

Dynamique de la conductance hydraulique chez l'olivier de table (*Olea europaea* L., cv *Meski*)

C. Hechmi¹, M. Braham², D. Boujnah², F. Ben Mariem², Wafa Ghariani², Z. Mahjoub² & S. Ben Elhadj³

Keywords: Sap flow- Hydraulic conductance- Water potential- Light introception- Olive tree- Tunisia

Résumé

La méthode thermique pour la détermination de flux de sève et la chambre à pression pour mesurer les potentiels hydriques foliaire et xylémique, ont été utilisées chez l'olivier de table *Olea europaea* cv *Meski* pour estimer la conductance hydraulique et la participation élémentaire des 4 branches selon l'orientation et l'exposition aux radiations solaires. Les mesures ont été effectuées du 23-10-2004 au 30-11-2004 dans un verger d'olivier de table et principalement sur deux arbres de la variété la plus commercialisée *Meski*. Cette étude a permis l'estimation de la conductance globale de la plante ainsi que la contribution de chaque génératrice. Les taux des conductances hydrauliques partielles sont respectivement de 43, 24, 20 et 13% dans les branches est, nord, sud et ouest. Elle a montré l'importance de l'interception lumineuse dans le déterminisme des flux de sève et des potentiels hydriques foliaires dans chaque branche, et par conséquent la liaison avec le mode de taille et la densité de plantation à préconiser.

Summary

Hydraulic Conductance Dynamic in Olive Table Tree *Olea europaea* cv *Meski*

The total hydraulic conductance, the participation of 4 branches of the table olive cultivar *Olea europaea* cv *Meski* were estimated by heat dissipation sap flow method of Granier and water potential measurements in leaf and xylem. The experiment was carried out in a commercial orchard of 7-year-old olive trees (*Olea europaea* L., cv *Meski*) since 23-10-2004 to 30-11-2004. Two representative trees with cylindrical trunk divided into four branches of different sizes and orientation were chosen for the experiment. Sap flow, leaf and xylem water potential and the fraction of leaf irradiated were estimated in each main branch. The present study show that the contribution of different branches in the total hydraulic conductance were 43, 24, 20 and 13% in the West, North, South and Western branches orientations. The light interception is an important factor to control sap flow and water potentials (Leaf and xylem) in branches and in total canopy; and consequently the connection with the pruning system and plant density to be recommended in news commercial olive table orchards.

1. Introduction

En Tunisie, l'oléiculture de table est en extension vertigineuse par l'adoption du système de production en intensif à raison de plus de 200 arbres/ha. La majorité des vergers récemment installés sont équipés par le système d'irrigation goutte-à-goutte et sont surtout localisés dans les régions du centre. En vue d'améliorer la rentabilité des nouvelles oliveraies de table, jusqu'à présent loin des potentialités réelles (3 t/ha), l'utilisation rationnelle des eaux d'irrigation s'impose. Pour la dynamique de l'eau, les variétés les plus couramment cultivées en association, à savoir, la variété locale du nord (*Meski*) et les deux variétés introduites (*Picholine* française, *Manzanilla* espagnole) se comportent différemment vis-à-vis des apports hydriques (3). A cet effet, la détermination de l'architecture de la conductance hydraulique de l'espèce, de la variété même, semble être nécessaire pour comprendre le fonctionnement hydraulique dans le système plante. L'approche hydraulique a été utilisée pour prévoir la consommation en eau et les échanges gazeux (17). Les premières méthodes utilisées pour étudier la conductance hydraulique ont présenté beaucoup de difficultés, il s'agit de techniques destructives, à temps non réel et très limité, telles que celles proposées par plusieurs chercheurs (18, 19, 20). De ce fait, d'autres ont étudié l'aspect architectural de la conductance hydraulique en utilisant l'approche de flux de sève brute et le potentiel hydrique foliaire chez l'abricotier (1) et l'oranger (13). La présente étude vise la détermination de la conductance hydraulique (xylème-feuille selon l'exposition des branches) par la méthode du flux de sève, et aussi l'effet de l'interception lumineuse sur ce paramètre chez la variété locale d'olivier de table cv *Meski*.

2. Matériel et méthodes

2.1. Matériel végétal et conditions de l'expérimentation

L'essai a été conduit dans un verger de 20 ha d'olivier de table localisé dans la région de Kairouan (Latitude: 35° 40' nord, Longitude: 10° 06' est). La variété expérimentée, la *Meski* est issue de boutures herbacées et plantée depuis 1997 selon un écartement de 7 x 7 m. Au cours de l'essai expérimental, du 23 octobre au 30 novembre 2004, les arbres sont irrigués à la capacité au champ par le système goutte-à-goutte à raison de 3 émetteurs par arbre, avec un débit total de 24 l/h (durée de l'irrigation: 5 heures).

