

d'épandage. On bénéficie en outre des avantages que représente un sol forestier dans la fonction épuratoire.

- Il peuvent provenir, aussi, de la déprise agricole, dont les surfaces abandonnées présentent certainement toutes les qualités topographiques requises pour des infrastructures d'épandages. Ce choix permettrait en outre de donner à ces espaces une nouvelle utilité, en les conciliant avec des plantations à forte croissance fixatrices de CO₂ telles que le prévoit le

plan de réduction des gaz à effet de serre.

L'expérience de Cogolin a fonctionné pendant 7 ans. Elle a permis d'aborder certains aspects mais elle aurait du se poursuivre encore quelques années afin :

- de récolter des observations sur le long terme toujours nécessaires en matières forestières et d'environnement,

- de demeurer un exemple et une vitrine pour d'autres réalisations.

Il manquait, pour cela une volonté politique et administrative qui n'a pas compris l'intérêt scientifique, ni pressenti l'évolution écologique de notre société et les demandes qui en résulteraient en matière d'aménagement et de gestion du territoire.

Elle s'est arrêtée aux contraintes immédiates que représentait cet essai et aux pressions des gestionnaires de station d'épuration.

Epandages d'eaux usées en plantations forestières en Nouvelle-Zélande : comparaison des performances de différentes espèces forestières

par Jean-Michel CARNUS*,

d'après un article de ID. NICHOLAS, J.M. CARNUS & G.R. OLIVER **

Introduction

En Nouvelle-Zélande, les systèmes d'épuration par épandages d'effluents municipaux ou industriels se sont mis en place, pour la plupart depuis 15 ans, dans les plantations de *Pinus radiata* (CARNUS et al. 1994), l'espèce forestière commerciale dominante. Bien que, dans le cadre de ces programmes en Nouvelle-Zélande, les feuillus n'aient pas été autant étudiés que *Pinus radiata*, certaines espèces de feuillus (en particulier les eucalyptus) suscitent un intérêt du fait de leur taux élevé de croissance initiale et des caractéristiques de leur bois (fibres courtes, densité élevée). Ces facteurs contribuent d'une part, à la capacité

des feuillus à produire dans leur jeunesse davantage de biomasse que les conifères et, d'autre part, à leur aptitude lorsqu'ils sont gérés en rotations courtes à produire du bois à des fins énergétiques ou de pâte à papier. Combinés à une exploitation en taillis, ce sont de précieux atouts dans un système d'épuration par le sol où une croissance rapide en bas âge témoigne généralement d'un fort besoin en eau et en éléments nutritifs. Pendant la dernière décennie en Nouvelle-Zélande, plusieurs essais et projets d'épandages en plantations forestières ont vu le jour : des eucalyptus ont remplacé les pins du fait de leur aptitude à supporter les apports d'effluents et à produire du bois à des fins énergétiques. Cet article passe en revue ces essais et compare la performance des différentes espèces sous un régime d'irrigation intégrant des effluents.

Les essais en Nouvelle-Zélande se sont appuyés sur des plans expérimen-

taux différents en fonction des priorités de la recherche (Cf. Tab. I) : évaluation des espèces quant à leur survie et leur première croissance, volume produit, consommation potentielle d'éléments nutritifs ; des études plus exhaustives, aussi, visant à évaluer les effets environnementaux au niveau des sites ou des bassins versants. Quelques 13 espèces forestières ont fait l'objet d'évaluations aux sites de recherche figurant dans cet article (Cf. Tab. II).

Description des essais et des résultats

Whakarewarewa - Rotorua

Partie intégrante du système de géo-épuration à Rotorua décrit par Tomer

* INRA Bordeaux Cestas
Unité de recherche forestière
BP 45 - 33611 Gazinet cedex

** New Zealand Forest Research
Institute, Rotorua

Sites	Année de plantation	Type d'effluent	Dose d'apport (mm/wk)	Surface ^B (ha)	Observations
Waitangi	1983 ^A	effluent domestique	25	1,2	
Horotiu	1985 ^A	effluent d'abattoir			placette linéaire
Whakarewarewa (Rotorua)	1990	effluent domestique	50-80	300	partie du système de géo-épuration à Rotorua
Oringi 1	1987 ^A	effluent d'abattoir			essai de plantation
Oringi 2	1991/94	effluent d'abattoir	40-50	100	projet opérationnel
Whitford (Manukau)	1992 ^A	lixiviât de décharge	68	0,6	site d'essai exclusivement
Moturere	1989	effluent de fosse septique	10-70	1,2	projet opérationnel
Whiritoa	1989	effluent domestique	5-20	6	projet opérationnel

