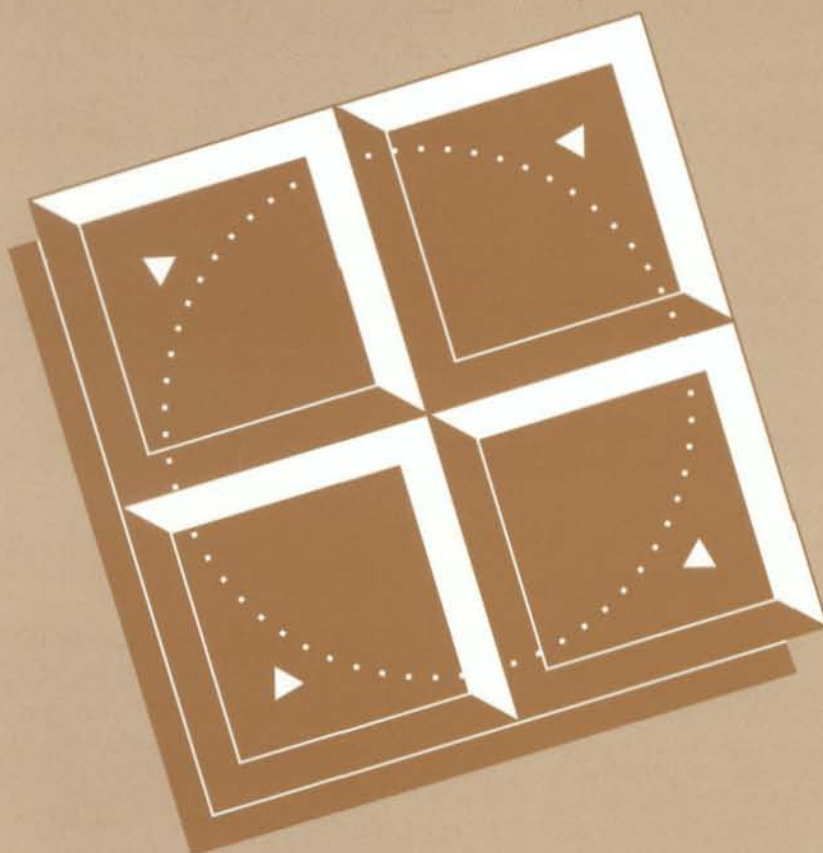


Mémoire de recherche forestière n° 130

Bilan du développement des
récipients à parois ajourées :
culture des semis en pépinière et
performance en plantation comparative

par B.-M. Gingras
et S. Richard



Benoît-Marie GINGRAS est ingénieur forestier, diplômé de l'Université Laval depuis 1986. En 1992, ce même établissement lui décernait le titre de maître ès sciences (sciences forestières). À l'emploi du Service de la génétique et de la reproduction de la Direction de la recherche forestière depuis 1987, il est chargé de recherches sur la production de semis en récipient et responsable intérimaire de l'équipe de R-D sur la production et la protection de plants.



Serge RICHARD est titulaire d'un baccalauréat en génie foresterie obtenu à l'Université Laval en 1986. À l'emploi du Service de la génétique et de la reproduction de la Direction de recherche forestière comme technicien forestier depuis 1991, il collabore à la réalisation de l'ensemble des projets de recherche établis en pépinière et en plantation comparative.



Depuis bientôt trente ans, chacun des Mémoires et des autres rapports publiés par la Recherche forestière est révisé par un comité *ad hoc* d'au moins trois membres recrutés aussi bien à l'intérieur du Ministère que dans le milieu universitaire, la fonction publique du Canada ou les autres milieux de la recherche. Les responsables de la Recherche forestière remercient les scientifiques qui ont accepté bénévolement de revoir le texte présenté ici et de participer ainsi à la diffusion des résultats des recherches menées maintenant au sein de **Forêt Québec**.

Les publications de la Recherche forestière sont produites et diffusées à même les budgets de recherche et de développement, comme autant d'étapes essentielles à la réalisation de chaque projet ou expérience. En conséquence, ces documents sont, par définition, à **tirage limité** et à **diffusion restreinte**.

Adresser toute demande à :

Publications
Direction de la recherche forestière
Forêt Québec, MRN
2700, rue Einstein
SAINTÉ-FOY (QUÉBEC)
Canada G1P 3W8

Téléphone : (418) 643-7994
Télécopieur : (418) 643-2165
Courriel : rech.for@mrn.gouv.qc.ca

**Bilan du développement des récipients à parois ajourées :
culture des semis en pépinière et
performance en plantation comparative**

**Bilan du développement des récipients à parois ajourées :
culture des semis en pépinière et
performance en plantation comparative**

par

Benoit-Marie GINGRAS, ing.f., M.Sc.

et

Serge RICHARD, techn.for

Mémoire de recherche forestière n° 130

Gouvernement du Québec
Ministère des Ressources naturelles
Forêt Québec
Direction de la recherche forestière
1999

Ce texte est un rapport partiel du projet de recherche n° 0894-264S :
« Étude du développement racinaire de plants cultivés dans des récipients à parois ajourées ».

RN99-3048

ISBN 2-550-34339-5

ISSN 1183-3912

Dépôt légal 1999

Bibliothèque nationale du Québec

Bibliothèque nationale du Canada

© 1999 Gouvernement du Québec

Avant-propos

Ce rapport synthétise les résultats de l'ensemble des expériences entreprises entre 1989 et 1996 sur le cernage des racines, la culture des plants de fortes dimensions (PFD) et la mise au point du récipient à parois ajourées 25-350A. Depuis 1989, de nombreux modèles de récipients et de cavités individuelles ont été évalués et plusieurs plantations expérimentales ont été établies. Les objectifs visaient à sélectionner le récipient le plus approprié à la production de PFD et à définir les techniques de culture qui permettent de rendre disponibles des semis équilibrés pourvus d'un système racinaire de qualité. Bien que l'information liée à nos travaux de recherche ait été diffusée chaque année (présentations orales, documents internes et visites de plantations), il est apparu essentiel de la réunir en un seul document de référence. De cette façon, le lecteur sera à même de suivre chacune des étapes ayant, entre autres, mené à la mise au point du récipient 25-350A ainsi qu'à l'élaboration des propositions pour la mise au point de nouveaux récipients à parois ajourées destinés aux autres types de culture. Ce document a été diffusé pour la première fois dans une version préliminaire non corrigée lors des journées d'information et d'échange sur l'utilisation de PFD les 18 et 19 septembre 1996. Il n'a pas été remis à jour car un autre mémoire sur le même sujet est actuellement en cours de rédaction.

Les résultats présentés ici portent principalement sur le rendement en plantation des PFD cultivés dans des récipients à parois ajourées après deux ou trois saisons de croissance. Un historique complet des essais expérimentaux ayant mené au développement du récipient 25-350A a été inclus dans la première partie de ce rapport.

Remerciements

Les auteurs adressent leurs remerciements à l'ensemble du personnel des pépinières gouvernementales, à la Direction de la production des semences et des plants (DPSP), à M. Louis Labrecque de la région 1, à MM. Jean Ménétrier et Daniel Plourde de la Division de R-D sur les plantations de la Direction de la recherche forestière (DRF), au Service des laboratoires de la DRF, à M. Jérôme Mercier de Services forestiers Mercier enr., à M. Christian André de Forantin enr., à M. Paul Berthiaume du Bureau de la statistique du Québec, à Mme Nancy Vézina, statisticienne, à Mme Jeannine Claveau de l'équipe de biométrie du Service des laboratoires de la DRF, à M. Daniel St-Hilaire de la Société Sylvicole Arthabaska-Drummond inc. et au personnel de la Division de R-D sur les semences, boutures et plants de la DRF, spécialement M. André Drolet. Nous tenons également à remercier Mme Michèle Bettez de la DPSP, M. Daniel Lord de l'Université du Québec à Chicoutimi, MM. Guy Prigent, Mario Renaud, Gil Lambany et Pierre Périnet de la DRF, pour la révision de ce document, et M. Fabien Caron qui en a assuré l'édition.

