

La mesure de flux de sève au niveau des troncs peut-il aider à mieux comprendre et détecter le dépérissement du chêne-liège ?

Zouhair NASR⁽¹⁾, Abdelhamid KHALDI⁽¹⁾, Ali Khorchani⁽¹⁾ et Su-Young WOO⁽²⁾

⁽¹⁾ Institut National de recherche en Génie rural, Eaux et Forêts, Rue Hedi Karay, Ariana 2080 Tunisie¹, Safia_44@yahoo.fr, khalidin@yahoo.fr, ali_el_khorchani@yahoo.fr ⁽²⁾ Université de Seoul, 90 Jennong-dong, Dongdaemun,, Seoul 130-743, Corée du Sud², wsy@uos.ac.kr

Résumé : Dans un contexte de forte variabilité climatique, la mesure de flux de sève au niveau du tronc du chêne-liège peut-être un outil intéressant pour comprendre la réaction de l'arbre aux contraintes environnementales. Dans cet objectif, une expérience a été menée sur des arbres de chêne-liège utilisant la sonde thermique de dissipation de chaleur (capteur Granier) pendant la saison végétative 2008 dans la forêt d'Aïn Snoussi au nord de la Tunisie. Ce travail expose tout d'abord la théorie, le principe et la mise en œuvre de la technique Granier ; la deuxième partie donne les premiers résultats d'analyse de la dynamique de flux de sève des arbres soumis à une forte demande climatique et au démasclage afin de mieux comprendre la conséquences de ces facteurs de dépérissement sur les relations hydriques. Les premiers résultats indiquent qu'il existe une certaine variabilité entre les arbres du même peuplement. Les corrélations établies entre SFD moyen et les facteurs climatiques tel que la radiation photosynthétique (PAR) étaient positives et montrant une certaine saturation quand la radiation dépasse un certain seuil. Une comparaison des densités des flux de sève entre arbre témoin et arbre démasclé montre des écarts parfois importants qui pourraient être attribués à l'effet démasclage.

Mots-clés : *Quercus Suber L*, forêt Tunisienne, flux de sève, climat, dépérissement

Abstract: In a context of strong climatic variability, the measurement of sap flow in trunks of the cork oak could be an interesting tool to understand the reaction of the tree to the environmental constraints. In this objective, an experiment was undertaken on trees of cork oak using the thermal dissipation probe (Granier sensor) during the vegetative season 2008 in the forest of Aïn Snoussi, north of Tunisia. This work exposes the theory, the principle and the implementation of the Granier technique, the second part gives the first results of analysis of the sap flow dynamics of the trees subjected to a keen climatic demand and stripping of cork in order to better understand the consequences of these factors of deterioration on the hydrous relations. The first results indicate that there is some variability between the trees of the same settlement. The correlations established between average SFD and the climatic factors such as photosynthetic radiation (PAR) were positive and showing saturation when radiation exceeds a threshold value. A comparison of the SFD densities between control tree and stripped tree shows sometimes significant variations which could be allotted to the stripping of cork effect.

Key- words : *Quercus suber L.*, Tunisian forest, sap flow, climate, degradation

ملخص يمثل قياس التبخر على مستوى الأغصان تحت ظروف مناخية شديدة التقلب أداة فاعلة لجس و فهم تفاعلات شجرة الفرانان في محيطها البيئي. في هذا السياق أنجزت تجارب ميدانية بغابة الفران بمنطقة عين السنوسي باستعمال تقنية النفاذية الحرارية بمجس حراري خلال عام 2008. يهتم الجزء الأول من هذه الدراسة بالتعريف بمبادئ التقنية و طريقة تطبيقها، أما الجزء الثاني فهو مخصص لاستعراض أهم النتائج الأولية لقياسات التبخر لشجرة الفرانان الخاضعة لتأثير تبخر عالي كما يهتم هذا الجزء الثاني بمقارنة لأشجار بعد تقليب الخفاف قصد دراسة مدى تأثير هذه العناصر على التبخر وديناميكية الماء في الشجرة. تبين النتائج الأولية بعض الفوارق بين سرعة التدفق بين الأشجار التي تنمو في نفس المحطة. بالنسبة إلى العلاقة التي تربط سرعة التدفق و المعطيات المناخية كالإشعاع الضوئي فهي علاقة إيجابية حيث أن سرعة التدفق تزيد كلما أزداد الإشعاع ولكن إلى حد معين تستقر فيه نسبياً سرعة النتح. مقارنة سرعة تدفق النتح بين الأشجار الشواهد والأشجار التي تم خلع الفرانان تظهر نقص في سرعة التدفق للأواخر مع تأخير صباحي لانطلاق النتح والتي يمكن مردها لخلع الخفاف.

