

LIMITATION PAR LA SÉCHERESSE DE LA CROISSANCE D'*EUCALYPTUS CAMALDULENSIS* Dehn. EN CLIMAT SAHÉLO-SOUDANIEN AU SÉNÉGAL

P.-N. SALL • G. AUSSENAC • E. DREYER • A. GRANIER

Dans les zones semi-arides tropicales, la diminution rapide des surfaces forestières met de plus en plus en danger la fourniture de bois de feu et de bois de service aux populations locales. Un effort important de reboisement est ainsi devenu nécessaire pour répondre à cette situation critique. Dans ce contexte, l'utilisation d'espèces exotiques à croissance rapide, pour reconstituer les formations forestières ou remplacer les espèces locales peu productives, pourrait constituer une solution intéressante.

Eucalyptus camaldulensis est fréquemment utilisé par les forestiers en zone intertropicale subhumide à cause de sa capacité à être traité en taillis à courte révolution. Son extension a été tentée en zone semi-aride. C'est ainsi qu'au Sénégal, un vaste projet a été mis en place en 1980 près de Dakar pour remplacer les peuplements naturels à base d'*Acacia seyal* Del. très peu productifs ($1 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{an}$) par des boisements d'*Eucalyptus camaldulensis* (Cissokho, 1983). Cette dernière espèce possède un potentiel important de production. Mais, dans son aire naturelle, elle est souvent localisée près des lits de rivière. Aussi il n'est pas du tout acquis que, dans des conditions écologiques différentes avec une disponibilité en eau réduite, elle puisse maintenir une productivité élevée.

Les études publiées sur *Eucalyptus camaldulensis* ont surtout porté sur son système racinaire (Riedacker, 1972 ; Awe et al., 1976), sa résistance aux températures élevées (Kreeb, 1965) et sa consommation d'eau (Poupon, 1968). La productivité de différentes provenances a aussi été évaluée. Seuls Quraishi et Kramer (1980) et Moreshet (1981) ont publié des résultats concernant les effets de la sécheresse sur la croissance de cette espèce. Dans ce contexte, une étude a été initiée au Sénégal pour d'une part évaluer l'influence de la sécheresse sur les potentialités de croissance de cette espèce en climat sahélo-soudanien et d'autre part essayer d'améliorer les conditions de son utilisation. Les résultats de ce travail sont présentés dans cet article.

MATÉRIELS ET MÉTHODES

L'étude a été menée d'une part en conditions semi-contrôlées sur des semis en pépinière (Parc forestier de Hann-Dakar) et d'autre part en conditions naturelles dans un reboisement à Bandia.

Dans les deux expérimentations, les semis ont été obtenus à partir de graines (provenance 8411 FTB) récoltées à Koutal-verger dans la région de Kaolack au Sénégal (pluviométrie annuelle moyenne : 790 mm) ; l'origine australienne de cette provenance était Duby (W.A. ; longitude 123°59'E ; latitude 17°19'S ; pluviométrie annuelle : 610 mm).

Expérimentation en pépinière

Deux séries de mesures ont été effectuées, l'une en 1984 et l'autre en 1985. Les semis produits en germe jusqu'au stade 5 feuilles ont été ensuite installés dans des seaux en matière plastique d'une contenance de 10 litres. Le sol limono-sableux utilisé provenait du dispositif expérimental de terrain de **Bandia**. Les seaux ont été régulièrement arrosés deux fois par jour jusqu'à ce que les plants aient atteint une hauteur de 35 cm. À partir de ce stade, les plants ont été soumis à différents niveaux de sécheresse pendant 30 jours (tableau I, p. 311). Une fois le niveau de contrainte hydrique désiré atteint, le sol des seaux a été recouvert de papier sulfurisé afin d'empêcher les pertes d'eau par évaporation directe. Les seaux étaient pesés tous les jours pour évaluer la transpiration et apporter la quantité d'eau nécessaire au maintien du niveau de sécheresse prédéterminé.

La croissance en hauteur des plants a été mesurée quotidiennement et la contrainte hydrique imposée aux plants a été estimée par une mesure hebdomadaire du potentiel hydrique de base ⁽¹⁾. Les résultats sont exprimés en valeur moyenne par traitements (10 plants en 1984 et 1985).