Résumé

La culture de semis en récipient influence fortement la morphologie du système racinaire. Les racines se développent principalement en périphérie de la motte et sont dirigées vers le bas. Afin d'améliorer l'architecture des racines en cours de culture, deux options ont été évaluées : récipients traités au carbonate de cuivre (CuCO_3) et récipients à parois ajourées. Ces deux méthodes permettent de produire des systèmes racinaires horizontaux fibreux moins déformés qui sont bien distribués à l'intérieur de la motte. Le cernage aérien a toutefois été retenu comme avenue pour le développement d'un récipient adapté à la culture de plants de fortes dimensions (PFD). Les expériences réalisées depuis 1989 ont permis de déterminer les caractéristiques du récipient à parois ajourées 25-350A, ainsi que les standards de culture pour la production de PFD équilibrés d'épinette noire et d'épinette blanche. Bien qu'il soit beaucoup trop tôt pour statuer sur le potentiel réel en plantation des semis cultivés dans les récipients à parois ajourées, nos résultats préliminaires après deux ou trois ans sont prometteurs. Il faudra toutefois attendre environ une dizaine d'années pour être en mesure d'évaluer plus judicieusement l'ancrage au sol des plants, leur résistance à l'armillaire et leur potentiel de croissance. À ce stade-ci de nos expériences et au meilleur de notre connaissance, le récipient 25-350A est actuellement le meilleur récipient disponible pour la production de plants de fortes dimensions.

Mots-clés : épinette noire, *Picea mariana*, épinette blanche, *Picea glauca*, croissance des racines, récipients à parois ajourées, plants de fortes dimensions, feuillus, standards de culture.

Abstract

On the development of air slit containers : nursery growth and seedling performance in comparative plantations. Growing seedlings in containers strongly influences their root morphology. Roots develop mainly on the periphery of the plug and are directed downwards. In order to improve root architecture during growth, two options were evaluated : containers treated with copper carbonate (CuCO_3) and containers with vented walls. These two methods help to produce horizontal, fibrous, less deformed root systems that are well distributed inside the plug. However aerial pruning was retained as a means of developing a container adapted to growing large-sized seedlings. Experiments conducted since 1989 have helped to define the features of the 25-350A air slit container, as well as target standards for growing well balanced large-sized seedlings. Though it is much too early to settle on the actual potential of air-pruned seedlings, our preliminary results after two or three years are promising. We must however wait some ten years to be able to more sensibly evaluate soil anchoring of the seedlings, their resistance to Armillaria root rot and their growth potential. At this stage in our experiments and as far as we now know, the 25-350A container is presently the best container available for growing large-sized seedlings.

Key words : black spruce, *Picea mariana*, white spruce, *Picea glauca*, root growth, air slit containers, large-sized seedlings, broadleaved trees, cultivation standards, air pruning.

Table des matières

Avant-propos	v
Remerciements	v
Résumé	vii
<i>Abstract</i>	vii
Liste des tableaux	xi
Liste des figures	xiii
Introduction	1
Chapitre premier	
Historique du développement des récipients à parois ajourées	5
1.1 Développement des récipients	5
1.1.1 45-110 + CuCO ₃ (89.1)	5
1.1.2 Trimroot 112 (89.2)	7
1.1.3 Treillis métallique (89.3)	9
1.1.4 Pastilles Jiffy (89.4)	11
1.1.5 Rootmaker (89.5)	13
1.1.6 25-200 + CuCO ₃ et Ventblock et Copperblock 45-340 et 28-340 (91.1-.6)	13
1.1.7 45-340, 15-700 et 12-1000 (91.7-.8)	14
1.1.8 Ventblock et Copperblock 60-250 (91.9-.10)	15
1.1.9 Récipients universels (91.11)	15
1.1.10 Plantek 63F, 15-700, 12-1000 et racines nues (91.12)	17
1.1.11 Plantek 63F et racines nues (92.1-.2)	17
1.1.12 LIECO 90 (92.3)	19
1.1.13 Plantek 63F, 15-700, 12-1000 et racines nues (92.4-.6)	19

1.1.14 15-320 et 1-360A à 1,0 et 2,0 cm (93.1)	19	Annexe 1. Historique de l'ensemble des essais expérimentaux réalisés en pépinière et en plantation pour la culture des PFD et la mise au point de récipients à parois ajourées	61
1.1.15 1-25A, ST150, bac et 45-340 (93.2)	21		
1.1.16 1-25A et ST150 (93.3)	23	Annexe 2. Caractéristiques de l'ensemble des récipients et cavités évalués pour la culture des PFD et pour la mise au point de récipients à parois ajourées	63
1.1.17 1-25A, ST150 et 25-350A (93.4)	23		
1.1.18 Mise au point du 25-350A	24		
1.1.19 25-350A, 1-350A à 1,5 cm (94.1)	25		
1.1.20 1-350A à 1,5 et 3,0 cm (94.2)	25		
1.1.21 25-350A, 1-350A à 1,5 et 3,0 cm, 45-340 et 28-340 (94.3)	27	Annexe 3. Schéma des dispositifs expérimentaux installés à Biencourt (93.1) en 1994	69
1.1.22 12-1000 et 1-1050A (94.4)	28		
1.1.23 1-1050A à 3,0 et 6,0 cm (94.6)	29	Annexe 4. Schéma des dispositifs expérimentaux installés à Biencourt (94.1 et 94.2) en 1995	70
1.2 Autres travaux réalisés en pépinière	29		
Chapitre deux		Annexe 5. Caractéristiques du récipient 28-350A	71
Rendement en plantations comparatives des PFD cultivés dans des récipients à parois ajourées	33	Annexe 6. Caractéristiques du récipient 16-564A	72
2.1 Plantations expérimentales	33	Annexe 7. Caractéristiques du récipient 36-206A	74
2.2 Caractéristiques des sites de reboisement	33		
2.3 Développement des racines en plantation	33		
2.3.1 Biencourt (93.1)	35		
2.3.2 Biencourt (94.1 et 94.2)	37		
2.3.3 Reboisement opérationnel	41		
2.3.4 Saint-Germain (94.3 et 94.4)	41		
2.3.5 Régénération naturelle	43		
2.4 Performance des semis en plantation	43		
2.4.1 Biencourt (93.1)	43		
2.4.2 Biencourt (94.1 et 94.2)	47		
2.4.3 Reboisement opérationnel	47		
2.4.4 Saint-Germain (94.3 et 94.4)	49		
Conclusions et perspectives d'avenir	51		
Liste des ouvrages cités	57		

Liste des tableaux

- Tableau 1.** Taux de survie, accroissement en hauteur et développement des racines des semis cultivés dans les récipients 45-110 et le *Trimroot 112* après une saison en plantation (printemps 1992) 8
- Tableau 2.** Croissance des plants cultivés dans les treillis métalliques après cinq saisons en plantation (printemps 1996) 10
- Tableau 3.** Standards de culture recommandés pour la culture de l'épinette noire et l'épinette blanche dans les récipients de 200 et de 350 cm³ (GINGRAS 1993a,1994) 12
- Tableau 4.** Bilan morphologique de la culture de l'épinette noire dans les récipients de 640 et de 1166 cm³ après trois saisons de croissance (93-11-08) 16
- Tableau 5.** Bilan morphologique de la culture de l'épinette noire dans le *Plantek 63F* et repiquée dans les 15-700 et 12-1000 et à racines nues 18
- Tableau 6.** Bilan morphologique de la culture du mélèze laricin et du pin rouge dans le *Plantek 63F* et repiqués à racines nues 18
- Tableau 7.** Bilan morphologique de la culture des épinettes blanche et de Norvège et du pin blanc dans le *Plantek 63F* et repiqués dans les 15-700 et 12-1000 et à racines nues 20

