

**Zeitschrift:** Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen = Swiss forestry journal = Journal forestier suisse

**Herausgeber:** Schweizerischer Forstverein

**Band:** 144 (1993)

**Heft:** 8

**Artikel:** Effets de la sécheresse sur l'état hydrique interne de Pinus brutia Ten.

**Autor:** Radoglou, Kalliopi / Noïtsakis, Basile / Dafis, Spiros

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-767124>

### 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:** 09.01.2026

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

## **Effets de la sécheresse sur l'état hydrique interne de *Pinus brutia* Ten.**

Par Kalliopi Radoglou, Basile Noitsakis und Spiros Dafis

FDK 116: 161: 174.7 Pinus: (495)

### **Introduction**

L'eau constitue un des principaux facteurs limitants de la végétation forestière en région méditerranéenne. Ceci non seulement à cause des irrégularités annuelles et saisonnières des précipitations et des faibles quantités pluviométriques, mais aussi en raison des sols superficiels par suite de l'érosion, ainsi que d'un substrat calcaire compact, à faible réserve en eau et en éléments nutritifs.

Dans cette zone toutefois, les formations forestières sont à dominante de *Pinus brutia* Ten. et *Pinus halepensis* Mill. qui, tout en créant un écosystème artificiel, semblent être bien établis. Ceci permet de supposer que chez ces arbres, outre une adaptation des éléments anatomiques et morphologiques, notamment l'épaisseur de la cuticule et la profondeur de l'enracinement, certains processus physiologiques interviennent parallèlement, permettant une adaptation des plantes aux fortes sécheresses durant la période de croissance.

La sécheresse constitue évidemment un facteur souvent limitant pour la croissance. L'influence de l'eau se fait sentir indirectement par une variation de l'hydratation des tissus et directement par une variation de la résistance stomatique à la diffusion de CO<sub>2</sub> et de vapeur d'eau. D'autre part, l'état hydrique interne des arbres dépend de la transpiration (sortie d'eau), de l'absorption de l'eau du sol (entrée d'eau) et surtout de l'équilibre entre ces deux processus physiologiques (Saugier, 1978; Berger, 1981; Noitsakis et Berger, 1984). Tout déséquilibre provoque une diminution de la teneur en eau dans le tissu foliaire, ce qui induit dans la plante une chute du potentiel hydrique. Chez les conifères, lorsque la valeur du potentiel hydrique atteint un certain seuil, la conductance épidermique régissant la diffusion de la vapeur d'eau commence à diminuer et la transpiration se réduit (Davies et Kozlowski, 1974; Beadle et al., 1978; Larcher, 1980; Melzack et al., 1985). La variation du potentiel

hydrique joue le rôle de moteur dans la circulation de l'eau entre le sol et la plante. L'obstacle le plus important à cette circulation provient de la résistance due au flux de la phase liquide de l'eau dans la plante (Newman, 1969a; Newman, 1969b; Rose *et al.*, 1976; Kaufmann, 1976), nommée résistance hydraulique. Cette résistance correspond mathématiquement à la pente de la relation linéaire entre la transpiration et le potentiel hydrique. Malgré que ce modèle linéaire commode ne soit pas toujours applicable en raison de l'interaction des différents facteurs concernant la plante, le sol et l'atmosphère, la résistance hydraulique joue un rôle prépondérant dans la croissance et l'équilibre hydrique interne de la plante, ainsi que dans l'épuisement en eau du sol (Byrne *et al.*, 1976; Noitsakis et Berger, 1984; Tomar et Toole, 1982).

L'objet du présent travail est l'étude du comportement physiologique de *Pinus brutia* Ten. sous la contrainte hydrique, et parallèlement, la déduction des mécanismes lui permettant de maintenir un état hydrique interne favorable. Les résultats de cette étude constituent également une contribution à une meilleure orientation dans le choix des écotypes de cette espèce adaptés aux reboisements en milieux secs.

## Méthode et matériel

Les recherches ont été menées sur la colline «Kedrinos», près de la ville de Salonique (lat: 40° 38 N, long: 23° 01 E), dans une forêt publique constituée de *P. brutia*, sur deux stations (I et IV), retenues en raison de leurs différences qualitatives. La station I, exposée au nord, à une altitude de 150 m, est caractérisée par une forêt claire, avec une végétation arbustive peu élevée<sup>1</sup> et par un tapis herbacé discontinu, composé de plantes mésophytes<sup>2</sup>. Le peuplement est âgé de 45 ans et présente une densité de 572 individus à l'hectare et une hauteur moyenne de 18 m. La station IV exposée au sud, à une altitude de 250 m, appartient à un étage plus sec et moins fertile. La strate arbustive basse est assez discontinue et le tapis herbacé y est très dispersé, les deux sont composés de *Quercus coccifera* L., *Sacropoterium spinosum*, *Anthyllis hermanniae* L. Le tapis herbacé est riche en espèces, comme par exemple: *Alkanna tinctoria* (L.) Tausch, *Cynosurus echinatus*, *Avena barbata*, *Avena sterilis* L., *Triticum Vagans* (Jord. et Fours.) Greuter, *Thymus pulegioides* L. La structure du peuplement est peu différente de la station I; la densité est de 366 individus à l'hectare, la hauteur moyenne de 7,90 m et l'âge du peuplement de 37 ans.

<sup>1</sup> *Phillyrea latifolia* L., *Jasminum fruticans* L., *Cistus incanus* L., *Ulmus campestris* Auct. non L., *Coronilla emeroides* Boiss. et Spruner, *Fraxinus ornus* L.

<sup>2</sup> *Ruscus aculeatus* L., *Dracunculus vulgaris* Schott, *Arum italicum* Mill., *Asparagus officinalis* L., *Euphorbia apios*, *Stipa bromoides*.