Expérimentation en plantation

L'expérimentation a été menée dans un **reboisement** effectué dans la forêt de **Bandia** à 70 km au sud-est de Dakar. Cette région est soumise à un climat sahélo-soudanien caractérisé par une pluviométrie faible présentant en outre de fortes variations interannuelles. Ainsi, sur la période 1981-1986, la moyenne annuelle a été de **395,8** mm avec un minimum de **246,6** mm en 1983 (tableau II, p. 311). En fait, on a assisté à une diminution de la pluviométrie annuelle qui est passée de 600 mm dans les années 70 à 400 mm dans les années 80. Dans cette zone climatique, l'évapotranspiration potentielle est voisine de 2 000 mm (Riou, 1975).

Les différentes mesures (croissance des arbres et niveaux de stress hydrique) ont été effectuées dans un dispositif expérimental comportant 49 arbres (espacement 4 x 4 m) et d'une surface de 784 m². Les plants ont été plantés en juillet 1981 après déforestation et labour. Le dispositif expérimental a été maintenu désherbe par un binage mécanique (2 à 3 fois l'an).

L'évaluation du niveau de contrainte hydrique subi par les arbres a été faite à partir des mesures d'humidité du sol et des mesures de potentiel hydrique (potentiel de base et potentiel minimum) des arbres. L'humidité du sol a été mesurée à l'aide d'un humidimètre à neutrons en utilisant des tubes de duralumin permettant d'atteindre une profondeur de 3 mètres ; cependant le calcul des stocks d'eau disponibles n'a été effectué que sur 1,75 m d'épaisseur car des observations directes de racines avaient révélé que l'enracinement des arbres ne dépassait pas cette profondeur. Les mesures ont été faites une fois par mois en saison sèche et une fois par semaine en saison des pluies (période de juin à octobre). Ces mesures d'humidité du sol et les relevés pluviométriques ont permis d'établir le bilan hydrique et notamment de calculer l'évapotranspiration réelle (ETR) de la placette expérimentale.

L'évolution du potentiel hydrique des arbres a été suivie en parallèle avec l'humidité du sol. Les mesures ont été réalisées avec une bombe à pression (Aussenac et Granier, 1978) sur un

(1) Potentiel hydrique mesuré en fin de nuit, à un moment où les pertes transpiratoires sont les plus faibles, et où le potentiel des feuilles est proche de celui du sol.

Tableau I Niveaux de sécheresse imposés et transpiration cumulée de jeunes plants en conteneurs en 1984 (période du 10-07 au 9-08) et 1985 (période du 1-05 au 31-05). La réserve hydrique du sol est estimée en fraction de réserve utile, elle-même déduite d'une relation établie entre teneur en eau du sol et potentiel hydrique

Année	Nombre de plants	Réserve hydrique du sol (% RU)	Potentiel hydrique du sol (MPa)	Potentiel de base des plants (MPa)	Transpiration cumulée (g plant ⁻¹)
1984	9	100	- 0,06	- 0,70	14 585
	9	50	- 0,16	- 0,90	7312
	9	25	- 0,35	- 1,10	4613
	9	5	- 0,89	- 1,87	1 893
1985	10	25	- 0,35	- 0,92	2 651
	10	20	- 0,45	- 1,10	2174
	10	15	- 0,56	- 1,28	1 952
	10	10	- 0,79	- 1,60	1452
	10	5	- 0,89	- 1,91	1 346

Tableau II Pluviométrie et évapotranspiration réelle (ETR) annuelles, potentiel de base le plus faible atteint au cours des mêmes années et durée de la période de l'année pendant laquelle le Potentiel de base est resté inférieur à - 2,0 MPa. Relevés de la station de Bandia

Année	Pluviométrie (mm)	ETR (mm)	Ψ_B (MPa)	Durée de contrainte (mois)	Production cumulée (m ³ ha ⁻¹)
1981	403,0				
1982	445,5				
1983	246,6	253,1	- 2,5	5	
1984	327,9	328,6	- 2,5	6	
1985	474,2	462,4	- 2,3	5	3,5
1986	478,9	443,5	- 3,2	5	5,1