Tableau 8. Bilan morphologique et concentrations des éléments minéraux dans les tissus (93-10-12) de l'épinette noire, de l'épinette blanche et du pin gris dans le récipient 15-320 et les cavités 1-360A à 1,0 et 2,0 cm d'espacement (GINGRAS et LANGLOIS 1996)	20	Tableau 17. Bilan morphologique des plants récoltés les 2, 3 et 4 octobre 1995 à Biencourt pour les analyses de développement des racines (93.1)	35
Tableau 9. Tests de développement des racines (93-10-13 au 93-11-12) de l'épinette noire, de l'épinette blanche et du pin gris (GINGRAS et LANGLOIS 1996)	21	Tableau 18. Bilan des accroissements annuels en hauteur et en diamètre et pourcentage de survie des semis d'épinette noire et d'épinette blanche (93.1) après 1, 2 et 3 saisons en plantation	46
Tableau 10. Bilan de la croissance et concentrations des éléments minéraux dans les tissus des semis d'épinette blanche cultivés en serre et en tunnel (94-10-25) dans le récipient 25-350A et la cavité 1-350A	24	Tableau 19. Bilan des accroissements annuels en hauteur et en diamètre et pourcentage de survie des semis d'épinette blanche (94.1 et 94.2) après 1 et 2 saisons en plantation	48
Tableau 11. Bilan de la croissance et concentrations des éléments dans les tissus des semis d'épinette blanche cultivés en serre et en tunnel (94-10-25) dans la cavité 1-350A à 1,5 et 3,0 cm d'espacement	26	Tableau 20. Moyenne des accroissements annuels et pourcentage de survie des semis d'épinette noire et d'épinette blanche cultivés dans le récipient 45-340 après 1, 2 et 3 saisons en plantation (région 01)	48
Tableau 12. Bilan morphologique (94-10-06 et 07) du bouleau jaune et du chêne rouge cultivés dans des récipients de 350 cm ³ après une saison de croissance	26	Tableau 21. Bilan des accroissements annuels en hauteur et en diamètre et pourcentage de survie du bouleau jaune et du chêne rouge (94.3 & 94.4) après 1 et 2 saisons en plantation	48
Tableau 13. Tests de développement des racines (95-02-13 au 95-03-13) du bouleau jaune et du chêne rouge	26	Tableau 22. Avantages et inconvénients de cultiver et de mettre en terre des semis produits dans les récipients 45-340 et 25-350A	52
Tableau 14. Bilan morphologique (94-10-07) du chêne rouge cultivé dans des récipients de 1000 cm ³ après une saison de croissance	28		
Tableau 15. Bilan morphologique (95-10-24) des semis d'épinette noire et d'épinette blanche cultivés dans la cavité 1-1050A après trois saisons de croissance	28		
Tableau 16. Caractéristiques des sites de reboisement de Biencourt (2) et de Saint-Germain de Grantham	34		

Liste des figures

- | | | |
|-----------------|---|----|
| Figure 1 | Développement racinaire de l'épinette noire dans le 45-110 à la fin de la 2 ^e saison de croissance en pépinière (GINGRAS 1992) | 6 |
| Figure 2 | Exemple de développement racinaire de l'épinette noire dans le 45-110 (témoin) après cinq années en plantation | 6 |
| Figure 3 | Exemple de développement racinaire de l'épinette noire dans le 45-110 traité au cuivre (50 g/l) après cinq années en plantation | 6 |
| Figure 4 | Développement racinaire de l'épinette noire dans le <i>Trimroot 112</i> à la fin de la 2 ^e saison de croissance en pépinière (GINGRAS 1992) | 6 |
| Figure 5 | Développement racinaire de l'épinette noire dans le treillis métallique R3 à la fin de la période de croissance (GINGRAS et GAGNON 1991) | 11 |
| Figure 6 | Exemple de développement racinaire en plantation du pin gris cultivé dans le treillis métallique R2 après cinq saisons de croissance en plantation (printemps 1996) | 11 |
| Figure 7 | Développement racinaire de l'épinette noire dans les récipients <i>Ventblock</i> et <i>Copperblock 45-340</i> à la fin de la 2 ^e saison de croissance | 14 |
| Figure 8 | Développement racinaire en fin de culture de l'épinette noire dans le <i>Plantek 144</i> et repiquée dans le récipient 12-1000 | 14 |

- Figure 9** Développement racinaire de l'épinette noire dans les récipients universels de 640 et de 1166 cm³ à la fin de l'été 1993 (GINGRAS 1993b) 16
- Figure 10** Développement racinaire de l'épinette blanche cultivée durant une saison dans le récipient *Plantek 63F* et repiquée à racines nues à une densité de 14 plants par mètre de sillon (94-10-03) 16
- Figure 11** Développement des racines du mélèze laricin et du pin rouge à la fin de leur période de croissance dans le *Plantek 63F* (92-10-05) 19
- Figure 12** Développement racinaire de l'épinette blanche à la fin de la période de culture dans le récipient 15-320 et la cavité 1-360A à 1,0 et 2,0 cm d'espacement 22
- Figure 13** Croissance des racines du pin gris à la fin du test de développement racinaire (93-10-13 au 93-11-12) 22
- Figure 14** Développement racinaire de l'épinette blanche dans les minicellules *ST150* et 1-25A (GINGRAS 1993b) 23
- Figure 15** Développement racinaire (93-08-30) de l'épinette blanche produite en minicellules et repiquée en bac (GINGRAS 1993b) 23
- Figure 16** Développement racinaire en fin de culture (94-10-25) de l'épinette blanche dans le récipient 25-350A et la cavité 1-350A 24
- Figure 17** Exemple de développement racinaire à la fin du test de développement des racines (94-10-25 au 94-11-22) de l'épinette blanche dans le récipient 25-350A et la cavité 1-350A 24
- Figure 18** Développement racinaire en fin de culture (94-10-07) du chêne rouge cultivé dans le récipient 12-1000 et la cavité 1-1050A 27
- Figure 19** Températures moyennes du substrat dans les cavités de récipients 25-350A placés sur le sol ou sur des plateaux de culture (LAMBANY et RENAUD 1995) 30
- Figure 20** Températures moyennes du substrat dans les cavités de récipients 45-340 placés sur le sol ou sur des plateaux de culture (LAMBANY et RENAUD 1995) 30
- Figure 21** Développement racinaire de l'épinette noire (93.1) après deux saisons en plantation (95-10-02) 36
- Figure 22** Développement racinaire de l'épinette blanche (93.1) après deux saisons en plantation (95-10-02) 36
- Figure 23** Développement racinaire de l'épinette noire (93.1) après 2 ½ saisons en plantation (96-07-02) 36
- Figure 24** Développement racinaire de l'épinette blanche (93.1) après 2 ½ saisons en plantation (96-07-02) 36
- Figure 25** Développement racinaire de l'épinette noire (93.1) cultivée dans le 15-320 après 2 ½ saisons en plantation (96-07-02) 38
- Figure 26** Développement racinaire de l'épinette noire (93.1) cultivée dans la 1-360A à 2,0 cm après 2 ½ saisons en plantation (96-07-02) 38
- Figure 27** Développement racinaire de l'épinette blanche (93.1) cultivée dans le 15-320 après 2 ½ saisons en plantation (96-07-02) 38
- Figure 28** Développement racinaire de l'épinette blanche (93.1) cultivée dans la 1-360A à 2,0 cm après 2 ½ saisons en plantation (96-07-02) 38
- Figure 29** Développement des racines de l'épinette blanche (94.1) après 1 ½ saison en plantation (96-07-08) 39
- Figure 30** Développement des racines de l'épinette blanche (94.2) après 1 ½ saison en plantation (96-07-08) 39

- Figure 31** Exemple de développement racinaire de l'épinette blanche (94.1) cultivée dans le 25-350A après 1 ½ saison en plantation (96-07-08) 39
- Figure 32** Exemple de développement racinaire de l'épinette blanche (94.1) cultivée dans la cavité 1-350A à 1,5 cm après 1 ½ saison en plantation (96-07-08) 39
- Figure 33** Exemples de développement racinaire de l'épinette noire cultivée dans le 45-340 après 1 ½ saison en plantation - Réserve faunique de Rimouski (96-06-19) 40
- Figure 34** Exemples de développement racinaire de l'épinette blanche cultivée dans le 45-340 après 1 ½ saison en plantation - Réserve faunique de Rimouski (96-06-19) 40
- Figure 35** Développement racinaire vertical et sur 360° du bouleau jaune (94.3) après 1 ½ saison en plantation 42
- Figure 36** Développement racinaire vertical et sur 360° du chêne rouge (94.3) après 1 ½ saison en plantation 42
- Figure 37** Exemple de développement racinaire du bouleau jaune (94.3) cultivé dans le 45-340 après 1 ½ saison en plantation (96-07-22) 42
- Figure 38** Exemple de développement racinaire du bouleau jaune (94.3) cultivé dans le 1-350A à 1,5 cm après 1 ½ saison en plantation (96-07-22) 42
- Figure 39** Exemples de développement racinaire de semis d'épinette noire régénérés naturellement, récoltés à Biencourt (a, b et c - 96-05-23) et à la Forêt Montmorency (d - 96-05-28) 44
- Figure 40** Exemples de développement racinaire de semis d'épinette blanche régénérés naturellement, récoltés à la Forêt Montmorency le 96-05-28 45
- Figure 41** Gradient d'accroissement total de la hauteur entre les blocs pour l'épinette noire (93.1) cultivée dans la cavité 1-360A à 2,0 cm au printemps de la troisième année en plantation 46

Introduction

Les malformations des racines inhérentes à la culture des semis en récipient incitent actuellement les chercheurs et les gestionnaires de plusieurs pays à revoir les techniques de culture des semis (dessin du récipient, etc.) ainsi que celles associées à la mise en terre des plants (préparation du site, outils pour la mise en terre, etc.). En effet, des problèmes reliés au manque de stabilité des plants, à l'infection par l'armillaire (champignon parasite responsable de la carie des racines), à la diminution de croissance et de la qualité du bois ont été observés en plantation au cours des dernières années, et la résultante de ces observations suscite de plus en plus de questions.

