



Utilisation de la mesure thermique du flux de sève pour l'évaluation de la transpiration d'un palmier dattier

I. Ben Aïssa, S. Bouarfa, A. Perrier

► To cite this version:

I. Ben Aïssa, S. Bouarfa, A. Perrier. Utilisation de la mesure thermique du flux de sève pour l'évaluation de la transpiration d'un palmier dattier. T. Hartani, A. Douaoui, M. Kuper. Economies d'eau en systèmes irrigués au Maghreb, May 2008, Mostaganem, Algérie. Cirad, 12 p., 2009, Colloque- CD-rom. <cirad-00386240>

HAL Id: cirad-00386240

<http://hal.cirad.fr/cirad-00386240>

Submitted on 20 May 2009

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Utilisation de la mesure thermique du flux de sève pour l'évaluation de la transpiration d'un palmier dattier

Ben Aïssa I.^{*}, Bouarfa S.^{**}, Perrier A.^{***}

^{*}CRRHAB, Centre Régional de Recherches en Horticulture et Agriculture Biologique, BP 57, Chott Mariem 4042, Sousse, Tunisie. imedsam@gmail.com

^{**}Umr G-Eau - Cemagref, 361, rue JF Breton BP 5095, 34033 Montpellier cedex 1 France.
sami.bouarfa@cemagref.fr

^{***}AgroParisTech 16, rue Claude Bernard. 75231 Paris Cedex 05. perrier@agroparistech.fr

Résumé — L'amélioration de la gestion de l'eau en système oasien constitue l'un des principaux défis pour la préservation de son agrosystème. Des approches complémentaires doivent être mises en œuvre pour y contribuer par la prise en compte du comportement des agriculteurs mais aussi par la compréhension du système biophysique. En particulier, la quantification des différents termes du bilan hydrique, et notamment celui de la transpiration du palmier dattier, a été relativement peu étudiée jusqu'à présent. Le terme de consommation hydrique du palmier est un indicateur indispensable en regard des contraintes de gestion de l'eau et du bilan hydrique global. Cette problématique a été abordée au sein de l'oasis de Fatnassa Nord à Kébili (33°8 N ; 8°7 E) dans un contexte caractérisé à la fois par de faibles fréquences de tour d'eau et une salinité plutôt élevée. L'agrosystème bi-étagée palmier/fourrage du système oasien de cette région nécessite de bien cerner la composante palmier de la strate fourrage. Une technique de mesure thermique du flux de sève a donc été mise en œuvre pour évaluer la transpiration spécifique du palmier dattier au sein d'une parcelle dont les termes du bilan hydriques sont bien mesurés en continu. L'avantage de cette méthode est qu'elle permet aussi une mesure continue et qu'elle intègre, grâce au suivi simultané de quatre arbres, une certaine hétérogénéité du système palmier à la fois due au système racinaire et au développement de la canopée, tous deux liés au stipe, voie unique de passage de la sève entre ces deux compartiments de l'arbre. Dans cet article, les principaux résultats des mesures réalisées depuis plus d'un an sont analysés et présentent une bonne cohérence avec la dynamique nyctémérale de la nappe superficielle donnée par un suivi piézométrique fin. Les flux de transpiration cumulés sur la journée ont varié globalement de 0.5 à 3,5 mm/j avec une moyenne de l'ordre de 2 mm/jour reflétant une consommation hydrique modeste en regard de la demande climatique. Les valeurs montrent également que ces flux journaliers, malgré leur variation inter-arbres importantes, varient en lien étroit avec le cycle des apports d'eau par irrigation. Le palmier étant malgré sa résistance aux conditions climatiques, dont en particulier une demande forte, une espèce qui régule ses pertes par régulation stomatique.

Introduction

La gestion de l'eau et son utilisation rationnelle en irrigation oasienne nécessite une quantification précise des différents termes du bilan hydrique, dont la transpiration qui reflète la consommation hydrique nette de la culture, ici le palmier dattier. Cette connaissance est naturellement cruciale pour préserver un fonctionnement équilibré de l'agrosystème oasien qui ne cesse de se développer dans le sud tunisien et pose de nombreux défis de natures différentes (hydriques, hydrologiques et agro-socioéconomiques très dépendantes des conditions de milieu à la fois climatiques et pédologiques). Etablir un bilan hydrique complet et maîtriser l'évapotranspiration du couvert végétal est une tâche clé pour optimiser l'efficacité de l'utilisation de l'eau d'irrigation surtout lorsqu'elle est rare, coûteuse et souvent saumâtre dans cette zone.

Les efforts scientifiques consentis dans ce type de recherches sont relativement récents pour le contexte oasien et n'ont donc pas constitué jusqu'à présent une aide efficace pour la décision d'une meilleure gestion de l'eau, compte tenu de leur analyse encore trop ponctuelle, spatialement et temporellement. La recherche scientifique doit s'investir à la fois dans des approches méthodologiques toujours plus pertinentes et pouvoir mieux maîtriser la modélisation ; c'est l'objectif de ce travail qui aborde la quantification des différents termes du bilan hydrique au sein de l'oasis et notamment le terme de transpiration du palmier dattier. Ce terme demeure crucial pour cette culture dominante, surtout qu'il a été peu étudié de façon fine jusqu'à présent. Il est clair que face aux aspects biologiques déterminant la production et sa qualité, ce terme de bilan hydrique constitue un indicateur indispensable à mettre en regard avec les facteurs de production et les contraintes de la gestion locale de l'eau.

La mesure thermique du flux de sève au niveau des troncs d'arbres constitue une méthode de suivi et d'estimation assez directe de la transpiration. L'utilisation de cette approche date d'une vingtaine d'années. Elle a été validée pour mesurer la transpiration des arbres dans différents agrosystèmes (savanes, peuplements forestiers, vergers arboricoles, etc.). L'avantage de cette approche est qu'elle intègre les hétérogénéités du système racinaire et de la canopée à travers le pseudo-tronc ou stipe, voie unique de passage de l'eau (sève) entre ces deux compartiments de l'arbre. C'est la technique de Granier (1985 ; 1987) basée sur le capteur de dissipation de chaleur qui a été utilisée ; elle se révèle la plus simple et la mieux indiquée pour un tel objectif vu la simplicité du capteur et sa commodité pour des mesures continues sur le long terme.