Les conditions climatiques au cours de la période de l'essai, en particulier, les températures maximale et minimale, l'humidité relative et l'insolation sont présentées dans le tableau 1.

2.2. Méthodes

2.2.1. Le flux de sève

La mesure du flux de sève xylémique est effectuée selon la méthode thermique (8). Le fluxmètre est constitué par deux sondes cylindriques identiques de longueur 20 mm et de diamètre 1,8 mm. L'une est chauffée d'une manière discontinue (20 mn sans chauffage et 10 mn avec chauffage) pour éviter l'effet parasite associé au chauffage continu (6, 7). Chaque sonde contient un thermocouple Cuivre-Constantan permettant de mesurer l'écart de température entre les deux thermocouples. La tension électrique de chauffage est assurée par une batterie de 12 V. La saisie automatique des données est programmée suivant un pas périodique de 60 s avec une moyenne enregistrée en mémoire toutes les 5 mn à raison d'un cycle de chauffage/non-chauffage de 10 mn/ 20

¹Institut de l'Olivier, Pôle de Recherche-développement, 7100 Boulifa, Kef, Tunisie.

E-mail: Cheheb2003@yahoo.fr

²Institut de l'Olivier Sousse, B.P.40 Ibn Khaldoun, 4061, Sousse, Tunisie.

³Institut National Agronomique de Tunisie, 43 Avenue Charles Nicolle, 1082 Tunis, Tunisie.

Reçu le 06.01.06 et accepté pour publication le 08.02.06.

Tableau 1
Conditions climatiques pendant la période de l'essai

Date	Tmax (°C)	Tmin (°C)	Humidité (%)	Insolation (h)
24/10/2004	34,2	17,8	58	7,5
25/10/2004	33,9	20,7	50	8,6
26/10/2004	30,2	17,6	57	5,4
27/10/2004	23,9	15,6	70	9,3
28/10/2004	29	17	75	5,7
29/10/2004	27	20	84	1,7
30/10/2004	28	17,5	78	1,3
31/10/2004	28,5	17	75	4,8
01/11/2004	28	19	70	6,6

Source: Station météo Kairouan, 2004.

mn. Les données enregistrées sont récupérées tous les 15 jours à l'aide d'un Data Logger. Seule la deuxième valeur de la phase chauffage est considérée pour le calcul des flux de sève, selon la formule suivante:

$$U = J \cdot S$$

- J ($m^3 \cdot s^{-1}$) est la densité de flux estimée par le suivi d'un coefficient K qui dépend des différences de température entre les deux sondes du capteur, avec

$$K = [\Delta T (0) - \Delta T (u)] / \Delta T (u)$$

- $\Delta T (0)$ est la différence de température à flux de sève nul; $\Delta T (u)$: la différence de température à flux de sève de densité u ;
- S (cm^2) est la surface conductrice du bois, déterminée par coloration des coupes de génératrice, après l'expérimentation; dans notre cas, chez l'olivier cv *Meski* et *Picholine* seule une proportion (80%) de la section du bois a été trouvée conductrice de sève. Au cours de l'expérimentation et sur deux arbres de la variété *Meski*, 4 capteurs sont placés (les 2 sondes de chaque capteur sont installées verticalement et distantes de 8 cm) au même niveau de hauteur dans 4 branches selon l'orientation (nord, est, sud et ouest). Pour les deux arbres testées, la moyenne des circonférences du tronc est de 37 cm alors que celles des branches, nord, est, sud et ouest sont respectivement de 20; 18; 18,6 et 18,2 cm.

2.2.3. Le potentiel hydrique

Le potentiel hydrique foliaire est évalué par une chambre à pression (15). On mesure les potentiels hydriques de 3 feuilles par branche, tant pour des feuilles exposées à la lumière que pour celles ombragées. La mesure est aussi réalisée pour des feuilles couvertes par deux couches de papier aluminium 24 h à l'avance, ce qui traduit le potentiel hydrique au niveau du xylème (1, 13).

2.2.4. La fraction des feuilles exposées aux radiations solaires

Le taux des feuilles exposées aux radiations solaires a été estimé sur la base des observations effectuées sur 3 rameaux de la face extérieure de chaque branche chez les deux arbres testés. On détermine sur 100 feuilles, celles totalement ou partiellement (plus 50% de la surface foliaire) ensoleillées.

