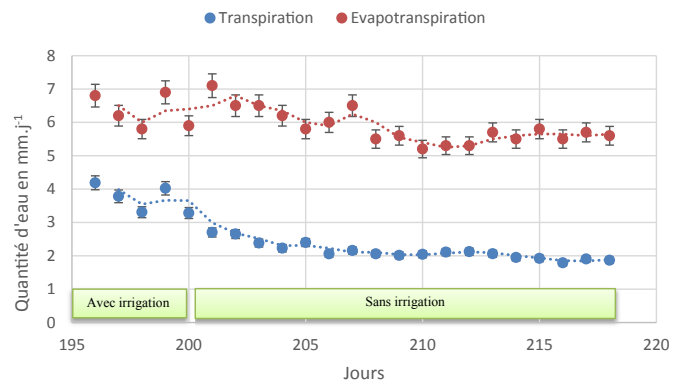


Fig. 8. Variation journalière de la transpiration du palmier dattier au cours d'une période de forte demande climatique (du 13 juillet au 2 août) en présence et en absence d'irrigation (irrigation suspendue le 18 juillet).

Fig. 8. Variation of date palm transpiration during a period of high climatic demand (from 13 July to 2 August) with and without an irrigation supply (irrigation suspended on 18 July).

hydriques du palmier dattier. La nappe phréatique contribue donc significativement à la transpiration du palmier dattier, ce qui permettrait de réduire les apports en eau d'irrigation et donc d'économiser jusqu'à 50 % d'eau de surface, même pour une nappe dont la profondeur atteint 5 m. Ces résultats rejoignent les travaux de Ben Aïssa *et al.* (2009), Zeineldin et Aldakheel (2010) qui confirment que la nappe phréatique peut contribuer significativement à l'alimentation en eau du palmier dattier. Selon Zeineldin et Aldakheel (2010), la contribution de la nappe phréatique n'atteint 50 % que pour une nappe superficielle (1,33 m); pour une profondeur de 1,45 m, cette contribution chute à 22 %; mais cette différence de résultats par rapport aux nôtres s'explique par le fait que ces expérimentations avaient été conduites sur de jeunes palmiers dattiers (3 ans), dont le système racinaire n'était pas aussi développé.

4 Conclusion

La contribution de la nappe phréatique à la satisfaction des besoins en eau des palmiers en zones arides est un terme très important à identifier. Cette contribution peut atteindre 50 %, même pour une nappe phréatique dont la profondeur dépasse 4 m. En effet, grâce à son système racinaire développé, le palmier dattier peut atteindre des profondeurs importantes pour puiser dans la nappe. De ce fait, comprendre l'interaction entre la nappe phréatique et le développement du palmier est essentiel pour améliorer l'utilisation de l'eau et assurer la durabilité des systèmes oasiens.

La prise en compte de la contribution de la nappe dans l'alimentation hydrique du palmier dattier lors de la détermination de ses besoins en eau pourrait permettre de réduire les volumes d'eau à apporter; cela permettrait d'économiser jusqu'à 50 % d'eau d'irrigation, qui est très rare et dont la mobilisation est très coûteuse dans les milieux arides. L'intégration de ce paramètre lors de l'établissement des bilans hydriques permettrait aussi de mieux comprendre la dynamique des ressources en eau souterraine et donc d'assurer une gestion plus rationnelle et mieux maîtrisée de l'eau. Par ailleurs, il est important de souligner l'intérêt du maintien de la nappe phréatique à un niveau permettant au palmier dattier d'y puiser l'eau en période de fort stress hydrique.

Bien que la méthode développée nécessite d'être validée pour d'autres contextes, et sur des périodes plus longues, les résultats obtenus peuvent déjà être utilisés comme pistes de réflexion pour minimiser les apports en eau d'irrigation. En effet, le présent travail a montré que, même pour le cas de nappes dont la profondeur est supérieure à 4 m, la contribution de la nappe phréatique reste importante, alors que les études antérieures n'avaient toutes traité que le cas de nappes superficielles (maximum 2 m de profondeur).