échantillon de 5 arbres. Deux grandeurs caractéristiques ont été retenues : le potentiel de base (Ψ_B) mesuré avant le lever du soleil et le potentiel minimum (Ψ_m) mesuré à 13 heures TU. L'étude de l'évolution conjointe des deux grandeurs, au cours du dessèchement, montre une réduction progressive de l'écart $\Delta\Psi = \Psi_m - \Psi_B$. Lorsque $\Delta\Psi$ devient inférieur à 0,3 MPa⁽²⁾, on estime avoir atteint le potentiel de base critique (Ψ_{B0}) (Aussenac et Granier, 1978). Ce niveau de contrainte s'accompagne d'un quasi-arrêt de la circulation de l'eau dans l'arbre.

La mesure de la croissance en hauteur et en circonférence a été effectuée mensuellement sur un échantillon de 42 arbres (la mortalité a affecté 7 arbres) ; bien que les mesures aient été commencées en juillet 1981, l'étude présentée ici n'a porté que sur la période 1983-1986. Les valeurs moyennes de la hauteur et de la circonférence sont passées respectivement de 323 cm et 95 mm en fin 1982 à 573 cm et 180 mm en fin 1986 (figure 1, p. 312).

(2) 1 MPa (Mégapascal) = 10 bars.

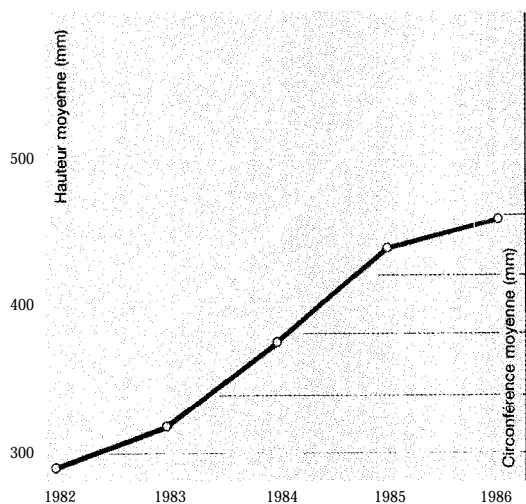


Figure 1 ÉVOLUTION DE LA HAUTEUR ET DE LA CIRCONFÉRENCE MOYENNE DE PLANTS D'*EUCALYPTUS CAMALDULENSIS* DU DISPOSITIF DE BANDIA, ENTRE 1982 ET 1986

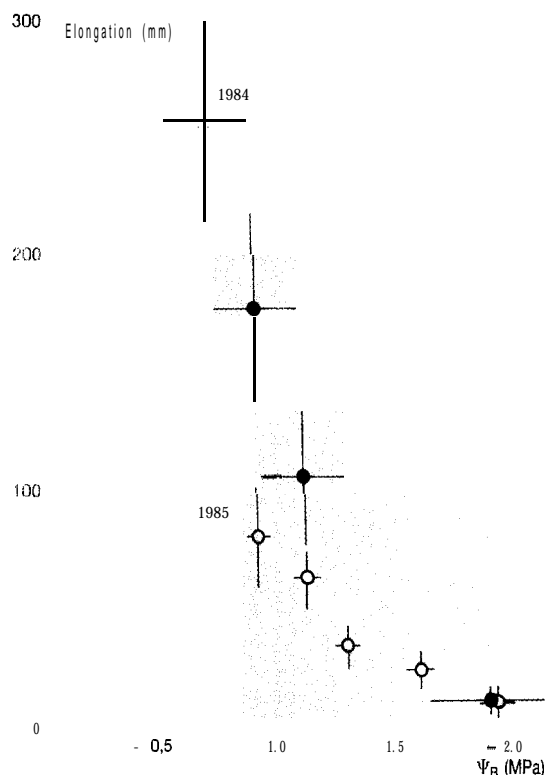


Figure 2 RELATION ENTRE LE POTENTIEL HYDRIQUE DE BASE (Ψ_B) ET L'ÉLONGATION CUMULÉE DE JEUNES PLANTS D'*EUCALYPTUS CAMALDULENSIS* CULTIVÉS EN CONTENEURS, À DIFFÉRENTS NIVEAUX DE CONTRAINTE HYDRIQUE, PENDANT 30 JOURS

RÉSULTATS

Effet de la sécheresse sur la croissance des semis

La figure 2 (ci-dessus) montre, à partir des résultats obtenus en 1984 et 1985, la relation étroite qui a pu être établie entre l'élongation moyenne cumulée des plants et leur potentiel hydrique de base (Ψ_B). Le fait que cette relation soit légèrement différente entre les deux années s'explique par des différences microclimatiques.