A : Sites exploités, ne faisant plus l'objet de contrôle

B : Surfaces correspondant à la surface totale du projet

Tab. I : Essais d'irrigation avec effluents sur feuillus en Nouvelle-Zélande

et al. (1997), des placettes ont été installées en 1990 dans un dispositif en bloc (NICHOLAS et al. 1994), comprenant *Eucalyptus nitens* (*E.nitens*), *E.saligna*, *E.botryoides*, *Acacia melanoxylon* et *Cupressus macrocarpa*. Des carrés identiques répétés (2) de 30 m de côté avec une dimension intérieure de 10x10 m, appelés contrôle, standard et élevé, ont reçu depuis octobre 1991 des apports respectifs de 0, 56 et 86 mm/semaine d'un effluent domestique ayant subi un traitement tertiaire. Ces parcelles sont attenantes à des plantations de *P.radiata* décrites par Thorn et al. (1997). Pendant les premières six années de l'essai, *E.nitens* s'est révélée l'espèce la plus productive (Cf. Fig. 1, 2, 3). Son rendement supérieur a été attribué à sa croissance initiale plus vigoureuse et au fait qu'elle a complètement investi le site, limitant ainsi, pendant la phase d'installation, la concurrence des adventices. Les autres espèces, de croissance moins rapide, ont souffert de cette concurrence : il est possible que leurs performances auraient été améliorées par un apport d'intrants plus important au moment de leur installation. *E.nitens* a été affecté par une certaine mortalité, notamment dans une des parcelles recevant un apport d'effluents élevé. Ce phénomène serait plus grave, a-t-on suggéré, là où un sous-bois ligneux a induit des conditions d'humidité permanente autour des troncs (M. McCONCHIE, comm. pers.). Quant à la qualité du bois, des échantillons de croissance (carottes)

Site / espèces	Whakarewa-rewa	Oringi 1-2	Moturere	Whiritoa	Whitford
<i>E. saligna</i>	✓				
<i>E. botryoides</i>	✓	✓		✓	✓
<i>E. camaldulensis</i>		✓			✓
<i>E. ovata</i>	✓	✓			✓
<i>E. nitens</i>	✓		✓		✓
<i>E. globulus</i>	✓	✓			✓
<i>E. grandis</i>					✓
<i>A. dealbata</i>	✓	✓			
<i>A. melanoxylon</i>	✓	✓			
<i>C. macrocarpa</i>	✓				
<i>Juglans nigra</i>	✓				
<i>Paulownia tomentosa</i>	✓				
<i>Pinus radiata</i>	✓				

Tab. II : Espèces forestières étudiées aux sites principaux

prélevés dans les parcelles de type contrôle et standard ne montrent pas de différence significative (<3 kg/m³) entre les densités moyennes des bois issus des deux types de parcelles.

Des rangées composées de 10 arbres espacés de 2 m ont été plantées et répétées hors des placettes en bloc et comprenaient *E.botryoides*, *E.ovata*, *E.nitens*, *E.saligna*, *E.globulus*, *A.melanoxylon*, *A.dealbata*, *Pawlonia tomentosa* (plantés en 1991), *C.macrocarpa* et *Juglans nigra* (plantés

en 1991). Dans ces îlots à rangées, la mauvaise performance de *E.ovata* en terme de survie et de croissance, sont surprenants, étant donné que cette espèce s'est mieux comportée dans des essais ailleurs en Nouvelle-Zélande. Aucune explication n'est convaincante. Le comportement de *E.globulus* et de *A.dealbata* dans les placettes à rangée montre qu'il serait opportun de poursuivre la recherche avec ces deux espèces, notamment en les comparant à *E.nitens*.