كلمات مفتاحية . الغابات التونسية, الفرانان, تدفق النتح, المناخ

Introduction

Le dépérissement du chêne-liège est considéré en Tunisie comme un défi majeur par les planificateurs, les décideurs, les développeurs et les chercheurs opérant dans le domaine forestier. L'hypothèse la plus pessimiste projette la disparition de l'espèce *Quercus suber L* d'ici 50 ans si rien ne serait fait pour améliorer sa régénération naturelle et atténuer son dépérissement.

Le phénomène est assez connu de toute la forêt Méditerranéenne et ses causes semblent bien être analysées. Le schéma corrélant ces facteurs de dépérissement reste toutefois assez complexe (Amendier, 2006). Le poids et l'importance de chaque facteur varient selon l'âge et la situation pédoclimatique du peuplement. Le stress hydrique, les températures extrêmes et donc la variabilité du climat semblent être des facteurs prédisposant. Le démasclage et ses dommages, les attaques d'insectes et des champignons sont des facteurs aggravants. L'hypothèse admise est que la superposition de ces facteurs modifient sensiblement le fonctionnement physiologique de l'arbre notamment son transfert hydrique.

Ce travail propose un outil de mesure en continue des flux de sève dans les troncs d'arbres afin de comprendre et détecter le dépérissement du chêne-liège. Les résultats préliminaires considèrent les effets de deux facteurs à savoir, la variation climatique et le démasclage. Pour ce faire, les densités de flux de sève des arbres témoins et démasclés ainsi que le suivi en période sèche sont analysés afin de comprendre et de chiffrer leurs conséquences sur le transfert hydrique.

1. Matériels et Méthodes

1.1. Le capteur

Le capteur de dissipation thermique consiste en deux sondes thermiques. Une des deux sondes est chauffée grâce à une puissance continue et constante de 0.2 Watt, dite l'élément chauffant du système. La deuxième non chauffée est identique à la première et mesure la température de référence du système bois/sève. L'écart de température est mesuré par un thermocouple cuivre-constantan très fin (Granier 1985 ; 1987). Les sondes sont insérées radialement dans le bois et distants de 10 à 15 cm, la sonde chauffante est en aval par rapport à la sonde référence dans le sens de circulation de la sève (fig. 1).

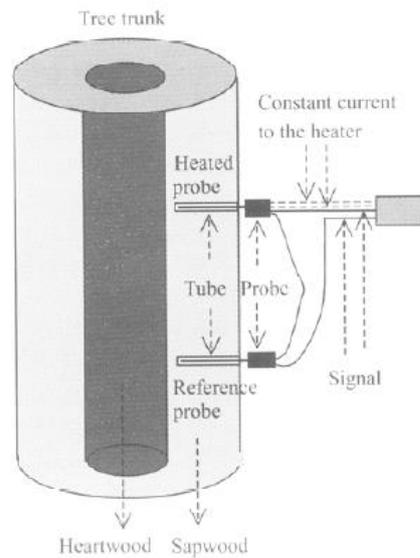


Figure 1 : Schéma du capteur (TDP de Granier, d'après LU et al., (2004))

La relation empirique établie par Granier entre l'index de flux, K et la densité de flux de sève SFD est de type puissance et elle est indépendante de l'espèce :

$$K = [(\Delta T_x - \Delta T) / \Delta T] \quad (1)$$

$$SFD = 118.99 \cdot 10^{-6} [K]^{1.231} \quad (2)$$



Photo 1 : Dispositif expérimental : mesures de flux de sève par capteur Granier (a) et paramètres climatiques par une station automatique « HOBO » (b) dans une forêt de chêne-liège à Ain Snoussi 2008.

1.2. Site et dispositif expérimental

Le site de mesure est situé dans la forêt de Ain Snoussi (lat N= 36°47'50''~36°52'40''; long E= 8°52'07''~8°57'01'', alt=640 m) ayant une topographie légèrement en pente et orienté vers le Nord. Le microclimat est de type humide avec des précipitations de 700-1200 mm/an

et des températures minimales et maximales moyennes de 10.6 et 19.7°C respectivement. La densité du peuplement est estimée à 380 arbres/ha.