2.2.5. La conductance hydraulique

La conductance hydraulique est exprimée en fonction des flux de sève élémentaires de chaque branche et des potentiels hydriques foliaires et xylémiques correspondants. Dans le système plante, la conductance de la phase liquide est (1, 5):

$$K_{\text{Plante}} = \text{Flux total} / (\psi_f - \psi_x)$$

ψ_f : potentiel hydrique foliaire;

ψ_x : potentiel hydrique xylémique.

3. Résultats

3.1. Evolutions des flux de sève

L'analyse de la figure 1, montre que l'évolution journalière des flux de sève est très variable selon l'orientation. Chez les différentes branches, la cinétique horaire des flux suit le même type d'allure évolutive. En effet, au début de la journée (7 h 30 mn), le flux de transpiration augmente progressivement pour atteindre des maxima à midi et diminue à la fin de la journée vers des minima (18 h). Les valeurs les plus élevées sont observées chez la branche exposée à l'est, suivies par celles de la branche nord, viennent ensuite celles relatives à la face sud, alors que les densités de flux les plus faibles sont celles de la génératrice ouest. Selon les différentes orientations, les valeurs maximales de 0,590; 0,760; 0,972 et 1,325 l/h sont observées respectivement à 10 h 30 mn dans les branches ouest, sud, nord et à 12 h 30 mn dans la charpentièrè exposée à l'est. La densité de flux maximal moyenne de l'arbre estimée à 3,57 l/h est observée à 10 h 30 mn.

Le flux de sève nyctéméral du 24/10/2004 est de 25 l/jour. En se rapportant au différentes génératrices de l'ouest, du nord, du sud et de l'est, les flux correspondants sont respectivement de 4; 6; 6 et 9 l/jour; au cours de la nuit, le flux de sève atteint des valeurs très faibles et constantes, au voisinage 0,01 l/h.

3.2. Le potentiel hydrique et ses variations

La figure 2, de l'évolution journalière des potentiels hydriques montre une synchronisation de leurs cinétiques horaires dans les différents compartiments de l'arbre à savoir ceux du xylème, des feuilles ombragées et des feuilles exposées à la lumière. On note à la matinée (8 h) et en fin de journée (17 h) des potentiels de même ordre de grandeur (de -12 à -13 bars), alors qu'on remarque de 10 h et jusqu'à midi (13 h) un abaissement des potentiels qui atteignent

-21 bars dans le xylème et les feuilles ombragées et -24,5 bars pour celles ensoleillées. Généralement, les potentiels hydriques des feuilles exposées à la lumière sont plus bas que ceux des feuilles à l'ombre. La figure 2 montre également un gradient de potentiel hydrique allant dans le sens d'un abaissement depuis le xylème (de -8 à -11,5 bars) jusqu'aux feuilles (de -12 à -13,5 bars). Les potentiels hydriques foliaires sont toujours plus bas que les potentiels enregistrés au niveau du xylème. Les feuilles et les rameaux issus de la génératrice orientée vers le sud ont présenté des niveaux bas des potentiels hydriques xylémiques et foliaires (8 h). Au niveau de la branche ouest, les potentiels hydriques foliaires sont les plus élevés.

3.3. Evolution de la fraction des feuilles exposées aux radiations solaires

Au cours de la journée du 24/10/2004, le suivi de la fraction des feuilles exposées aux radiations solaire (Figure 3) montre que ce paramètre pour les différentes branches, augmente