Associé au mauvais taux de survie et de croissance des autres espèces, le meilleur comportement de *E. nitens* a infléchi la recherche qui s'axe dorénavant sur la collecte des données pour *E. nitens* dans les placettes en bloc. Les différentes moyennes pour *E. nitens* dans les placettes irriguées (apport standard) à 6 ans d'âge étaient de 16,3 m pour la hauteur, 18,8 cm pour le diamètre à 1,40 m et, pour le volume des troncs, 195 m³/ha. Pour *P. radiata* à 5,2 ans, également planté dans les placettes irriguées standard, les moyennes correspondantes étaient de 8,8 m, 21 cm et 52 m³/ha. Un échantillonnage de biomasse, prélevé sur 10 arbres à 6 ans d'âge dans les placettes de contrôle de *E. nitens* d'une densité de 2 200 troncs/ha, montre une biomasse aérienne totale de 28 TMS/ha.an, ce qui représente une des valeurs les plus élevées obtenues en Nouvelle-Zélande pour une biomasse d'eucalyptus de cet âge.

Oringi

En 1987, une plantation expérimentale de 6 ha a été établie afin de déterminer quelles seraient les meilleures espèces, la meilleure méthode d'irrigation, la meilleure densité et le meilleur taux d'apport dans le cas de l'utilisation d'un effluent d'abattoir ayant subi un traitement primaire. Les espèces utilisées étaient *E. botryoides*, *E. ovata*, *E. camaldulensis*, *A. melanoxylon* et *A. dealbata*. On a évalué, également, les densités - 2m x 1m et 3m x 1m (5 000 et 3 333 plants/ha) - associées à différents types d'irrigation : aspersion à deux taux (20 et 40 mm/semaine), tuyaux perforés ou irrigation par submersion. Au total, 116 placettes linéaires (rangs jumelés de 10 arbres) ont été établies puis suivies pendant 2,8 ans. A ce stade, la biomasse a été mesurée à partir d'une sélection de placettes de *E. botryoides* et *E. ovata* (BARTON et al. 1991).

E. botryoides, *E. ovata* et *A. dealbata* se sont révélées les espèces les plus performantes (Cf. Fig.4) tandis que les résultats pour *E. camaldulensis* étaient très faibles, tant pour la croissance que pour la forme. A partir de ces constats, il a été décidé d'entreprendre une plantation opérationnelle avec épandages