Sur le plan méthodologique, nos résultats ont enrichi le référentiel des méthodes utilisées pour l'estimation des prélèvements racinaires à partir de la nappe. Ils peuvent être utilisés afin de modéliser la contribution de la nappe phréatique à la transpiration du palmier dattier pour différentes profondeurs de la nappe. Cela permettra d'obtenir des ordres de grandeur plus précis concernant la participation de la nappe à l'approvisionnement en eau du palmier dattier. Enfin, ces résultats ouvrent la voie au développement d'une stratégie d'irrigation déficitaire, permettant d'économiser l'eau d'irrigation tout en conservant une bonne productivité.

Remerciements. Cette étude a été réalisée dans le cadre du projet Millenium Challenge Account / Projet arboriculture fruitière (MCA/PAF). Les auteurs remercient M. Sabri et Mme Bourziza pour leur aide précieuse.

Références

- Al-Bakr A. 1972. The date palm, a review of its past and present status and its culture, industry and trade. Iraq: Alâin Press, 1405 p. (en arabe)
- Ayars JE, Schoneman RR. 1986. Use of saline water from a shallow water table by cotton. *Trans ASAE* 29: 1674–1678.
- Ayars JE, Hutmacher RB, Schoneman RA, Soppe RWO, Vail SS, Dale F. 1999. Realizing the potential integrated irrigation and drainage water management for meeting crop water requirements in semi-arid and arid areas. *Irrig Drain Syst* 13: 321–347.
- Ayars JE, Soppe RW, Christen EW. 2003. Managing salinity for sustainability of irrigation in areas with shallow saline ground water. *Proceedings of the 9th Drainage Workshop, The Netherlands*.
- Ayars JE, Christen EW, Soppe RWO, Meyer WS. 2006. Resource potential of shallow groundwater for crop water use, a review. *Irrigation Sci* 24: 147–160.
- Ben Aïssa I, Bouarfa S, Perrier A. 2009. Utilisation de la mesure thermique du flux de sève pour l'évaluation de la transpiration d'un palmier dattier. In : *Économies d'eau en systèmes irrigués au Maghreb*. Mostaganem, Algérie: Cirad, 12 p. Colloque-CD-rom.
- El Khoumsi W, Hammani A, Kuper M, Bouaziz A. 2014. Deterioration of groundwater in arid environments: what impact in oasis dynamics? Case study of Tafilalet, Morocco. *International Journal of Environmental, Ecological, Geological and Marine Engineering* 8(11): 689–695.
- El Khoumsi W, Hammani A, Kuper M, Bouaziz A. 2016. La durabilité du système oasien face à la détérioration des ressources en eaux souterraines : cas de la palmeraie de Tafilalet. *Revue marocaine des Sciences agronomiques et vétérinaires* 5(1): 41–51.
- Granier A. 1985. Une nouvelle méthode pour la mesure du flux de sève brute dans le tronc des arbres. *Ann Sci For* 42: 193–200.
- Granier A. 1987. Evaluation of transpiration in a Douglas fir stand by means of sap flow measurements. *Tree Physiol* 3: 309–320.
- Grenade R. 2013. Date palm as a keystone species in Baja California peninsula, Mexico oases. *Journal of Arid Environments* 94: 59–67.
- Grismer E, Gates K. 1988. Estimating saline water table contributions to crop water use. *California agriculture* 23–24.
- Guemimi A. 1991. Drainage des sols salés dans le Tafilalet. *Revue Homme terre et eau* 47–60.
- Hami SA. 2015. Étude de l'alimentation hydrique du palmier dattier (*Phoenix dactylifera* L.) dans le contexte pédoclimatique de la zone littorale de la République de Djibouti. Thèse de doctorat. Sciences agricoles. France: Université d'Orléans, 178 p.
- Hutmacher RB, Ayars JE, Vail SS, Bravo AD, Dettinger D, Schoneman RA. 1996. Uptake of shallow groundwater by cotton: growth stage, groundwater salinity effects in column lysimeters. *Agric Water Manag* 31: 205–223.
- Köstner B, Granier A, Èermák J. 1998. Sap flow measurements in forest stands: methods and uncertainties. *Ann Sci* 55: 13–27.
- Margat J. 1962. Mémoire explicative de la carte hydrogéologique au 1/50000 de la plaine de Tafilalet.
- Margat J. 2001. Le captage d'eau souterraine par galerie. Conditions hydrogéologiques et hydrodynamiques. Colloque international, 4–6 juin, Madrid.
- Munier P. 1973. Le Palmier dattier. Techniques agricoles et productions tropicales. Paris: Maison Neuve et Larose, 217 p.
- Oihabi A. 1991. Étude de l'influence des mycorhizes à vésicules et arbuscules sur le Bayoud et la nutrition du Palmier dattier. Thèse de Doctorat d'État Es-sciences. Université Cadi Ayyad-Marrakech.
- Peyron G. 2000. Cultiver le palmier dattier. Montpellier : GRIDAO, 109 p.
- Roupsard O, Bonnefond JM, Irvine M, Berbigier P, Nouvellon Y, Dauzat J, *et al.* 2006. Partitioning energy and evapo-transpiration above and below a tropical palm canopy. *Agric Meteorol* 139: 252–268.
- Sedra MH. 2003. Le palmier dattier base de la mise en valeur des oasis au Maroc. Maroc : INRA Édition, 265 p.
- Sellami MH, Sifaoui MS. 2003. Estimating transpiration in an intercropping system: measuring sap flow inside the oasis. *Agric Water Manage* 59: 191–204.
- Sepaskhah AR, Kanooni A, Ghasemi MM. 2002. Estimating water table contributions to corn and sorghum water use. *Agric Water Manag* 58: 67–79.