La variation saisonnière de la teneur en eau disponible du sol dans les deux stations, ainsi que les profils de sol, sont présentés à la *figure 1*. Seize échantillons de sol, d'une profondeur de l'ordre de 45–50 cm dans la station I et de 20–25 cm dans la station IV, ont été prélevés afin d'évaluer l'eau disponible. Cette évaluation est basée sur la différence entre la capacité de rétention actuelle calculée par le rapport:

$$\frac{\text{Poids du sol humide} - \text{Poids du sol sec à } 104^\circ\text{C}}{\text{Poids du sol sec à } 104^\circ\text{C}}$$

et la capacité au point de flétrissement permanent (pF) calculée par le rapport:

$$\frac{\text{Poids du sol au pF } 4,2 - \text{Poids du sol sec } 104^\circ\text{C}}{\text{Poids du sol sec } 104^\circ\text{C}}$$

Les conditions climatiques sont *reflétées* durant la période des mesures par l'évapotranspiration potentielle (ETP) (*figure 2*). Celle-ci a été mesurée à l'aide d'une formule dérivée de celle de Penman. L'évapotranspiration potentielle correspond à la demande en eau maximale de la plante; son intérêt réside dans le fait qu'elle dépend des conditions de sécheresse, donc surtout des facteurs climatiques.

Les données climatiques (*tableau 1*) proviennent d'une station météorologique installée dans la forêt par l'Université de Salonique. L'analyse climatique, complétée par l'indice d'aridité de Demarton (*tableau 1*), montre que juin, juillet et août ont été des mois secs, typiques de l'été méditerranéen.

*Tableau 1.* Données climatiques pour la région et la période des mesures.

Mois	Temp. mensuelle ( <i>t</i> ) °C		Pluv. mensuelle ( <i>p</i> ) (mm)	Indice d'aridité ( <i>L</i> ) $L = \frac{12p}{t + 10}$	
	Max.	$\bar{M}$	Min.		
Avril	21	15	9,3	5	2,4
Mai	27,3	20,9	14,6	5	1,9
Juin	29,6	23,9	18,3	4	1,4
Juillet	31	25,15	19,3	0	0
Août	31,6	25,5	19,3	3	1,01

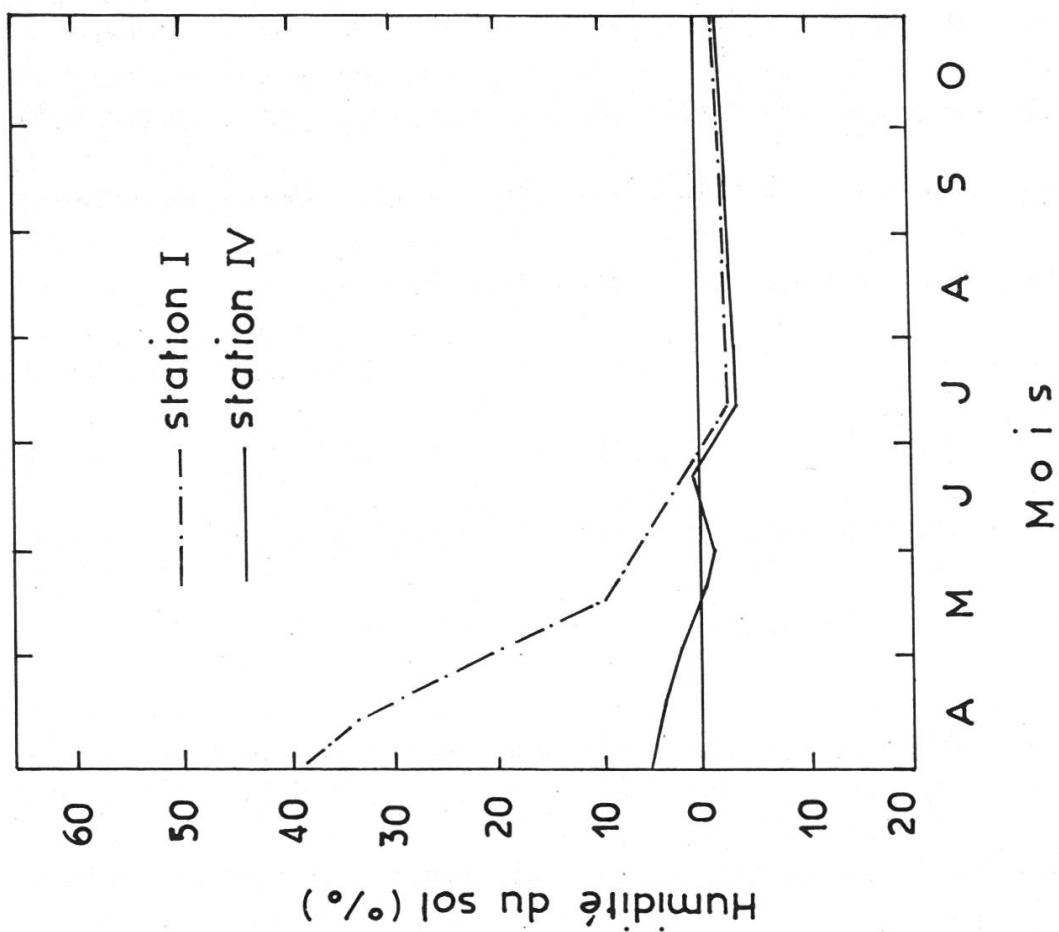
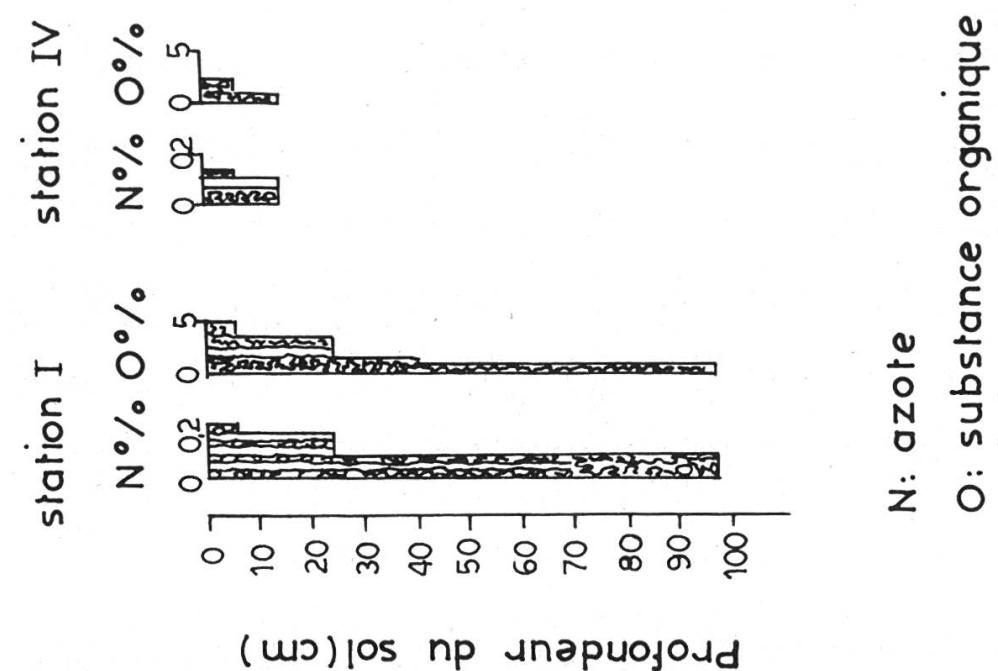