Au sein de la palmeraie de Fatnassa Nord à Kébili, notre site expérimental depuis 2003 (Ben Aïssa, 2006), nous essayerons d'aborder cette problématique d'établissement du bilan en eau en liaison avec la gestion du tour d'eau au sein d'une parcelle irriguée et drainée de 0,8 ha reflétant globalement la panoplie de complexité de la gestion hydrique au sein de cette oasis (Ben Aïssa *et al.*, 2004).

Dans cet article, nous présenterons à la lumière des analyses assez complètes du bilan hydrique global — apports par irrigation, battement de la nappe, drainage et salinité (Ben Aïssa, 2008) — quelques résultats relatifs à la mesure thermique du flux de sève au niveau du stipe du palmier dattier dans l'objectif d'évaluer sa transpiration.

Matériel et méthodes

Site et contexte physique

L'oasis de Fatnassa Nord à Kébili (33°,8 N ; 8°,7 E), de 150 ha de superficie, a été choisie comme site de notre travail car elle est sujette à des manifestations d'engorgement et de salinité avec une situation hydrique assez défavorable comparativement à d'autres oasis de la région (Ben Aïssa *et al.*, 2004). La faible profondeur d'une nappe phréatique salée régénérée par les irrigations et sa présence cyclique en surface l'implique fortement dans des interactions avec le sol (Marlet *et al.*, 2007), les cultures et les différentes pratiques de gestion de l'eau et de la salinité (irrigation, drainage, pompage,...). Il en résulte une forte dynamique de cette nappe dont le suivi fin constitue un outil important pour appréhender le fonctionnement hydrique au sein d'un continuum nappe-sol-plante-atmosphère (Ben Aïssa, 2006).

Par ailleurs, la faible capacité de rétention de l'eau du réservoir sol et la faible fréquence du tour d'eau confèrent un rôle déterminant de la nappe superficielle dans l'alimentation hydrique des cultures pratiquées (palmier et fourrage), bien connues par leur système racinaire développé et leur tolérance à la salinité (Ayers et Westcott, 1985). Dans un tel contexte, la pratique de l'irrigation correspond de facto à l'entretien d'une réserve utile dans un sol à forte macroporosité et aussi à une gestion de la nappe utile par ses remontées capillaires.

La parcelle instrumentée est constituée d'une plantation de palmier dattier 'Deglet Nour' âgée de 20 ans, d'une densité moyenne de (7 m x 7 m) soit 200 palmiers/ha. La hauteur moyenne des palmiers au sein de cette parcelle est de 8 m. La strate basse, sous-jacente aux palmiers, est constituée en majorité d'une culture de luzerne renouvelée presque tous les 3 ans.

L'irrigation, s'effectuant au tour d'eau, est gravitaire par submersion. Sa fréquence, constatée par un suivi continu, est presque mensuelle avec quelques irrégularités des apports notamment en saison estivale par manque de disponibilité en eau (Ben Aïssa, 2006), mais aussi par une réduction volontaire des cultivateurs au moment de la récolte et à l'approche de l'hiver.

Mesure de flux de sève

Depuis la mi-juin 2007, on a installé au sein de la parcelle instrumentée, des capteurs de flux de sève conformément à la technique de dissipation de chaleur de Granier (1985, 1987), modifiée par Rouspard *et al.* (2006), sur quatre palmiers voisins (maille carrée 7 x 7 m²) de la variété Deglet Nour. La scrutation et l'enregistrement des signaux de capteurs était assuré par une centrale d'acquisition de données CR10x avec un multiplexeur AM416 (Campbell Scientific) au pas d'une minute et intégration des moyennes toutes les 15 mn. Quelques mises au point méthodologiques ont été apportées sur l'installation par rapport à celle décrite sur Cocotier (Rouspard *et al.*, 2006). Les tensions de chauffage ont été réglées pour avoir une puissance de l'ordre de 200 mW au niveau de chaque capteur. Les sondes de capteurs sont installées radialement dans les stipes de palmiers à une hauteur de 1.5m. Un capteur, direction Nord-Est, est ainsi installé sur chaque palmier.

Sur l'un des quatre palmiers, nous avons installé trois capteurs azimutalement distincts de 120° l'un de l'autre et sur une hauteur, presque la même pour tous les capteurs, de l'ordre de 1,5 m. Suite à une panne au niveau de l'une de six bornes de sortie du boîtier de régulation électrique, un des capteurs singuliers (celui sur le palmier dit n°1) a été laissé en permanence sans chauffage tout en scrutant son signal. Chaque capteur était protégé du rayonnement direct par un déflecteur en PVC recouvert d'une bande réfléchissante en papier de survie. L'ensemble a été ensuite bien recouvert par du fibrillum de palmier pour une meilleure protection du dispositif.

Les capteurs utilisés dans cette expérimentation ont été fabriqués selon les caractéristiques indiquées par Rouspard *et al.*, (2006). De ce fait, les capteurs sont tous identiques et acceptent la même calibration et méthode de calcul que celle décrite et validée par ces auteurs.

Pour des vérifications méthodologiques et en vue de l'interprétation de certains résultats, une mesure de la température ambiante (au niveau d'un boîtier aéré contenant la centrale, la batterie et le régulateur du courant) a été assurée, au même pas de temps d'acquisition que le flux de sève, grâce à un thermocouple Cu/Cs montée directement sur la centrale CR10x.

Principe de la technique de mesure de flux de sève utilisée

Le principe de mesure est le refroidissement par convection, dû à la circulation de la sève d'une sonde chauffée à puissance constante. Le capteur est constitué de deux aiguilles contenant des thermocouples cuivre/constantan montés en opposition. Elles sont insérées radialement dans le stipe au sein des faisceaux de xylèmes, structure vasculaire qui assure la circulation ascendante de la sève brute. Un écart de 10 cm environ sépare l'aiguille chauffée (haute) de la deuxième aiguille (basse) en amont du flux, qui a pour objet de suivre la température du milieu avant chauffage. La décroissance de l'écart de température entre les deux sondes est reliée à la densité de flux par une formule empirique, validée au laboratoire sur de nombreuses espèces et des matériaux poreux. On note ainsi deux conditions de flux :

– à flux de sève nul, on enregistre un écart thermique ΔT_{ref} ou ΔT_{max} ;

– à flux de sève non-nul, on enregistre un écart thermique $\Delta T(\phi)$.