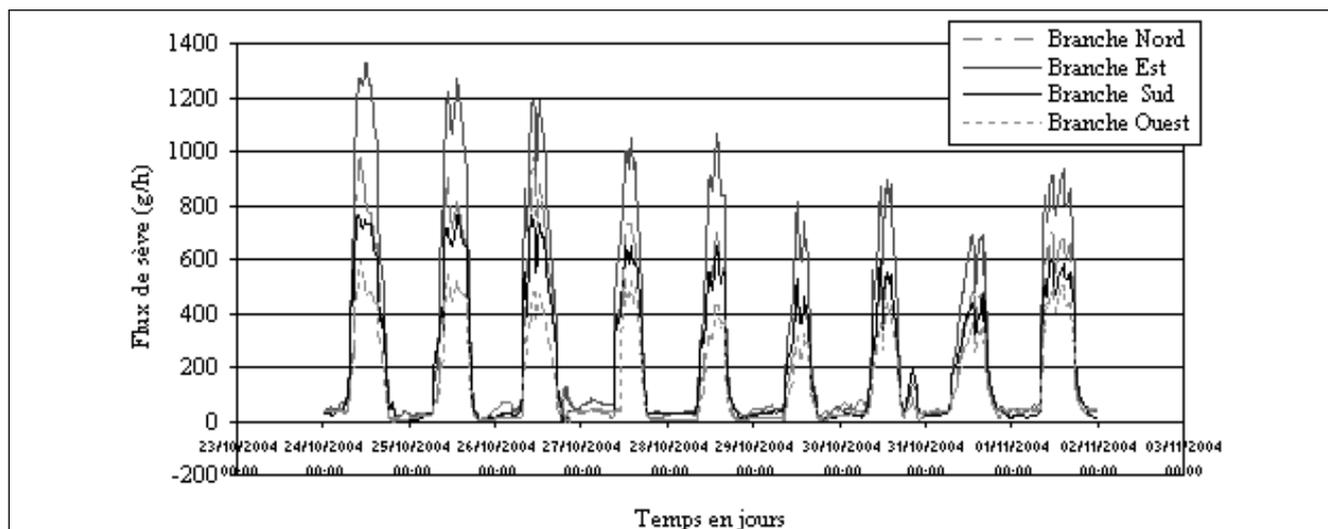


Figure 1: Evolution journalière des flux de sève dans les branches à orientations différentes.

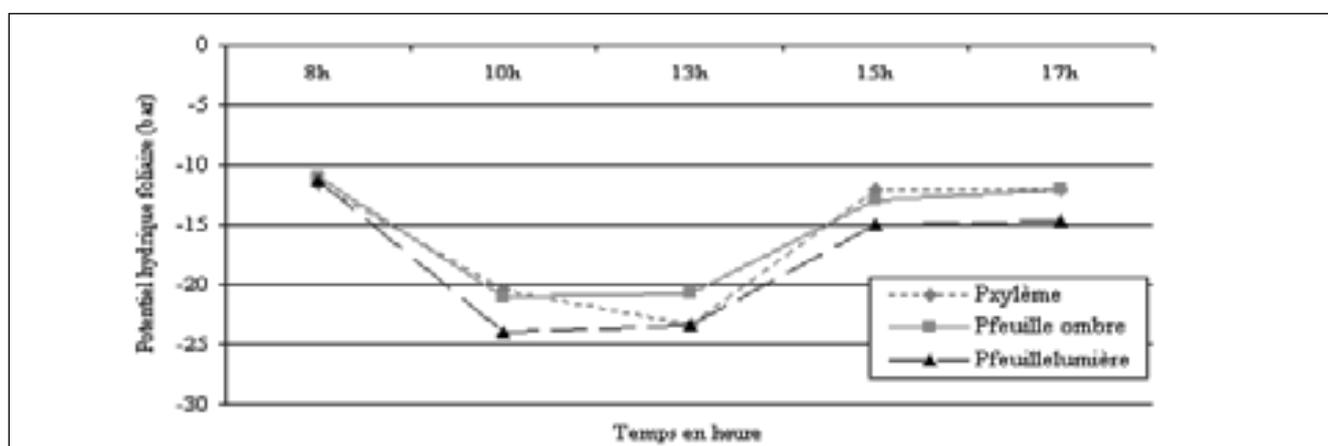


Figure 2: Evolution horaire du potentiel hydrique foliaire enregistré dans la branche sud (24/10/2004).

