

WATER USE IN OLIVE ORCHARDS ESTIMATED BY PHYSIOLOGIC AND CLIMATIC METHODS IN TUNISIA

Bchir Amani, (PhD)

Institut Supérieur Agronomique de Chott- Mariem, Tunisie,
Laboratoire d'Ecophysiologie; Institut de l'Olivier de Sousse, Tunisie,
Laboratori de Fisiologia Vegetal, Departament de Biologia, Universitat de
les Iles Balears, España

Boussadia Olfa

Laboratoire d'Ecophysiologie; Institut de l'Olivier de Sousse, Tunisie.

Lemur Raoul

Laboratoire d'Ecologie des Plantes; Université de Gent, Belgique.

Braham Mohamed

Laboratoire d'Ecophysiologie; Institut de l'Olivier de Sousse, Tunisie.

Abstract

This experimental study conducted on irrigated olive trees (cv. Meski) in arid climate in Enfidha-Tunisia. This study aims to estimate the water needs of the Olive Trees for a possible optimization of irrigation.

To do this, a calculation of water requirements was performed by physiologic and climatic methods and compared to traditional irrigation practiced by farmer (T0). The physiologic method is based on the xylem sap flow (T1) and the climatic method is based on the reference evapotranspiration (T2).

Results showed that the values of the highest transpiration are recorded under 60% ET_0 (T2). Under this treatment, the average of transpiration was about 50% of the applied irrigation dose, with soil evaporation average about 15%. These results allowed us to conclude that the physiological method (T1) allows a better estimate of water needs. This method also improves the profitability of the olive tree with a better optimization of water use (save 35% of water).

Keywords: Olive trees; Crop Evapotranspiration; Water requirements; optimizing irrigation

Résumé:

Le présent travail repose sur une étude expérimentale effectuée sur le cultivar d'olivier de table « Meski » conduit en intensif. Cette étude a pour objectif d'estimer les besoins en eau de l'Olivier pour une éventuelle optimisation de l'irrigation.

Pour ce faire, un calcul des besoins en eau a été effectué par deux méthodes climatique et physiologique, puis comparé la dose d'irrigation pratiquée par l'OTD (T0). La méthode physiologique est basée sur le flux de sève xylémique (T1) et celle climatique basée sur le bilan hydrique (T2).

Les résultats de notre travail révèlent que les valeurs de la transpiration les plus élevées sont enregistrées sous le régime de 60% ET₀. La transpiration sous ce traitement représente en moyenne 50% de la dose d'irrigation avec une évaporation qui ne présente que 15% de cette dose. Ces résultats nous ont permis de conclure que la méthode physiologique permet une meilleure estimation des besoins hydriques. Cette méthode permet aussi d'améliorer la rentabilité de l'olivier avec une meilleure optimisation de l'utilisation de l'eau qui arrive jusqu'à économiser 35% d'eau.

Mots-clés: Olivier; Evapotranspiration de référence; Flux de sève; Besoins en eau; Optimisation de l'irrigation

Introduction

Dans de nombreuses régions du monde, il y a un intérêt croissant pour l'olivier et ses produits (Fernandez et Moreno, 1999). Effectivement, l'olivier fait partie des espèces les plus intéressants pour la culture dans les zones arides et semi-arides. Cela s'explique par son adaptation remarquable à la sécheresse, qui lui permet de se développer et de produire en conditions pluviales dans les zones où la précipitation est moyenne et même inférieur à 500 mm par an, et où la saison sèche peut durer cinq ou six mois. L'intérêt agronomique de l'olive est renforcé par le fait qu'il montre une réponse remarquable pour toute amélioration des conditions de culture.

Actuellement, 95% de la surface cultivée en oliviers se trouve dans le bassin méditerranéen (Lazzeri, 2009). Le patrimoine oléicole tunisien est estimé à plus de 70 millions d'arbres qui couvrent une superficie de 1 700 000 hectares, environ 30 % des terres agricoles. La Tunisie se classe au deuxième rang mondial, après l'Union Européenne et au quatrième rang après l'Espagne, l'Italie et la Grèce (C.O.I, 2006).