Ces écarts thermiques seront la base de calcul de la densité du flux (ϕ) s'écrivant ainsi :

$$\phi = \alpha \cdot K^\beta \quad (1)$$

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

$$K = \left[\frac{\Delta T_{\text{max}} - \Delta T(\phi)}{\Delta T(\phi)} \right] \quad (2)$$

Estimation de la densité du flux de sève

La densité du flux de sève est calculée à partir d'un modèle empirique établi pour des espèces forestières (Granier, 1985) et fruitières (Cabibel et Do, 1991). Sur des palmiers (palmier à huile et cocotier), Rouspard *et al.* (2006) ont recalé les coefficients d'ajustement α et β par rapport à une calibration des sondes, fabriquées localement, au laboratoire et validés expérimentalement sur des cocotiers de même famille que le palmier dattier. Les nouveaux coefficients adoptés sont $315 \cdot 10^{-6}$ et 1,231 respectivement pour α et β et on aura ainsi :

$$\phi \text{ (m.s}^{-1}\text{)} = 315 \cdot 10^{-6} \cdot K^{1,231} \quad (3)$$

Estimation du flux de sève et de la transpiration

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

$$\text{FS (m}^3 \text{s}^{-1}\text{)} = \phi \cdot \text{Sc} \quad (4)$$

Avec, Sc = section conductrice de sève, estimée en m^2 (ou dm^2).

Une investigation sur la question de la section conductrice de sève au niveau du stipe du palmier a été tentée à travers des observations sur des coupes fraîches effectuées sur des palmiers dans l'oasis. Ces observations conduisent à une confirmation que toute la section du bois de sève, de couleur blanchâtre, est conductrice, corroborant ainsi des approches similaires adoptées dans d'autres travaux sur des Palmacées (Rouspard *et al.*, 2006 ; Sellami et Siffawi, 2003 ; Ringersma *et al.*, 1997 ; Dufrêne *et al.*, 1992). Pour notre cas, une coupe du tronc d'un palmier (de même âge que les arbres étudiés) a permis d'estimer, par différence de couleur, une Sc de l'ordre de 7 dm^2 (évaluée à 52 % de la section totale du tronc).

Les flux de sève mesurés sont exprimés :

- en flux horaire ($\text{l} \cdot \text{h}^{-1}$), cette expression de flux est utilisé pour caractériser et comparer les cinétiques nycthémérales de la sève ;
- en flux cumulé sur la journée ($\text{l} \cdot \text{j}^{-1}$) qui correspond pratiquement à la transpiration journalière ($\text{mm} \cdot \text{j}^{-1}$) à l'échelle de l'arbre. Pour ceci, compte tenu de la maille de plantation au sein de la parcelle, une surface d'occupation relative de 50 m^2 est attribuée à chaque palmier.

D'une journée à l'autre, les variations du contenu en eau de la partie aérienne des arbres sont généralement négligées et la transpiration journalière est assimilée au flux de sève total cumulé sur 24 heures. La précision relative des flux journaliers est estimée à 10 % (Cabibel et Do, 1991).

Afin d'avoir des ordres de grandeur de la transpiration à l'échelle de la parcelle, nous avons considéré, par simplification, que les palmiers équipés de capteurs sont représentatifs de toute la parcelle et qu'ils ont une même section conductrice compte tenu qu'ils possèdent un même périmètre de tronc de l'ordre de $130 \pm 2 \text{ cm}$. D'où, nous estimons la transpiration journalière, à l'échelle de la parcelle, par l'équation suivante :

$$\text{Tp (mm.j}^{-1} \text{ ou kg.m}^{-2} \cdot \text{j}^{-1}\text{)} = \sum_{t=1}^{24\text{h}} (\text{FS} \cdot 3600) \frac{N}{10000} \cdot 10^{-3} \quad (5)$$

avec ; FS le flux de sève par palmier ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$) ; N le nombre de palmiers/ha ($N \approx 200$ palmiers/ha).

Résultats

Cinétiques horaires des flux de sève mesurés

La figure 1 illustre des cinétiques horaires de la température ambiante et du flux de sève de deux palmiers voisins (n°2 et n°3) pour une série de 14 jours de mesure continue au cours de la saison estivale (période du 21 août au 03 septembre 2007). Durant cette période, la température ambiante a varié de 25 à 50°C, caractérisant ainsi des conditions de forte demande climatique. A partir de ces cinétiques horaires (calculées toutes les 15 min), on peut percevoir que les flux de sève des deux palmiers sont assez synchrones et équivalents durant cette période de mesure. Les valeurs maximales de flux observées en milieu de la journée se situent entre 12 et 17 l/h correspondant à des densités de flux de 1,7 et 2,4 l/dm²/h. En saison hivernale (figure 2b), cette équivalence des flux horaires entre ces deux palmiers est toutefois moins nette.

A cette échelle horaire, à partir de l'allure générale des courbes, il apparaît une forte concordance entre l'évolution de la température ambiante et celle des flux de sève mesurés au cours de la journée. Cette concordance paraît moins nette à l'échelle journalière.

La comparaison des évolutions horaires entre deux jours à demande climatique contrastée (figure 2), montre qu'au cours de la saison estivale (figure 2a), la température ambiante est maximale presque deux heures après que le flux de sève ait atteint son maximum et elle diminue ensuite beaucoup moins rapidement. Cela est expliqué par le fait que le flux de sève ou la transpiration est un phénomène physiologique lié plutôt au rayonnement qui commande l'ouverture des stomates au niveau des feuilles alors que la température mesurée est influencée par les inerties thermiques du milieu environnant d'où son évolution temporelle plus lente. En saison hivernale (figure 2b), les évolutions horaires sont plus synchronisées voir même un petit retard du flux de sève par rapport à la température avec des valeurs maximales beaucoup plus faibles qu'en été.

