

Mai 1997

Les protections de plants à effet de serre :

2 : amélioration DE LEUR EFFICACITE par aération optimisée et luminosité accrue

Christian DUPRAZ

Institut National de la Recherche Agronomique

Laboratoire d'Ecophysiologie des Plantes (LEPSE)

Centre de Recherches de Montpellier

34060 Montpellier

Résumé

L'aération des protections individuelles de plants à effet de serre est indispensable pour approvisionner correctement l'arbre en dioxyde de carbone. Une aération trop importante risque cependant de provoquer des transpirations excessives qui risquent de placer l'arbre dans une situation de stress hydrique prononcé. On teste l'impact d'une solution intermédiaire qui consiste à aérer l'abri par effet de cheminée thermique, avec un trou de tirage situé à la base de l'abri. On croise cet effet avec deux niveaux de luminosité de l'abri. Ce dispositif concerne 7 essences d'arbres, réparties sur 5 sites dispersés sur le territoire français, et installées en 1992. Après trois saisons de croissance, il apparaît que l'aération par effet cheminée permet d'améliorer de 36 % en moyenne la croissance en diamètre des arbres protégés par rapport aux abris habituels. Des abris plus lumineux permettent de mieux valoriser l'effet de l'aération. Cet effet favorable s'accroît au cours de la première année qui suit l'émergence hors de l'abri.

Abstract

Ventilating tree shelters is a requisite to provide enough carbon dioxide to the protected foliage. A strong ventilation may endanger the tree, as a result of abnormal high transpiration rates. An intermediate option is to ventilate the shelter using a thermal chimney effect, obtained with an air inlet at the bottom of the shelter. An experimental network including 7 tree species in 5 sites scattered on the French territory was set up in 1992. Experimental treatments include 6 levels of ventilation crossed with two levels of light transmission. After three growing seasons, a 36% increase in tree diameter growth in chimney shelters is evidenced. More translucent shelters help the trees to take advantage of the ventilation. This favourable impact is still running during the first year after emergence on top of the shelter.

1. Introduction

Les protections individuelles à effet de serre utilisées pour protéger les jeunes plants d'arbres contre l'abrutissement ou les frotis du gibier et des animaux d'élevage freinent la croissance des arbres (Dupraz, 1997). L'accélération de la croissance en hauteur, qui est indéniable au cours des années où le feuillage du plant est totalement ou partiellement immergé dans l'abri, n'est pas durable. Le faible développement des racines conduit à une phase de sevrage de l'abri, lorsque l'arbre émerge, au cours de laquelle l'arbre est fragile, sensible au vent, et délicat à tailler (Dupraz et al, 1993, Balandier et al, 1995).

Les expérimentations menées à l'Inra et au Cemagref depuis 1986 nous permettent de proposer des améliorations des abris qui tiennent compte des exigences physiologiques des jeunes plants d'arbres. Le point central de cette amélioration est l'aération de l'abri, car nous avons montré que les arbres abrités sont asphyxiés par manque de dioxyde de carbone, substrat essentiel de la photosynthèse (Bergez, 1993).

2. Comment aérer efficacement les abris-serres ?

Depuis une dizaine d'années, certains fabricants proposent des abris aérés par des ouvertures réparties sur toute la longueur de l'abri. Nous avons étudié l'efficacité de telles protections, en les comparant aux abris classiques. Il est alors apparu que les arbres dans ces abris ventilés sont parfaitement approvisionnés en dioxyde de carbone. Malheureusement, la forte aération, combinée avec le bilan énergétique du manchon qui agit comme un capteur d'énergie solaire, conduit alors à soumettre l'arbre à une demande évaporative supérieure à la normale. L'arbre transpire fortement, et se trouve rapidement en situation de déficit hydrique : il ferme ses stomates, qui restent fonctionnels dans les abris ventilés, ce qui bloque sa photosynthèse. Cette situation est également observée avec des abris non ventilés, mais soulevés (intentionnellement ou accidentellement) au-dessus du sol.

Nous avons montré expérimentalement que pour des arbres irrigués en permanence (goutte à goutte), et qui ne connaissent jamais de difficulté d'approvisionnement en eau, ces abris ventilés sont très efficaces (Dupraz et Sparrer, 1988). Malheureusement, ces conditions sont exceptionnelles dans les situations réelles : l'irrégularité des pluies, et surtout la compétition des adventices, placent systématiquement les jeunes arbres en situation de pénurie hydrique temporaire dans les reboisements.

Nous proposons donc une autre solution pour l'aération des abris-serres : l'effet cheminé.