Les oliveraies à olive de table n'occupent actuellement que 24 500 ha (3,25 millions d'oliviers) dont 10 000 ha sont conduits en irrigué. Depuis la campagne 2003/2004, la production en olive de table a augmenté pour atteindre en moyenne 20 000 T/an (C.O.I, 2006). Toutefois, les rendements,

et en dépit des progrès réalisés, restent relativement faibles (0,6T /ha) en deçà des potentialités réelles du secteur (3 T/ha). De plus, ce secteur souffre de l'instabilité de la production d'une année à l'autre suite à l'irrégularité inter et intra-annuelle des pluies.

Selon Fernandez et Moreno (1999), deux raisons principales pour irriguer l'oliveraie. D'une part, l'olivier a une réponse nette à l'approvisionnement en eau supplémentaires, même si seulement de petites doses d'eau sont appliquées. D'autre part, dans les nouveaux vergers intensifs (la densité des plantes varie de 250 à 400 arbres ha⁻¹ ou plus) ce qui signifie une augmentation significative de la surface foliaire par unité de surface de sol par rapport aux vergers pluviales. Dans ces conditions, la pluviométrie n'est pas suffisante et irrigation devient une nécessité. Dans ce contexte, l'intensification présente un moyen pour améliorer le rendement afin d'avoir un noyau stable de production pour faire face aux engagements mondiaux.

La gestion de l'eau dans le verger est l'une des questions sur lesquelles les agriculteurs, les agronomes et les écologistes réclament plus d'informations. Cela n'est pas surprenant, compte tenu de la nécessité d'économiser l'eau dans les zones où l'olivier est habituellement cultivé, ainsi que l'amélioration significative des performances lorsque les arbres sont irrigués. En effet, il y a donc un intérêt croissant dans de nouvelles techniques conçues pour une estimation plus précise des doses d'irrigation.

L'augmentation de la surface oléicole irriguée va provoquer un conflit d'intérêt pour l'emploi de l'eau par rapport à d'autres cultures et à d'autres usages, en raison de la pénurie des ressources hydriques. En effet, comme grand nombre de pays à travers le monde, la Tunisie fait face à la problématique du développement et de la gestion durable des ressources hydriques. Le taux de mobilisation des ressources conventionnelles disponibles a été de 88 % en 2005. Un faible volume reste encore à mobiliser au cours de la prochaine décennie, en majeure partie à partir des eaux de surface (300 Mm³), le reste sous forme d'eau souterraine profonde (80 Mm³), et ce en vue d'atteindre un taux de 96 % des ressources mobilisables en 2010. Le coût marginal de mobilisation de l'eau s'élève de plus en plus au fur et à mesure que l'on se rapproche de la mobilisation totale des ressources.

A l'échelle agricole, et plus spécifiquement en oléiculture, il est nécessaire d'optimiser l'irrigation par une estimation réelle des besoins en eau. Pour atteindre cet objectif, il est nécessaire de maîtriser les termes du bilan hydrique du sol, du bilan radiatif et de certains paramètres écophysiological liés à l'olivier. Ces termes permettent une meilleure gestion économe des apports hydriques, une augmentation de l'efficacité de l'utilisation des eaux d'irrigation et ultérieurement la modélisation de l'évapotranspiration.

Les mesures de flux de sève xylémique permettent l'estimation de la consommation d'eau, la dynamique d'absorption de l'eau par les racines et la transpiration (Fernández et al., 2006a, 2006c).

L'évaluation des méthodes physiologique (flux de sève) et climatique pour le pilotage de l'irrigation permet de trouver des corrélations entre l'évapotranspiration, les paramètres climatiques, la transpiration mesurée par le flux de sève et la dynamique de l'eau dans le sol. Les objectifs du présent travail sont :

(i) L'utilisation des données climatiques pour l'estimation des besoins en eau réelles chez l'olivier ;

(ii) L'utilisation de la méthode de flux de sève pour la mesure de la transpiration ;

(iii) La validation écophysiological (potentiel hydrique foliaire et xylémique) de la méthode basée sur le flux de sève.