La littérature rapporte que les techniques de culture influencent directement la morphologie du système racinaire des semis ainsi que le développement futur des plants en plantation (BURDETT 1978, 1990 ; GINGRAS 1992, 1993b, 1994, 1995 ; LINDSTRÖM et HÅKANSSON 1995) et que les techniques de préparation de terrain et de mise en terre affectent grandement leur stabilité et leur développement (BALISKY *et al.* 1995 ; GINGRAS 1995 ; GIROUARD 1995 ; LINDSTRÖM et HÅKANSSON 1995 ; SHEEDY 1991, 1996). On peut considérer comme une malformation des racines toute contrainte à leur développement naturel induite par la culture en récipient : développement uniquement en périphérie de la motte, engorgement dans le trou de drainage, développement en spirale dans le haut des cavités, etc. Chaque sol offre aux racines des conditions particulières d'expansion, liées à ses propriétés physiques de pénétrabilité (COLIN *et al.* 1995) et à ses caractéristiques nutritionnelles qui vont influencer le développement et l'ancrage des systèmes racinaires et conséquemment la stabilité des plants (GIROUARD 1995). Quant aux malformations racinaires, elles réduisent la croissance et le développement des jeunes plants et elles augmentent le risque d'infections par les pathogènes. Elles peuvent même ultimement mener au renversement du plant et à sa mort en plantation (LINDSTRÖM et HÅKANSSON 1995).

La survie d'un plant récemment mis en terre est directement reliée à sa capacité de pourvoir à ses besoins en eau et en éléments nutritifs (BURDETT 1990). Pour ce faire, il est donc impératif que les racines colonisent rapidement le sol environnant pour trouver ces matières premières qui décroissent rapidement en quantité dans le substrat de la motte d'origine. Toutefois, la croissance des racines peut être plus ou moins retardée et même rendue presque impossible dans certains sols à cause de la différence de densité entre les deux milieux ou par des techniques inadéquates de mise en terre qui ont pour effet de rendre très lisses les parois du trou de plantation dans certains types de sol (ARNOLD et WELSH 1995).

Des études récentes menées en Suède dans des plantations de pins démontrent que 50 % des racines sont infectées par l'armillaire tandis que les semis naturels ne sont infectés qu'à 7 %. Des plantations d'épinette montrent des taux d'infection à l'armillaire de 30 %. Des études réalisées sur les systèmes racinaires infectés suggèrent une perte significative de résistance, ce qui rend les plants plus susceptibles au renversement par le vent. Les plants mis en terre pour une utilisation future de bois de sciage ne pourront être utilisés que pour la pâte. Une diminution de la valeur marchande des lots est fortement à envisager (BRINKMAN 1995). Une récente étude américaine démontre que les malformations racinaires observées sur les semis d'épinettes peuvent mener à la mort des plants en plantation par une infection à l'armillaire (LINDSTRÖM et HÅKANSSON 1995). En Colombie-Britannique, les malformations racinaires imputables à la culture en récipient sont très évidentes dans des plantations de sapins âgés de 12 ans ; une poussée ferme d'une seule main suffit à rabattre les arbres au sol (BRINKMAN 1995). Des études spécifiques sur le développement des racines ont été entreprises en Europe au sein du programme *Aspects of sustainability by afforestation of agricultural set-aside areas : development of roots and shoot/root ratios* (COLIN et al. 1995). Ce projet, opérationnel de janvier 1994 à décembre 1997, avait pour objectif d'approfondir les connaissances sur la morphologie des racines.

Les semis régénérés naturellement démontrent normalement une stabilité supérieure à celle des plants mis en terre en raison d'une grande surface occupée par les racines, de l'absence de malformations racinaires et d'une distribution uniforme des racines (LINDSTRÖM et HÅKANSSON 1995). Les semis naturellement établis développent un vaste système de racines latérales qui colonisent le riche environnement compris à l'interface des horizons organique et minéral (BALISKY et al. 1995). La croissance de nouvelles

racines hors de la motte d'origine est principalement dirigée vers le bas en raison des contraintes inhérentes à la culture de semis en récipient. Ces nouvelles racines se développent principalement dans l'horizon minéral qui est pauvre en éléments nutritifs et où la température est plus froide, ce qui limite la croissance des plants et leur stabilité (BALISKY et al. 1995). Les malformations racinaires sont plus importantes dans des sols compacts, froids et à texture fine qui sont peu aérés (LINDSTRÖM et HÅKANSSON 1995). La stabilité des plants semble néanmoins s'améliorer au fil des années (LINDSTRÖM et HÅKANSSON 1995, SHEEDY 1996). Cependant, les malformations racinaires demeurent très visibles et prennent de l'importance avec l'âge du plant (GIROUARD 1995, SHEEDY 1996).

Le problème des malformations des racines peut être réduit en cernant les racines latérales ou en utilisant des récipients de plus forte volumétrie (BURDETT 1990, LINDSTRÖM et HÅKANSSON 1995) car les malformations des racines augmentent rapidement avec la durée de culture (SHEEDY 1991). Une morphologie améliorée des racines et des stratégies de mise en terre qui imitent le développement naturel d'un semis pourraient faciliter l'établissement des peuplements et ainsi améliorer le rendement de la régénération artificielle. Les nouveaux stocks de plants devront être capables d'une croissance latérale rapide des racines dans les horizons minéral et organique (BALISKY et al. 1995). Le cernage aérien latéral est une solution qui permet de développer des systèmes racinaires possédant des racines horizontales, capables de se développer à toutes les hauteurs et dans toutes les directions une fois le plant mis en terre, et ainsi coloniser les horizons organique et minéral (BALISKY et al. 1995, GINGRAS 1992, 1993b, 1994).

Deux techniques de cernage des racines ont été utilisées dans nos expériences : chimique et aérien. Le cernage chimique est obtenu à l'aide d'une solution de peinture au latex à laquelle on ajoute du carbonate de cuivre (CuCO_3) que l'on applique sur les parois internes des cavités. Dès que l'extrémité d'une racine entre en contact avec la paroi de la cavité, il y a inhibition de croissance et formation de racines latérales d'ordre supérieur. On obtient ainsi un système racinaire horizontal non déformé distribué uniformément dans toute la motte. Le cernage aérien permet d'obtenir le même résultat sans l'utilisation de substances chimiques en ayant recours à des cavités dans lesquelles des ouvertures sont présentes. On retrouve plusieurs concepts pour le cernage aérien : pastilles de tourbe gonflables retenues par un mince filet de tissus, récipients en treillis métallique, récipients en polyéthylène avec plusieurs ouvertures généralement

verticales dans chaque cavité. Des techniques de cernage des systèmes racinaires sont également utilisées en arboriculture pour la production d'arbres d'ornementation possédant un système racinaire fibreux peu déformé. Selon les arboriculteurs, la piètre qualité du système racinaire est une des raisons majeures qui expliquent le déclin et la mort des arbres (APPLETON 1995).