Vers une aération couplée au rayonnement : l'effet cheminée...sans feu

Dans un abri, la colonne d'air s'échauffe par conduction contre la paroi et les tissus végétaux. Ceux-ci s'échauffent par absorption des rayonnements de grande longueur d'onde qui sont piégés dans l'abri (effet de serre). Cet échauffement est très rapide dès que le soleil éclaire l'abri. La colonne d'air est plus chaude à la base, donc instable. Dans un abri étanche et buté, des bulles chaudes turbulentes s'échappent régulièrement, et permettent en échange l'entrée d'air frais. Mais ces échanges sont très peu actifs, et sont freinés par la présence du feuillage de l'arbre. Nous avons mesuré le coefficient de renouvellement de l'air dans ces abris étanches : il est inférieur à 20 h^{-1} (l'air est renouvelé moins de 20 fois par heure), ce qui est très insuffisant pour approvisionner l'arbre en CO_2 (Bergez, 1993).

Si on pratique une ouverture à la base de l'abri, la colonne d'air chaud et humide va s'élever, et de l'air frais, sec et riche en CO_2 va pénétrer dans l'abri. Pour que le mouvement se maintienne et que le renouvellement soit régulier, il faut que l'ouverture ait une dimension précise, que l'on peut calculer avec les expressions de thermodynamique des gaz. Nous avons calculé ces ouvertures pour obtenir une vitesse moyenne de montée de l'air de 2 cm/s pour un rayonnement incident direct compris entre 1000 et $1500 \mu\text{moles de photon/m}^2/\text{s}$ (bon ensoleillement de printemps). On obtient alors des taux de renouvellement compris entre 70 et 100, qui permettent de maintenir l'air à des teneurs en CO_2 supérieures à 300 ppm. Le tirage

est peu sensible au frein aérodynamique que constitue le feuillage, car l'écoulement est forcé et laminaire, ce qui n'était pas le cas dans les abris étanches classiques (écoulements turbulents en vortex, très freinés par le feuillage). Par contre, si l'ouverture est trop importante, comme pour un abri soulevé, l'effet cheminé disparaît.

Nous avons pu montrer que cet effet de tirage thermique est très efficace. Dans une cheminée, l'extraction de l'air résulte de l'énergie dégagée par la combustion qui chauffe l'air. Ici, nous n'avons pas d'énergie dégagée dans l'abri, au contraire : la transpiration de l'arbre consomme de l'énergie. Un atout essentiel de ce dispositif est que les feuilles de la base de l'arbre, qui sont dans le flux d'air frais et sec venu de l'extérieur, transpirent et humidifient l'air ascendant : ainsi les feuilles situées plus haut sont-elles soumises à un déficit de tension de vapeur atténué, ce qui réduit leur transpiration. Par cet effet, l'arbre économise de l'eau sans avoir à mettre en jeu la régulation stomatique. De plus, l'effet de tirage est d'autant plus fort que le soleil brille plus fort. Il y a un couplage entre la ventilation de l'abri et les besoins de l'arbre. Lorsque le rayonnement est faible, il n'y a pas de tirage, et l'arbre est protégé (en cas de vents secs par exemple).

Un abri aéré par de nombreuses ouvertures ne présente aucun de ces avantages : il soumet en permanence l'arbre à une forte demande évaporative.

Les essais de colorations variées des abris n'ont jamais donné de résultats : les arbres semblent indifférents à la luminosité et à la couleur des abris (Potter, 1987, Dupraz et Sparrer, 1988). Ce résultat se comprend mieux si l'on tient compte du fait que c'est le CO₂ qui est le principal facteur limitant de la croissance dans les abris. Une fois ce facteur limitant levé, les arbres devraient pouvoir tirer profit d'une meilleure luminosité. Dans nos essais récents, nous avons donc croisé l'aération des abris avec deux niveaux de luminosité.

3. Impact du tirage sur la croissance des arbres

Nous avons mis en place en 1992 un réseau d'essais destinés à évaluer l'impact d'abris aérés par tirage sur la croissance des arbres. Il est facile de comparer les croissances d'arbres témoins et d'arbres abrités. Il est plus délicat de comparer différents modèles d'abris entre eux (Dupraz, 1988). Aucun essai publié à ce jour n'a réussi à mettre en évidence des écarts de croissance significatifs pour des arbres protégés par différents types d'abris-serres. Il faut en fait prendre de nombreuses précautions statistiques, car les coefficients de variation inter arbres sont souvent très élevés.

Nous avons donc mis en place des essais statistiquement puissants, avec 30 répétitions au minimum (essais mono-arbre). Ces essais consistaient en dispositifs croisés complets portant sur les caractéristiques suivantes des abris :

- leur aération, avec 5 modalités : étanche complet, étanche avec 4 petits trous nécessaires pour fixer les attaches de maintien sur le tuteur, aéré par tirage (avec 3 dimensions croissantes de l'entrée d'air), et aéré par de nombreuses ouvertures réparties sur toute la longueur de l'abri. Pour les abris à tirage, les diamètres de l'orifice de tirage étaient les suivants : 32 (modalité tirage faible), 45 (modalité tirage moyen) et 64 (modalité tirage fort) mm pour les abris de 120 cm, 27, 38 et 54 mm pour les abris de 180 cm et 21, 30 et 42 mm pour les abris de 250 cm. Plus l'abri est haut, plus le tirage est puissant, et donc moins l'orifice de tirage doit être grand. Seule la modalité moyenne est présente dans tous les essais (Tableau 1). Nous avons comparé des abris totalement étanches et les abris standards du commerce, qui sont percés de petits trous pour la mise en place des attaches, et parfois d'une

ligne pointillée pour permettre l'ouverture facile de l'abri lorsque le tronc le remplit. Nous réservons par convention le terme de ventilé aux abris aérés par de nombreuses ouvertures réparties tout le long de l'abri.