Matériel et Methodes

L'étude a été réalisée sur le cultivar d'olivier de table local 'la Meski', le plus diffusé dans les vergers irrigués du Centre et du Sud Tunisien, cultivé à la station de l'office des terres domaniales (OTD) à Enfidha (36°08'N, 10°22'E, 23 m). Les oliviers objet de ce travail, issus de boutures herbacées, ont été plantés en 1985 selon un écartement en carré de 7m x 7m. La parcelle est équipée par un système d'irrigation localisée (goutte à goutte) à raison de deux lignes porte-goutteurs distants de 1 m. chaque arbre est irrigué par 4 goutteurs de débit total de 8 l/heure. L'essai consiste à la détermination des besoins en eau de l'olivier cv Meski cultivé dans le semi-aride par la méthode physiologique ($T1 = 100\%$ flux de sève) basée sur la détermination du flux de sève xylémique et la méthode climatique ($T2 = 60\%$ l' ET_0), basée sur la détermination de l'évapotranspiration de référence selon la méthode de Penman-Monteith FAO. Ces deux méthodes seront comparées à la méthode d'irrigation adoptée par l'OTD ($T0$). Cet essai est réalisé selon un dispositif expérimental en Bloc Complètement Aléatoire (BCA) avec 19 arbres par traitement. Les facteurs qui conditionnent l'évapotranspiration sont les suivants : les rayonnements solaires et atmosphériques, la température de l'eau et de l'air, l'humidité de l'air, la pression atmosphérique, la vitesse du vent. Les mesures sont régulières toutes les 30 minutes et enregistrées à l'aide d'un centre d'acquisition de données.

Estimation de la transpiration par le fluxmètre radiare (Méthode à dissipation de chaleur)

Les mesures ont été effectuées par la méthode de Granier (1985, 1987) qui se base sur la dissipation de chaleur. Le capteur thermique (TDP) utilisé est constitué de 2 sondes cylindriques de 1,4 mm de diamètre et de 4 cm de longueur. Pour éviter toute interférence thermique entre les 2 sondes,

la sonde de référence est placée à une distance de 8 -10 cm en amont de la sonde chaude et sur une génératrice légèrement décalée latéralement de façon à ne pas interrompre les vaisseaux conduisant la sève jusqu'à la sonde supérieure (Cabibel et al., 1991). Les mesures sont faites en discontinu avec 30 minutes comme intervalle de chauffages qui dure 10 minutes (Do and Rocheteau, 2002). Ces mesures sont contrôlées et enregistrées par un Dataloggers (Nicolas et al., 2005).

Le flux de sève total U est calculé à partir de la formule suivante (Granier, 1985) :

$$U = 119 \times 10^{-6} K^{1.231} (\text{m}^3 \text{m}^{-2} \text{s}^{-1})$$

Avec

$$K = (\Delta T_0 - \Delta T_u) / \Delta T_u$$

ΔT_0 est la différence de température à flux de sève nul, ΔT_u : la différence de température à flux de sève de densité U.

Calcul de l'évapotranspiration de référence

Equation de Penman -Monteith

$$ET_0 = \frac{0.408 \Delta R_n + \gamma \frac{900}{(T+273)} U_2 (es- ea)}{\Delta + \gamma (1 + 0.34 U_2)}$$

(Allen et al., 1998)

Avec: R_n : radiation nette à la surface de la culture ($\text{MJ} / \text{m}^2 \cdot \text{jour}$); T: température moyenne à 2 m ($^{\circ}\text{C}$); U_2 : vitesse du vent mesurée à 2m (m/s); (es-ea): déficit pression de vapeur (kPa); Δ : pente de la courbe de tension de vapeur ($\text{kPa}/^{\circ}\text{C}$); γ : constante psychrométrique ($\text{kPa}/^{\circ}\text{C}$); 0.34: Coefficient du vent (s/m).

Potentiel hydrique foliaire et xylémique

La détermination du potentiel hydrique foliaire et du potentiel xylémique se fait au moyen d'une chambre à pression (Modèle PMS 1000) (Scholander et al., 1965). Cette méthode consiste à mesurer la tension de la sève brute dans les vaisseaux d'une feuille fraîchement cueillie introduite dans une chambre à pression connectée à une bouteille de gaz (azote). La feuille est soumise à une pression gazeuse croissante dans la chambre jusqu'à l'apparition d'un ménisque de sève sur la section du pétiole. Cet instant correspond à l'équilibre de pression existant avant le détachement de la feuille du rameau. La pression minimale est enregistrée sur le manomètre. L'évolution journalière du statut hydrique a été suivie tous à partir de 6:00 h et jusqu'à 17:00 h. Pour le potentiel xylémique les feuilles doivent être mises deux heures avant la mesure à l'obscurité et ceci à l'aide d'une feuille d'aluminium doublée d'un fragment de sachet en plastique noir.