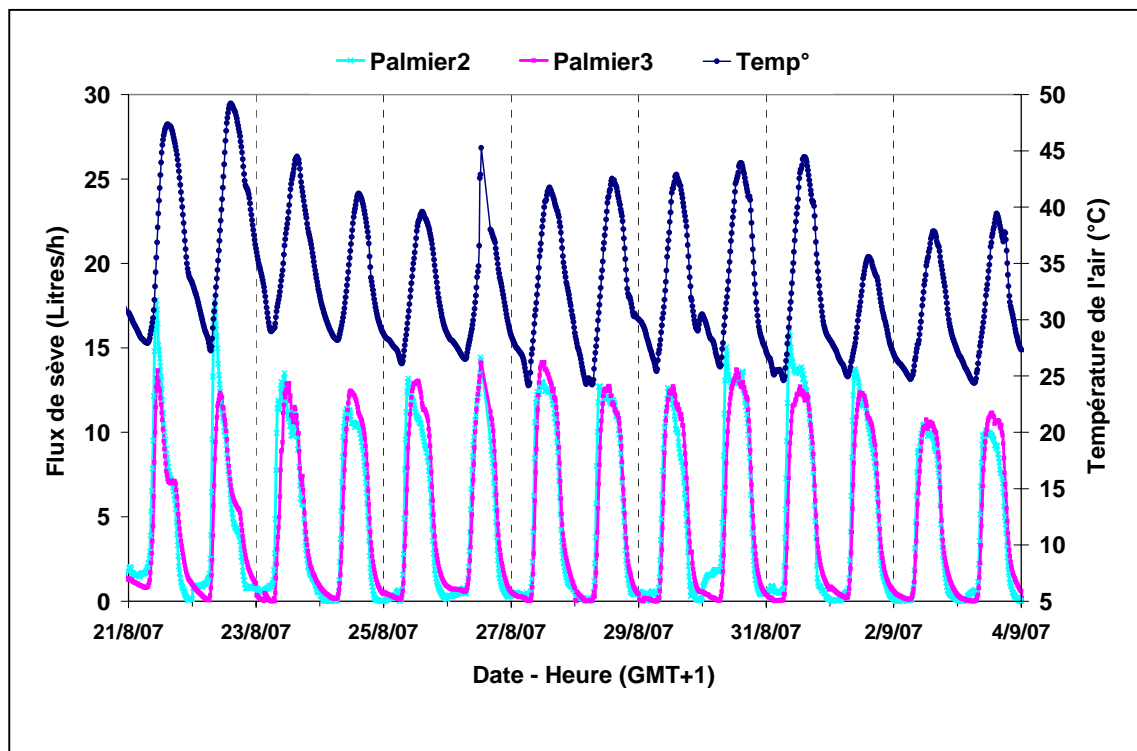


Figure 1. Cinétiques horaires du flux de sève (l/h) de deux palmiers voisins et de la température ambiante (°C) mesurée sous la canopée : série de 14 jours de mesure en saison estivale.

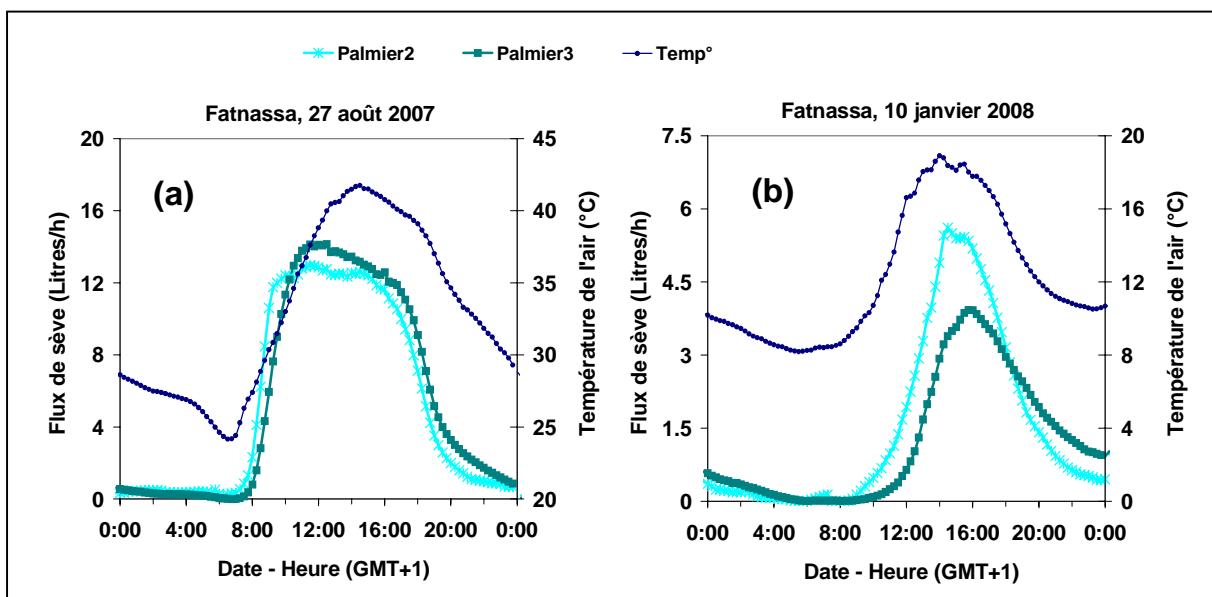


Figure 2. Cinétiques horaires du flux de sève (l/h) de deux palmiers voisins et de la température ambiante (°C) mesurée sous la canopée : comparaison entre deux journées contrastées ; (a) : journée à forte demande climatique, (b) : journée à faible demande climatique.

Cinétiques horaires du flux de sève et oscillation nycthémérale de la nappe superficielle

Dans un travail précédent (Ben Aïssa, 2006), on a mis en évidence, par un suivi piézométrique fin, un phénomène d'oscillation jour-nuit au cours de la phase de rabattement de la nappe superficielle, caractérisant une descente plus rapide de la nappe au cours du jour qu'au cours de la nuit. Cette décroissance scalariforme du niveau de la nappe a été supposée directement liée à l'évapotranspiration du couvert végétal, en particulier du palmier. En effet, par rapport à notre système parcelle, ce flux de sortie par évapotranspiration s'ajoute aux flux de sortie par drainage et écoulement souterrain de la nappe pendant la phase diurne d'où une descente plus rapide de la nappe par rapport à la phase nocturne durant laquelle l'évapotranspiration est négligeable voir nulle. Pour valider cette hypothèse, nous avons superposé la courbe du niveau piézométrique de la nappe, au pas de 10 mn, avec celle de l'évolution instantanée du flux de sève palmier, au pas de 15 min (figure 3). La synchronisation des deux phénomènes est nette, ce qui valide au moins en partie notre hypothèse de départ et confère aussi plus de solidité méthodologique à l'estimation de la transpiration du palmier par la technique de mesure de flux de sève.