Il apparaît clairement sur cette figure que la croissance est fortement limitée pour un potentiel de base de $-1,9$ MPa. L'arrêt total de la croissance semble se situer très vraisemblablement vers un niveau de potentiel de base correspondant à $-2,2$ MPa.

Évolution saisonnière du potentiel hydrique des arbres en plantation

L'évolution saisonnière du potentiel hydrique de base des arbres de la plantation de Bandia est représentée par la figure 3 (p. 313). On remarque sur cette figure et aussi dans le tableau II (p. 311) que le niveau le plus bas du potentiel de base atteint au cours de la saison sèche est resté relativement stable en 1983, 1984 et 1985. En 1986, la contrainte hydrique a été plus forte ($-3,2$ MPa) bien que la pluviométrie en 1985 ait été « relativement » importante. On peut attribuer ce phénomène au développement de la biomasse feuillée des arbres qui a entraîné une transpiration accrue. On remarquera par ailleurs (tableau II) que, pour toutes les années considérées, l'évapotranspiration réelle (ETR) est pratiquement égale à la pluviométrie annuelle, ce qui signifie que le couvert d'*Eucalyptus* exploite la totalité de l'eau disponible.

L'évolution de $\Delta\Psi$ (écart entre Ψ_m et Ψ_B) en fonction de l'accroissement de la sécheresse (dont l'intensité est estimée par Ψ_B , potentiel de base) est représentée sur la figure 4 (ci-dessous). On constate une diminution quasi linéaire de $\Delta\Psi$ en fonction de Ψ_B . La valeur critique (Ψ_{B0}) est atteinte aux alentours de $-3,2$ MPa.

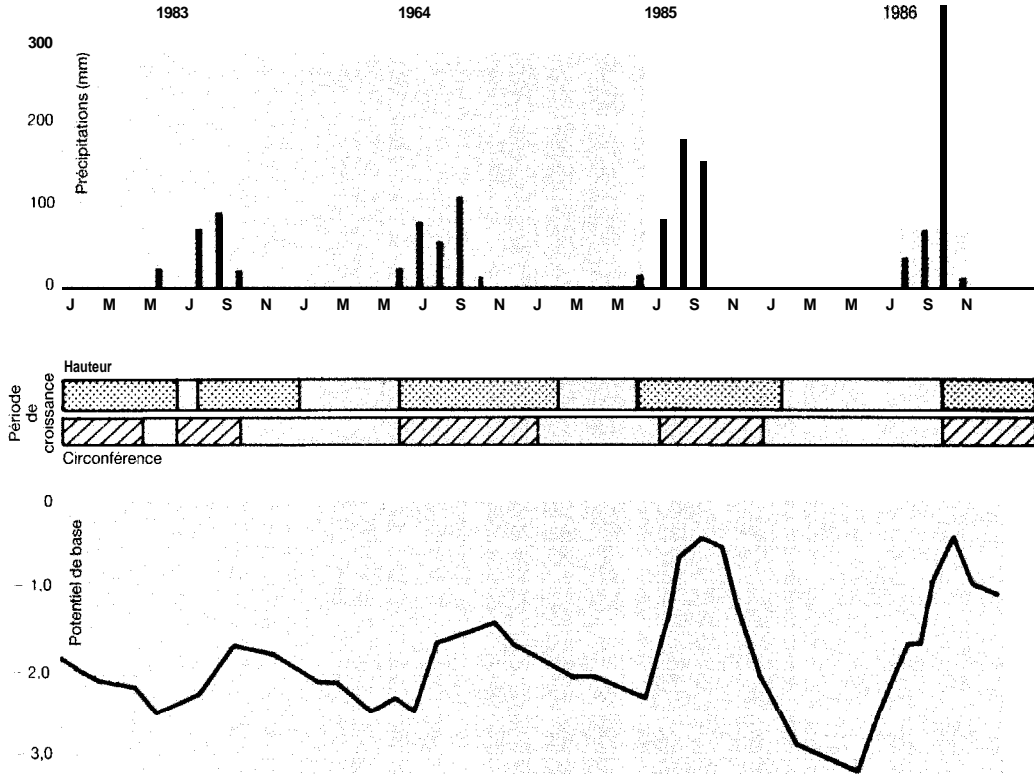
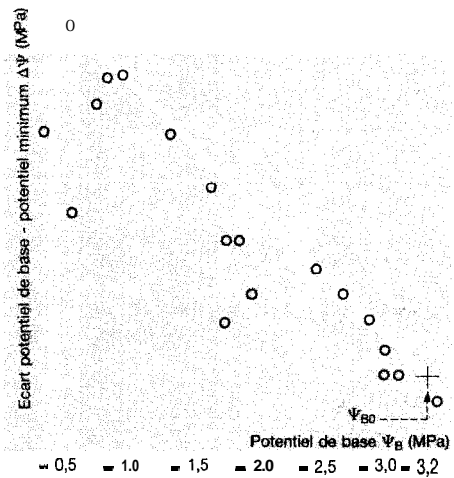