Résultats et Discussion

Evolution de la transpiration

L'étude de la transpiration mesurée par le fluxmètre durant la période expérimentale (Figure 1), montre que le niveau le plus élevé de la transpiration est enregistré pour le traitement T2 (60% ET_0). Ces niveaux varient de 73 m^3/ha (Février 2009) à plus de 400 m^3/ha (Juin et Juillet 2009), ceci s'explique par le fait que ce traitement reçoit la dose la plus élevée. Les valeurs de la transpiration les plus faibles et qui se trouvent dans l'intervalle de 57 m^3/ha (Février 2009) et 243 m^3/ha (Juillet 2009), sont observées chez le traitement témoins (T0). La transpiration enregistrée chez le traitement T1 se trouve dans une fourchette de 72 m^3/ha (Février 2009) et de 245 m^3/ha (Juillet 2009). Ces résultats illustrent bien que la transpiration est étroitement liée à la quantité d'eau dans le sol et reçue par l'arbre et aux conditions environnantes. D'après Nadezhdina et al. (2007), la diminution de la transpiration (le flux de sève xylémique) peut être due à la diminution des quantités d'eau dans le sol.

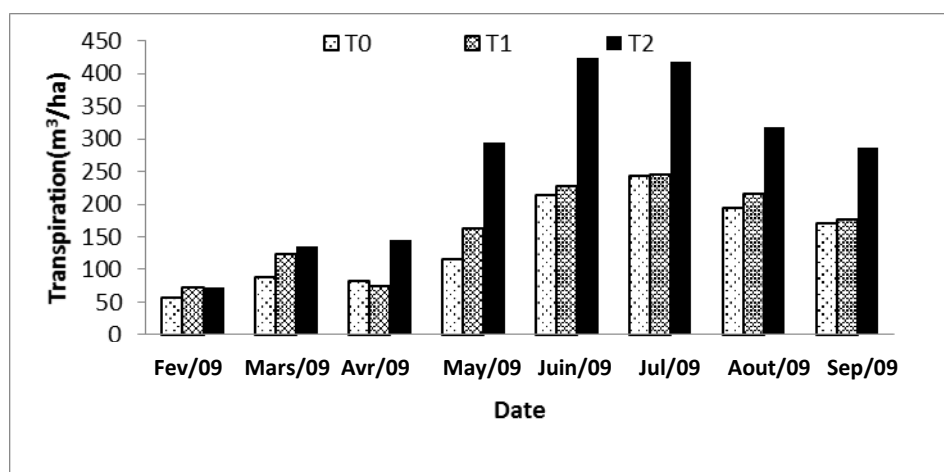


Figure 1 : Evolution de la transpiration des trois traitements durant la période expérimentale

Comparaison entre Dose, Transpiration et Evaporation du sol

Au cours de la période expérimentale, on a remarqué que pour le traitement T2 (60% de l' ET_0), la somme de la transpiration (en moyenne 55%) et de l'évaporation du sol (en moyenne 15%) est inférieure à la dose apportée. A partir de la figure 2, on peut conclure qu'environ 30% de la dose apportée se trouve non exploitée par la culture.