Transpiration journalière et évolution avec la fréquence des apports hydriques

Comme à l'échelle horaire, les moyennes sont associées à une forte variabilité. En effet, les flux de sève cumulés sur la journée, convertis en mm/jour, ont varié globalement de 0,5 à 3,5 mm/j avec une moyenne de l'ordre de 2 mm/jour sur toute la période de mesure (juillet 2007. mai 2008). Au cours de la saison estivale (figure 4), du 15 juillet à la fin de septembre 2007, les moyennes journalières de la transpiration du palmier ont varié de 1,5 à 3,2 mm/j. Durant cette période, on a reçu trois tours d'eau mensuels sur notre parcelle avec une dose de l'ordre de 150 ± 10 mm. Ces trois apports hydriques sont bien différenciés à travers la variation de la profondeur de la nappe (figure 4). Les flux journaliers de transpiration mesurés durant cette période reflètent, malgré une variation inter-arbres, une tendance de variation en fonction du tour d'eau qui peut être constatée graphiquement. Cette variation en fonction de la fréquence de l'irrigation, si elle se confirme, aura toute son utilité pour repérer des périodes de stress hydriques du palmier et pour aider ainsi à une meilleure gestion du tour d'eau au sein de l'oasis pour éviter la répercussion d'un tel stress sur la productivité de la palmeraie.

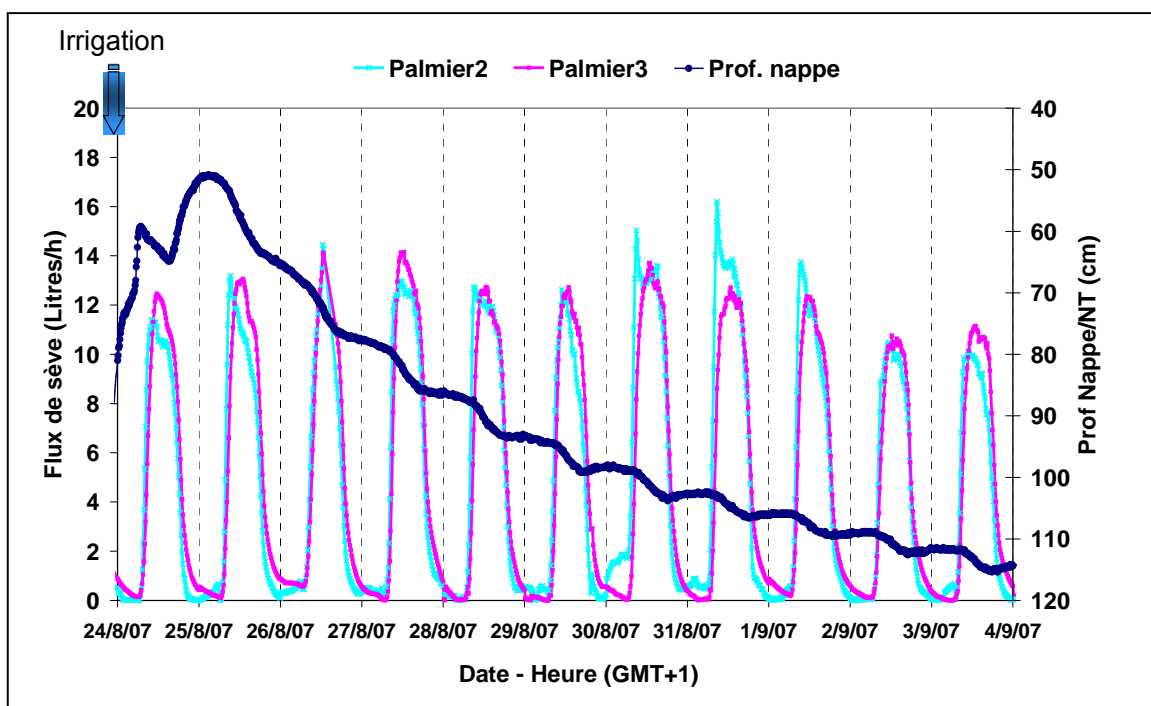


Figure 3. Cinétiques horaires du flux de sève (l/h) du palmier dattier et oscillation nyctémérale de rabattement de la nappe superficielle au niveau de la parcelle (du 24 2008 au 03 2009). L'irrigation a été effectuée du 23 2008 au 24 2009.

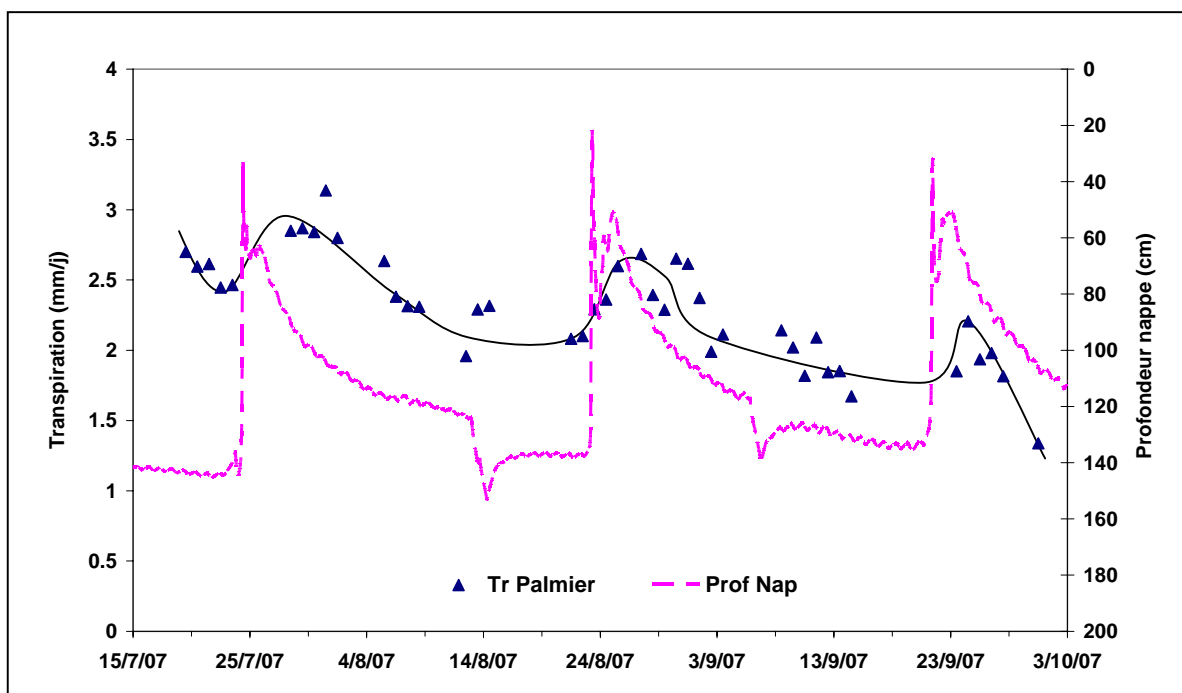


Figure 4. Variation journalière de la transpiration du palmier (mm/jour) en relation avec le tour d'eau et la profondeur de la nappe superficielle.