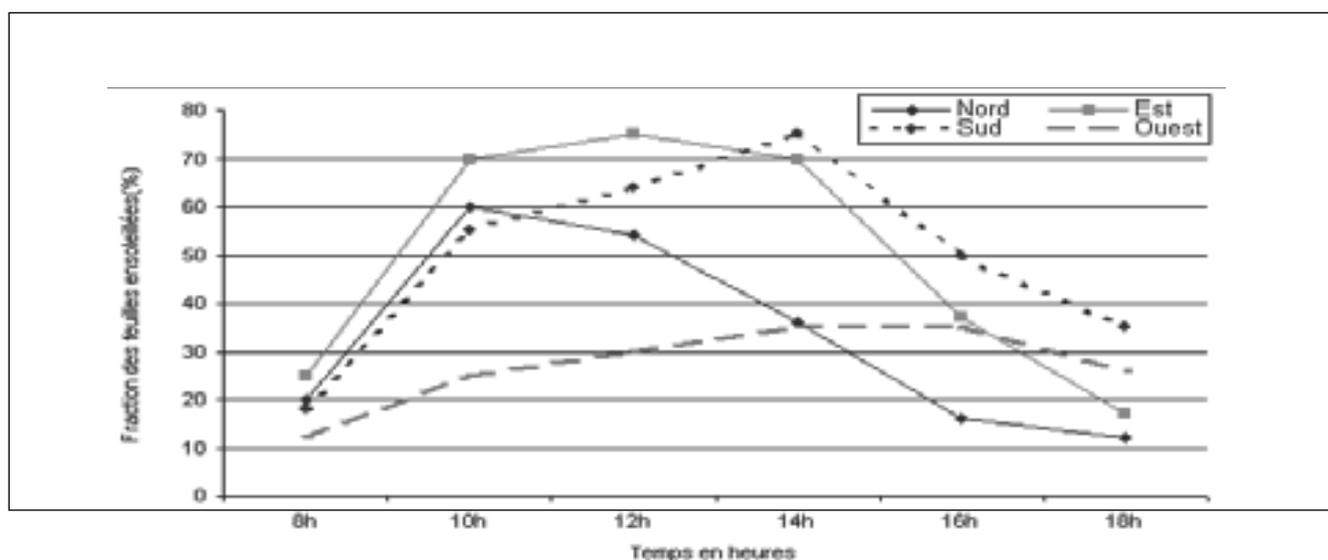


Figure 3: Evolution horaire de la fraction des feuilles ensoleillées dans les branches à orientations différentes (24/10/2004).

de la matinée (8 h) de 12 à 25% pour atteindre ensuite des valeurs maximales de 55 à 75% entre 12 h et 14 h et diminue en fin de journée (18 h) vers 12 et 35%. Les niveaux les plus élevés sont enregistrés chez les branches est et sud, les plus faibles sont celles de la branche ouest.

3.4. Evolution de la conductance hydraulique

Chez la variété *Meski*, la conductance hydraulique dans le système plante (xylème-feuille) est estimée en se rapportant aux flux de sève et aux gradients de potentiels hydriques foliaires et xylémiques correspondants. L'évolution horaire

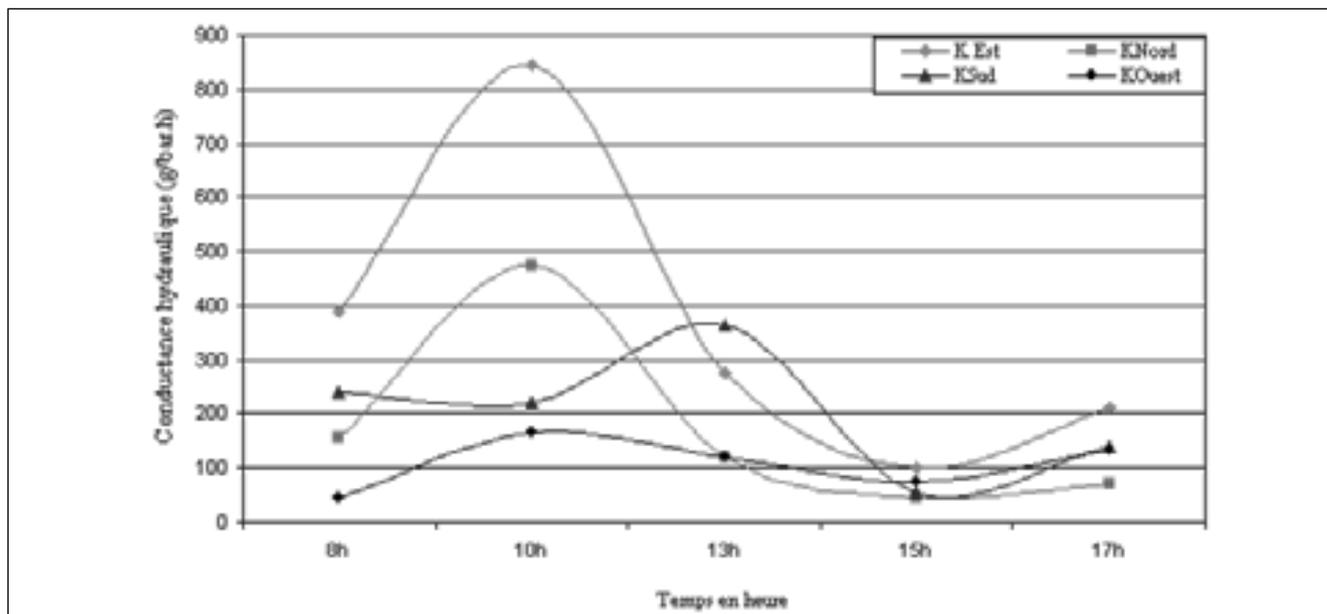


Figure 4: Evolution horaire de la conductance hydraulique des différentes branches selon l'orientation (24/10/2004).

de ce paramètre est très hétérogène selon l'exposition de la branche (Figure 4). Le niveau le plus élevé de la conductance est observé dans la génératrice est, alors que le plus faible est enregistré dans celle orientée vers l'ouest.