Figure 3
ÉVOLUTION DES PRÉCIPITATIONS MENSUELLES, DES PÉRIODES DE CROISSANCE EN HAUTEUR (H) ET EN CIRCONFÉRENCE (C) ET DU POTENTIEL HYDRIQUE DE BASE Ψ_B DE PLANTS *DEUCALYPTUS CAMALDULENSIS* OU DISPOSITIF DE BANOIA, ENTRE 1982 ET 1986. ON REMARQUERA LES FAIBLES VALEURS DE Ψ_B PENDANT LES SAISONS DES PLUIES DE 1983 ET 1984, MARQUÉES PAR DES PRÉCIPITATIONS RÉDUITES

Figure 4
 RELATION ENTRE LE POTENTIEL DE BASE Ψ_B ET L'ÉCART $\Delta\Psi$ ENTRE Ψ_B ET POTENTIEL MINIMUM Ψ_m . LORSQUE CET ÉCART SE RÉDUIT À DES VALEURS VOISINES DE **0,3 MPa**, ON ADMET AVOIR ATTEINT LE POTENTIEL DE BASE CRITIQUE Ψ_{B0}



Effets de la sécheresse sur la croissance des arbres en plantation

La production cumulée de bois depuis l'origine de la plantation a été estimée à 5,1 m³/ha, soit un accroissement moyen sur cinq années de 1,03 m³/ha/an.

Pour des raisons techniques, l'évaluation en conditions naturelles des niveaux de contrainte hydrique qui limitent la croissance est difficile. On peut cependant remarquer sur la figure 3 (p. 313) que, dans les conditions de Bandia, on n'a pas observé de croissance en hauteur, ni en circonférence en deçà d'un potentiel de base de - 2,5 MPa.

Si l'on se réfère maintenant aux résultats de l'étude effectuée en conditions semi-contrôlées, on peut finalement conclure que le niveau de contrainte hydrique provoquant l'arrêt de la croissance (hauteur et circonférence) chez *Eucalyptus camaldulensis* se situe à des valeurs de potentiel de base comprises entre - 2,2 MPa et - 2,5 MPa.

Sur la figure 3 (p. 313) et le tableau I (p. 311), on peut aussi remarquer qu'en 1986, alors que la durée de la période de sécheresse marquée a été du même ordre de grandeur que lors des années précédentes, l'existence d'une (contrainte hydrique très forte ($\Psi_B = - 3,2$ MPa) a entraîné une reprise très tardive de la croissance (août, Ψ_B potentiel de base correspondant voisin de - 1,0 MPa). Ce niveau de stress semble donc avoir fortement perturbé le fonctionnement des méristèmes apicaux et du cambium.