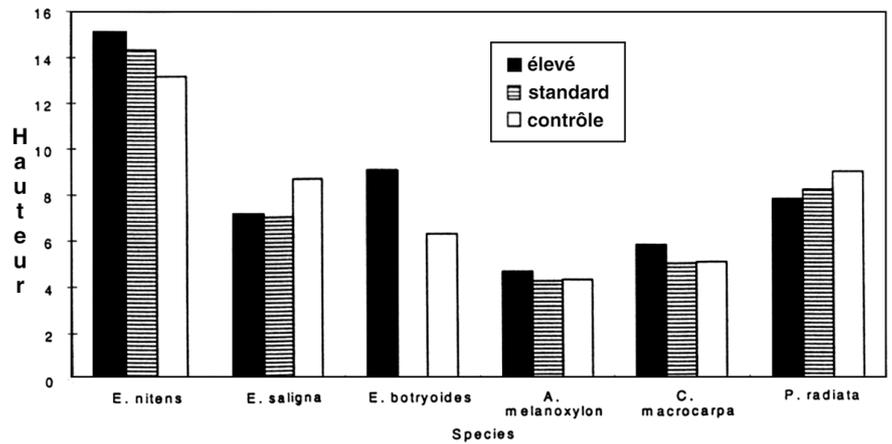


Fig. 1 : Hauteur moyenne (m) dans les placettes à 6 ans

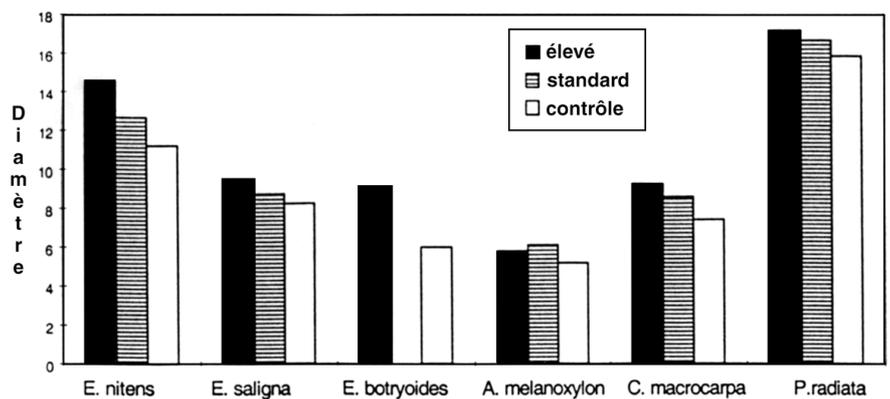


Fig. 2 : Diamètre moyen (cm) dans les placettes à 6 ans

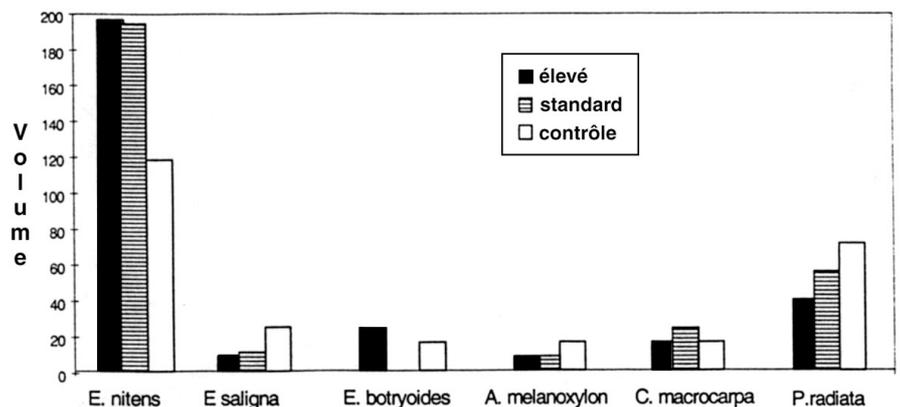


Fig. 3 : Volume moyen (m³/ha) des placettes à 6 ans

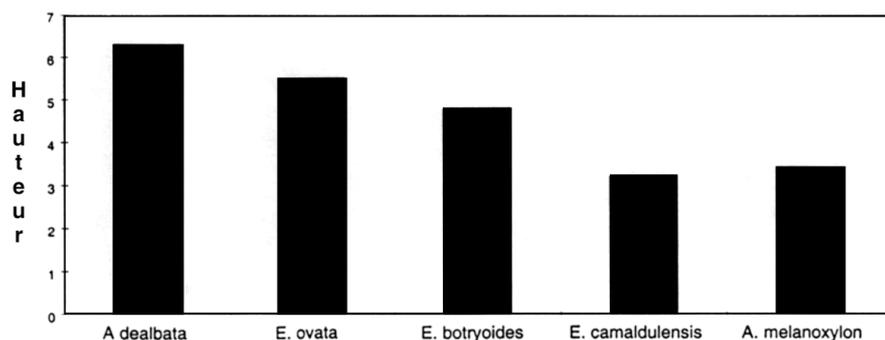


Fig. 4 : Hauteur moyenne à 2,8 ans des espèces évaluées dans l'essai d'irrigation par aspersion, à Oringi.

d'effluents prétraités en trois étapes. Dès 1991, 30 ha ont été plantés et, parallèlement, un bassin de traitement anaérobique de 80 000 m³ a été construit. Par la suite, deux autres plantations de 30 ha chacune ont été établies, l'une en 1993, l'autre en 1994. Cette dernière comportait essentiellement du *E. globulus*, *E. ovata* et *E. botryoides*. La biomasse était destinée au chauffage, en remplacement du charbon, mais pour des raisons économiques cette utilisation n'a pas été concrétisée (H. LOWE, pers. comm.).

Whitford

L'objectif initial de l'essai conduit à Whitford, dans la région d'Auckland, était de déterminer quelles espèces d'eucalyptus valoriseraient le mieux des apports de lixiviat de décharge prétraité. Le test sur espèces a été mis en place pendant l'hiver 1992, avec cinq espèces (*E. globulus*, *E. ovata*, *E. botryoides*, *E. camaldulensis* et *E. grandis*). Chaque placette, carrée, mesurait 12 m de côté avec un espacement entre les arbres de 2 m (pour un total de 36 arbres par îlot, équivalent à 2 500 plants /ha). Seuls les 16 arbres de l'intérieur de la placette ont été prélevés pour une analyse foliaire ainsi que pour la mesure du diamètre et de la hauteur. Le diamètre moyen, la hauteur moyenne, la surface terrière et le volume du tronc ont été déterminés. La biomasse ligneuse (masse du tronc)