La station météorologique automatique de type Hobo assure des mesures régulières au pas de temps 1h, de la radiation photosynthétique (PAR, $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$), de la température (T_a , °C), de l'humidité relative (HR, %), des précipitations (P, mm), du contenu en eau du sol (SWC, $\text{m}^3.\text{m}^{-3}$) et de la vitesse et la direction du vent (V, $\text{m}.\text{s}^{-1}$ et D degrés).

2-Résultats

2.1. Variations de flux de sève et paramètres du climat

La cinétique journalière est similaire à celle d'un flux transpiratoire où la SFD monte rapidement en période matinale suite à l'augmentation de la radiation et atteint un maximum au milieu de la journée et décroît dès que la radiation et la température baissent l'après-midi (fig. 2). La densité de flux maximale en période sèche peut correspondre à un seuil limite conséquent d'un ajustement stomatique. Au cours de cette expérimentation des valeurs maximales de densité de flux de $2.5 \text{ L.dm}^{-2}.\text{h}^{-1}$ après une période humide. En période sèche les flux max restent inférieurs à $1 \text{ L.dm}^{-2}.\text{h}^{-1}$. Le cumul journalier et le flux max dépendent essentiellement de la demande climatique et on observe ainsi une certaine différence entre journée claire (j144) et journée nuageuse (j139). Les différences entre arbres peuvent parfois être importantes surtout en période estivale où l'hétérogénéité du sol et la pente peuvent jouer pour différencier les disponibilités en eau entre arbres du même site.

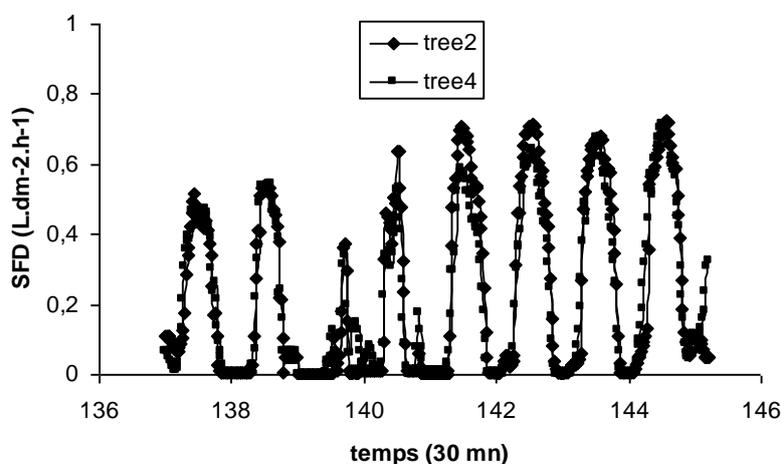


Figure 2 : Cinétique horaire et journalière de flux de sève mesuré dans les troncs de 2 arbres en forêt du chêne-liège au Nord de la Tunisie du 18 au 25 mai 2008.

La radiation et le déficit de saturation de l'air sont généralement les deux paramètres les plus explicatifs de la variation de flux de sève. D'après les relations établies (fig. 3), nous constatons que ces corrélations sont positives avec une allure asymptotique. Pour des valeurs faibles à moyennes du PAR et du VPD, le flux de sève augmente linéairement avec l'augmentation de la demande climatique et atteint une valeur seuil de $2 \text{ L.dm}^{-2}.\text{h}^{-1}$ dans ce cas quand VPD et PAR approchent respectivement de 1.5 kPa et $800 \mu\text{mol}.\text{m}^{-2}.\text{s}^{-1}$.

Au cours de la période sèche (Aout 2008), les conditions d'humidité et de température sont extrêmes; la température maximale de l'air a varié entre 32°C et 38°C et le contenu en eau du sol mesuré à 20 cm de la surface est inférieur au seuil de 0.05 m³.m⁻³. Même si on peut

déceler une légère tendance à la baisse de flux de sève, on note clairement que l'arbre maintient une transpiration « seuil » autour d'une valeur moyenne de 1 L.dm⁻².h⁻¹ (fig.4).

