

Zeitschrift: Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen = Swiss forestry journal = Journal forestier suisse
Herausgeber: Schweizerischer Forstverein
Band: 138 (1987)
Heft: 3

Artikel: Présentation d'une nouvelle méthode pour évaluer la vitesse d'écoulement de la sève dans le xylème des arbres
Autor: Hösli, Johannes P. / Laroche, Denis / Gagnon, Robert
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-766030>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 06.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Présentation d'une nouvelle méthode pour évaluer la vitesse d'écoulement de la sève dans le xylème des arbres¹

Par Johannes P. Hösli², Denis Laroche³ et Robert Gagnon⁴, Canada

Oxf.: 161.12

Introduction

La circulation de l'eau dans l'arbre est un critère d'une très grande valeur pour juger l'état physiologique d'un arbre car un déficit en eau s'accompagne inévitablement par une photosynthèse réduite, d'où une croissance ralentie et une susceptibilité accrue face à divers agents pathogènes et entomologiques (Kozlowski, 1982).

Malheureusement, les différentes techniques déjà utilisées pour mesurer la vitesse d'écoulement de la sève au niveau du xylème des arbres présentent des inconvénients majeurs. Qu'il s'agisse de la méthode thermoélectrique (Huber et Schmidt, 1937; Cohen et al. 1985) ou de celle utilisant le principe du gradient électromécanique (Tyree, 1971), la vitesse de la sève doit être évaluée à partir de mesures prises à deux niveaux le long du tronc. Ces façons de procéder impliquent donc le développement de modèles mathématiques complexes plus ou moins fidèles au phénomène de l'écoulement de l'eau dans le bois (Orfila et Hösli, 1985; Swanson et Whitefield, 1981). De plus, le risque d'embolie est élevé lorsque les électrodes sont insérées dans le xylème; ces bulles d'air représentant un obstacle majeur pour l'écoulement libre (Siau, 1984).

La présente méthode contourne en grande partie ces difficultés puisqu'elle repose sur des mesures prises à un seul niveau sur le tronc, tout en diminuant le

¹ Parties de ce travail ont été présentées à la réunion annuelle de l'International Research Group of Wood Preservation par le premier auteur (IRG/WP Doc. no. 2248) en 1986.

² Forintek Canada Corp., Ottawa, Ontario K1G 3Z5.

³ Département des sciences du bois, Faculté de foresterie et de géodésie, Université Laval, Québec G1K 7P4.

⁴ Département des sciences forestières, Faculté de foresterie et de géodésie, Université Laval, Québec G1K 7P4.

risque d'embolie. De plus, les calculs afférents à cette méthode sont basés sur des lois physiques bien connues.

La description de la technique ainsi que les résultats de trois essais *in situ* font l'objet de la présente communication.

Description de l'appareillage

L'ensemble du dispositif est schématisé à la *figure 1*. L'élément de base est un thermistor ITT F 14D (ITT, 1981)[®] qui peut être décrit comme un tube de verre de 4 mm de diamètre, comportant à l'une de ses extrémités un étranglement de 2 mm dans lequel est localisé le matériel résistant semi-conducteur. La sensibilité de ce semi-conducteur aux variations de température est beaucoup plus grande qu'une résistance ordinaire au carbone. Le thermistor est à coefficient de température négatif car sa résistance électrique diminue lorsque sa température augmente. Cette dernière propriété a déjà été utilisée pour détecter les changements de température de la sève dans un dispositif utilisant une source de chaleur quelques centimètres plus bas sur le tronc (Vieweg et Ziegler, 1960).

Dans le présent dispositif, toutefois, c'est le thermistor qui est directement chauffé par une source à courant constant. L'énergie thermique dégagée par l'élément est alors plus ou moins dissipée par la sève ambiante selon sa vitesse d'où une variation de la résistance du thermistor. Le courant étant constant, le voltage aux bornes de l'élément est donc directement proportionnel à la résistance du thermistor ce qui se manifeste dans un signal variant avec la vitesse de l'écoulement.