- Sperling O, Shapira O, Cohen S, Tripler E, Schwartz A, Lazarovitch N. 2012. Estimating sap flux densities in date palm trees using the heat dissipation method and weighing lysimeters. *Tree Physiol* 32: 1171–1178.
- Valancogne C, Nasr Z, 1989. Une méthode de mesure du débit de sève brute dans de petits arbres par bilan de chaleur. *Agronomie, EDP Sciences* 9(6): 609–617.
- Wallender WW, Grimes DW, Henderson DW, Stromberg LK. 1979. Estimating the contribution of a perched water table to the seasonal evapotranspiration of cotton. *Agron J* 71: 1056–1060.
- Yang J, Li B, Shiping L. 2000. A large weighing lysimeter for evapotranspiration and soil-water-groundwater exchange studies. *Hydrological processes* 14(10): 1887–1897.
- Yang G, Baisheng Y, Xia X, Lihua Z. 2010. Dynamics of oasis landscape in inland Shule River basin in arid northwest China, *Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)*, 922, 925.
- Zeineldin FI, Aldakheel YJ. 2010. Evaluation contribution of ground shallow water table to irrigation of date palm trees under irrigation reduction in Saudi Arabia. *International Conference on Chemistry and Chemical Engineering* 342–345.
- Zella L, Smadhi D. 2006. Gestion de l'eau dans les pays arabes. *Larhyss Journal* 157–169. ISSN 1112-3680
- Zhao C, Wang Y, Chen X, Li B. 2005. Simulation of the effects of groundwater level on vegetation change by combining FEFLOW software. *Science direct, Ecological Modelling* 341–351.

Citation de l'article : El Khoumsi W, Hammani A, Bouarfa S, Bouaziz A, Ben Aïssa I. 2017. Contribution de la nappe phréatique à l'alimentation hydrique du palmier dattier (*Phoenix dactylifera*) dans les zones oasiennes. *Cah. Agric.* 26: 45005.