a été calculée à partir des mesures de la densité des bois. Chaque espèce est représentée par un ensemble de 8 placettes (288 arbres par espèce), dont deux de contrôle et six irriguées. L'ensemble des 40 placettes a été regroupé en 8 blocs représentatifs, la surface globale de l'essai s'élevant à 0,6 ha. Tout au long de l'expérience (3,75 ans), le lixiviat de décharge prétraité a été apporté de manière régulière par aspersion (irrigation par un quadrillage de sprinklers de 16 m x 16 m). Le niveau des apports était relativement élevé (moyenne de 68 mm/semaine, avec de grandes variations saisonnières) : ceci correspondait également à des valeurs élevées sur le site de la charge appliquée en sel, d'éléments nutritifs et de métaux, conséquence des concentrations importantes dans l'effluent de la décharge. *E. globulus* s'est révélé l'espèce la plus productive avec un effet positif sur le diamètre des arbres de l'apport de l'effluent. Après presque 4 ans, les moyennes de la hauteur, de la croissance (surface terrière) et de la biomasse des troncs étaient respectivement de 12,3m, 22m²/ha.an et 9,5 TMS/ha.an dans les placettes irriguées (tandis que, dans les îlots de contrôle, les équivalents étaient de 12,3 m, 17m²/ha.an et 7,3 TMS/ha.an respectivement). Les analyses foliaires ont montré, également, que *E. globulus* avait un certain potentiel pour l'accumulation du bore. La densité du

bois de cœur (mesuré à une hauteur de 1,40 m) à l'âge de 3,75 ans dans les placettes de contrôle s'est révélée 2 à 6% plus grande que celle des bois issus des placettes irriguées avec le lixiviat de décharge prétraité. L'espèce la plus dense était *E. globulus*, la plus faible étant *E. grandis*, avec des valeurs respectives de 433kg/m³ et 384kg/m³.

Autres sites en Nouvelle-Zélande

Les performances très positives des eucalyptus dans les essais décrits ci-dessus sont confirmées par l'expérience obtenue dans d'autres programmes opérationnels où la croissance des arbres a été également suivie. A Whiritoa (côte est de la péninsule de Coromandel, Ile du Nord), les rendements ont augmenté grâce à un effluent domestique prétraité apporté à une plantation de 6 ha de *E. botryoides* à des doses allant de 5 mm/semaine (en hiver) à 20 mm/semaine. Cependant, lors de suivis récents, alors que les hauteurs relevées ont été supérieures dans les placettes irriguées, les diamètres étaient semblables dans les deux types de placettes (irriguée et contrôle). (40 arbres/placette ; densité de 2500 arbres/ha). La différence entre les rendements des placettes irriguées et celles de contrôle était d'environ 50 % à l'âge de 5 ans et 23 % à 7 ans. La productivité a atteint son niveau le plus élevé dans les placettes irriguées au bout de 6 ans (total de la biomasse aérienne évaluée à 30 TMS/ha.an). A 6 ans, la hauteur moyenne, la surface à la base et la biomasse des troncs étaient, respectivement, de 17,4 m, 41 m²/ha.an et 25,6 tMS/ha.an dans les placettes irriguées. Sur ce site, on a noté la rétention d'éléments nutritifs, aussi bien dans le sol que dans les arbres. Le bois, récolté en 1996 (âge de 7 ans) sur un tiers de la superficie (2 ha), a servi localement pour le chauffage et, pendant l'été 1996-97, on a observé dans les parcelles irriguées une bonne formation de taillis à partir des souches restées en place.

Dans une autre station (1,5 ha), sur les rives du Lac Taupo au centre de l'Ile du Nord, des eucalyptus ont bien réagi encore une fois à un système

d'épandage où un effluent non-traité a été apporté par aspersion. Dans ce cas, *E. nitens*, plantés en rangées doubles à des intervalles de 15 m (2744 arbres/ha), s'est très bien comporté. A l'âge de 3,3 ans, le diamètre moyen était de 13,8 cm et la hauteur moyenne de 10 m.

Le tableau III donne un résumé des résultats des essais pour une variété de sites où un effluent domestique (ou de décharge) a été apporté par aspersion à des taux variés pendant 3 à 5 ans. Ces sites sont d'une bonne fertilité naturelle, ne souffrant pas en été d'un déficit hydrique. Les résultats laissent penser que, pour les espèces les plus performantes sous un régime d'irrigation avec effluents, les niveaux de production en volume après 6 ans ont dépassé 30 m³/ha.an.