La source à courant constant (I_{DC}) et l'amplificateur (A) ont été conçus à partir d'exemples d'application présentés dans Frederiksen (1984) dont la valeur du courant et le gain de l'amplificateur sont réglables par potentiomètre. Un milliampèremètre (G) (fabriqué par Modutec, modèle DME DMA 010) donne une indication visuelle des variations importantes du courant en cas de mal fonctionnement. Pour être transportable sur le terrain, l'énergie du montage (V_{DC}) est fournie par trois batteries de 12 V (Technacell, modèle EP 1218) branchées en série. Avec le courant utilisé dans les présents essais (3 mA), l'autonomie du système est d'environ 15 heures. Un régulateur de voltage R (LM 317) maintient la tension d'alimentation $V+$ à un niveau constant de 30 V. Un comparateur (C) (LM 311) et un interrupteur électronique (S) CMOS 4053B permettent de ramener I_{DC} et V_{OUT} à 0 lorsque V_{DC} devient plus petit que 32 V afin d'éviter des lectures biaisées. La lecture du signal de sortie V_{OUT} est faite par un système d'acquisition de données portatif HIOKI 3209/9201 comprenant une imprimante sur laquelle les mesures sont enregistrées à intervalles de temps désirés.

Comme la réponse du thermistor aux variations de température obéit à une fonction logarithmique, la détection de petites variations de la vitesse de la sève est meilleure lorsque le thermistor est «froid», soit lorsque la sève circule rapidement. A l'opposé, la précision des mesures est moins grande lorsque la sève circule lentement et que le thermistor se réchauffe.

La méthode d'alimentation à courant constant permet facilement de détecter des variations de vitesse de la sève via les variations de voltage. Pour déterminer la vitesse absolue de la sève, nous avons procédé de façon suivante: D'abord, la puissance dégagée par le thermistor ainsi que sa température ont été mesurées lors d'un matin pluvieux, en supposant que l'écoulement de la sève est nul dans de telles conditions (*Mazliak, 1974*). A ce moment, la puissance (P) est déduite de la relation $P = V_{OUT} \times I_{DC}$, alors que la température est tirée de la courbe de la résistance en fonction de la température du thermistor ($R = V_{OUT}/I_{DC}$) qui a, préalablement, été étalonnée en laboratoire. Lorsque la vitesse de la sève augmente et que le thermistor se refroidit, sa résistance augmente de même que la puissance dégagée. C'est cet excédent de puissance qu'on suppose dissipé par la sève en mouvement. Connaissant le volume (V) de la cavité environnant la pointe du thermistor et la chaleur spécifique de la sève (égale à celle de l'eau), la vitesse d'écoulement peut être calculée avec la première loi de la thermodynamique:

$$\dot{Q} = \dot{m}C_p\Delta T \quad (1)$$

où:

$\dot{Q}$ = différence entre la puissance mesurée au cours de la journée et la puissance mesurée tôt le matin (w);

$\dot{m}$ = débit massique (Kg/s);

C_p = chaleur spécifique de l'eau (J/Kg K);

ΔT = augmentation de température de la sève lorsqu'elle passe dans la cavité et qu'elle est réchauffée par le thermistor.

Connaissant le débit massique ($\dot{m}$) déterminé dans (1), et le volume (V) de la cavité cubique environnant la pointe du thermistor (8 mm³), la vitesse d'écoulement (v) de la sève est déduite de la relation:

$$v = \dot{m}L/VD \quad (2)$$

où:

L = le côté du cube (2 mm);

D = la densité de la sève qui a été assumée égale à celle de l'eau.

Il faut être conscient que le calcul de la vitesse est grossier, dû à l'imprécision sur l'évaluation de ΔT , qu'on mesure comme la différence entre la température de la sonde (T_s) et la température ambiante (T_m). En réalité, la température de la sève à la sortie de la cavité peut être beaucoup plus petite que T_s , vu qu'il

existe un gradient de température entre la sonde et la sève qui circule à proximité.

L'évaluation de la vitesse absolue de la sève pourrait être plus précise si le thermistor était alimenté non à un courant, mais à puissance constante. De cette façon, la chaleur dégagée par unité de temps serait constante de sorte que la vitesse de la sève dépendrait uniquement de la différence de température entre la sève chauffée par la pointe du thermistor et la sève non chauffée. En effet, la loi de transfert de chaleur par convection est donnée par la relation:

$$P_c = hA(T_s - T_m) \quad (3)$$

où:

P_c = puissance constante dégagée par le thermistor;

hA = facteur de convection;

T_s = température de la pointe du thermistor;

T_m = température de la sève non chauffée.

Pour utiliser la loi de transfert de chaleur, la température T_m peut être mesurée par un thermistor témoin alimenté à très faible courant pour éviter son auto-échauffement. Le facteur de convection hA est le facteur dépendant de la vitesse; il dépend aussi de la géométrie de la pointe et de la forme de la cavité entourant la pointe, mais cette dépendance est répétitive et peut être mesurée en laboratoire. La variation de hA par rapport à la vitesse est complexe mais elle peut aussi être évaluée en laboratoire.