Les travaux réalisés par ALLEN (1990) avec le pin à l'encens (*loblolly pine*, *Pinus taeda* L.) ont permis de démontrer que la préparation du terrain influence favorablement la survie et la croissance des plants. Une étude a démontré que des semis de pin tordu latifolié (*Pinus contorta* Dougl. ex Loud. var. *latifolia* Engelm.) mis en terre dans la pente d'un labour, présentaient une meilleure stabilité que les semis mis en terre dans un site non préparé. L'importance de la biomasse des racines peut expliquer la très bonne stabilité des plants. Lors des opérations de récolte, un effort plus grand doit être fait pour protéger le plus possible le sol forestier. De cette manière, il serait possible, au moment de la mise en terre, de placer les semis directement à l'interface des horizons organique et minéral (BALISKY et al. 1995).

La culture des semis dans des récipients à parois ajourées de plus forte volumétrie, associée à des techniques de préparation du terrain et de mise en terre bien adaptées aux plants et aux caractéristiques du site, pourraient contribuer à procurer des conditions plus favorables à la croissance des semis en plantation.

L'objectif principal de cette étude consiste donc à mettre au point un récipient à parois ajourées pour la production de plants de fortes dimensions (PFD) équilibrés (rapport hauteur sur diamètre, concentration minimale en éléments minéraux dans les tissus, etc.) qui possèdent un système racinaire horizontal peu déformé et avec une capacité de croissance élevée des racines. L'évaluation du rendement des semis en plantation comparative constitue l'objectif pour les plantations.

On peut résumer comme suit les objectifs spécifiques de l'ensemble des expériences entreprises en pépinière et en plantation :

- évaluer différentes techniques (traitement au cuivre [CuCO_3], pastilles de tourbe gonflables et cavités à parois ajourées) permettant le cernage des racines ;
- déterminer les dimensions des cavités et des récipients pour la production de PFD (35 cm à 40 cm de hauteur) et pour la culture de semis d'autres dimensions (25 cm à 80 cm) ;
- déterminer les standards de culture (paramètres morphologiques, concentrations en éléments minéraux dans les tissus et fertilité du substrat) et les techniques de culture (irrigation, etc.) pour la production de PFD et la culture de semis d'autres dimensions ;
- déterminer les caractéristiques d'un récipient à parois ajourées pour les productions opérationnelles de PFD ;
- évaluer le potentiel des récipients et des cavités à parois ajourées pour la production de plants feuillus ;
- préciser les améliorations à apporter au 25-350A (récipient de 25 cavités à parois ajourées de 350 cm³) et développer de nouveaux récipients à parois ajourées pour les cultures autres que les PFD ;
- évaluer le rendement des semis en plantations comparatives (accroissement des paramètres morphologiques, développement des racines, capacité à devancer la compétition, etc.) de manière à connaître leur potentiel réel et ainsi orienter la culture des plants en pépinière en fonction des traitements les plus performants.

Chapitre premier

Historique du développement des récipients à parois ajourées

1.1 Développement des récipients

Depuis 1989, 43 dispositifs expérimentaux comportant l'évaluation de 30 récipients à cavités multiples ou uniques, de 21 cm³ à 1573 cm³, et de neuf essences (épinette noire - *Picea mariana* [Mill.] B.S.P., épinette blanche - *Picea glauca* [Moench] Voss, épinette de Norvège - *Picea abies* [L.] Karst., pin gris - *Pinus banksiana* Lamb., pin blanc - *Pinus strobus* L., pin rouge - *Pinus resinosa* Ait., mélèze laricin - *Larix laricina* [Du Roi] K. Koch, bouleau jaune - *Betula alleghaniensis* Britt. et chêne rouge - *Quercus rubra* L.) ont été établis en collaboration avec les pépiniéristes du MRN (Grandes-Piles, Sainte-Luce, East-Angus, Saint-Modeste et Berthierville). Des suivis de culture (paramètres morphologiques, concentrations en éléments dans les tissus, fertilité du substrat et architecture du système racinaire) ont été réalisés tout au long des saisons de croissance pour tous les essais expérimentaux. Des tests de développement des racines ont également été réalisés à la fin de la dernière saison de culture dans la plupart des dispositifs.

Un historique chronologique de l'ensemble des expériences entreprises depuis 1989 en pépinière et depuis 1991 en plantations comparatives est présenté à l'annexe 1. Les caractéristiques de l'ensemble des récipients évalués sont présentées à l'annexe 2.

Ce premier chapitre présente les résultats des principaux essais expérimentaux réalisés en pépinière ainsi que certains résultats en plantation autres que ceux du dossier « PFD - parois ajourées ». Le chapitre deux présente le rendement en plantation comparative des essais expérimentaux entrepris pour évaluer la performance des PFD cultivés dans des récipients et les cavités à parois ajourées.

Les résultats obtenus au fil des années ont permis de mettre au point le récipient 25-350A qui est utilisé sur une base opérationnelle depuis 1994. Nos travaux de recherche ont également permis la mise au point de nouvelles cavités à parois ajourées qui ont mené à proposer une version améliorée (28-350A) du 25-350A, ainsi qu'à celles de récipients pour les cultures de PFD de plus de 40 cm de hauteur (16-564A) et pour la production de semis de plus faibles dimensions (36-206A).

Les sections qui suivent présentent une brève synthèse de chacune des expériences entreprises, des principaux résultats obtenus et des conclusions qui ont été déduites. Les informations entre parenthèses dans le titre de chacune des sections correspondent au numéro de l'expérience (annexe 1).

1.1.1 45-110 + CuCO₃ (89.1)

Des semis d'épinette noire ont été cultivés dans le récipient 45-110 soumis à quatre traitements (témoin, latex seul, latex + 50 g/l de CuCO₃ et latex + 100 g/l de CuCO₃) et produits en deux saisons de croissance sous trois régies nutritionnelles azotées.

Le cuivre, utilisé à une concentration de 50 g/l de CuCO₃, permet de créer une structure racinaire horizontale fibreuse très peu déformée (figure 1). L'utilisation d'une régie nutritionnelle azotée plus élevée permet de compenser les pertes de croissance imputables à l'action du cuivre. L'inhibition de croissance due au cuivre n'est cependant pas temporaire comme l'affirment de nombreux auteurs. Le développement des racines hors de la motte d'origine (test en serre), une fois cette dernière retirée du récipient, laisse fortement à désirer pour les semis soumis à l'effet du CuCO₃. Le carbonate de cuivre est un produit dispendieux et dangereux (réactif). De plus, les récipients doivent être traités tous les deux ans si on

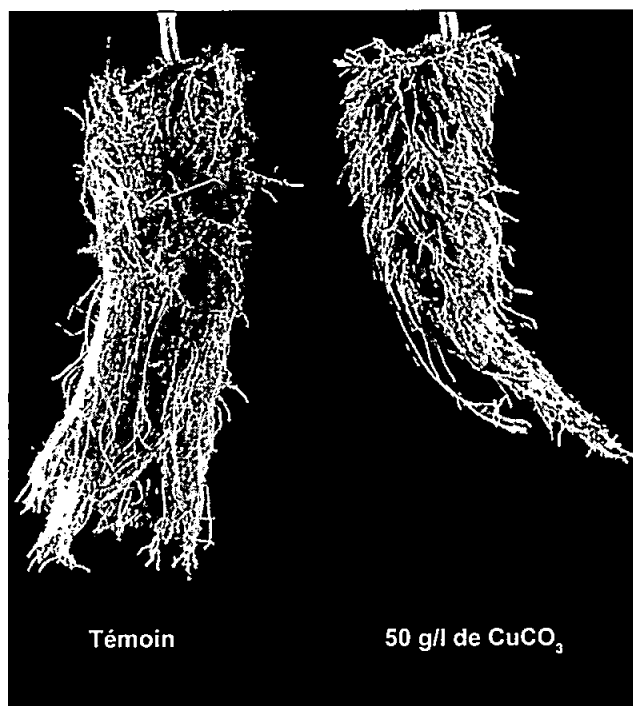


Figure 1. Développement racinaire de l'épinette noire dans le récipient 45-110 à la fin de la 2^e saison de croissance en pépinière (GINGRAS 1992).