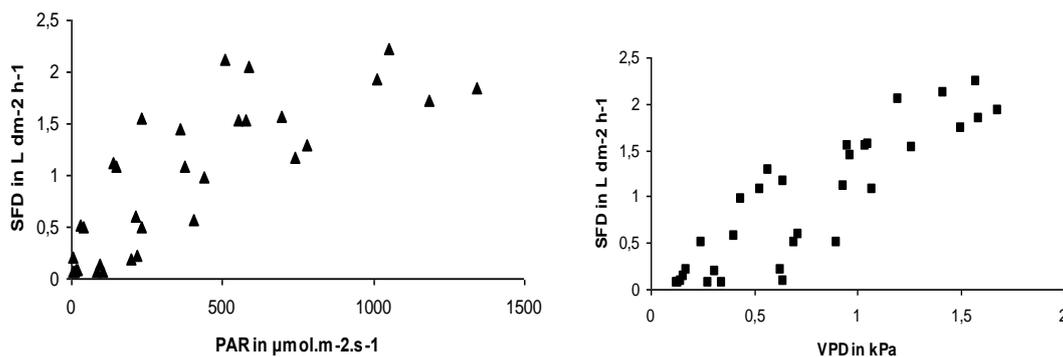


Figure 3 : Relations entre SFD et éléments du climat en forêt du chêne-liège au Nord de la Tunisie, saison 2008.

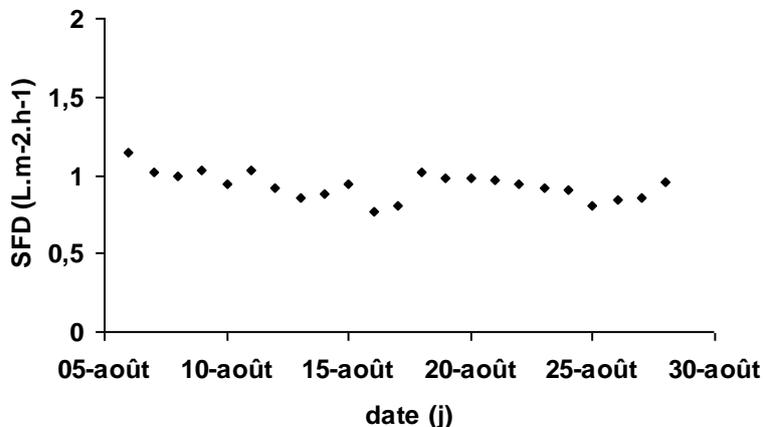


Figure 4 : densité maximale de flux de sève mesuré entre 12-14h au cours d'une période sèche dans une forêt de chêne-liège au Nord de la Tunisie.

3.2. Conséquence du démasclage sur le flux de sève

L'arbre démasclé donne des valeurs de densités de flux (SFDs) nettement inférieures à celles de l'arbre témoin en valeurs maximales en milieu de la journée (fig. 5) mais on note aussi que ces valeurs accusent un décalage par rapport au témoin. Pendant certaines journées, le démarrage de la sève chez l'arbre démasclé est retardé d'une heure voire plus. Le total des flux sur la période a été de 22.5 L.dm⁻².j⁻¹ pour l'arbre témoin et de 15.1 L.dm⁻² pour l'arbre démasclé, soit une réduction de 35%.

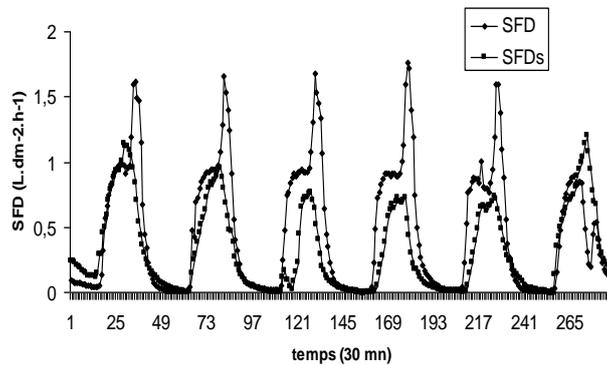


Figure 5 : Comparaison des densités de flux de sève entre arbre témoin et arbre démasclé dans une forêt de chêne-liège au Nord de la Tunisie.