Résultats de trois essais in situ

Des essais de l'appareillage ont été conduits sur une épinette blanche (*Picea glauca* [Moench] Voss), les 26 et 30 juillet 1985 et une autre fois sur le bouleau à papier (*Betula papyrifera* Marsh.) le 5 août 1985 à la forêt Montmorency de l'Université Laval, située à 80 km au nord de la ville de Québec, à une altitude de 640 m. Les deux arbres ont été sélectionnés à proximité de la station météorologique 704/2388 du répertoire canadien. Le thermistor était inséré à hauteur de poitrine (1,3 m) dans un trou de 4 mm de diamètre et de 10 mm de profondeur (sous écorce), prolongé par un autre de 2 mm de diamètre sur une longueur de 2 mm pratiqué au moyen d'une perceuse à batterie. Cette opération a été effectuée sous un jet d'eau pour éviter que des bulles d'air entrent dans les vaisseaux lors de l'installation. De plus, des joints d'étanchéité ont été appliqués au niveau de l'étranglement et au niveau de l'écorce pour éviter l'embolie lors de la prise de données. Finalement, le thermistor était pressé contre le bois par une bande élastique. La *figure 1* illustre cette installation.

L'épinette blanche âgée de 64 ans montrait une hauteur et un diamètre à hauteur de poitrine de 13,8 m et 30,5 cm et une largeur de cerne de 3 mm au

point de mesure. Le bouleau à papier était pour sa part âgé de 110 ans et montrait une hauteur, un diamètre à hauteur de poitrine et une largeur de cerne au point de mesure de 13,8 m, 25,9 cm et 3 mm respectivement.

Les mesures ont été prises avec le courant constant ajusté à 2,5 mA et le signal de sortie V_{OUT} ramené à l'échelle la plus sensible du système d'acquisition de données en ajustant le gain de l'amplificateur A. La lecture de V_{OUT} à été faite aux 15 minutes. Par ailleurs et afin de comparer les résultats d'essais faits avec des thermistors différents, nous avons auparavant étalonné ceux-ci en laboratoire selon la méthode présentée dans ITT (1981). Pour comparer les résultats obtenus lors de différents essais, il fallait ainsi connaître le signal de voltage directement aux bornes du thermistor, ce qui nécessitait la connaissance du gain de l'amplificateur, car celui-ci peut être ajusté différemment d'un essai à l'autre.

La *figure 2* montre les signaux de voltage obtenus chez les deux arbres choisis.

L'acuité de la méthode peut être jugée par les résultats obtenus chez l'épinette blanche. En effet, les mesures chez cette essence ont été prises pendant deux journées présentant sensiblement les mêmes températures, tandis que les conditions d'humidité relative de 80% ont été observées pendant toute la journée du 26 juillet alors que le 30 juillet, l'humidité relative est passée de 70% le matin à 30% en après-midi. En terme de pression de vapeur, la journée du 26 juillet fut relativement stable avec des valeurs de 15 mm Hg en matinée et de 11 mm Hg vers 18 h. Le 30 juillet, la pression de vapeur est passée de 11 mm Hg à 8 h à 9 mm Hg vers midi. Vers 14 h, elle montrait une valeur de 4 mm Hg qui s'est maintenue ainsi jusque vers 20 h.

Ces conditions météorologiques sont probablement à la base des différences observées entre les courbes du 26 et du 30 juillet. Ainsi, dès 11 h un signal de 14,15 mV était enregistré le 30 juillet alors que le 26 juillet à la même heure, le signal n'était que de 14,0 mV. De plus, le signal a montré une valeur plus grande que 14,6 mV pendant près de quatre heures le 30 juillet, alors que le 26 juillet cette valeur s'est maintenue pendant à peine une heure. Par ailleurs, le 26 juillet, l'appareil a décelé une baisse marquée vers 14 h 30. Ce comportement pourrait être attribuable au vent qui est passé de 11 km/h à 14 h à 1 km/h vers 14 h 30. Vers 16 h 30, le 26 juillet, le vent montrait une vitesse de 6 km/h qui s'est maintenue pendant toute la soirée alors que le 30 juillet, aucun vent n'a été enregistré après 18 h. Pendant ce temps, la vitesse d'écoulement de la sève, le 26 juillet, dépassait celle du 30 juillet.