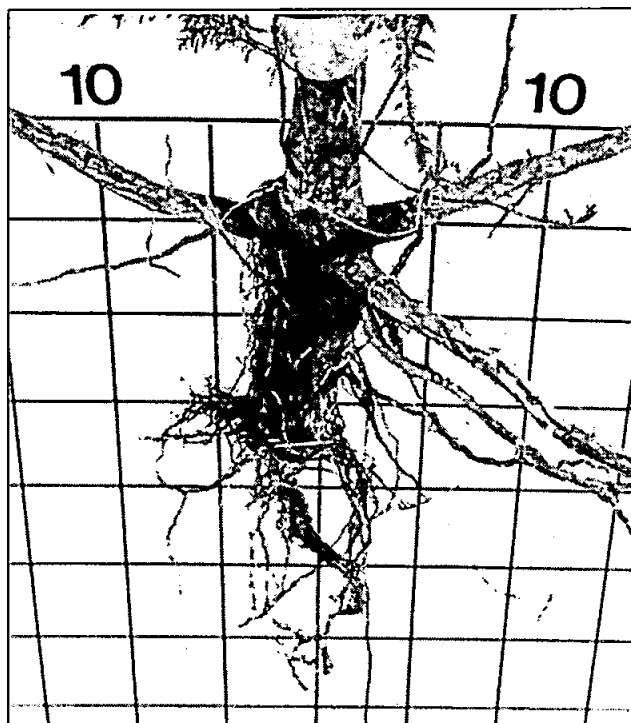


Figure 2. Exemple de développement racinaire de l'épinette noire cultivée dans le récipient 45-110 (témoin) après cinq années en plantation.

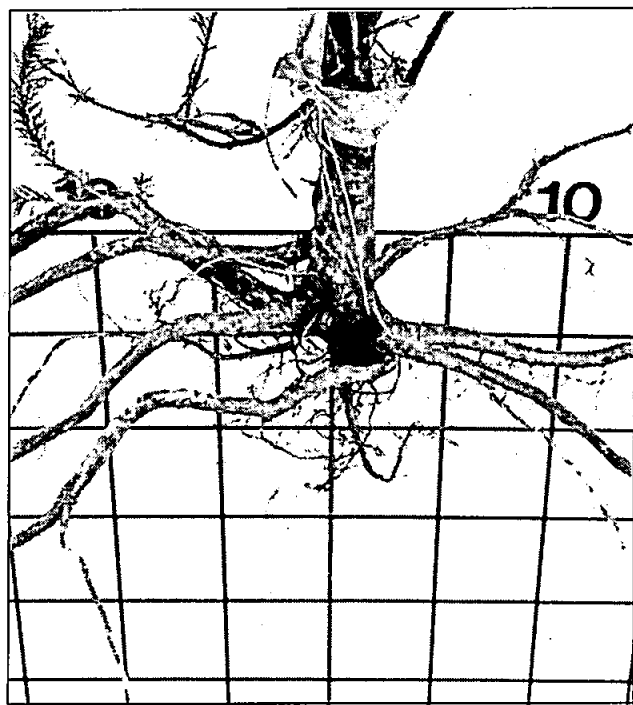


Figure 3. Exemple de développement racinaire de l'épinette noire cultivée dans le récipient 45-110 traité au cuivre (50 g/l de CuCO_3) après cinq années en plantation.

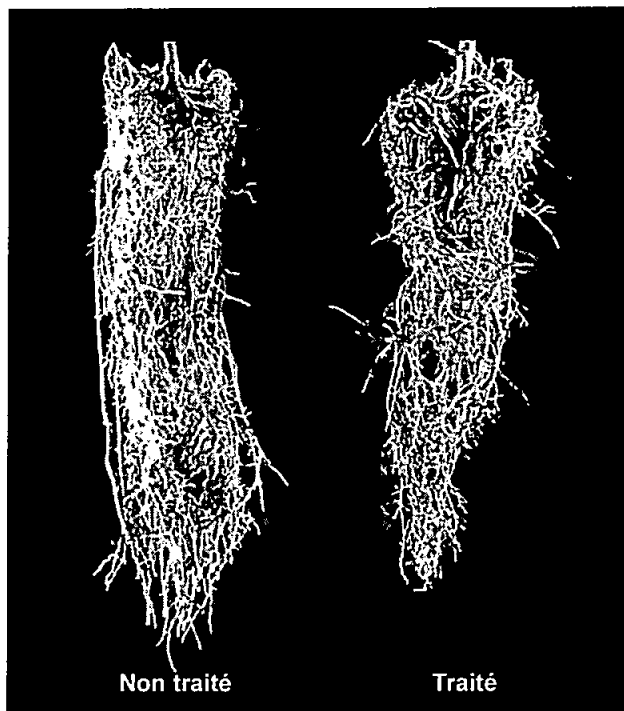


Figure 4. Développement racinaire de l'épinette noire cultivée dans le récipient *Trimroot 112* à la fin de la 2^e saison de croissance en pépinière (GINGRAS 1992).

désire obtenir le même niveau d'efficacité du cuivre. À la suite de cette expérience réalisée en 1989-1990, on peut conclure que le traitement complet de l'intérieur de la cavité à l'aide d'une solution contenant du cuivre, même à une concentration de 50 g/l, ne peut être recommandé.

Après une saison en plantation (tableau 1), les résultats font ressortir que :

- le taux de survie des semis cultivés dans des récipients traités à 100 g/l de CuCO_3 est beaucoup plus faible à Hérouxville qu'à Mastigouche ;
- pour chaque traitement, les hauteurs atteintes après un an en plantation sont identiques dans les deux sites de reboisement ;
- les caractéristiques du site de reboisement influencent très fortement le développement des racines hors de la motte d'origine ;
- à Hérouxville et à Mastigouche, le nombre de racines qui se sont développées hors de la motte est inférieur pour les semis qui ont été cultivés dans des récipients traités au cuivre, principalement à 100 g/l de CuCO_3 ;
- les semis cultivés dans des récipients traités au latex seul présentent un développement des racines semblable à celui des témoins ;
- l'écart de croissance observé en pépinière entre les quatre traitements se maintient après la mise en terre.

Au printemps 1996, quelques plants (deux à trois par traitement) ont été extraits pour examiner la croissance des racines après cinq ans en plantation. Les plants ont été déterrés et nettoyés délicatement et on a procédé à un dénombrement des racines latérales et plongeantes de plus de 1,0 cm émergeant de la motte d'origine. Les principales observations, bien que portant sur quelques plants seulement, sont les suivantes :

- dans le cas des plants témoins, le système racinaire est principalement constitué de racines adventives développées dans les premiers centimètres du sol. La distribution de ces nouvelles racines n'est cependant pas uniforme. Les racines adventives sont des racines qui se développent sur la tige au-dessus du système racinaire d'origine. La motte d'origine est toujours visible et les malformations des racines présentes en pépinière sont encore plus importantes. La persistance

ou l'augmentation des malformations des racines n'est pas souhaitable eu égard aux problèmes de stabilité ou d'infection par l'armillaire. Certaines racines ont cependant émergé de la motte. La figure 2 illustre un exemple de développement des racines après cinq années en plantation.

- Le développement racinaire des semis cultivés dans le récipient 45-110 traité à 50 g/l de CuCO_3 est essentiellement constitué de racines adventives qui se sont développées dans les premiers centimètres du sol. La distribution des racines est cependant plus uniforme que celle qu'on observe sur les témoins. La motte d'origine a presque complètement disparu. Aucune racine ne semble avoir émergé de la motte (figure 3).

1.1.2 Trimroot 112 (89.2)

Des semis d'épinette noire ont été cultivés dans le récipient *Trimroot 112* (traité et non traité au cuivre [bandes alternées = 50 % de la surface traitée]) et produits en deux saisons de croissance sous trois régies nutritionnelles azotées.

Le récipient *Trimroot 112* traité au cuivre par bandes alternées permet de produire des systèmes racinaires horizontaux faiblement déformés ; le cuivre affecte très peu la croissance des semis ainsi que la solidité des mottes (figure 4). Les expériences réalisées en serre sur les semis cultivés dans le récipient traité au cuivre ont montré un développement des racines hors de la motte d'origine significativement supérieur (nombre et masse anhydre des racines blanches de plus de 1 cm de longueur) à celui des récipients non traités (GINGRAS 1992). Les expériences ont également fait ressortir les avantages du traitement par bandes alternées qui devrait être utilisé si d'autres travaux de recherche étaient entrepris avec le cuivre. Comme on l'a mentionné pour le récipient 45-110, le traitement au cuivre n'est plus efficace après deux saisons ; ces récipients doivent donc être considérés par la suite comme des récipients conventionnels.