- leur luminosité, avec 2 modalités : classique, de couleur saumon, considérée comme sombre d'une part, et sans colorant dans le plastique, nettement plus lumineuse, d'aspect visuel blanc d'autre part.
- leur hauteur, avec 2 modalités : 120 cm d'une part, et d'autre part 180 ou 250 cm selon les essences afin de prolonger la durée de croissance des arbres dans les abris pour accentuer et bien caractériser leur impact.

En y ajoutant les témoins sans abri, et parfois un second témoin avec un filet de type Samex, cela représente un total de 22 modalités, soit, pour 30 répétitions, des dispositifs de 660 arbres environ.

5 dispositifs concernant 7 essences d'arbre ont été mis en place au printemps 1992. Tous les essais ont été mis en place avec des abris de marque Tubex, à la suite d'un accord de recherche avec ce fabricant. Les résultats obtenus sont cependant tout à fait transposables aux autres marques, les mécanismes de la croissance des plants dans les protections à effet de serre étant les mêmes dans toutes les protections, quelle que soit leur marque.

Site	Département	Climat	Essences d'arbres	Modalités de tirage expérimentées
Castries	Hérault	Méditerranéen	<i>Juglans nigra x regia, Pinus pinea</i>	<i>f, m</i> <i>f, m</i>
Notre-Dame	Hérault	Méditerranéen	<i>Prunus avium, Juglans regia</i>	<i>f, m, F*</i> <i>f, m, F*</i>
Montoldre	Allier	Tempéré froid	<i>Prunus avium, Juglans regia</i>	<i>f, m</i> <i>f, m</i>
Coufouleux	Tarn	Tempéré doux	<i>Acer pseudoplatanus, Quercus rubra</i>	<i>m</i> <i>m</i>
Compiègne	Oise	Tempéré	<i>Quercus robur</i>	<i>m</i>

Modalités de tirage : f (faible), m (moyen), F (Fort). Voir le texte pour les dimensions des orifices de tirage en fonction de la hauteur des abris.

* A Notre-Dame, la modalité forte de tirage n'était présente que sur les abris sombres.

Tableau 1 : Réseau d'essais installés en 1992 et destinés à évaluer les abris aérés par tirage thermique

L'essai de Compiègne a dû être abandonné : les chênes ont eu des croissances quasi nulles, qu'ils aient un abri ou pas. Tous les autres essais ont donné des résultats interprétables.

L'année de mise en place des essais (1992) a été relativement atypique du point de vue pluviométrique, avec des pluies de printemps et d'été abondantes sur la plupart de nos essais. La contrainte hydrique qui avait été bien mise en évidence lors de précédentes

expériences (Dupraz et Sparrer, 1988, Bergez, 1993) pour des arbres dans des abris ventilés par de nombreuses ouvertures ne s'est donc pas manifestée explicitement.



Photo 1 : Dispositif expérimental de Notre-Dame de Londres (Hérault) sur merisier : comparaison de différentes modalités d'abris-serres modifiés en luminosité et aération sur la croissance des arbres

Le critère utilisé pour évaluer les résultats est la croissance en diamètre des arbres, car nous avons montré que c'est cet effet des abris qui est durable et négatif (Dupraz, 1997). L'aération permise par les trous d'attaches n'a pas eu d'effet significatif : elle est trop faible. Il apparaît que ce sont les abris clairs très aérés (à tirage ou ventilés) qui obtiennent les meilleurs résultats. On obtient grâce à l'aération pour la première fois des noyers abrités avec une biomasse supérieure aux arbres témoins. Comme le tirage fort était présent dans peu d'essais, nous présentons les résultats du tirage moyen dans cette synthèse (Tableau 2).

Essence	Site	Hauteur des abris (cm)	Année moyenne d'émergence	Gain en % sur la croissance en diamètre par rapport à l'abri classique	
				Tirage moyen	Ventilation
Pins pignons	Castries	120	3	33	45
Noyers hybrides	Castries	120	1	41	33
Noyers hybrides	Castries	250	2 *	20	42
Erables sycomores	Coufouleux nord	180	2	46	33
Chênes rouges	Coufouleux sud	180	(3)	42	66
Noyers communs	Notre-Dame	120	(3)	59	47
Merisiers	Notre-Dame	120	1	16	20
Merisiers	Notre-Dame	250	2	23	47
Noyers communs	Montoldre	120	2	59	26
Merisiers	Montoldre	120	1	12	17
Merisiers	Montoldre	250	2	49	47
MOYENNE		NC	NC	NC	NC

* Comparaison avec l'abri sombre à tirage faible, car avec l'abri étanche, le gain est de 315 % et 390 % respectivement

Un âge d'émergence entre parenthèses signifie que l'émergence n'est pas encore acquise pour une majorité d'arbres.