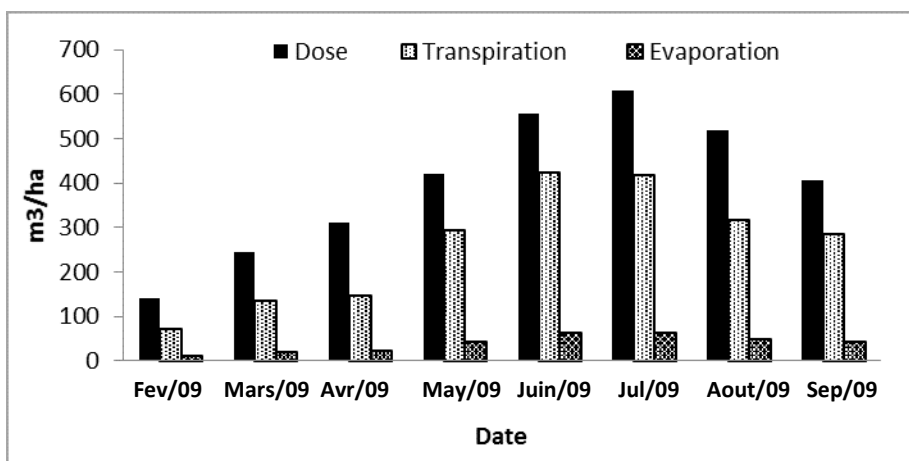


Figure 2: Evolution de la dose, de la transpiration et de l'évaporation du sol au cours de période expérimentale pour le traitement 60% ET₀

Evolution de la transpiration en rapport avec la dose d'irrigation

La transpiration est fortement affectée par les doses d'irrigation appliquées durant la période d'essai (figure 3). En effet, la transpiration la plus élevée, durant le mois de Juillet 2009, est enregistrée chez le traitement T2, elle est de l'ordre de 417 m³/ha suite à une irrigation de 600 m³/ha. Pour une dose de 365 m³/ha, la transpiration mesurée pour le traitement T0 était de l'ordre de 243 m³/ha. La transpiration correspondante au traitement T1 et pour une dose de 282 m³/ha est égale à 245 m³/ha. Ceci permet de conclure que pour les mêmes conditions climatiques et pour une même culture, le niveau de transpiration varie avec la variation de la dose d'irrigation. Selon Rousseaux et al. (2009) la transpiration de l'arbre augmente avec la dose. En fait ils ont montré que pour une dose d'irrigation élevée la transpiration est plus importante que celle qui résulte d'une irrigation modérée.

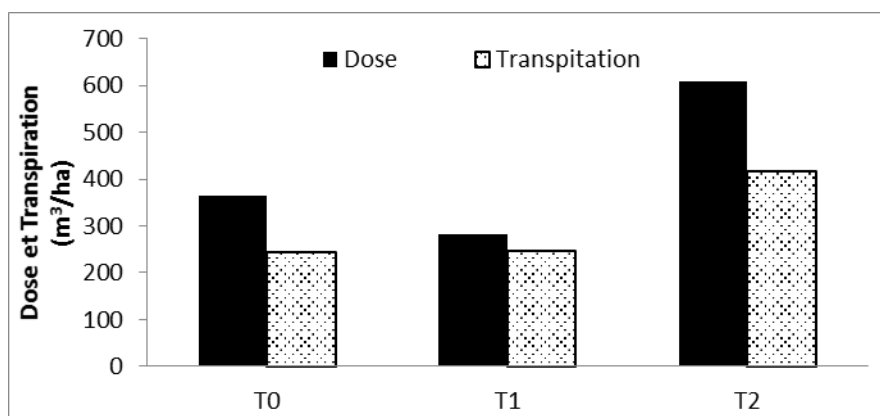


Figure 3 : Transpiration et doses d'irrigation durant le mois de Juillet 2009 chez les différents traitements

Potentiel hydrique et xylémique

Evolution diurne du potentiel hydrique foliaire (Ψ_H)

Chez la variété Meski, l'évolution journalière du potentiel hydrique foliaire pour les trois traitements est représentée par la figure 4.

Les valeurs du potentiel hydrique enregistrées à 6 h du matin durant une journée du mois d'Août (09/08/2009) sont en moyenne de l'ordre de -0,82 MPa; -0,72 MPa et -0,61 MPa respectivement pour les traitements T0; T1 et T2. Puis, on remarque un abaissement régulier jusqu'à atteindre un minimum à 12 h. Les valeurs du potentiel hydrique foliaire minimales sont en moyenne de -2,93 MPa pour T0; -2,91 MPa pour T1 et -2,71 MPa pour T2. Vers 17 h, ce paramètre augmente d'une façon contenue pour atteindre des valeurs de l'ordre de -2,08 MPa; -2,07 MPa et -2,38 MPa respectivement pour T0; T1 et T2.