Variation saisonnière de la transpiration moyenne du palmier dattier au sein de la parcelle

Pour une meilleure visualisation des ordres de grandeur de la transpiration moyenne des palmiers d'une saison à l'autre sur l'année, nous avons eu recours à des moyennes saisonnières de la transpiration calculées à partir des mesures de flux de sève sur toute la période de mesure. Sur la figure 5, nous avons porté les moyennes saisonnières de la transpiration (mm/j) relative au palmier n°2, au niveau duquel les mesures ont été plus complètes et moins perturbées. La moyenne estivale (période de juillet à septembre 2007) a été de 2,3 mm/j alors que celle de l'hiver (janvier et février 2008) n'était que de 1,5 mm/j. Une différence logique traduisant une évolution analogue de la demande climatique. Au printemps suivant (mars et avril 2008), nous avons noté une assez forte reprise de la transpiration même comparativement à la saison estivale. Cette moyenne printanière était de l'ordre de 2,6 mm/j qui peut être expliqué par des conditions plus favorables à la circulation de sève et à la transpiration par rapport aux autres périodes de l'année.

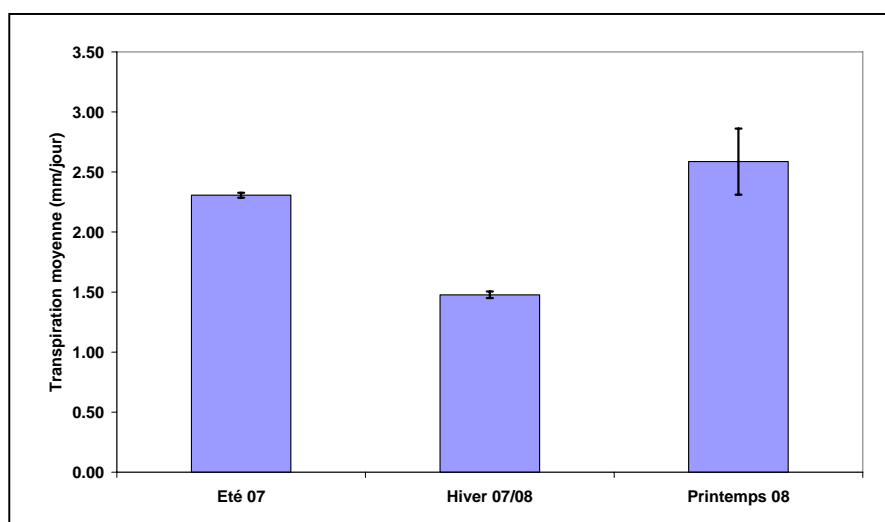


Figure 5. Moyennes Saisonnières de la transpiration (mm/jour) du palmier dattier au sein de la parcelle.

Précision des mesures et sources d'erreur

Les écarts thermiques à flux de sève nul

Après une mise au point de l'installation des capteurs, notamment concernant la profondeur d'insertion des aiguilles, les signaux enregistrés ont été cohérents avec une cinétique synchrone entre les 5 capteurs sous tension (chauffés) mais, toutefois, avec des décalages d'amplitudes des écarts de température maximaux (ΔT_{\max}) et instantanés (ΔT_{ϕ}). Ces ΔT_{\max} varient d'un jour à l'autre et différemment pour chaque capteur. De ce fait, la considération d'un ΔT_{\max} sur une enveloppe d'une dizaine de jours comme le mentionne Granier (1987) nous a paru une source d'erreur en plus. Ainsi, pour calculer l'index de flux sur une journée nous avons considéré comme ΔT_{\max} celui enregistré lors des deux périodes nocturnes, précédant et succédant la période diurne, de la journée en question.

Les écarts thermiques en condition sans chauffage : le gradient non-nul

On a pu distinguer, à partir des signaux du capteur non chauffé en permanence, ou même des autres capteurs quand la batterie de chauffage s'épuise, un gradient de température non-nul et répétitif entre les sondes haute et basse du capteur, d'où la non vérification de l'hypothèse d'une température équivalente entre les deux niveaux d'insertion des sondes dans ces conditions expérimentales (Cabibel et Do, 1991 ; Lu *et al.*, 2004).

Ce gradient (figure 6) est brusquement négatif (-0,2 à -0,6°C) au début de la journée (entre 7 h et 11,h, selon la saison) et s'inverse progressivement le reste de la journée à presque + 0,3°C avec une variation journalière et saisonnière. Ce signal, commun entre tous les capteurs sans chauffage, constitue alors un phénomène non hasardeux ou local d'autant plus qu'il est répétitif avec un effet net du cycle solaire journalier.

En superposant les cinétiques de densité de flux calculées avec le signal sans chauffage, on a remarqué que ce gradient peut influencer cette cinétique notamment par l'apparition d'un maximum matinal. De ce fait, si on ne tient pas compte de ce gradient, nous nous pouvons commettre l'erreur d'attribuer ce maximum à une activité transpiratoire matinale plus importante et on peut même perdre en précision sur le calcul des densités de flux d'autant plus que les amplitudes journalières entre les écarts thermiques maximaux et minimaux sont assez faibles (de l'ordre de 2,5 à 3°C). Ce gradient ne doit pas être négligé, car il induit par ailleurs une surestimation de ΔT_{\max} dont les conséquences sur les valeurs de flux peuvent être très importantes. Une correction des signaux et une amélioration des mesures devraient être projetées.