La base de comparaison est l'abri standard sombre avec trous d'attaches. Lorsque nous ne disposons que d'abris étanches sans trous d'attaches, nous les avons utilisés comme référence.

Les croissances sont mesurées à la fin de l'année pendant laquelle les arbres émergent majoritairement.

Tableau 2 : Gains sur la croissance cumulée en diamètre obtenue avec les abris clairs aérés par rapport aux abris classiques (sombres et étanches)

Il apparaît sur une large gamme d'essences que l'aération par effet cheminée (avec un orifice de tirage moyen) permet, dans les abris clairs, un gain de l'ordre de 36% sur la croissance en diamètre des arbres par rapport à la croissance dans des abris traditionnels sombres et étanches. Dans les conditions de pluviométrie printanière et estivale abondante observée en 1992, cette amélioration est comparable à celle (38%) obtenue avec des abris ventilés par de nombreuses aérations. Les résultats obtenus précédemment avec des abris ventilés en conditions hydriques limitantes permettent de penser que les résultats auraient été moins favorables aux abris ventilés si le printemps et l'été 1992 avaient été plus secs. Dans les abris sombres, le tirage fort présent dans un seul essai ne produit pas d'effets plus intéressants que le tirage moyen. Malheureusement, aucun essai ne comportait de modalité de tirage fort avec un abri lumineux. L'hypothèse que dans les abris clairs un tirage plus fort eût pu conduire à des croissances encore meilleures reste donc à tester.

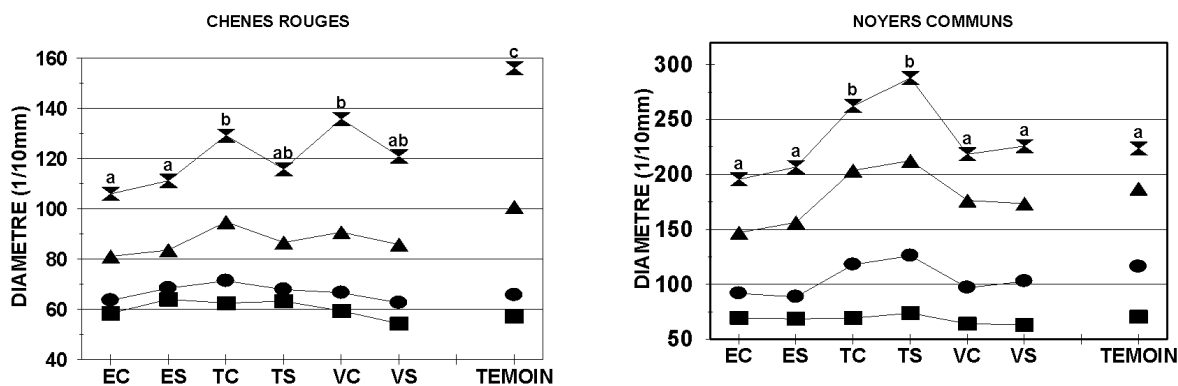
Le gain relatif est plus élevé lorsque les arbres mettent plusieurs saisons de croissance à émerger (Tableau 3).

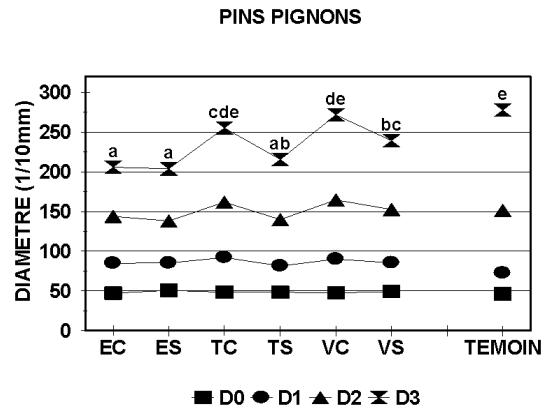
Délai d'émergence	Tirage moyen	Ventilé
1 an	19	23
2 ans	39	39
3 ans	41	62

% de gain par rapport aux abris classiques sur les croissances cumulées en diamètre

Tableau 3 : Efficacité des abris aérés clairs en fonction de la durée de la croissance immergée

Lorsque les arbres mettent 3 saisons pour émerger des abris, la ventilation par de nombreuses ouvertures semble plus avantageuse. Ceci indique que le tirage moyen, qui était la modalité présente dans tous les essais, n'était probablement pas suffisant, et qu'un orifice de tirage plus grand eût pu être plus favorable.