Le tableau 1 présente le bilan après la première saison en plantation. Il en ressort que :

- le développement des racines est fortement influencé par les caractéristiques des sites de reboisement ;
- la croissance en hauteur est semblable pour les deux traitements ;

Tableau 1. Taux de survie, accroissement de la hauteur et développement des racines de semis cultivés dans le 45-110 et le Trimroot 112 après une saison en plantation (printemps 1992)

Dispositif (réceptient)	Site	Traitement	Survie (%)	s plants #	Hauteur (printemps)		s plants #	Racines hors motte (nombre)		
					1991 (cm)	1992 (cm)		latérales	plongeantes	totales
45-110	Hérouxville	Témoin	95	240	28 (0,6)	35 (4,6)	7	24	26 (4,9)	39 (8,1)
		Latex	96	240	29 (0,6)	36 (4,9)	7	24	24 (5,7)	44 (8,0)
		50 g/l CuCO ₃	91	240	26 (0,6)	32 (4,3)	7	24	17 (4,7)	21 (5,6)
		100 g/l CuCO ₃	72	240	24 (0,6)	30 (4,4)	5	24	7 (2,5)	5 (2,6)
	Mastigouche	Témoin	93	230	.	35 (4,7)	.	14	113 (37,3)	26 (12,9)
		Latex	87	241	.	35 (5,1)	.	14	91 (23,7)	29 (14,4)
		50 g/l CuCO ₃	93	238	.	31 (4,5)	.	14	58 (16,2)	15 (9,5)
		100 g/l CuCO ₃	90	235	.	28 (5,1)	.	14	48 (24,5)	15 (18,8)
	Trimroot 112	Hérouxville	99	504	24 (0,3)	31 (4,2)	8	24	20 (3,0)	30 (6,7)
		Traité au cuivre	94	504	24 (0,3)	32 (4,4)	8	24	22 (4,2)	18 (4,1)
	Mastigouche	Témoin	96	393	.	30 (5,0)	.	12	93 (32,2)	45 (14,7)
		Traité au cuivre	95	399	.	30 (4,9)	.	12	102 (22,8)	23 (8,0)

Les valeurs entre parenthèses indiquent les intervalles à +/- deux erreurs-types.

Hérouxville Terrain agricole, plat, sol lourd et argileux. Le drainage est moyen.

Mastigouche Terrain forestier après coupe sur un moyen versant. Le drainage est de bon à rapide.

Le sol peut être qualifié de mince avec affleurements rocheux à quelques endroits.

La texture du sol est sablonneuse avec une pierrosité très variable.

L'humus n'est pas toujours présent puisque le site est scalpé par endroits.

- pour chacun des deux sites de reboisement, le nombre de racines latérales hors de la motte est semblable pour les deux traitements à l'exception des racines plongeantes pour le site de Mastigouche, où les plants traités au cuivre ont moins de racines qui se sont développées vers le bas de la motte.

Un relevé du développement des racines, identique à celui fait pour les récipients 45-110, a été réalisé sur deux à trois plants par traitement au printemps 1996. Les principales observations sont les suivantes :

- les racines adventives constituent la presque totalité du système racinaire des plants témoins (non traités au cuivre). La motte d'origine est toujours visible et les malformations sont importantes (étrangement). Quelques racines déformées ont toutefois émergé de la motte d'origine. Le système racinaire est peu développé (15 premiers centimètres du sol) et la distribution des racines n'est pas uniforme ;
- pour ce qui est des plants cultivés dans les récipients traités au cuivre, on note également une forte présence de racines adventives. La motte d'origine est encore visible (moins que pour les plants non traités) et on y retrouve certaines malformations des racines. Quelques racines ont également émergé de la motte d'origine. Les racines se sont développées principalement dans les 15 premiers centimètres du sol et leur distribution est plus uniforme que celle des plants témoins.

1.1.3 Treillis métallique (89.3)

Des semis d'épinette noire, d'épinette blanche et de pin gris ont été cultivés dans des récipients en treillis métallique pour une production de plants de très fortes dimensions. Ils ont été produits en deux périodes de croissance en serre et soumis à trois régimes nutritionnelles (N_1 , N_2 et N_3) pour l'épinette noire et une seule (N_2) pour les deux autres essences.

Les récipients en treillis métallique ont permis de produire des semis d'épinette noire variant de 40,5 cm (R_1 - N_1) à 65,4 cm (R_3 - N_3) de hauteur avec des systèmes racinaires horizontaux fibreux très peu déformés (figure 5). Les valeurs du rapport hauteur/diamètre les plus faibles ont été obtenues avec les cavités de R_2 (885 cm³) et R_3 (1573 cm³) en raison de dimensions restrictives pour la croissance en diamètre de la cavité R_1 (393 cm³). La croissance en hauteur de l'épinette blanche et du pin gris a été moins élevée en raison d'un aoûttement prématuré des semis dû à une nutrition minérale trop faible. L'utilisation de

ce type de récipient permet d'obtenir sans substance chimique les mêmes résultats qu'avec le cuivre. De plus, le potentiel de croissance des racines hors de la motte d'origine est très élevé. Seule l'irrigation des plants a été difficile, spécialement pour les petites cavités ; des interventions plus fréquentes étaient nécessaires. Le principe du cernage aérien présente une avenue très intéressante qui a été retenue pour les expériences subséquentes.

Un inventaire a été réalisé après cinq ans en plantation (printemps 1996) pour évaluer la croissance et le pourcentage de survie (tableau 2). Compte tenu qu'un maximum de 15 plants par traitement ont été mis en terre (expérience réalisée avec peu de semis lors de la culture en serre) et du fait que les accroissements ont été calculés à partir d'une différence entre les moyennes, l'interprétation des données est plus délicate. Outre les pourcentages de survie qui sont élevés (minimum de 87 %), on dénote l'importance des dimensions initiales des semis sur le gabarit des plants après cinq ans en plantation.

En raison du nombre très restreint de plants mis en terre à Hérouxville, trois plants par essence ont été déterrés au printemps 1996 pour un examen du développement de leurs racines. Les énoncés suivants résument nos principales observations.

- Pour ce qui est de l'épinette noire et de l'épinette blanche, le développement des racines se situe essentiellement dans les 15 premiers centimètres du sol. La motte d'origine est encore visible et présente quelques malformations des racines. Il y a présence de racines adventives. Plusieurs des racines ont émergé de la motte d'origine. Le développement des racines est moyen et leur distribution est plutôt faible. Les caractéristiques du sol ainsi que la technique de mise en terre (pelle) des semis semblent avoir nui au développement des racines hors de la motte d'origine. La plupart des malformations des racines observées en plantation n'étaient pas présentes à la fin de la période de culture.
- Le développement des racines du pin gris (figure 6) est exceptionnel ; il est très uniforme sur le pourtour de la motte et les racines descendent à plus de 30 cm de profondeur. La plupart des racines ont émergé de la motte d'origine qui est encore un peu visible. Il ne semble pas y avoir de racines adventives. Aucune malformation des racines n'a été observée sur ces plants. Le développement des racines du pin gris ne semble pas avoir été affecté par les caractéristiques du sol ainsi que par la technique de mise en terre des plants.

Tableau 2. Bilan de la croissance des plants cultivés dans les treillis métalliques après cinq saisons en plantation (printemps 1996)

Essence	Récepteur	Régie azotée	$\frac{g}{m^2}$ #	Automne 1990 *		Printemps 1996		$\frac{g}{m^2}$ %	Accroissement *	
				hauteur (cm)	diam. (mm)	hauteur (cm)	diamètre (mm)	h/d	hauteur (cm)	diam. (mm)
Épinette noire	R1	N1	15	41	5,0	101 (2,6)	17,9 (0,5)	5,7	61	12,9
	R1	N2	15	44	5,1	100 (2,7)	21,7 (0,8)	4,6	56	16,6
	R1	N3	15	43	5,6	104 (2,7)	21,3 (0,5)	4,9	61	15,7
	R2	N1	15	52	6,8	125 (3,9)	24,2 (0,7)	5,2	73	17,3
	R2	N2	15	53	6,1	110 (3,0)	23,1 (0,5)	4,8	57	17,1
	R2	N3	15	57	7,4	146 (3,3)	29,2 (0,5)	5,0	89	21,9
	R3	N1	15	57	7,7	141 (4,3)	29,4 (0,7)	4,8	84	21,8
	R3	N2	15	58	7,7	112 (3,5)	26,7 (0,8)	4,2	54	19,0
	R3	N3	15	65	8,4	155 (3,9)	34,9 (0,8)	4,4	90	26,5
Épinette blanche	R1	N2	15	18	4,8	81 (2,0)	17,4 (0,5)	4,7	64	12,6
	R2	N2	15	18	5,4	90 (3,7)	19,2 (0,7)	4,7	72	13,8
	R3	N2	15	24	5,9	120 (6,7)	24,6 (1,3)	4,9	96	18,7
Pin gris	R1	N2	4	19	4,7	216 (20,9)	54,7 (7,8)	4,0	197	49,9
	R2	N2	15	28	6,8	228 (4,6)	49,2 (1,5)	4,6	200	42,5
	R3	N2	15	34	8,5	246 (3,7)	55,7 (1,1)	4,4	212	47,2

* Données de l'inventaire du 1 octobre 1990 réalisé en pépinière (Université Laval).
Les valeurs entre parenthèses indiquent les intervalles à $\pm$ deux erreurs-types.