Les branches nord et du sud ont présenté des niveaux similaires et intermédiaires. Au cours de la journée du 24/10/2004, les conductances hydrauliques (K_{branche}) maximales de 166,5; 473; 856 et 365 $\text{g}\cdot\text{bar}\cdot\text{h}^{-1}$ ont été observées respectivement à 10 h dans les charpentières ouest, nord, est et avec un retard de 3 heures (13 h) dans celle exposée au sud. L'évolution horaire de la conductance totale de l'arbre ($K_{\text{plante}} = \psi K_{\text{branche}}$) suit le même type d'allure que celle de la courbe des conductances élémentaires des branches avec un maximum de 1700 $\text{g}\cdot\text{bar}\cdot\text{h}^{-1}$ observé à 10 h.

4. Discussion

Les processus fonctionnels critiques de la plante, en particulier l'assimilation carbonée et le flux de transpiration, sont fortement contrôlés par la dynamique de l'eau dans le système plante. Au cours de l'expérimentation du 24/10/2004 et jusqu'au 01/11/2004, l'évolution du flux de sève chez le cultivar local d'olivier de table *Meski*, irrigué à la capacité au champ se trouve fortement influencée par les conditions climatiques (Tableau 1). Les flux transpirés dans les branches, supposées de même volume foliaire, sont très hétérogènes selon l'orientation. Le taux le plus élevé (40%) est observé pour celle de l'est; ceci est expliqué par le fait qu'une grande proportion de la surface foliaire, échanges diffusifs compris, est exposée aux radiations solaires directes pour une longue durée de la journée, plus que les autres branches situées au nord et au sud (Figure 3) qui ne participent respectivement que pour 21,4 et 23,6% dans le flux total. De même, le volume foliaire de la charpentière ouest est fortement ombragé, d'une part par son exposition, et d'autre part par l'effet d'obstacle à l'interception lumineuse directe que représentent les autres branches et les oliviers limitrophes (Figure 3). C'est pourquoi, la contribution de cette génératrice dans la transpiration totale de l'arbre est très faible et ne dépasse pas les 16%. Ces résultats sont en concordance avec ceux rapportés chez l'olivier (14) et aussi ceux récemment publiés sur l'abricotier (1, 16) et le palmier dattier des oasis (16); alors que d'autres chercheurs, chez le pommier, n'ont mentionné aucune relation entre l'évolution des flux horaires d'une branche donnée du tronc et la variation de l'incidence de

l'insolation sur la fraction de la couronne foliaire qui lui est apparemment associée (2). Le mouvement de l'eau à partir du sol vers l'atmosphère à travers l'arbre et par les stomates est assuré par un gradient de potentiel hydrique dans le sens d'un abaissement depuis le sol vers les racines puis le long des vaisseaux conducteurs xylémiques jusqu'aux feuilles (11, 12).

Pour les différentes branches de l'olivier de table cv *Meski*, un gradient de potentiel hydrique est bien confirmé; c'est ainsi qu'en début et à la fin de la journée, ce gradient évolue dans le sens d'un abaissement: de -10 bars dans le xylème à -13 bars dans les feuilles; à midi, les potentiels hydriques xylémiques, foliaires sont respectivement de l'ordre de -20 et -24 bars. Ce type d'évolution explique la cinétique du flux de sève observée chez l'arbre, et confirmée par une régression linéaire hautement significative ($R^2 = 0,83$) entre le flux de sève diurne et les potentiels hydriques foliaires correspondants (Figure 5). En se référant aux différentes orientations, la branche ombragée exposée à l'ouest a présenté les potentiels hydriques les plus élevés, du fait que le niveau de transpiration correspondant était le plus faible. Au niveau de la génératrice orientée vers l'est et dont la densité de flux est la plus élevée, les potentiels hydriques se retrouvent les plus bas.

Les résultats présentés, des relations entre le flux de sève et les potentiels hydriques foliaires et xylémiques corroborent plusieurs autres résultats (1, 4, 9).

L'utilisation de l'approche de flux de sève et des potentiels hydriques foliaires et xylémiques des 4 branches chez l'olivier de table cv *Meski* a permis de déterminer la conductance hydraulique totale de l'arbre. Le taux de la contribution des différentes génératrices ouest, nord, sud et est sont respectivement de 12,5; 24; 20,3 et 43%.