Conclusions

Ces résultats laissent penser que certaines espèces d'Eucalyptus, telles que *E. nitens* ou *E. botryoides*, peuvent atteindre des niveaux élevés de production de biomasse dans les conditions tempérées de la Nouvelle-Zélande et sous un régime d'épandage raisonné d'eaux usées. Bien qu'en Nouvelle-Zélande ces espèces doivent être considérées comme des alternatives à *Pinus radiata* dans le cadre de projets d'irrigation intégrant des effluents, il demeure néanmoins nécessaire d'évaluer, à l'aide de programmes de recherche pluridisciplinaires, les meilleurs régimes de sylviculture et de valorisation des éléments nutritifs, les débouchés commerciaux pour la biomasse produite ainsi que la viabilité économique globale.

Site et espèces	Densité initiale (troncs/ha)	Volume des troncs (m ³ /ha)	Productivité (m ³ /ha.an)
Wharewarewa(6 ans)			
<i>E. nitens</i>	2,500	195	32,5
<i>Pinus radiata</i>	1,667	52	10
Whiritoa (6 ans)			
<i>E. botryoides</i>	2,500	190	31,6
Whitford (3,7 ans)			
<i>E. globulus</i>	2,500	82	22

Tab. III : Résumé des résultats (volume des troncs et productivité) des essais d'irrigation d'arbres avec effluents en Nouvelle-Zélande

Remerciements

Nous voudrions remercier tous ceux qui, en Australie et en Nouvelle-Zélande, nous ont tenus au courant de leurs activités de recherche ainsi que ceux en Australie qui nous ont si généreusement fait visiter leurs sites d'essais. Les commentaires de Justin Ford-Robertson, Bob Schula et Tat Smith, de même que l'assistance de Alan Thorn et Judy Dunlop, ont été d'une grande aide lors de la rédaction de cet article. Que Keld Hauge Nielsen du Danish Forest and Landscape Research Institute soit ici particulièrement remercié pour son travail sur les essais de Whitford.

Bibliographie

- Barton, P.G., G.R. Oliver, I.D. Nicholas and A.J. Thorn. 1991. Suitability and growth of tree species irrigated with meat processing wastewater. pp. 109-110. In : Ryan, P.J. (Ed) " Productivity in Perspective ". Proc. Third Australian Forest Soils and Nutrition Conference, Melbourne, 7-11 Oct 1991. (For. Comm. NSW : Sydney)
- Carnus, J.M., S.P. Pandey and A.J. Fenton. 1994. Sustainable land treatment systems. Proc. of the Sustainable Land Management Conference. Lincoln University, New Zealand, April 1994.
- Nicholas, I.D. 1986. Growing Firewood-Management Considerations. In :Shula, R.G., A.E. Hay and G.L. Tarlton. (Eds). The Firewood Venture. NZFRI Bulletin n°137
- Nicholas, I.D., A.E. Hay and J.B. Ford-Robertson. 1994. Specialty timber species for land treatment schemes. In : NZ Land Treatment Collective Proceedings of Crop Selection and Economic Considerations for Land Treatment Systems, Palmerston North, November 1994.
- Stace, C.E. 1996. Response of three willow species to irrigation with partially treated dairy shed effluent. pp. 142-146. In : Polglase, P.J. and W.M. Tunningley (Eds.). " Land Application of Wastes in Australia and New Zealand : Research and Practice ". Proc. New Zealand Land Treatment Collective Technical Session 14, 30 Sept.-1 Oct. 1996, Canberra, Australia. (CSIRO Forestry and Forest Products : Canberra).
- Tomer, M.D., T.H. Charleson, C.T. Smith, L. Barton, A.J. Thorn and G.J.H.P. Gielen. 1997. Evaluation of treatment performance and processes after five years of wastewater application at Whakarewarewa Forest, New Zealand. Proc. Symp. The Forest Alternative : Principles and Practice of Residuals Use. 14-16 July 1997. Seattle, WA, USA. (in press)
- Thorn, A.J., C.T. Smith, M.D. Tomer and S. Pearce. 1997. Productivity, nutrition, and health of *Pinus radiata* during five years of effluent irrigation at the Rotorua Land Treatment System. Proc. Symp. The Forest Alternative : Principles and Practice of Residuals Use. 14-16 July 1997. Seattle, WA, USA. (in press)