Figure 1. a. Evolution d'humidité du sol au cours de la saison de croissance dans deux stations forestières I et IV. b. Profils du sol pour les deux stations.

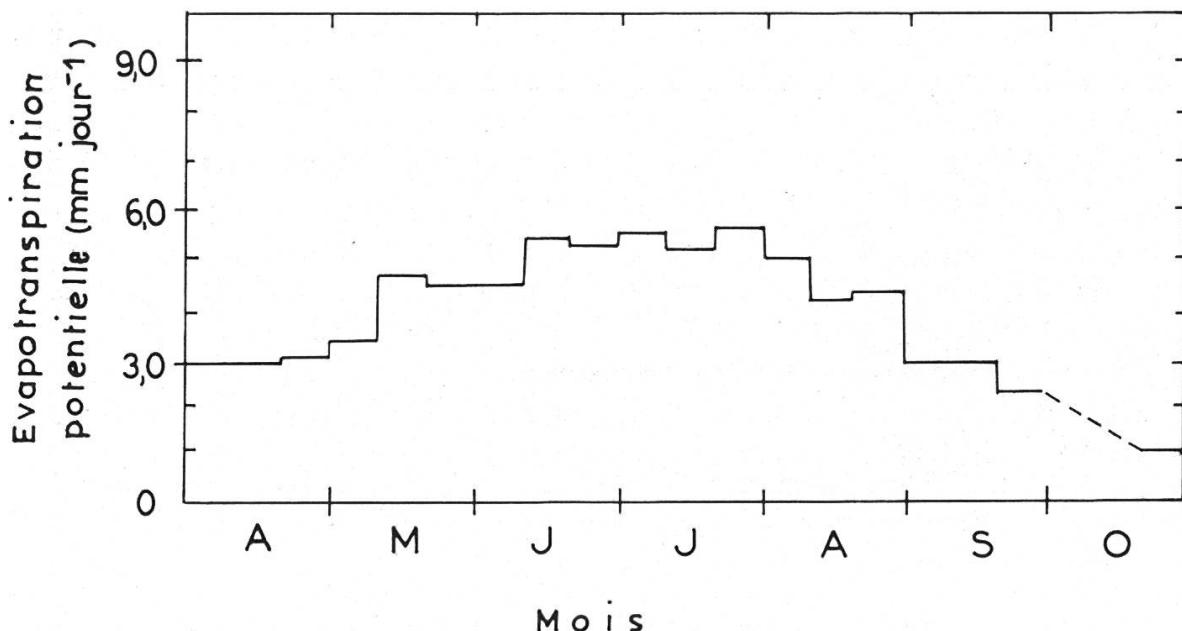


Figure 2. Evolution saisonnière de l'évapotranspiration potentielle.

L'évaluation de l'évolution de l'état hydrique interne de l'arbre est réalisée doublement par la mesure du potentiel hydrique et de la teneur relative en eau des tissus. Le potentiel hydrique correspond à l'énergie que peut céder l'unité de volume d'eau au cours d'une transformation isotherme et réversible, la faisant passer de l'état actuel à l'état d'eau libre sous pression atmosphérique. Le potentiel hydrique est évalué par la mesure du potentiel de la sève ( $\Psi_s$ ) avec la méthode de la chambre à pressuriser (Scholander *et al.*, 1965; Aussénac et Chassagne, 1974; Aussénac, 1980). Pour éviter l'exsudation de résine, l'écorce et le phloème de la base des rameaux sont enlevés le plus vite possible avant l'introduction du rameau dans la chambre.

La teneur relative en eau des tissus (TRE) a été mesurée sur des aiguilles, excisées selon la méthode bien décrite par Slavik (1974), et calculée par la formule suivante:

$$\text{TRE \%} = \frac{\text{Pf-Pd}}{\text{Ps-Pd}}$$

où: Pf = poids frais

Pd = poids sec, après chauffage à 80° pendant 24 h

Ps = poids après huit heures de saturation

Pour mesurer la valeur correcte du poids des aiguilles saturées en eau, le poids turgescient (Ps), les aiguilles excisées du rameau prélevé sont pesées une première fois, donnant ainsi le Pf; elles sont placées ensuite dans une atmosphère avec 100 % d'humidité, afin de retrouver leur turgescence initiale. Au bout de huit heures, les aiguilles sont repesées, donnant alors le Ps. Les

effets d'une croissance éventuelle sont contrôlés par deux pesées successives durant la saturation: après 4h. (P4h) et après 8h. (P8h) Alors:  $Ps = P8h - P4h$  (Catsky, 1965).