Les mesures prises chez le bouleau à papier, le 5 août, sont clairement indicatrices d'une journée sèche et ensoleillée. En effet, dès 8 h, la température montrait déjà une valeur de 25 °C. De plus, l'humidité relative s'est maintenue à 30% pendant la majeure partie de la journée et un vent de 10 à 14 km/h a persisté entre 10 h et 18 h. Globalement, ces trois essais ont permis de mesurer des valeurs maximales comparables à celles déterminées par Huber et Schmidt (1936, 1937) pour *Betula verrucosa* (1,6 m/h) et pour *Picea excelsa* (1,2 m/h).

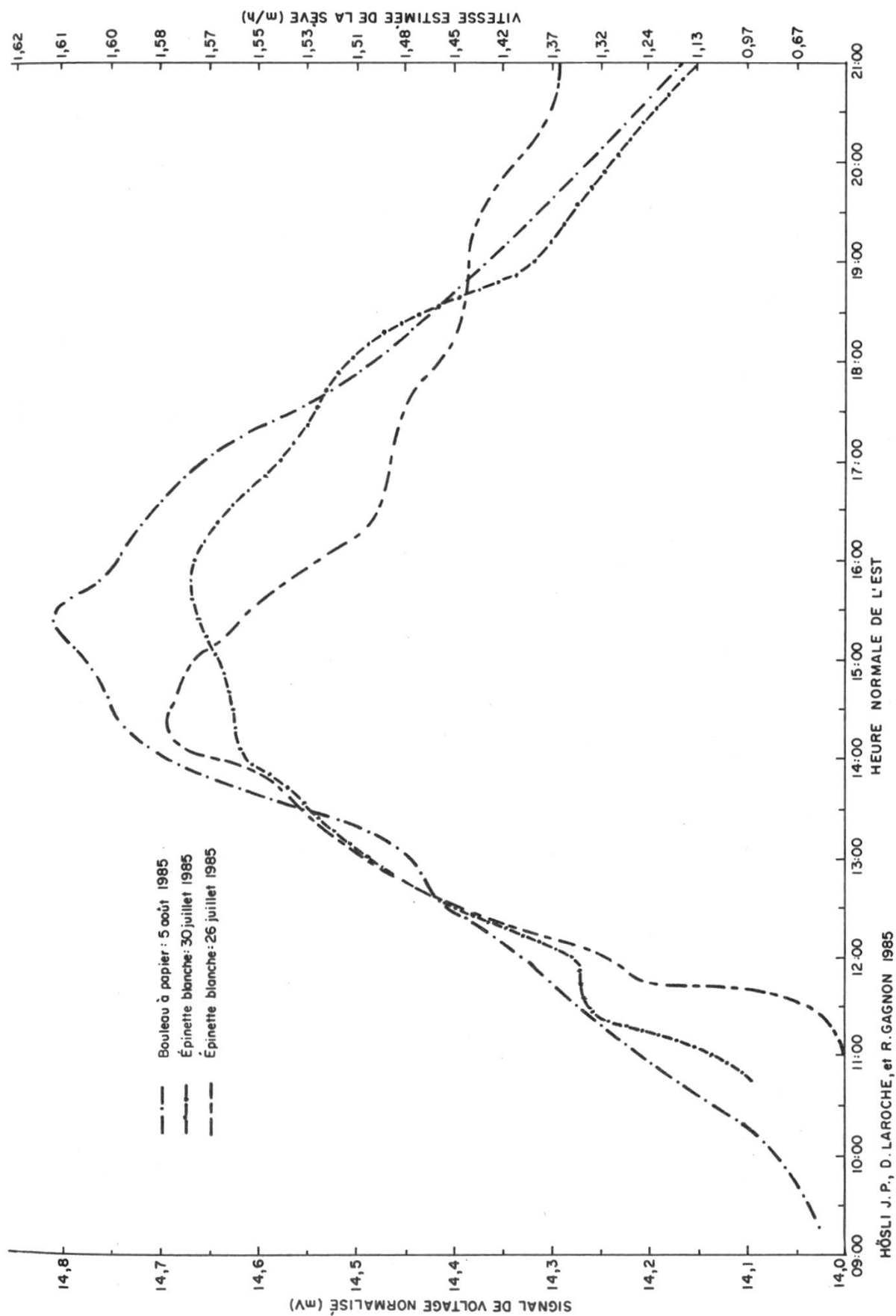


Figure 2. Signaux de voltage standardisés et vitesse estimée de la sève chez *Picea glauca* et *Betula papyrifera* lors de trois essais pratiqués les 26 et 30 juillet, ainsi que le 5 août 1985 à la forêt Montmorency, Québec.