3. Discussion

3.1. Sources d'erreurs sur la mesure et l'estimation du flux de sève

3.1.1-Ecart de température à flux nul :

L'estimation de la densité de flux de sève SFD par la méthode Granier nécessite le repérage de l'écart de température à flux nul ΔT_x (fig. 6a). Cette condition apparaît le plus souvent en fin de nuit, quand l'équilibre sol-plante-atmosphère est établi ou encore en conditions proches du potentiel de base. Les sources d'erreurs possibles sont de deux origines (a), non zéro flux pendant la nuit à cause d'un stress hydrique (LU et al, 1995 ; Goldestin et al, 1998) ou (b) une dérive biophysique due essentiellement à la variation de la conductivité du bois (Nasr et ben Mechlia, 2007). Pour palier à ces difficultés, Granier (1987b) suggère que ΔT_x soit déterminée pour chaque capteur à part et sur une période ne dépassant pas 7 à 10 jours, car considérer ΔT_x sur un pas plus court que 24 h peut masquer quelques flux transpiratoires nocturnes.

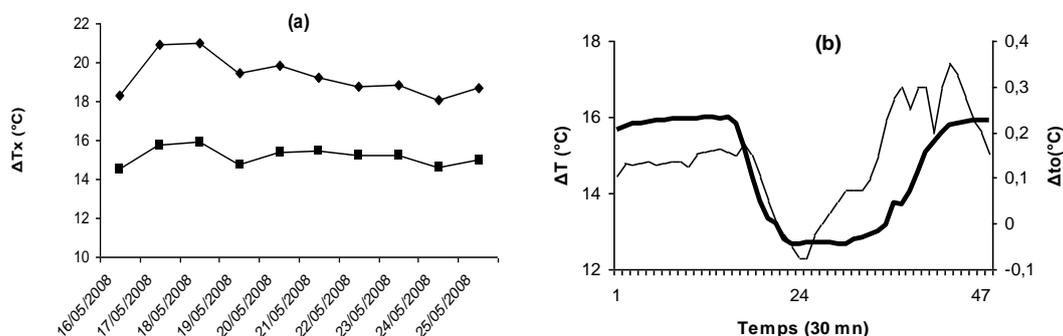


Figure 6 : (a) Evolution de ΔT_x mesurée sur 2 arbres pendant 10 jours et (b) ΔT , ΔT_o mesurée dans un arbre chauffé et témoin au cours d'une journée pour une forêt de chêne-liège au Nord de la Tunisie.

3.1.2-Gradient thermique naturel :

Ce gradient est maximal tout près du sol et au moment de la levée ou de coucher du soleil. Toutes les techniques thermiques de mesure de flux de sève sont plus ou moins sensibles à ce phénomène qui interfère souvent avec les mesures réelles (LU et al., 2004). Le biais sur la mesure de flux de sève peut se manifester par un « pic matinal » qui traduit un régime thermique transitoire (Nasr et Ben Mechlia, 2007). Les causes exactes du phénomène ne sont pas clairement établies mais il pourrait être attribué au gradient naturel dans le bois (Cermak et Cucera, 1981 ; Do et Rochereau, 2002) ou au stockage de chaleur dans la partie basale du tronc. Il peut être évité par une isolation thermique renforcée autour du capteur et la partie basale du tronc (valancogne et Nasr, 1993).

Dans le cas de notre expérimentation, ce gradient naturel reste très faible par rapport à l'écart thermique (fig. 5b), ceci peut être attribué à la bonne isolation thermique du liège lui-même.

3.2. Démasclage et flux de sève

Le démasclage du liège a un effet physiologique direct sur l'arbre se traduisant par une augmentation importante de l'évaporation du tronc sur la partie démasclée. Pendant ce temps on assiste à une fermeture stomatique rapide durant les heures suivant l'opération de démasclage impliquant une interruption des fonctions nutritionnelles de l'arbre qui retrouve un état normal après une période allant de 24 à 30 jours selon Santos (1940) et Oliveira (1995). Durant cette période le phellogène est formé et quelques couches des cellules du liège sont produites protégeant le phloème actif contre une évaporation excessive.

Dans une expérience menée par Pinto et Pereira (2006), l'application d'un anti-transpirant après démasclage implique une élévation rapide de la transpiration foliaire et donc une forte conductance stomatique par comparaison au témoin démasclé mais non traité par l'anti-transpirant.