Pour mesurer la transpiration (T), la technique des pesées rapides (méthode gravimétrique) a été utilisée (Slavik, 1974). Les aiguilles détachées ont été pesées dans les conditions les plus naturelles possibles.

Pour chacun des paramètres, les valeurs trouvées correspondent à la moyenne de cinq mesures (répétitions) effectuées entre 13h00 et 14h00 T.U., quasi tous les 15 jours à partir d'avril 1989.

Toutes les mesures des différents paramètres ont été effectuées sur des rameaux d'une année, prélevés dans la partie moyenne de la cime, généralement en exposition sud-est.

## Résultats et discussion

L'évolution des valeurs du potentiel hydrique de *Pinus brutia* a été suivie dans les deux stations forestières I et IV au cours de la période de croissance (*figure 3*). Celle-ci, à partir de juin, semble coïncider avec la période de sécheresse. Elle est caractérisée par une augmentation progressive de l'évapotranspiration potentielle (ETP) et une très faible disponibilité en eau dans le sol (*figure 1 et 2*). D'une manière générale, la période de forte ETP et de faible humidité du sol se traduit par un potentiel hydrique très bas (Hellkvist et Parsby, 1977; Landsberg et Jones, 1981), cela fut le cas dans les deux stations. Plus concrètement, deux faits importants peuvent être tirés de la *figure 3*:

Dans la station I, le potentiel hydrique ( $\Psi_s$ ) a subi au cours de cette période une diminution initiale (de mi-mai à mi-juin) et une augmentation (de fin juillet jusqu'à fin août), séparées par une oscillation relativement faible autour de -1,4 MPa (fin juin, juillet). Dans la station IV, l'évolution du  $\Psi_s$  présente deux phases successives: une diminution (mai, fin juillet) et ensuite une augmentation.

Dans la station I, la diminution du  $\Psi_s$  est moins forte (de -0,4 à -1,7 MPa) par rapport à celle de la station IV (de -1,0 à -3,0 MPa). Par conséquent, le  $\Psi_s$  des plantes de la station I est sensiblement plus élevé que celui des plantes de la station IV. En outre, la variation saisonnière du potentiel hydrique dans les deux stations semble être plus influencée par l'évolution de l'évapotranspiration potentielle que par l'humidité du sol. Il est évident qu'une récupération sensible du potentiel hydrique a lieu à partir de fin juin, quand les valeurs de l'évapotranspiration commencent à diminuer (*figure 2*), ceci malgré que l'humidité du sol soit nulle. Cela laisse à penser que le changement du potentiel hydrique chez *P. brutia* est probablement contrôlé par les demandes atmosphériques ou/et les réserves d'eau éventuellement existantes dans le tissu.

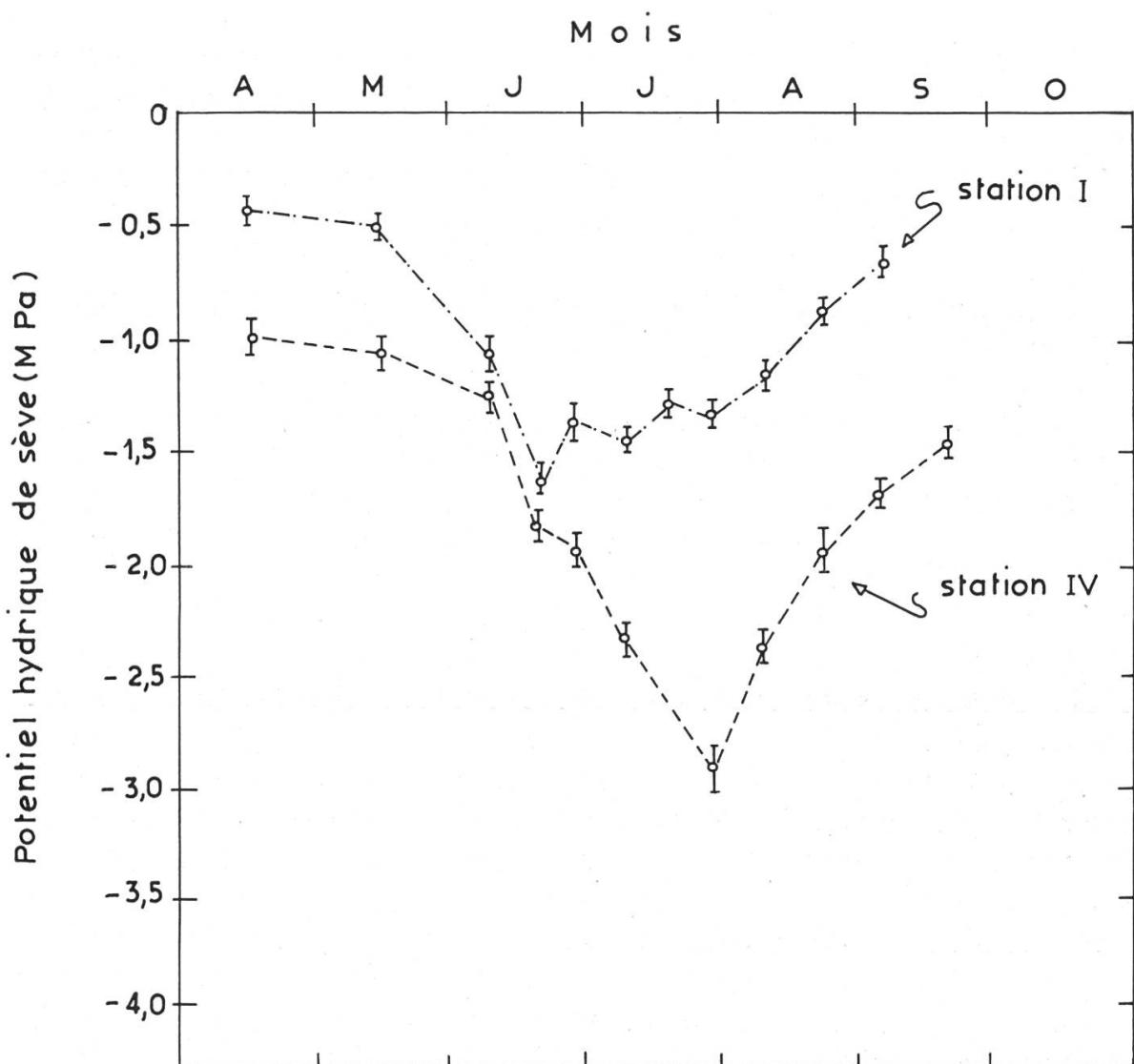


Figure 3. Evolution saisonnière du potentiel hydraulique de sève pour les deux stations forestières. Les barres verticales indiquent l'erreur standard.