Conclusion

Bien qu'il soit trop tôt pour tirer des conclusions fermes quant à la précision de la méthode présentée, le principe de mesure semble valable. Il serait cependant avantageux d'alimenter le thermistor à puissance constante et non à courant constant. En effet, la loi de transfert de chaleur par convection permettrait alors de relier directement la vitesse de la sève à la différence de température entre la sonde et le milieu ambiant. Cette amélioration nécessiterait toutefois la détermination en laboratoire de la courbe de calibration donnant la dépendance du facteur de convection en fonction de la vitesse d'écoulement.

Remerciements

Cette étude a été supportée financièrement par le Conseil de la Recherche en Sciences Naturelles et Génie du Canada et par le Ministère de l'Énergie et des Ressources du Québec. La collaboration du Dr. Marius Pineau et du Dr. André P. Plamondon lors de la préparation du manuscrit a été grandement appréciée.

Zusammenfassung

Eine neue Methode zur Ermittlung der Fliessgeschwindigkeit des aufsteigenden Saftstromes in lebenden Bäumen

Die vorliegende Arbeit behandelt die technischen Grundlagen einer neuartigen Ermittlung der Geschwindigkeit des aufsteigenden Saftstromes in lebenden Bäumen. Der Methode liegt zugrunde, dass ein beheiztes Element vom Saftstrom abgekühlt wird und in der Folge seine elektrischen Eigenschaften ändert. Das Element, ein Thermistor mit negativem Temperaturkoeffizienten, wurde von einem konstanten Gleichstrom beheizt und sein elektrischer Widerstand in Beziehung zur Fliessgeschwindigkeit gebracht. Drei Beispiele sind angeführt.

Die Methode erwies sich ausserordentlich empfindlich für die Messung relativ hoher Fliessgeschwindigkeiten; bei kleiner Geschwindigkeit dagegen ist die Methode verhältnismässig unempfindlich. Vorschläge zur Verbesserung der Methode beschliessen die Arbeit.

Bibliographie

- Cohen, Y., Kelliher, F. M., Black, T. A., 1985: Determination of sap flow in douglas-fir trees using the heat pulse technique. *Can. J. For. Res.* 15: 422–428.
- Frederiksen, T. M., 1984: Intuitive IC OP Amps. National Semiconductor Corporation et Professional Publ. Limited, p. 168–198.
- Hösli, J. P., 1986: Direct measurements of fluid flow in wood. *Int. Res. Group Wood Pres.* 17th annual meeting, working group II. IRG/WP document no. 2248.
- Huber, B., Schmidt, E., 1936: Weitere thermoelektrische Untersuchungen über den Transpirationsstrom der Bäume. *Tharandt forstl. Jb.* 87: 369–412.
- Huber, B., Schmidt, E., 1937: Eine Kompensationsmethode zur thermoelektrischen Messung langsamer Saftströme. *Ber. dtsh. bot. Ges.* 55: 514–529.
- ITT, 1981: NTC Thermistors. ITT odc. 6513/2569E, Ed. 2. Underhill Ltd., Devon.
- Kozłowski, T. T., 1982: Water supply and tree growth. Part 1, Water deficits. *Forestry abstracts*. Commonwealth Forestry Bureau, vol. 43, no. 2, 57–95.
- Mazliak, P. 1974: *Physiologie végétale, nutrition et métabolisme*. Hermann, Paris.
- Orfila, C., Hösli, J. P., 1985: Pressure development in low permeable woods during the intrusion of air. — *Am. Wood Pres. Assoc. Proc.* 81: 111–125.
- Siau, J. F., 1984: *Transport processes in wood*. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, Tokyo.
- Swanson, R. H., Whitefield, D. W. A., 1981: An numerical analysis of heat pulse velocity theory and practice. *J. Exp. Bot.* 32: 221–239.
- Tyree, M. T., 1971: The steady state thermodynamics of translocations in plants. *In*: M. H. Zimmermann, C. L. Brown: *Trees structure and function*. Springer-Verlag, New York, Heidelberg, Berlin.
- Vieweg, G. H., Ziegler, H., 1960: Thermoelektrische Registrierung der Geschwindigkeit des Transpirationsstromes. *Ber. dtsh. bot. Ges.* 73: 221–226.