EC : étanche
(standard) clair

ES : étanche
(standard) sombre

TC : tirage clair

TS : tirage sombre

VC : ventilé clair

VD : ventilé sombre

Témoin : arbres sans
abris

Diamètres à la base

D0 : à la plantation

D1 : après une
saison

D2 : après deux
saisons

D3 : après trois
saisons

Les diamètres indicés par des lettres différentes sont statistiquement différents pour un risque de première espèce de 5 %

Figure 1 : Croissance en diamètre d'arbres protégés par des abris de 120 cm modifiés : chênes rouges à Coufouleux (Tarn), noyers communs à Montoldre (Allier), pins pignons à Castries (Hérault)

Les abris sombres ne bénéficient guère de l'effet bénéfique de la ventilation (Les diamètres indicés par des lettres différentes sont statistiquement différents pour un risque de première espèce de 5 %

Figure 1

). Dans le cas des noyers à Montoldre (voir Les diamètres indicés par des lettres différentes sont statistiquement différents pour un risque de première espèce de 5 %

Figure 1

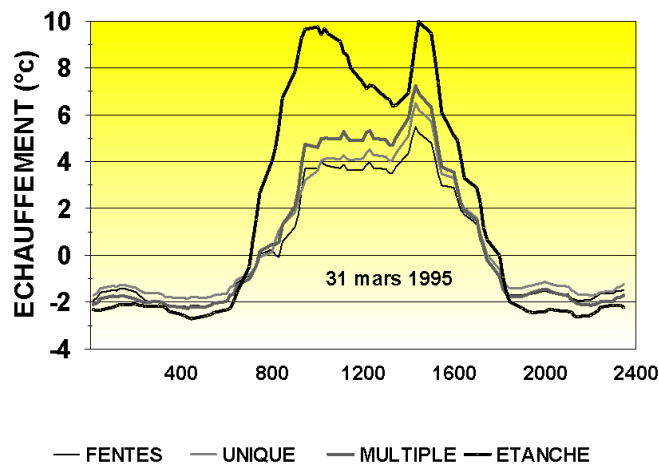
, en haut à droite) les arbres dans les abris à tirage dépassent les arbres témoins pour la croissance en diamètre, ce qui n'avait jamais été observé auparavant dans aucun essai publié d'abris-serres.

L'effet de la luminosité est illustré par les courbes en dents de scie de la Les diamètres indiqués par des lettres différentes sont statistiquement différents pour un risque de première espèce de 5 %

Figure 1

. Dans les abris sombres, les croissances en diamètre sont systématiquement plus faibles que dans les abris clairs, et l'écart est de plus en plus fort lorsque les abris sont aérés.

Le rafraîchissement permis par le tirage est de l'ordre de 5°C, ce qui apporte un confort réel à l'arbre. Nous avons comparé différentes configurations de l'orifice d'appel d'air ayant une section totale identique : une ouverture circulaire unique, de multiples ouvertures circulaires plus petites, et des fentes. Toutes les configurations sont efficaces, ce qui peut se vérifier par le rafraîchissement qu'elles induisent dans l'abri vide (Figure 2). Avec un arbre dans l'abri, le rafraîchissement serait encore plus marqué, grâce à l'évacuation de chaleur latente due à la transpiration.



Les températures sont mesurées à 80 cm de hauteur dans les abris

Les prises d'air comparées sont les suivantes : une ouverture unique circulaire de 3.7 cm de diamètre, 7 ouvertures circulaires de 1.4 cm de diamètre, et 7 fentes de 10 x 0.4 cm.

Figure 2 : Rafraîchissement de l'air obtenu avec 3 formes différentes de prise d'air à la base d'abris de 180 cm.

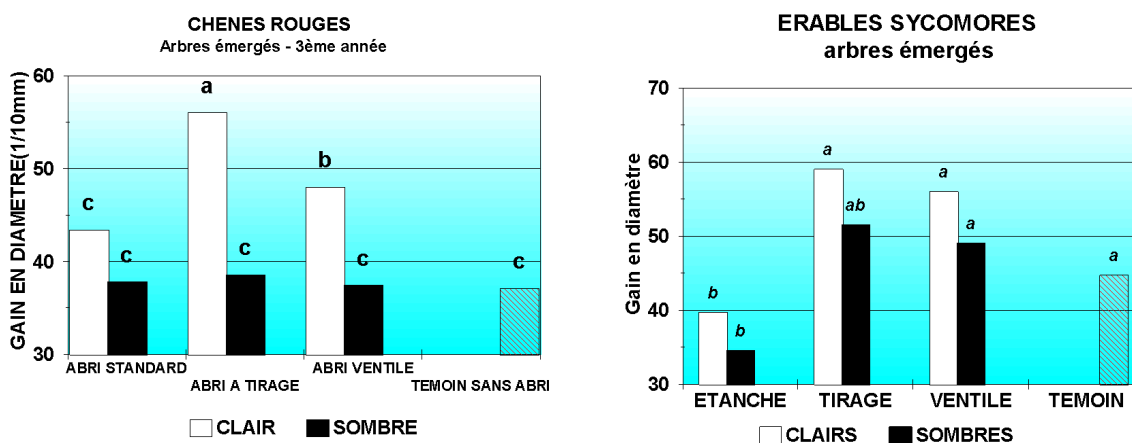
Il est donc possible de fabriquer des abris efficaces avec de petites ouvertures à la base, ce qui pourrait éviter la pénétration des rongeurs dans l'abri. Pour un abri de 120 cm, l'ouverture de 32 cm² (diamètre de 6.4 cm) peut être remplacée par 8 petites ouvertures de 2.2 cm de diamètre, ou par 8 fentes de 10 x 0.4 cm. Il devrait être possible de trouver un compromis sur la taille des ouvertures qui permette aux petits oiseaux (et en particulier les rouges-queues) parfois prisonniers au fond des tubes de s'en échapper.