L'évolution diurne du potentiel hydrique foliaire pour les trois traitements est similaire à celle trouvée chez l'Olivier (var. Picholine marocaine) par Centritto et al. (2005). De même, des résultats similaires ont été rapportés par Chehab et al. (2008) sur deux variétés d'Olivier de table Meski et Picholine et par Choné et al. (2000) sur la vigne (*Vitis vinifera* L).

L'analyse de la moyenne montre qu'il n'y a une différence significative entre les trois traitements hydriques qu'au début et à la fin de la journée.

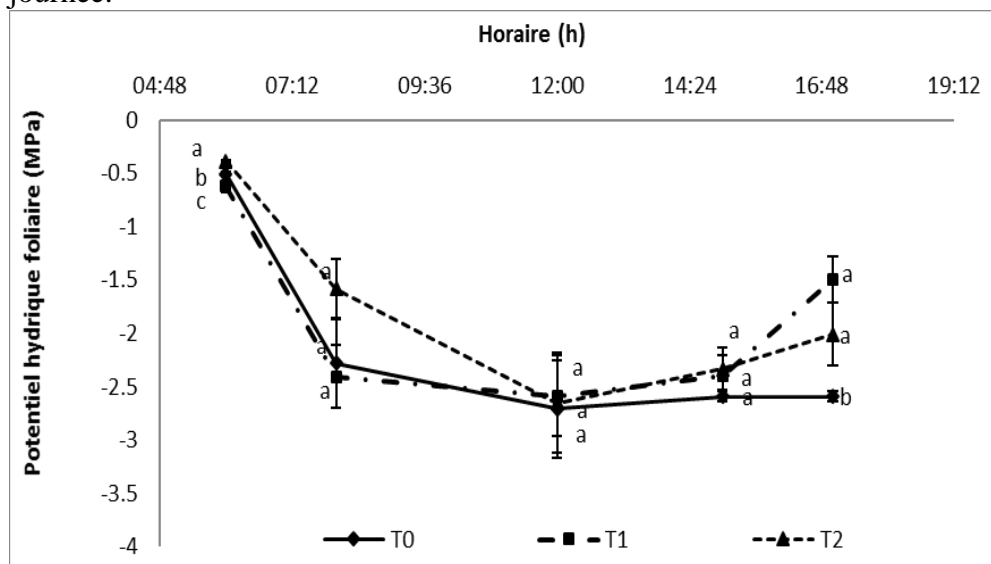


Figure 4 : Evolution diurne du potentiel hydrique foliaire durant une journée du mois d'Août. Les moyennes de chaque point de la courbe suivies par la même lettre, ne diffèrent pas statistiquement entre elles au seuil de 5%.

Evolution diurne du potentiel hydrique xylémique (Ψ_{HX})

L'évolution du potentiel hydrique xylémique au cours d'une journée de mesure (9 Août 2009) pour les trois traitements est représentée par la figure 5. Les valeurs enregistrées durant cette journée à 6 heures du matin sont de l'ordre de -0,62 MPa, -0,65 MPa et -0,58 MPa respectivement chez les traitements T0, T1 et T2. Le potentiel hydrique xylémique enregistré chez les trois traitements diminue régulièrement à partir de 8:00 h, atteignant les valeurs les plus basses entre 10 heures et 12 heures, elles sont de -2,07 MPa, -2,01 MPa et -2,02 MPa respectivement chez les traitements T0, T1 et T2. Puis, Ψ_{HX} augmente jusqu'à la fin de la journée vers des valeurs de -1,64 MPa, -1,40 MPa et -1,50 MPa respectivement chez les traitements T0, T1 et T2.

On remarque aussi que les valeurs du potentiel hydrique foliaire sont plus faibles que celle du potentiel xylémique. Ce même résultat été montré par Chehab (2007).

Les résultats de l'analyse de la moyenne sur l'évolution diurne de Ψ_{HX} , montrent que pour les différents traitements hydriques il y a une différence significative. Selon Tognetti et al. (2006), le potentiel xylémique est plus précis que le potentiel hydrique foliaire.