Celles-ci jouent tantôt un rôle d'approvisionnement en eau, tantôt un rôle de stockage.

Au vu de ces résultats, l'hypothèse suivante peut être avancée: le bilan hydraulique interne des plantes de la station I est plus favorable au cours de la période de sécheresse, en raison d'une faible transpiration ou d'une bonne alimentation en eau, autrement dit de faible résistance hydraulique. En effet, dans la figure 4, où l'évolution saisonnière du potentiel hydraulique ( $\Psi_s$ ) est donnée en fonction de la teneur relative en eau (TRE) dans le tissu foliaire, l'on observe que la chute de  $\Psi_s$  restreint la diminution de la teneur relative en eau dans la station IV, tandis que dans la station I, la teneur en eau ne semble pas continuer à diminuer par la diminution de  $\Psi_s$ , au delà d'un seuil de -1,7 MPa. Il faut en tous cas signaler qu'il n'existe aucun point d'inflexion clair sur les courbes de régression des deux paramètres hydrodynamiques

(figure 4), qui pourrait plaider en faveur de l'existence d'un seuil critique de  $\Psi_s$ , au-delà duquel la fermeture hydroactive des stomates restreindrait les pertes d'eau dues à la transpiration. Ceci a été signalé par plusieurs auteurs chez d'autres conifères (Kozlowski, 1982; Jarvis, 1980; El Aouni, 1980; Beadle

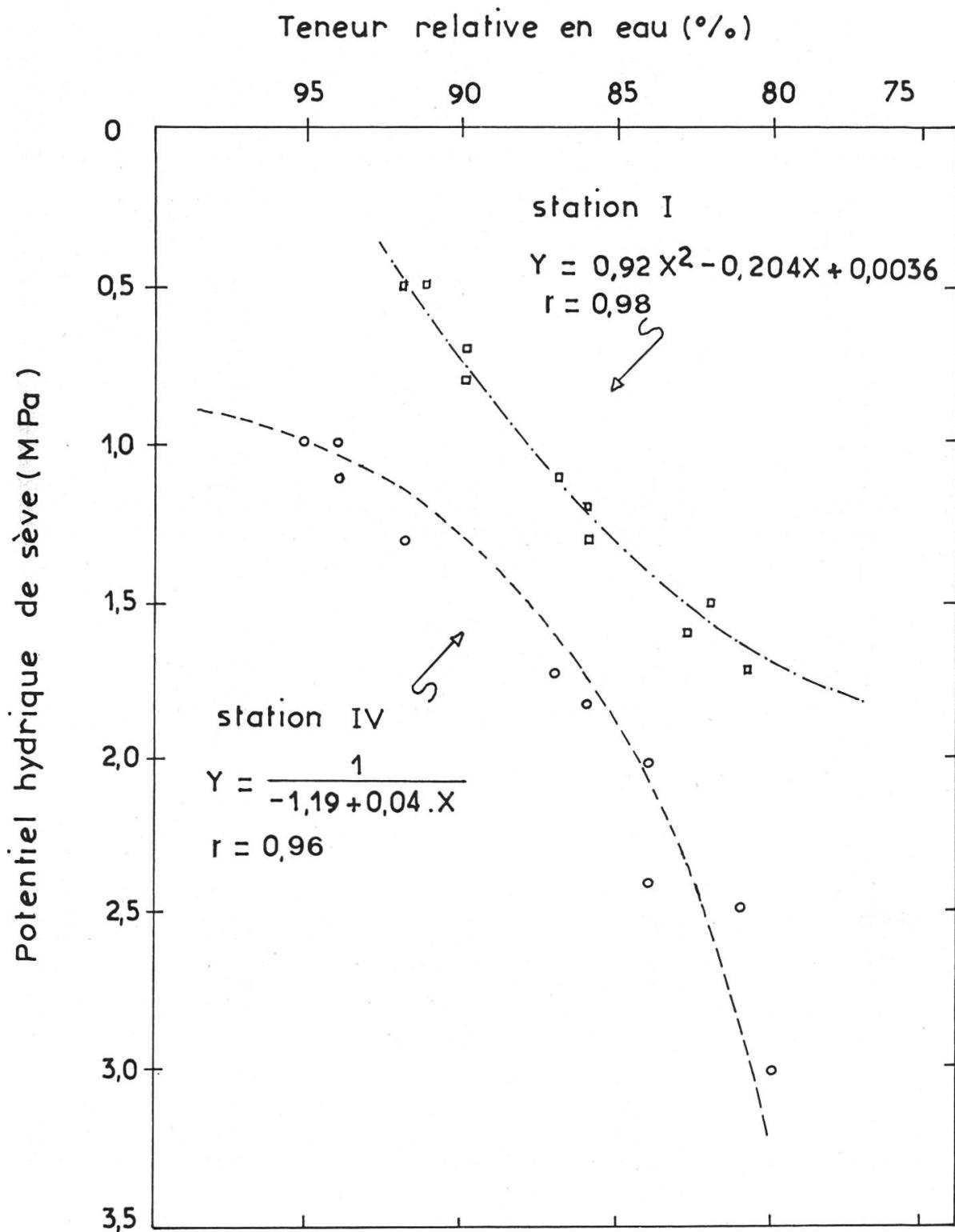


Figure 4. Evolution saisonnière de la teneur en eau relative dans le tissu foliaire en fonction du potentiel hydrique.