Le mouvement de l'eau vers le xylème puis vers les feuilles est exprimé par les conductances hydrauliques dans le système plante. La conductance montre qu'il y a influx de l'eau la matinée (8 à 10 h) du réservoir sol vers le tronc et les rameaux pour être stockée avant d'être transpirée à midi sous l'effet de l'environnement climatique (K_{plante} est maximale entre 10 et 13 h). Chez le palmier dattier (16) en mesurant le flux de sève à deux niveaux de hauteur (1,5 et 6 m) ont montré que l'eau nécessaire pour la transpiration est prélevée de la quantité d'eau stockée dans le tronc; la nuit et au début de la matinée, l'eau du sol assure la reconstitution de cette quantité transpirée.

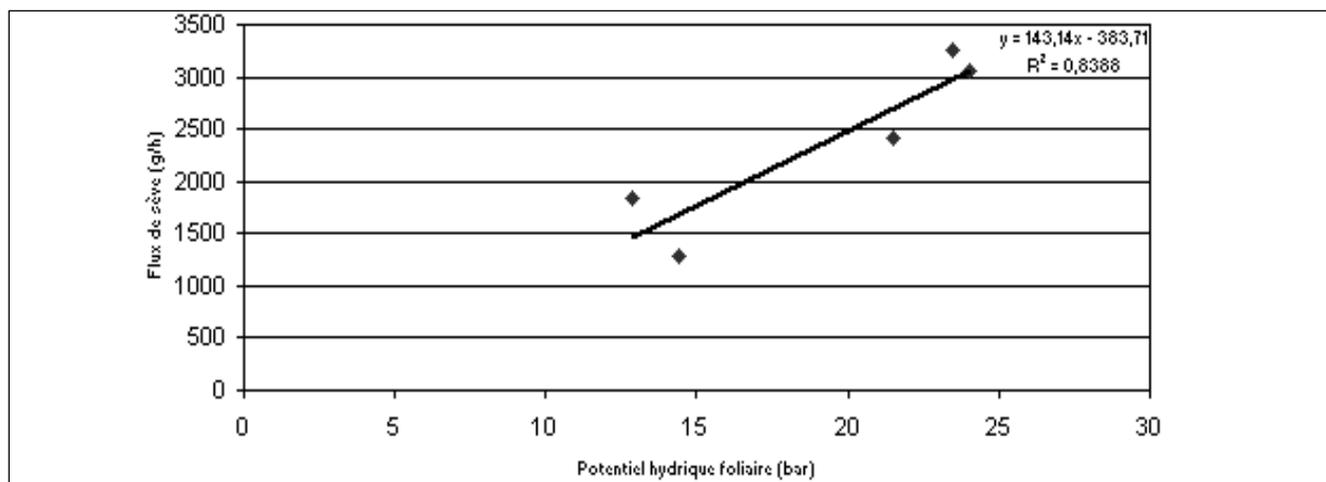


Figure 5: Régression linéaire entre le flux de sève totale et le potentiel hydrique foliaire.

5. Conclusion

L'utilisation de la méthode thermique (6, 7, 8) pour l'estimation du flux de sève chez l'olivier de table cv *Meski* conduit en intensif, a permis de déterminer la contribution de chaque branche, suivant son orientation, dans la transpiration et la conductance hydraulique globale de l'arbre. Ces deux composantes sont très sensibles à la durée et à l'intensité des radiations solaires interceptées par la surface foliaire. La participation des différentes génératrices orientées vers l'est, nord, sud et l'ouest est respectivement de 43; 24; 20 et 13%. Toutefois, cette conductance hydraulique est dynamique entre

les différents compartiments de l'arbre (branches), permettant une certaine optimisation de l'activité photosynthétique globale. Cette technique basée sur la méthode thermique de Granier présente néanmoins quelques problèmes, en particulier, la profondeur d'insertion des sondes (1,8 mm) et la longue durée d'installation des sondes dans le bois, le nombre réduit de capteurs par branche, le nombre faible d'arbres testés et les problèmes liés à la détermination de la surface conductrice du flux d'eau.