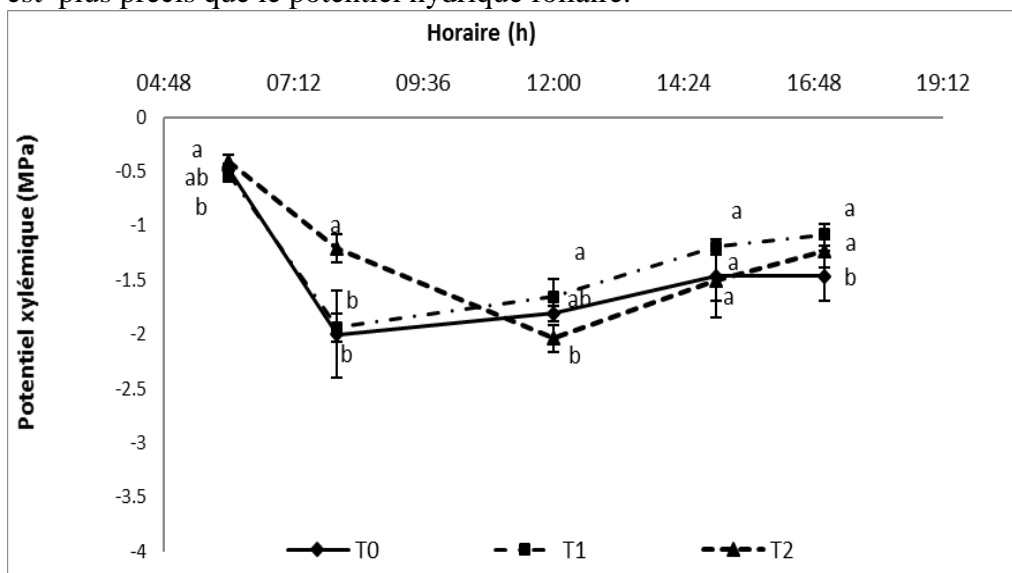


Figure 5 : Evolution diurne du potentiel xylémique durant une journée du mois d'août. Les moyennes de chaque point de la courbe suivies par la même lettre, ne diffèrent pas statistiquement entre elles au seuil de 5%.

Variation du rendement et de la rentabilité selon les traitements

Le tableau suivant (1) illustre les rendements enregistrés, au cours de la campagne 2009, pour les trois traitements. Le rendement le plus élevé

est observé chez le traitement T2 (100% ET_C). Cependant la rentabilité la plus élevée résulte du traitement T1 (100% flux de sève).

Tableau 1: Différence du rendement et de la rentabilité des doses d'irrigation au cours de la campagne 2009.

	Méthode Traditionnelle (T0)	Méthode Physiologique (T1)	Méthode Climatique (T2)
Dose d'irrigation	3000 m ³ /ha	1800 m ³ /ha	2650 m ³ /ha
Rendement	3 t/ha	10 t/ha	14 t/ha
Rentabilité	1 kg/ m ³	5,5 kg/ m ³	5,2 kg/ m ³

Conclusion générale et perspectives

L'étude des besoins hydriques de l'Olivier de table (cv. Meski) dans la région d'Enfidha nous a permis une gestion plus efficace des apports hydriques et une économie en eau d'irrigation chez l'Olivier et ce par une estimation des besoins en eau en utilisant des méthodes plus précises intégrant le maximum de paramètres du continuum Sol-Plante-Atmosphère. Chacune de ces méthodes se base sur un ensemble de paramètres climatiques, édaphiques et physiologiques de l'Olivier.

L'évaluation des différentes doses d'irrigation appliquées selon les méthodes climatique T2 (60% ET_0) et physiologique T1 (100% flux de sève) en comparaison avec celle adoptée par l'OTD (T0), et en rapport avec la transpiration des arbres mesurée par le fluxmètre de Granier, permet de constater que plus la dose d'irrigation est élevée plus la transpiration est importante. En effet les valeurs de transpiration les plus élevées sont enregistrées chez le traitement T2.

La méthode physiologique (T1) basée sur le flux de sève xylémique, nous a permis une économie en eau de l'ordre de 35% en comparant à la méthode climatique.