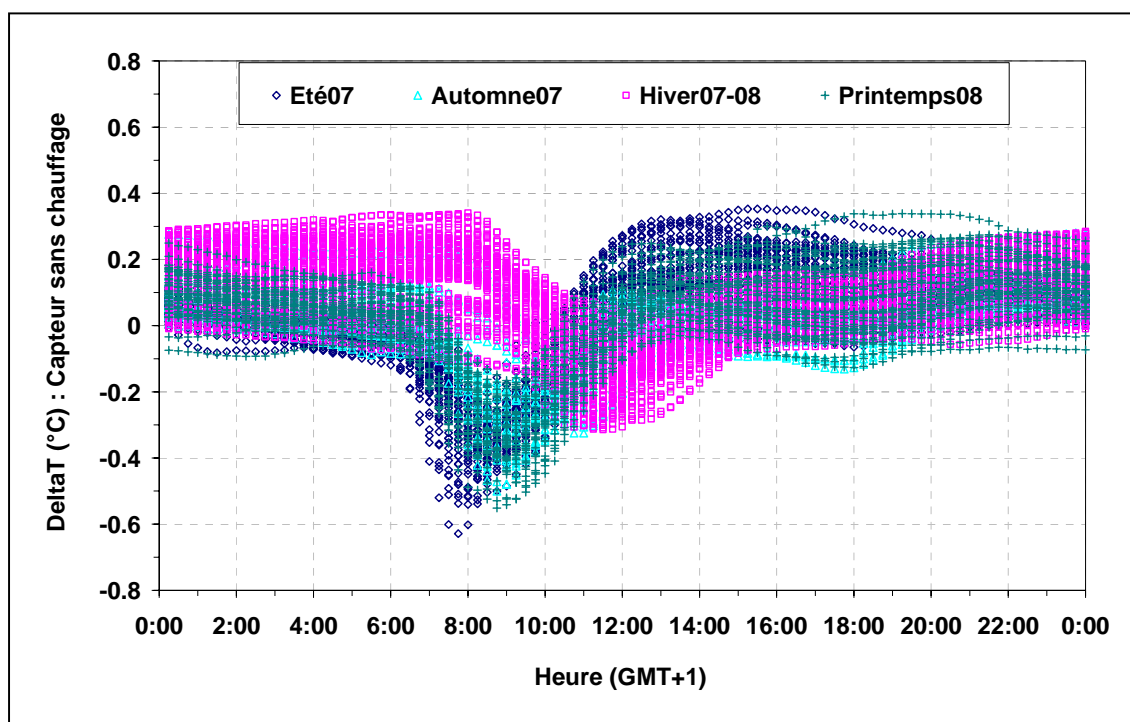


Figure 6. Variation Saisonnière de la cinétique horaire de l'écart thermique sans chauffage intercepté d'un capteur installé sur le palmier n°1 : mise en évidence du gradient thermique non nul entre les deux sondes du capteur.

Discussion

Consommation en eau du palmier estimée par la mesure du flux de sève

Les moyennes estimées sont à prendre comme des ordres de grandeur, compte tenu des différentes sources d'erreur notamment celles liées à la variabilité des densités de flux intra et inter-arbre. La consommation journalière est relativement faible, et varie au cours de la saison, entre 0,5 et 3,5 mm/j, soit une moyenne de 2 mm/j correspondant ainsi une transpiration annuelle de l'ordre de 730 mm. Cela révèle une consommation hydrique modeste (40 %) en regard de la demande climatique de l'ordre de 1 800 mm caractérisant ce contexte expérimental (Henia, 1993).

Il faut signaler néanmoins, que ces ordres de grandeur de la transpiration journalière sont assez cohérents et ne sont pas si faibles comparativement à des résultats issus d'autres travaux menés dans des palmeraies de la région de Tozeur et qui ont utilisé comme approche la mesure du flux de sève. En effet, Ringersma *et al.*, (1997) ont mentionné une moyenne estivale de 1,5 mm/j (mois de juin 1995) et une moyenne automnale de 0,5 mm/j (mois de novembre 1995). Quant à Sellami et Siffawi (2003), une mesure de flux de sève de palmier dattier sur une dizaine de jours (mois d'octobre 1995) a conduit à estimer une transpiration de 1,3 à 2,2 mm/j.

Ainsi, tous ces auteurs ont insisté sur l'hypothèse que le palmier dattier n'est pas un grand consommateur d'eau, une qualité qui explique sa présence dans des contextes à très forte demande climatique. Reste, toutefois, à évaluer la contribution de la strate basse (cultures fourragères et sol nu) dans l'évapotranspiration globale du couvert déduite d'un bilan hydrique (entrée-sortie) au sol au sein de cette même oasis et qui était de l'ordre de 1 200 mm/an (Marlet *et al.*, 2007).

Précision des mesures et sources d'erreur

L'effet de ce gradient non nul est remarquable sur les cinétiques horaires qui sont généralement surestimées au début de la journée (généralement du lever du soleil à quatre heures plus tard) et sont sous-estimées vers l'après-midi et la fin de la journée. Toutefois, ce gradient ne paraît pas avoir un effet important sur la précision du flux intégré sur 24 heures puisqu'il y a compensation de la sous-estimation par la surestimation.

Ce gradient non nul de température, malgré les précautions d'isolation thermique étant prise lors de l'installation, est généré par des interférences thermiques avec les facteurs externes notamment la différence de température air-sol qui est assez variable au cours de la journée. Une meilleure protection de la base du tronc pourrait, peut-être, atténuer les pics observés (Do, 1986 ; Shackel *et al.*, 1992).

Par ailleurs, l'interaction entre la sonde et le bois conducteur peut exiger un calibrage spécifique *in situ*, particulièrement si les sondes sont suspectées être en contact partiel avec du bois non conducteur (Lu *et al.*, 2004). C'est un souci important dans le cas des palmiers, dû à la distribution dispersée des paquets fibro-vasculaires dans le tissu du stipe (Tomlinson, 1990). La structure du bois conducteur de l'arbre, qui varie d'une espèce à une autre, peut donc avoir, elle aussi, une relation avec ce problème.

Conclusion

L'apport principal de ce travail tient dans une première quantification des densités de flux de sève et de la consommation d'eau du palmier dattier, dans des conditions naturelles bien caractérisées (nappe superficielle salée, tours d'eau éloignés,...). Les résultats actuels ont une certaine cohérence et les flux de sève mesurés montrent des cinétiques synchrones avec la dynamique piézométrique jour-nuit de la nappe superficielle constituant ainsi une validation de la méthode de mesure.

Sur le bilan hydrique, les flux de transpiration cumulés sur la journée ont varié globalement de 0,5 à 3,5 mm avec une moyenne de l'ordre de 2 mm/jour et une variation saisonnière de 1,5 à 2,6 mm/j. Cela reflète une consommation hydrique annuelle modeste en regard de la demande climatique dans ce contexte régional.