Références bibliographiques

- Alarcon J.J., Domingo R., Green S.R., Nicolas E. & Torrecillas A., 2003, Estimation of hydraulic conductance with field grown apricot using sap flow measurements. *Plant and Soil*, 251, 125-135.
- Cabibel B., 1994, Continuité des flux hydriques dans le système racine-tronc. Cas des arbres fruitiers. *Agronomie*, 14, 503-514.
- Chehab H., Braham M., Boujnah D. & Ben El Hadj S., 2002, Comportement écophysologique chez 3 variétés d'olivier de table (*Olea europaea* L. cv *Meski*, *Manzanilla* et *Picholine*) en rapport avec le régime hydrique. *Ann. de l'INRAT*, 75, 151-174.
- Cohen Y., Morschet S., Dasberg S. & Bielora H., 1985b, New aspect in evaluating the response of citrus tree to soil water regime. *In: Les besoins en eau des cultures Conf. Int. Paris*, 11-14 sept. 1984, INRA, Paris.
- Diane E., Pataki R.O. & Nathan P., 1998, Responses of sap flux and stomatal conductance of *Pinus taeda* L. trees to stepwise reductions in leaf area. *Jor. Environ. Bot.* **49**, 322, 871-878.
- 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, 641-648.
- Do F. & Rocheteau A., 2002, Influence of natural temperature gradients on measurements of xylem sap flow with thermal dissipation probes. 2. Advantages and calibration of a noncontinuous heating system. *Tree physiology*, 22, 649-654.
- Granier A., 1985, Une nouvelle méthode pour la mesure du flux de sève brute dans les troncs des arbres. *Ann. Sci. For.* **42**, 2, 193-200.
- Granier A. & Cochard H., 1991, Fonctionnement et dysfonctionnement hydraulique des arbres forestiers. *In: Physiologie des arbres et arbustes des zones arides et semi-arides*, groupe d'études de l'arbre, Pris, France. 13-20.
- Hacké U.G. & Sauter J.J., 1996, Drouth-induced xylem dysfunction in petioles, branches and roots of *Populus balsamifera* L., *Alnus glutinosa* L. *Gaertn. Plant physiol.* 111, 413- 417.
- Katerji N. & Cruziat P., 1984, Transfert hydrique chez les végétaux, quelques faits et problèmes. *In: Les besoins en eau des cultures / Crop water requirements*.
- Loustau D., Domee J.C. & Bosc A., 1998, Interpreting the variation in xylem sap flux density within the trunk of maritime pine (*Pinus pinaster* Ait): application of a model for calculating water flows at tree and stand levels. *Ann. Sci.For.* 55, 29-46.
- Morschet S., Cohen Y., Green G.C. & Fuchs M., 1990, The partitioning of hydraulic conductance within in mature oranges tree. *J. Exp. Bot.* 41, 833-839.
- Palmo M.J., Diaz Espejo A., Fernandez J.E., Giron I.F. & Moreno F., 1998, Using sap flow measurements to quantify water consumption in the olive tree. *In: Water and the environment: innovative issues in irrigation and drainage* (Eds. Pereira L.S., Growing J.W.), 205-212.
- Scholander P.F., Hammel H.T., Bradstreet E.T. & Hemmingen E.A., 1965, Sap pressure in vascular plants. *Sciences*, 148, 339-346.
- Sellemi M.H. & Sifaoui M.S., 2003, Estimating transpiration in an intercropping system: measuring sap flow inside the oasis. *Agricultural water management*, 59, 191-204.
- Sperry J.S., Hacke U.G., Oren R. & Comstock J.P., 2002, Water deficits and hydraulic limits to leaf water supply. *Plant, cell and environment*, 25, 251-263.
- Sperry J.S., Donnelly J.R. & Tree M.T., 1988, A method for measuring hydraulic conductivity and embolism in xylem. *Plant, cell and environment*, 11, 35-40.
- Tsuda M. & Sperry J.S., 1997, Whole plant hydraulic and vulnerability segmentation in *Acer saccharinum*. *Tree Physiol.* 17, 351-357.
- Tyree M.T., Cochard H., Cruziat P., Sinclair B. & Améglio T., 1993, Drouth induced leaf shedding in walnut: evidence for vulnerability segmentation. *Plant, cell and environment*, 16, 879-882.

C. Hechmi, Tunisien, DEA et Doctorant en agronomie, Attaché de recherche.

M. Braham, Tunisien, Doctorat d'état en agronomie, Directeur de recherche.

D. Boujnah, Tunisien, Doctorat d'état en agronomie, Maître de recherche.

F. Ben Mariem, Tunisien, Technicien en agronomie, Technicien de laboratoire.

Wafa Ghariani, Tunisienne, Technicienne en agronomie, Technicienne de laboratoire.

Z. Mahjoub, Tunisien, Technicien en agronomie, Technicien de laboratoire.

S. Ben Elhadj, Tunisien, Doctorat d'état en agronomie, Professeur.