L'ensemble des mesures écophysiologicals analysées au cours de cette campagne d'irrigation chez l'Olivier de table cv. Meski ont montré que la méthode physiologique basée sur le flux de sève xylémique permet une meilleure estimation des besoins hydriques et une gestion plus efficace des ressources hydriques limitées.

Dans l'objectif de la dissémination de la méthode physiologique dans différents étage bioclimatique, le recours vers la modélisation de la transpiration en rapport avec les paramètres climatiques est un atout pour répondre aux besoins de la profession dans l'économie et la gestion des apports hydriques à la parcelle.

References:

- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes D., Smith M., 1998. Crop évapotranspiration: guideslines for computing crop water requirements. Food and Agriculture Organaization (FAO), Rome Italy. 300 p.
- Cabibel, B., Do, F., Horoyan, J., 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*, 669-678.
- Centritto, M., Wahbi, S., Serraj, R., Chaves, M.M., 2005. Effects of rootzone (PRD) on adult olive tree (*Olea europaea L.*) in field conditions under arid climate II. Photosynthetic responses .*Agriculture, Ecosystems and Environment* 106, 303-311.
- Chehab, H., 2007. Etude écophysiological, agronomique de production et relation source-puits chez l'Olivier de table en rapport avec les besoins en eau. Thèse pour obtention du grade de Docteur en Sciences Agronomiques de l'INAT, pp 175.
- Chehab, H., Mechri, B., Mariem, F.B., Hammami, M., Ben Elhadj, S., Braham, M., 2009. Effect of different irrigation regimes on carbohydrate partitioning in leaves and wood of two table olive cultivars (*Olea europaea L. cv. Meski and Picholine*). *Agricultural water management* 96, 293– 298.
- Choné, X., Tregoat, O., Van Leeuwen, C., Dubourdiou, D., 2000. Déficit hydrique modéré de la vigne : parmi les trios application de la chambre à pression, le potentiel tige est l'indicateur le plus précis. *J. Int. sci. Vigne Vin*, 34, n°4,169-176.
- Conseil oléicole international, 2006. Document technique.
- 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 Physiology* 22(9): 641–648.
- Fernandez, J.E., Moreno, F., 1999. Water use by the olive tree. *J. Crop Product*. 22, 101–162.
- Fernández, J.E., Díaz-Espejo, A., Infante, J.M., Durán, P., Palomo, M.J., Chamorro, V., Girón, I.F, Villagarcía, L. 2006a. Water relations and gas exchange in olive trees under regulated deficit irrigation and partial rootzone drying. *Plant and Soil* 284: 273-291.
- Fernández, J.E., Durán, P.J., Palomo, M.J, Díaz-Espejoc, A. Chamorro, V., Girón. I.F., 2006c. Calibration of sap flow measurements by the compensation heat-pulse method in olive, plum and orange trees: relations with xylem anatomy. *Tree Physiology* 26: 719-728.
- Granier, A., 1985. Une nouvelle méthode pour la mesure du flux de sève brute dans les troncs 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.
- Lazzeri, Y., 2009. Les défis de la mondialisation pour l'oléiculture méditerranéenne. L'olivier en Méditerranée, conférence Centre Culturel Français de Tlemcen – Algérie (Novembre 2009)
- Nadezhdina, N., Nadezhdin, V., Ferreira, M.I., Pitacco, A., 2007. Variability with xylem depth in sap flow in trunks and branches of mature olive trees. *Tree Physiol* 7:105–113
- Nicolas, E., Torrecillas, A., Ortuno, M.F., Domongo, R., Alarcon, J.J., 2005. Evaluation of transpiration in adult apricot trees from sap flow measurements. *Agri. Water Manag.* 72., 131-145.
- Rousseaux, M.C., Figuerola, P.I., Correa-Tedesco, G., Searles, P.S., 2009. Seasonal variations in sap flow and soil evaporation in an olive (*Olea europaea* L.) grove under two irrigation regimes in an arid region of Argentina. *Agricultural Water Management* 96, 1037-1044.
- Scholander, P.F., Hammel, A., Bradstreet, E.A., Hemmingsen, 1965. Sap pressure in vascular plants, *Science* 148, 339-346.