DISCUSSION ET CONCLUSIONS

Les résultats de notre expérimentation de terrain montrent qu'en région sahélo-soudanienne *Eucalyptus camaldulensis* est soumis à des contraintes hydriques considérables. Le potentiel de base reste élevé en saison des pluies, mais il baisse très fortement pendant la saison sèche : les arbres de cette expérience ont été soumis 5 à 6 mois à des potentiels de base inférieurs à - 2,0 MPa. Les résultats obtenus montrent aussi que chez cette espèce le blocage de la consommation d'eau n'intervient que pour un stress hydrique important de l'ordre de - 3,2 MPa.

Bien qu'aucune autre analyse de potentiel de base critique ne soit disponible, on peut cependant souligner que des résultats voisins des nôtres ont été obtenus par d'autres auteurs : ainsi Runwald et Karshon (1982) observent que, lorsque le potentiel de base atteint - 3,0 MPa, le potentiel minimum est voisin de - 3,4 MPa. De leur côté, en conditions expérimentales, Quraishi et Kramer (1980) observent une fermeture stomatique à des potentiels de base inférieurs à - 2,8 MPa.

Eucalyptus camaldulensis peut ainsi être considéré comme une espèce relativement tolérante au stress hydrique et sur ce plan peut se comparer à des espèces forestières de climat méditerranéen, par exemple *Quercus ilex*, *Quercus pubescens* et *Cedrus atlantica* (Aussenac et Valette, 1982).

En conditions naturelles, en dessous d'un potentiel de base compris entre - 2,2 MPa et - 2,5 MPa, la croissance d'*Eucalyptus camaldulensis* n'est plus possible. Ce niveau de contrainte hydrique est très voisin de celui obtenu en conditions de laboratoire par Quraishi et Kramer (1980) ; sur ce plan, *Eucalyptus camaldulensis* semble moins performant que *Eucalyptus melliodora*, *Eucalyptus microcarpa*, *Eucalyptus polyanthemos*, *Eucalyptus sideroxylon* (Clayton-Greene, 1983).

À titre comparatif, il est intéressant d'indiquer les niveaux limitants de potentiel hydrique de base connus pour d'autres espèces, notamment de régions tempérées humides ou sèches, pouvant entraîner un arrêt de croissance : 0,8 MPa pour *Juglans regia* (Dreyer, 1984),

- 1,1 MPa pour *Fraxinus excelsior* et *Quercus robur* (Aussenac et Lévy, 1983), - 1,5 MPa pour *Pseudotsuga menziesii* (Grieu, 1986) et - 2,0 MPa pour *Cedrus atlantica* (Aussenac et Finkelstein, 1983).

On remarquera qu'*Eucalyptus camaldulensis*, quoique plus tolérant à la sécheresse que des espèces appartenant à des zones climatiques plus favorables à la croissance, ne présente cependant pas le degré d'adaptation qu'on aurait pu attendre, en regard de l'aridité des zones dans lesquelles on a voulu l'introduire. Au plan pratique, on peut dire que si *Eucalyptus camaldulensis* présente une forte capacité de tolérance au stress hydrique, sa production est quand même très faible en climat sahélo-soudanien à pluviosité annuelle inférieure à 500 mm. En comparaison, rappelons qu'en climat soudanien (pluviométrie annuelle moyenne comprise entre 600 et 700 mm), sa production peut atteindre 7 à 8 m³/ha/an (Sall, 1988).

Ces résultats et l'échec de différents autres essais d'introduction de cette espèce en zones très sèches reposent le problème de la recherche d'espèces autochtones ou exotiques susceptibles d'avoir une production significative de bois, dans les zones sahélo-soudaniennes recevant moins de 500 mm de précipitations annuelles.