Du point de vue de la gestion de l'irrigation, on constate que les flux journaliers, malgré leur variation inter-arbres, semblent être influencés par la fréquence des apports d'eau à la parcelle.

Par ailleurs, ce travail a permis de soulever l'existence de plusieurs sources d'erreur pouvant influencer la précision des mesures à savoir notamment :

- le gradient thermique non nul sans chauffage qui est probablement une influence d'un gradient thermique externe malgré les précautions d'isolation thermique étant prise lors de l'installation ;
- la difficulté de déterminer la bonne valeur de ΔT_{\max} pour calculer les index de flux sur une journée. (K) ;
- la faible amplitude entre ΔT_{\max} et ΔT_{\min} sur la journée, qui est due à une faible dissipation thermique, due elle aussi à une faible densité de flux, augmentant ainsi la sensibilité de mesures aux variations possibles de tous les paramètres susmentionnés.

Enfin, et dans la perspective de ce travail nous nous sommes intéressés à :

- évaluer la contribution de la strate basse dans la composante ET_c du bilan hydrique au sein de la parcelle ;
- mieux comprendre la relation entre la variation de la transpiration du palmier et la fréquence tour d'eau : repérer des périodes de stress ;
- à la modélisation de l'évapotranspiration du couvert (approche micro-météorologique) et à la confronter à la modélisation déduite du bilan hydrique au sol.

Références bibliographiques

AYERS R.S., WESTCOT D.W., 1985. Water quality of agriculture. FAO Irrigation and Drainage Paper no. 29 (Rev. 1: Rome, 174 p.

BEN AÏSSA I., 2006. Evaluation de la performance d'un réseau de drainage enterré au sein d'une oasis modernisée du sud tunisien : Cas de l'oasis de Fatnassa Nord à Kébili (Tunisie). Mémoire de Master Recherche, Eau et Environnement, ENSA de Montpellier, 119 p.

BEN AÏSSA I., BOUKSILA F., BAHRI A., BOUARFA S., CHAUMONT C., 2004. Gestion de l'eau et des sels au sein d'une oasis du Sud tunisien. Proc. Seminar "La Modernisation de l'Agriculture Irriguée", Project INCO-Wademed, Knowledge base on water demand management in the Mediterranean countries (<http://www.wademed.net/>: Ed. Hammani, A., Kuper, M. and Debbarh, A., p. 312-322.

BRUNEL J-P., IHAB J., DROUBI A.M., SAMAAN S., 2006. Energy budget and actual evapotranspiration of an arid oasis ecosystem: Palmyra (Syria). *Agricultural water management* 84 (2006) : 213-220.

CABIBEL B., DO F., 1991. Mesures thermiques des flux de sève dans les troncs et les racines et fonctionnement hydrique des arbres. I. Analyse théorique des erreurs sur la mesure des flux et validation des mesures en présence de gradients thermiques extérieurs. *Agronomie*, 11 : 669-678.

CRUESI, 1967. Réaction du palmier dattier à l'irrigation. Note technique n°1, Mission UNESCO, Tunisie.

DO F., 1986. Caractérisation des flux racinaires et du comportement hydrique de pommiers sous irrigation localisée en sol fissuré. Mémoire de fin d'études, ENITA Bordeaux. 49 p.

DO F., ROCHETEAU A., 2002. Influence of natural temperature gradients on measurements of xylem sap flow with thermal dissipation probes. 1. Field observations and possible remedies. *Tree Physiol.* 22, 641-648.

DUFRÊNE E., DUBOS B., REY H., QUENCEZ P., SAUGIER B., 1992. Changes in evapotranspiration from an oil palm stand (*Elaeis guineensis* Jacq.) exposed to seasonal soil water deficit. *Acta Oecol.* 13, (3): 299-314.

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.

HENIA L., 1993. Climat et bilan de l'eau en Tunisie. Essai de régionalisation climatique par les bilans hydriques. Thèse de Doctorat. Faculté des Sciences Humaines et Sociales de Tunis. 381 p.

LU P., URBAN L., ZHAO P., 2004. Granier's thermal dissipative probe (TDP) method for measuring sap flow in trees: theory and practice. *Acta Bot. Sin.* 46 (6): 631-646.

MARLET S., BOUKSILA F., MEKKI I. ET BEN AÏSSA I., 2007. Fonctionnement et qualité des eaux de la nappe de l'oasis de Fatnassa Nord. Arguments géochimiques. Actes du 3ème atelier régional scientifique et technique du Projet Sirma. 04-08 mai 2007. Nabeul, Tunisie.

MUNIER P., 1973. Le Palmier dattier. Techniques agricoles et productions tropicales; Maison Neuve et Larose, Paris, 217 p.

RINGERSMA J., MECHERGUI M., ENSINK J., 1997. Transpiration in Date Palm and Apricot. In: Evapotranspiration in an oasis agricultural system, Proc. du séminaire sur l'amélioration des paramètres

d'irrigation dans les oasis de l'Afrique du Nord, 24 avril 1997, Tozeur, Tunisie, 31-37.

RINGERSMA J., MECHERGUI M., PIJNENBURG S., 1996. Transpiration measurements in Date Palm using the Granier method. In: Proc. Int. Conf. on Evapotranspiration and irrigation scheduling, Nov 3-6 1996, Texas American Society of Agricultural Engineers.

ROUPSARD O., BONNEFOND J., IRVINE M., BERBIGIER P., NOUVELLON Y., DAUZAT J., TAGA S., HAMEL O., JOURDAN C., SAINT-ANDRE L., MIALET-SERRA I., LABOUISSSE J.P., EPRON D., JOFFRE R., BRACONNIER S., ROUZIÈRE A., NAVARRO M. BOUILLET J.P., 2006. Partitioning energy and evapo-transpiration above and below a tropical palm canopy. *Agricultural and Forest Meteorology*, 139 (2006) 252-268.

SELLAMI M.H., SIFAOU M.S., 2003. Estimating transpiration in an intercropping system: measuring sap-flow inside the oasis. *Agric. Water Manage.* 59 (3): 191–204.

SHACKEL K.A., JOHNSON R.S., MEDAWAR C.K., PHENE C.J., 1992. Substantial errors in estimates of sap flow using the heat balance technique on woody stems under field conditions. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 117 (2): 351-356.

TOMLINSON P.B., 1990. *The structural biology of palms*. Oxford: Oxford University Press.