1. L'amélioration obtenue est-elle durable ?

Les résultats obtenus confirment l'efficacité des abris aérés et clairs sur la croissance de l'arbre immergé dans l'abri. Mais cette amélioration aura-t-elle des conséquences bénéfiques à plus long terme pour l'arbre ?

Pour des essences qui ont mis relativement longtemps à émerger de l'abri, il apparaît que l'amélioration de croissance obtenue pendant la phase immergée se maintient ou même s'accroît pendant les années ultérieures.

Ainsi, pour des chênes rouges émérgés, la croissance en diamètre a continué à bénéficier de l'effet des abris à tirage clair (Figure 3). Cela peut paraître surprenant car les arbres n'avaient plus de feuillage dans l'abri. Il s'agit donc bien d'un effet hérité de la période de croissance dans l'abri, et cet effet est très net pour des arbres qui ont passé deux saisons complètes de croissance dans les abris.



Ces résultats sont différents de ceux de la figure 1, car ici seuls les arbres émergés sont pris en compte. Dans la figure 1, les résultats concernent l'ensemble des arbres, dont certains sont encore immergés dans les abris

Les croissances indicées par des lettres différentes sont statistiquement différentes pour un risque de première espèce de 5 %

Figure 3 : Influence des abris de 120 cm améliorés sur la croissance post-émergence en 3ème année pour des chênes rouges et des érables sycomores (site de Coufouleux, Tarn)

Le même effet a été observé sur des noyers communs dans le centre de la France (Figure 4). Après l'émergence, ce sont les arbres qui bénéficiaient des abris à tirage qui présentent les meilleures croissances en diamètre. Le ralentissement général de croissance en diamètre par rapport à l'année précédente est dû à un effet année, avec un été très sec pour cette première année après émergence.

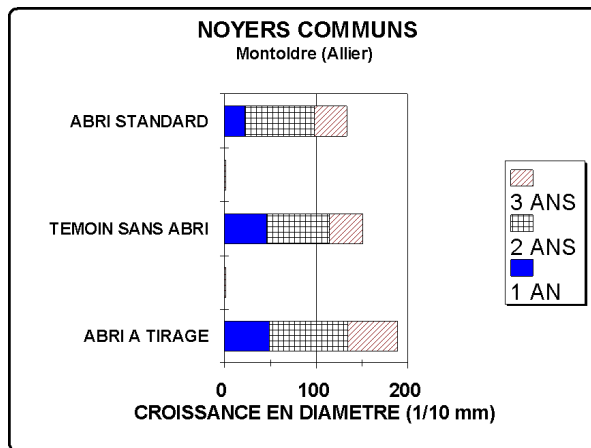
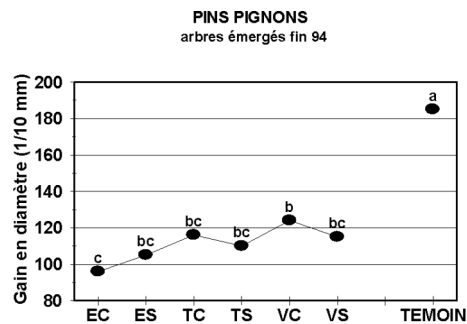
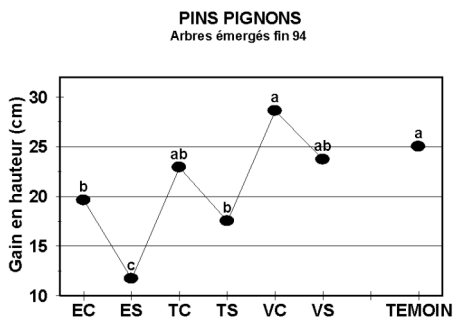


Figure 4 : Influence des abris de 120 cm améliorés sur la croissance au cours des deux premières années (arbres immergés) puis de la troisième année (arbres émergés) pour des noyers communs (site de Montoldre, Allier)

Pour des pins pignons (Figure 5), on note en plus un effet positif sur la croissance en hauteur, qui témoigne du meilleur équilibre des arbres dans les abris aérés clairs. Pour les diamètres la tendance antérieure favorable aux abris aérés et clairs s'accroît. Pour des arbres qui ont passé plusieurs saisons de croissance dans les abris, l'effet n'est donc pas fugace, comme il l'a été pour des arbres qui ont émergé très rapidement des abris dès la première année (comme dans le cas de merisiers protégés par des abris de 120 cm). Ceci renforce l'intérêt des nouvelles protections.