Par ailleurs, dans une analyse des effets du démasclage sur la réponse physiologique de l'arbre du chêne-liège, Correira et al. (1992) évaluent la quantité d'eau évaporée au niveau de la partie démasclée du tronc et montrent que cette quantité est plus importante durant les premiers jours après démasclage et elle se réduit de moitié après 20 jours et devient assez faible 55 jours plus tard. En plus des ces effets directes de perte d'eau, le démasclage implique un effet plus important sur la réduction de la croissance diamétrale de l'arbre (Monterio et Grau, 1987).

4. Conclusions

Malgré les sources d'erreurs inhérentes à la technique utilisée, nous retenons que le capteur thermique à dissipation de chaleur peut être un outil fort utile pour étudier les variations de la dynamique hydrique interne du chêne-liège. Ces mesures ont montré la sensibilité du capteur à la variabilité du climat et l'effet démasclage.

Une analyse comparative de flux de sève des arbres témoins et des arbres démasclés avec et sans dommage de blessures ainsi que des arbres sains et ravagés par des insectes sont les perspectives de cette recherche. Ceci afin de chiffrer les effets des principaux facteurs de

dépérissement (sécheresse, températures élevées, démasclage, dommage d'insectes, ...) et étudier leurs conséquences sur la transpiration du chêne-liège.

Remerciements

Nous remercions en particulier l'Agence Coréenne de la Coopération internationale pour son appui logistique ainsi que le personnel de la station forestière d'Ain Snoussi pour leur aide à réaliser ce travail.

Références bibliographiques

Amandier L., 2006- Le dépérissement du chêne-liège résulte de multiples interactions. Séminaire « Vitalité des peuplements de chênes-lièges et chênes verts : situation actuelle, état des connaissances et action à entreprendre ». Evora, Portugal, 25-26 octobre 2006.

Cermak J., Kucera J., 1981- The compensation of natural temperature gradient at the measuring point during the sap flow rate determination in trees. *Biol. Plantarum*, 23 : 469-471

Correira A.O., Oliveira G., Martins-Loução M.A. and Catarino F.M., 1992- Effects of bark-stripping on the water relations of *Quercus suber* L. *SCIENTIA gerundensis*, 18 : 195-204.

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

Granier A., 1985- Une nouvelle méthode pour la mesure du flux de sève brute dans le tronc des arbres. *Ann. Sci. Forest.*, 42 :193-200.

Granier A., 1987- Mesure de flux de sève brute dans le tronc du Douglas par une nouvelle méthode thermique. *Ann. Sc. Forest.* 44 : 1-14

Goldstein J., Jackson P., Celis A., 1998- Stem water storage and diurnal patterns of water use in Tropical forest canopy trees. *Plant cell Environ.* 21:397-406.

Lu P., Biron P., Breda N. and Granier A., 1995- Water relations of Norway Spruce (*Picea abies* L Karst) under soil drought in the Vosges mountains: water potential, stomatal conductance and transpiration. *Annals of Forest Science*, 52, 117-129.

Lu P., Urban L. and Zhao P., 2004- Granier's thermal dissipation probe (TDP) method for measuring sap flow in trees: theory and practice. *Acta Botanica Sinica*, 46, 631-646.

Monterio G. and Grau JM., 1987- O Coeficiente e a intensidade de descorticanato vantageus e inconvenientes da sua aplicação. *Buletin do Instituto dos Produtos Florestais-Cortiça* 583: 117-119 (en Espagnol).

Nasr Z. and Ben Mechlia N., 2007- Measurements of sap flow for apple trees in relation to climatic and watering conditions. A Water Saving in Mediterranean Agriculture & Future Research Needs. Ed. Lamaddalena N, Bogliotti C, Todorovic M and Scardigno. p91-98

Oliveira J., 1995- Ecologie du chêne-liège (*Quercus suber* L) en montagne Portugaise (en Portugais). Doctorat, Thèse Faculté des Sciences, université de Lisbonne, 162 p.

Pinto Teresa M., M.G. Tores-Pereira José, 2006- Bark stripping in cork oak (*Quercus suber* L) effect of an antitranspirant application on gas exchange and water relation of the stripped surface. *Trees*, vol. 20, n°2, pp247-252.

Santos J.B., 1940- Estimation de l'activité stomatique du chêne. Publication de la Direction générale des Services Forestiers de Lisbonne 7, 99 5-53 (en Portugais)

Valancogne C. and Nasr Z., 1993- A heat balance method for measuring sap flow in small trees. In Water Transport in Plants under Climatic Stress. Ed. M. Borgheti, J. Grace and A. Raschi. P 166-173.