*et al.*, 1978; Myers et Neales, 1984; Melzack *et al.*, 1985). Certains l'attribuent au fait que la fermeture hydroactive des stomates dépend de nombreux facteurs qualitatifs, tels que l'âge, le type des aiguilles de l'espèce ou un préconditionnement à la contrainte hydrique (Turner et Begg, 1978, El Aouni, 1976).

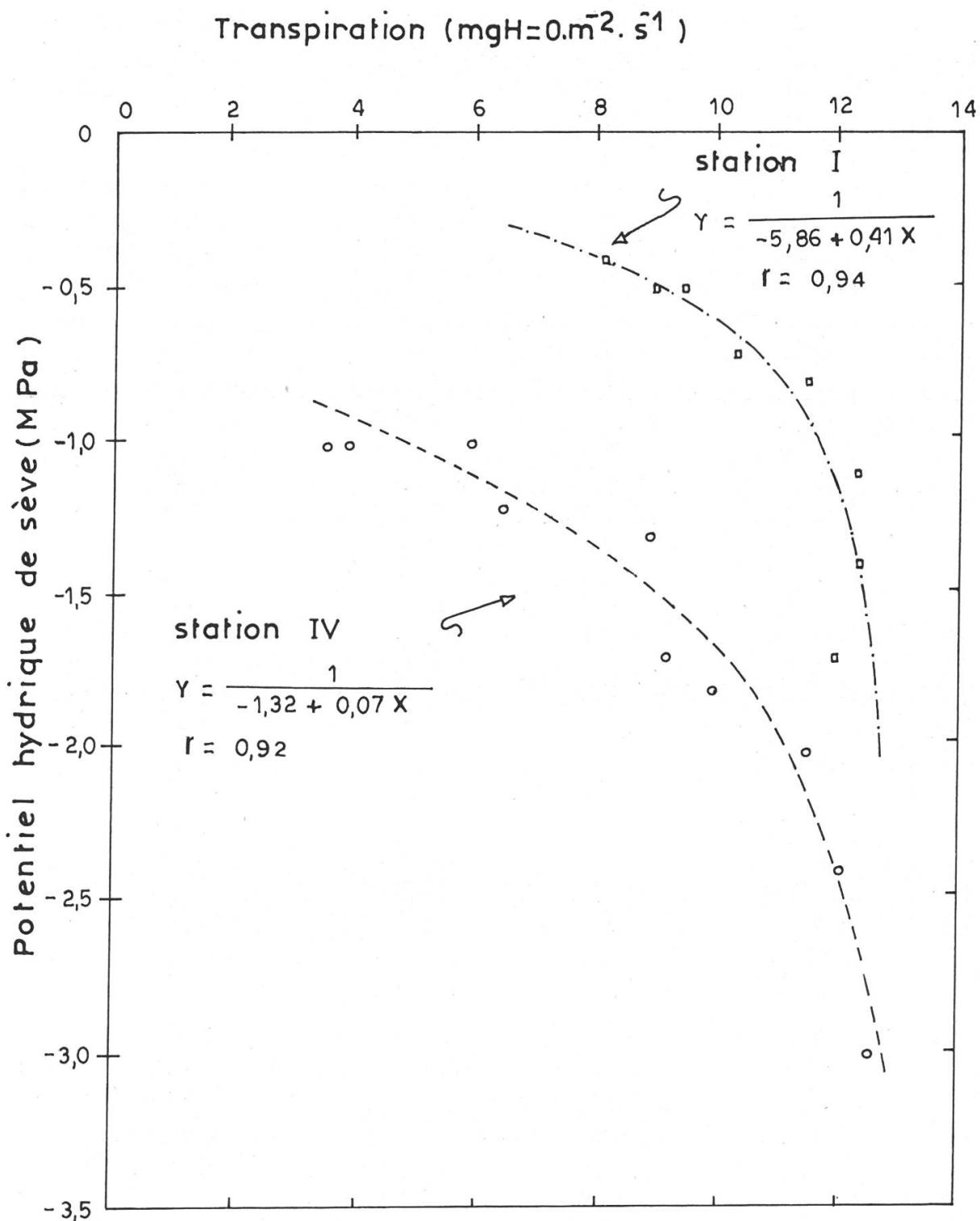


Figure 5. Evolution saisonnière de la transpiration par  $\text{m}^2$  de la surface foliaire en fonction du potentiel hydrique.

Cette absence du point d'inflexion dans la courbe de l'évolution de  $\Psi_s$  en fonction de la teneur en eau, surtout dans la station IV, donne à penser que le rôle d'ajustement osmotique est probablement mineur. Le potentiel osmotique est susceptible d'ajustement, soit par absorption et accumulation des sels prélevés dans le milieu extracellulaire, soit par fabrication de molécules organiques osmotiquement actives. Ces ajustements s'expriment normalement dans la courbe de l'évolution de  $\Psi_s$  en fonction de la TRE par une brusque chute de  $\Psi_s$ , impliquant un point d'inflexion, ce qui ne semble pas être le cas ici.

Toutefois la TRE des plantes de la station IV tend à se stabiliser au fur et à mesure que  $\Psi_s$  diminue, entraînant probablement une fermeture des stomates. Celle-ci est directement liée au changement du potentiel de turgescence (Jarvis, 1980; Kozlowski, 1982) et par conséquent, à une diminution de la transpiration. Les variations importantes de la teneur en eau des aiguilles montrent que le flux d'entrée dans le tissu est insuffisant pour compenser le flux de sortie dû à la transpiration. Ceci attire l'attention sur la résistance qui s'oppose à la circulation de l'eau entre le sol et les aiguilles. Cette résistance au flux hydraulique dans la plante est complexe, elle correspond à des milieux et des processus physiques successifs différents: écoulement entre le sol et la plante, écoulement jusqu'à l'endoderme, diffusion à travers l'endoderme, écoulement dans le système vasculaire et diffusion dans les cellules.