EC : étanche (standard) clair

ES : étanche (standard) sombre

TC : tirage clair

TS : tirage sombre

VC : ventilé clair

VD : ventilé sombre

Témoin : arbres sans abris

Les valeurs indiquées par la même lettre ne sont pas statistiquement différentes pour un risque de première espèce de 5%

**Figure 5 : Influence d’abris de 120 cm améliorés sur la croissance post-
émergence en 4ème année en hauteur et en diamètre pour des pins pignons
(site de Castries, Hérault)**

Dans le cas des pins pignons, on notera cependant le gros retard de croissance en diamètre de tous les arbres abrités par rapport aux témoins : pour les résineux, la pénalisation due à la suppression des branches latérales par le manchon reste forte, même si les croissances sont améliorées par les abris aérés. La comparaison objective ne pourra intervenir qu’à l’issue de la phase d’élagage sur la hauteur du manchon, car cet élagage va pénaliser essentiellement les arbres témoins, ce qui souligne que la protection est un élément d’un itinéraire technique qui doit être évalué globalement.

Grâce à cette amélioration de croissance en diamètre, les arbres devraient mieux résister aux sollicitations du vent lorsqu’ils développent leur feuillage au-dessus de l’abri. Ce n’est pas tant une augmentation de la croissance finale qui est visée, mais bien une sécurité lors du sevrage de l’arbre à sa sortie de l’abri.

2. Conclusion

Même si les utilisateurs n’en étaient pas toujours conscients, un ralentissement de la croissance et une fragilisation de l’arbre étaient jusqu’à présent le prix à payer pour une protection des arbres contre les animaux par les abris-serres. Avec la nouvelle génération d’abris-serres aérés par effet cheminée, le sylviculteur peut allier protection efficace contre les dégâts d’abroustissement et de frottis, et croissance améliorée des arbres (Photo 2).

Nos résultats devraient désormais être précisés sur deux points :

- dans les conditions pluviométriques humides de l’année de mise en place de ces essais, les abris ventilés par de nombreuses perforations ont obtenu des résultats équivalents aux abris à tirage thermique à tirage moyen. Une expérimentation en conditions hydriques plus limitantes serait utile pour tester si, en situation plus sèche, l’économie de l’eau permise par le tirage (Bergez, 1993), en comparaison des abris ventilés, peut induire de meilleures croissances;
- nos essais ne comportaient pas de modalité tirage fort dans des abris clairs. Nous n’avions pas pu prévoir nos résultats... qui indiquent que l’aération est très favorable surtout dans des abris lumineux. Il n’est donc pas possible de conclure ici sur la dimension optimale de l’orifice de tirage pour des abris lumineux. La tendance observée sur des abris lumineux à tirage faible ou moyen permet d’émettre l’hypothèse qu’un tirage fort aurait permis de faire au moins jeu égal avec les abris ventilés (Tableau 4).

	Montoldre, merisier	Montoldre, noyer	Notre-Dame, merisier
Age d’émergence	1	2	1
Tirage Faible	71	135	50
Tirage moyen	91	135	56
Tirage Fort	?	?	?
Ventilé	95	107	62

Tableau 4 : Croissances en diamètre avant émergence (en dixièmes de mm) pour des arbres dans des abris clairs aérés de 120 cm.

Les abris ainsi obtenus marquent un progrès par rapport aux modèles disponibles auparavant. Ils ne sont cependant pas parfaits. En effet, si la photosynthèse est nettement améliorée, et avec elle la biomasse des arbres protégés, le ratio aérien/souterrain n'est pas complètement corrigé : la part des racines dans la biomasse totale de l'arbre reste inférieure à la normale au moment de l'émergence.

Pour la stabilité de l'arbre, c'est surtout la force de la tige qui compte, et les nouveaux abris, en améliorant nettement la croissance en diamètre, devraient contribuer à une meilleure stabilité des arbres abrités. Un gain de 40% en diamètre comme nous l'avons observé dans 6 de nos essais correspond à un doublement de la section de la tige.

Avec une tige forte et un houppier bien développé, on peut penser que le système souterrain se remettra plus rapidement en équilibre avec le système aérien, et que l'on obtiendra *in fine* des arbres solides et autonomes. Cela semble déjà le cas, mais nous allons continuer à suivre attentivement les expérimentations en cours pour vérifier cette hypothèse.