P.-N. SALL
CENTRE NATIONAL DE RECHERCHES FORESTIÈRES ISRA
Parc forestier de Hann-Dakar
BP 2312
DAKAR SÉNÉGAL

G. AUSSENAC • E. DREYER • A. GRANIER
Station de Sylviculture et de Production
CENTRE DE RECHERCHES FORESTIÈRES (INRA)
CHAMPENOUX 54280 SEICHAMPS

BIBLIOGRAPHIE

- AUSSENAC (G.), FINKELSTEIN (D.). — Influence de la sécheresse sur la croissance et la photosynthèse du Cèdre. — *Annales des Sciences forestières*, vol. 40, 1983, pp. 67-77.
- AUSSENAC (G.), GRANIER (A.). — Quelques résultats de cinétiques journalières du potentiel de sève chez les arbres forestiers. — *Annales des Sciences forestières*, vol. 35, n° 1, 1978, pp. 19-32.
- AUSSENAC (G.), LÉVY (G.). — Influence du dessèchement du sol sur le comportement hydrique et la croissance du Chêne pédonculé (*Quercus pedunculata* Ehrh.) et du Frêne (*Fraxinus excelsior* L.) cultivés en vases de végétation. — *Annales des Sciences forestières*, vol. 40, 1983, pp. 251-264.
- AUSSENAC (G.), VALETTE (J.-C.). — Comportements hydriques estivaux de *Cedrus atlantica*, *Quercus ilex* et *Quercus pubescens*, et de divers pins dans le Mont Ventoux. — *Annales des Sciences forestières*, vol. 39, n° 1, 1982, pp. 41-42.
- AWE (J.O.), SHEPHERD (K.R.), FLORENCE (R.G.). — Root development in provenances of *Eucalyptus camaldulensis* Dehn. — *Australian Forestry*, vol. 39, 1976, pp. 201-209.
- CISSOKHO (C.). — La Place de l'*Eucalyptus* dans la politique forestière du Sénégal. — Dakar : Ministère de la Protection de la Nature, 1983.
- CLAYTON-GREENE (K.A.). — The tissue water relationship of *Callitris columellaris*, *Eucalyptus melliodora* and *Eucalyptus microcarpa* investigated using the pressure volume technique. — *Oecologia*, 57, 1983, pp. 368-373.

- DREYER (E.). — Comportement d'une plante pérenne soumise à des contraintes hydriques : réponses physiologiques de jeunes noyers soumis à des périodes de sécheresse. — Université de Clermont-Ferrand, 1984. — 160 p. (Thèse).
- GRIEU (P.). — Écophysiologie du Douglas : contribution à l'étude de l'influence des déficits hydriques sur les échanges gazeux, la croissance et l'accumulation des métabolites organiques. — Université de Nancy, 1986. — 169 p. (Thèse).
- KREEB (K.). — Untersuchungen über die Hitze und Trockenresistenz an australischen Immergrünen im Keimlingsstadium. — *Bericht df. Bof. Ges.*, 78. 1965, pp. 90-98.
- MORESHET (S.). — Physiological activity in a semi arid environment of *Eucalyptus camaldulensis* Dehn. from two provenances. — *Australian Journal Bot.*, 29, 1981, pp. 97-110.
- POUPON (H.). — Premières études des caractéristiques hydriques des feuilles d'*Eucalyptus camaldulensis* en Tunisie. — *Annales de l'Institut national de la Recherche agronomique de Tunisie*, 1, 1968, pp. 1-22.
- QURAIISHI (M.A.), KRAMER (J.T.). — Water stress in three species of Eucalyptus. — *Forest Science*, 16. 1970. pp. 74-78.
- RIEDACKER (A.). — Physiologie des souches d'*Eucalyptus camaldulensis* traitées en taillis au Maroc. Le problème de leur vieillissement. — Comptes rendus du VIII^e Congrès forestier mondial, Buenos Aires. 1972.
- RIOU (C.). — La Détermination pratique de l'évapotranspiration. — ORSTOM, 1975. — 236 p.
- RUNWALD (C.), KARSHON (A.). — Leaf xylem water potentials and water saturation deficits as related to seed origin of *Eucalyptus camaldulensis*. — *Australian Forest Research*, 12, 1982, pp. 175-181.
- SALL (P.-N.). — Etude écophysiologique de *Eucalyptus camaldulensis* Dehn. en zone sahélo-soudanienne. — Université de Nancy, 1988. — 202 p. (Thèse).
- SCHOLANDER (P.F.), HAMMEL (H.T.), BRADSTREET (E.D.), HEMMINGSEN (E.A.). — Sap pressure in vascular plants. — *Science*, 148. 1965. pp. 339-346.