En effet, dans la *figure 5* l'on constate que pour une valeur de  $\Psi_s$  donnée, la transpiration dans la station IV est plus faible que dans la station I. En outre, l'évolution des deux paramètres ne met pas en évidence une relation analogue à celle que l'on trouve dans la loi d'OHM par ailleurs amplement citée dans la littérature (Berger, 1978; Halley *et al.*, 1973).

La transpiration et le potentiel hydrique des feuilles sont directement reliés par une relation linéaire analogue à la loi d'OHM et illustrée par l'équation:

$$T = \frac{\Delta\Psi}{R}$$

où:

T: transpiration

$\Delta\Psi$ : gradient du potentiel hydrique entre feuilles et sol et

R: résistance hydraulique à la circulation de la phase liquide dans la plante.

Or ici, la relation  $\Psi_s$ -transpiration (*figure 5*) est apparemment assez complexe et peut être décrite par une régression de forme

$$Y = \frac{1}{ax-b}$$

Celle-ci a été également observée par certains auteurs chez d'autres espèces (Barrs, 1970; Reicosky *et al.*, 1982). La complexité de cette relation peut être partiellement due au fait que l'évolution de la transpiration en fonction du potentiel hydrique a lieu durant la période saisonnière de croissance, c'est-à-dire une échelle temporelle assez longue, et non pas journalière. En outre, l'interaction d'une série de facteurs comme la densité de l'appareil racinaire, l'humidité du sol, sa profondeur et les transports de solutes au niveau de la racine jouent un rôle très important (Fiscus, 1975; Reicosky *et al.*, 1982), tout en donnant à la relation  $\Psi_s$ -transpiration une forme complexe.

En conclusion, il ressort des résultats exposés que:

- a) Dans des conditions naturelles, l'évolution saisonnière du potentiel hydrique en fonction de la transpiration ne met en évidence une relation linéaire que pour une transpiration élevée. D'autre part, cette relation semble être plus complexe; elle comprend, en plus d'un phénomène de résistance, une capacité en eau due à diverses réserves du système, qui se comportent tantôt comme des sources d'eau, tantôt comme des zones de stockage.
- b) Le fait que les plantes de la station I présentent un potentiel hydrique plus faible en valeur absolue, malgré une transpiration plus élevée, pourrait être attribué à l'eau en réserve dans l'aubier des tiges (Waring *et al.*, 1979; Pereira et Kozlowski, 1978), lorsque la teneur en eau du sol est suffisamment élevée.
- c) Si l'on admet que l'osmorégulation ne joue qu'un rôle négligeable chez les conifères (Kozlowski, 1982; Hinckley *et al.*, 1980), nous pouvons avancer l'hypothèse que la variation du potentiel de turgescence en relation avec l'élasticité des parois cellulaires est probablement devenue un mécanisme intervenant dans le bilan hydrique des plantes de la station IV.

Une étude future, portant sur certains caractères anatomiques en relation avec le potentiel de turgescence paraît donc tout à fait judicieuse et très prometteuse.

## Zusammenfassung

### Auswirkungen der Dürre auf den inneren Wasserzustand von *Pinus brutia* Ten.

In der vorliegenden Kurzfassung einer grösseren Untersuchung wird über das öko-physiologische Verhalten des inneren Wasserzustandes des Nadelgewebes von *Pinus brutia* Ten. unter Dürreverhältnissen berichtet, auf zwei grundlegend verschiedenen Waldstandorten in Nordgriechenland.

Es wurde der relative Wassergehalt der Nadelgewebe, das Wasserpotential (Wasserkapazität) der Leitungsbahnen sowie auch der Transpirationsrhythmus gemessen, und zwar 15täglich um 13.00–14.00 Uhr, ab Anfang April 1989.

Die Analysen der gemessenen Parameter lassen erkennen, dass das Verhältnis Transpiration–Wasserpotential nicht bloss auf einen hydraulischen Widerstand bei der Wasserbewegung innerhalb des Leitungsgewebes zurückgeführt werden kann, sondern dass viel kompliziertere Mechanismen im Spiel sein müssen. So könnten zum Beispiel auch Wasser-Reserven im Splintholz dazu beitragen, dass die Bäume auf dem nord-exponierten Standort I bei Dürrestress einen günstigeren Wasserhaushalt aufweisen.

Die zahlreichen noch offenen Fragen rufen nach weiteren Untersuchungen über die Beziehungen der hydrodynamischen und anatomischen Parameter bei *Pinus brutia*.

Zusammenfassung: E. Ott

## Littérature

- Aussenac, G., Chassagne, L. (1974): Rapport préliminaire sur la mesure du potentiel de sève dans le rameau et les feuilles. Publications internes, Station de Sylviculture et Production, Nancy, p. 8.
- Aussenac, G. (1980): Comportement hydrique de rameaux excisés de quelques espèces de sapins et de pin noir en phase de dessication. Ann. Sci. Forest., 37: 201–215.
- Barrs, H. D. (1970): Controlled environment studies of the effects of variable atmosphere water stress in photosynthesis, transpiration and water status of *Zea mays* L. and other species. Proceedings of Symposium on Plant Response to Climatic Factors, UNESCO, Uppsala, Sweden.
- Beadle, C. L., Turner, N. C., Jarvis, P. G. (1978): Critical water potential for stomatal closure in sitka spruce. Physiol. Plant. 43: 160–165.
- Berger, A. (1978): La circulation de l'eau à travers la plante. La Houille Blan., 3/4: 227–233.
- Berger, A. (1981): Les transferts d'eau dans les tissus des végétaux. Etude expérimentale modélisation. Sem. Ec. Ecol. Theor., C.N.R.S., 1–4 juin 1981. *Le Guyader, H.* et *Moulin, T.*, ed., 433–486.
- Byrne, G. F., Torssell, B. W. R., Sastry, R. S. (1976): Plant growth curves in mixtures and climatological response. Agric. meteorol., 16: 37–44.
- Catsky, J. (1965): Leaf-disk method for determining water saturation deficit. In: Eckarot, F. E. ed., Methodology of Plant Ecophysiology, Arid Zone Res., UNESCO, Paris, pp. 353–360.
- Davies, W. J., Kozlowski, T. T. (1974): Stomatal responses of five wood angiosperms to light intensity and humidity. Can. J. Bot. 52: 1527–1534.
- El Aouni, M. (1976): Action du déficit hydrique interne sur le mouvement stomatique, la transpiration et la photosynthèse nette des aiguilles excisées de Pin noir d'Autriche (*Pinus nigra* ARN). Evolution avec l'âge foliaire. Photosynth., 10: 403–410.
- El Aouni, M. (1980): Processus déterminant de production du pin d'Halep (*Pinus halepensis* Mill.): Photosynthèse, croissances et répartition des assimilats. Thèse de Doctorat d'Etat, Univ. Paris VII.