Avec les nouveaux abris aérés par tirage thermique, il devient possible de concilier protection et croissance. Cela devrait en particulier permettre d'employer des abris assez hauts (210 ou 240 cm) pour protéger les arbres contre les bovins ou les grands cervidés, ce qui était très délicat jusqu'à présent. Mais il faudra attendre encore quelques années pour être sûrs que nos essais avec de grands abris confirment les résultats obtenus avec de petits abris.

Un film vidéo sur l'agroforesterie illustre également les difficultés de l'utilisation des abris-serres, notamment pour des plantations pâturées, et présente les améliorations permises par les nouveaux abris aérés par tirage (Dupraz et Bézineau, 1995).

Soulignons enfin que l'intérêt essentiel des abris est la protection qu'ils offrent aux arbres. Entre un arbre mort ou irrécupérable (abrouiti ou frotté) et un arbre en bon état, même s'il est freiné dans son développement, il n'y a pas à hésiter. C'est d'autant plus important que les sylvicultures actuelles adoptent des densités de plantation faibles, que ce soit en foresterie (Guitton et Ginisty, 1994) ou en agroforesterie (Dupraz et Newman, 1997), et qu'il est donc nécessaire d'éviter des taux élevés d'échec à l'implantation des arbres.



Photo 2 : Protection efficace contre les herbivores et croissance améliorée en diamètre permettent d'obtenir un arbre intact et équilibré à l'émergence hors de l'abri (ici un tulipier de virginie de 3 ans).

Remerciements :

Ces recherches ont été effectuées en partenariat avec la société Tubex, qui est propriétaire du brevet sur l'aération des abris-serres par tirage thermique (Dupraz et Bergez, 1992), et qui commercialise désormais des abris conçus en tenant compte de nos résultats (Tubex Equilibre). Nous remercions également l'ANVAR, l'ANRT, la DRAF de la région Auvergne et la Communauté Européenne (pour un financement au titre du FEOGA, objectif 5b du Massif Central) pour leur appui financier lors de la réalisation de ces travaux. Le réseau expérimental de validation du brevet a été mis en place avec l'appui de l'Office National des Forêts, des Centres Régionaux de la Propriété Forestière du Languedoc-Roussillon et de Midi-Pyrénées, de la DDAF de l'Hérault et de la division Forêt et Agroforesterie du Cemagref, à Riom. Le suivi des essais de longue durée est l'œuvre des techniciens de l'Inra de Montpellier, et en particulier de Myriam Dauszat et Benoît Suard.

Bibliographie

Balandier (P.), Guitton (J.L.), Rapey (H.) - Amélioration des tubes-abris protégeant les jeunes arbres contre les animaux. *Ingénieries EAT*, n°4, 1995, 41-48.

Bergez (J.E.). - Influence de protections individuelles à effet de serre sur la croissance de jeunes arbres. - Thèse de doctorat, Université Montpellier II, 1993, 159 pages + Annexes.

Dupraz (C.). - Quelques suggestions pour mettre en place des expérimentations avec des abris-serres.- *Forêt-Entreprise*, vol. 55, octobre-novembre 1988, pp. 45-50.

Dupraz (C.). - Les protections de plants à effet de serre : ce qu'en pensent les arbres. *Revue Forestière Française*, 1997, .

Dupraz (C.), Bergez (J.E.). - Amélioration de protections individuelles d'arbres à effet de serre. - Rapport de fin de contrat de recherche INRA-ESB n°9737B, février 1992, Inra-Lecsa Montpellier, 16 pages, 50 figures. Brevet n° EP 0 558 356 A1.

Dupraz (C.), Bézineau (B.). L'arbre et le blé, vers de nouvelles agroforesteries tempérées. - Film TV, 26 mn, 1995, coproduction Agropolis/Ministère de l'Agriculture/Télé Promotion rurale, Montpellier (cassette VHS disponible à Agropolis, 34394 Montpellier Cedex 5).

Dupraz (C.), Guitton (J.L.), Rapey (H.), Bergez (J.E.), De Montard (F.X.). - Broad-leaved Tree Plantations On Pastures: The Tree shelter Issue. - Proceedings of the 4th International Symposium on Windbreaks and Agro forestry, Viborg, Denmark, 1993, pp. 106-111.

Dupraz (C.), Newman (S.). - Temperate agro forestry: the European Way. - In: A. Gordon and S. Newman (eds.): Temperate agro forestry Systems, 1997, CAB International, Wallingford, pp 181-236.

Dupraz (C.), Sparrer (P.). - Influence d'abris-serres sur la croissance de merisiers et de noyers cultivés en conteneurs. - Doc. Int., 1988, Inra-Lecsa, 29p.

Guitton (J.L.), Ginisty (C.). - Les plantations à grand espacement. - *Informations Techniques du Cemagref*, 1993, vol. 90, note 1, 10 p.

Potter (M.J.). - Advances in tree shelter research and design. - In P. Savill ed., National Hardwoods programme, 1987, OFI Occasional papers 34.