- Fiscus, E. L.* (1975): The interaction between osmotic and pressure induced water flow in plant roots. *Plant Physiol.*, 55: 917–922.
- Halley, J. L., Hiller, E. A., Jordan, W. R. Van Bavel, C. H. M.* (1973): Resistance to water flow in *Vigna sinensis* S. L. Endl. at high rates of transpiration. *Crop. Sci.*, 13: 254–267.
- Hellkvist, J., Parsby, J.* (1977): The water relation of *Pinus silvestris*, III Diurnal and seasonal patterns of water potential. *Physiol. Plant.*, 38: 61–68.
- Hinckley, T. M., Duhme, F., Hinckley, A. R. Richter, H.* (1980): Water relations of drought hardy shrubs: osmotic potential and stomatal reactivity. *Plant Cell. and Environ.*, 3: 131–140.
- Jarvis, P. G.* (1980): Stomatal response to water stress in conifers. In: *Turner, N. C. and Kramer, P. J.* eds., *Adaptation of Plant to Water and High Temperature Stress*. Wiley Interscience, N. York. pp. 105–122.
- Kaufmann, M. N.* (1976): Stomatal response of engelman spruce to humidity, light and water stress. *Plant Physiol.* 57: 898–901.
- Kozlowski, T. T.* (1982): Water supply and tree growth. Part I. Water deficits. *For. Abstr.*, 43: 57–94.
- Landsberg, J. J., Jones, H. G.* (1981): Apple orchards. In: *T. T. Kozlowski*, ed., *Water Deficits and Plant Growth*. Vol. IV. Academic Press, N. York, pp. 419–469.
- Larcher, W.* (1980): *Physiological Plant Ecology*, Springer-Verlag, Berlin and N. York. Pp. 306.
- Melzack, R. N., Bravdo, B., Riov, J.* (1985): The effects of water stress on photosynthesis and related parameters in *Pinus halepensis*. *Physiol. Plant.*, 64: 295–300.
- Myers, B. A., Neales, T. F.* (1984): Seasonal changes in the water relations of *Eucalyptus behriana* F. Muell and *Eucalyptus microcarpa* (Maiden) in the field. *Austr. J. of Bot.*, 32: 495–510.
- Newman, E. I.* (1969a): Resistance to water flow in soil and plant. I. Soil resistance in relation to amounts of root. *Theoretical estimates*. *J. Appl. Ecol.*, 6: 1–12.
- Newman, E. I.* (1969b): Resistance to water flow in soil and plant. II. A review of experimental evidence on rhizosphere resistance. *J. Appl. Ecol.*, 6: 261–272.
- Noitsakis, B., Berger, A.* (1984): Relation hydrique chez *Dactylis glomerata* et *Dichanthium ischaemum* cultivés sous deux régimes hydriques contrastés. *Oecol. Plant.*, 5: 75–88.
- Pereira, J. S., Kozlowski, T. T.* (1978): Diurnal and seasonal changes in water balance of *Acer saccharum* and *Betula papyrifera*. *Physiol. Plant.*, 43: 19–30.
- Reicosky, D. C., Kaspar, T. C., Taylor, H. M.* (1982): Diurnal relationship between evapotranspiration and leaf water potential of field-growth soybeans. *Agron. J.*, 74: 667–673.
- Rose, C. W., Byrne, G. F., Hansen, G. K.* (1976): Water transport from soil through plant to atmosphere: a lumped-parameter model. *Agric. Meteorol.*, 16: 171–184.
- Saugier, G.* (1978): Alimentation en eau, fixation du CO<sub>2</sub> et production végétale: cas d'une prairie. in: *Costies, C.*, ed., *Photosynthèse et production végétale*. Gauthier-Villars, Paris, 239–261.
- Scholander, P. F., Hammel, H. T., Bradstreet, E. D. Hemmingsen, E. A.* (1965): Sap pressure in vascular plants. *Science*, 148: 339–346.
- Slavik, B.* (1974): Methods of studing plant water relations. *Ecological studies*, Vol. 9. Springer-Verlag, Berlin, N. York, pp. 449.
- Tomar, V. S., O'Tool* (1982): A field study on leaf water potential, transpiration and plant resistance to water flow in rice. *Crop. Sci.*, 22: 5–10.
- Turner, N. C., Begg, J. E.* (1978): Response of pasture plants to water deficit. In: *Wilson, J. R.* ed., *Plant Relations in Pastures*, CSIRO, Melbourne, pp. 50–66.
- Waring, R. H., Whitehead, D., Jarvis, P. G.* (1979): The contribution of stored water to transpiration in Scots pine. *Plant Cell and Environ.*, 2: 309–317.

Auteurs: Kalliopi Radoglou, ing. forest., Basile Noitsakis, Professeur et Maître de Conférence, Spiros Dafis, Professeur et Maître de Conférence, Laboratoire des sciences des pâturages, Université de Salonique, 54006 Salonique, Grèce.