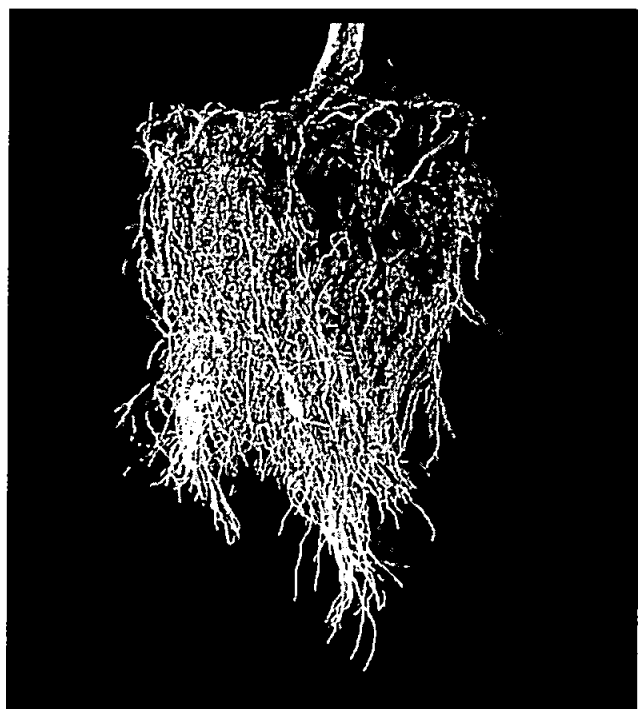


Figure 5. Développement racinaire de l'épinette noire dans le treillis métallique R3 à la fin de la période de croissance (GINGRAS et GAGNON 1991).

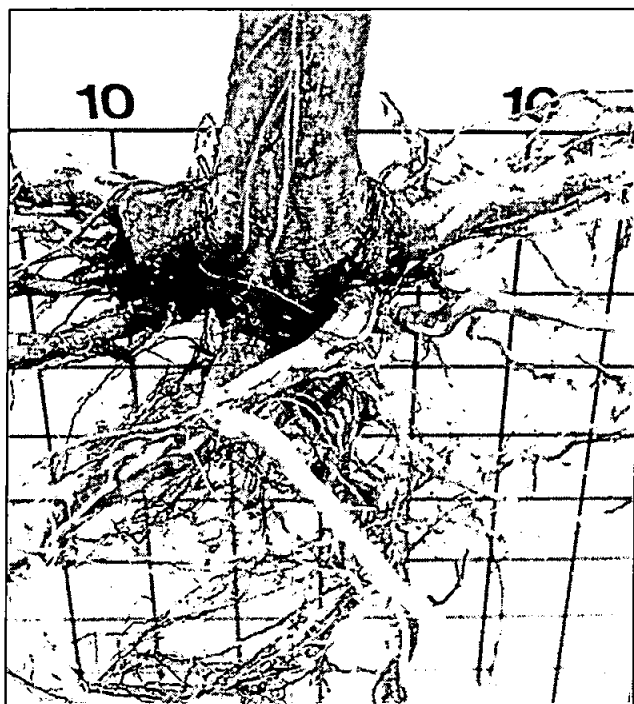


Figure 6. Exemple de développement racinaire en plantation du pin gris cultivé dans le récipient en treillis métallique R2 après cinq saisons de croissance en plantation (printemps 1996).

1.1.4 Pastilles Jiffy (89.4)

Des semis d'épinette noire ont été cultivés dans des pastilles de tourbe gonflables sous trois régies nutritionnelles azotées à leur première saison de croissance. Ces plants par la suite ont été maintenus en culture sous une seule régie nutritionnelle à leur deuxième saison de croissance même si l'essai expérimental a été abandonné en raison des problèmes de développement des racines.

Les deux formats de pastilles de tourbe utilisées dans l'expérience (46 cm³ et 90 cm³) étaient trop petits pour permettre la production de semis de qualité sur deux saisons de croissance. De plus, le manque d'espace entre les mottes a provoqué un développement important des racines d'une cavité à l'autre. Le feuillet de polyéthylène qui maintient les pastilles à la base a provoqué un enroulement non souhaitable et très important des racines à la base des mottes. À la fin de la deuxième saison, il était impossible de séparer les mottes sans devoir couper les racines. La compagnie Jiffy Products Ltd. n'était pas en mesure, à cette époque, de nous fournir des pastilles de plus fort volume avec un espacement adéquat entre elles (»1,5 cm). L'utilisation des pastilles actuellement disponibles suppose une culture sur une seule saison de croissance et nécessite une taille mécanique des racines qui traversent d'une cavité à l'autre. Cependant, le concept de ces pastilles est intéressant car le cernage aérien fonctionne très bien aux endroits où les mottes ne se touchent pas.

Au printemps 1991, quelques semis ont été mis en terre à Hérouxville pour évaluer la croissance des racines. Après cinq années en plantation (évaluation sur seulement deux plants cultivés dans la pastille gonflable Jiffy #70), la motte d'origine est encore très visible (forte densité de racines) et le tissu qui maintient les mottes lors de la culture n'est pas entièrement dégradé. Le développement des racines ne présente pas de spiralisation, contrairement à ce qui avait été observé en pépinière. La plupart des racines qui s'étaient enroulées à la base de la motte ont probablement été cassées lors de l'extraction des plants. Le développement des racines est assez uniforme et on note la présence de racines adventives.

Tableau 3. Standards de culture recommandés pour la culture de l'épinette noire et l'épinette blanche dans les réipients de 200 et de 350 cm³ (GINGRAS 1993a, 1994)

Épinette noire																					
Réceptient (cm ³)	Âge	Standards morphologiques				Concentrations en éléments minéraux dans le plant entier (%)				Fertilité du substrat (ppm)											
		haut. (cm)	diam. (mm)	h/d	tige (mg)	rac. (mg)	tot. (mg)	t/r	N	P	K	N	P	K							
200	1+0	↑	12,0	1,49	8,1	425	165	590	2,6	2,50	2,34	0,29	0,27	1,13	1,05	100	50	100	100	150	150
		↓	12,5	1,53	8,2	455	175	630	2,6	2,50	2,32	0,29	0,27	1,13	1,05	100	50	100	100	150	150
	2+0	↑	25,0	4,50	5,6	3825	1650	5475	2,3	2,34	1,74	0,27	0,20	1,05	0,79	150	50	100	100	150	150
		↓	27,5	5,00	5,5	4200	1800	6000	2,3	2,32	1,74	0,27	0,20	1,05	0,79	150	50	100	100	150	150
350	1+0	↑	14,0	1,70	8,2	545	205	750	2,7	2,50	2,30	0,29	0,27	1,13	1,05	100	50	100	100	150	150
		↓	14,5	1,75	8,3	635	235	870	2,7	2,50	2,29	0,29	0,27	1,13	1,05	100	50	100	100	150	150
	2+0	↑	35,0	5,15	6,8	6500	2000	8500	3,3	2,30	1,74	0,27	0,20	1,05	0,79	150	50	100	100	150	150
		↓	40,0	5,40	7,4	7750	2250	10000	3,4	2,29	1,74	0,27	0,20	1,05	0,79	150	50	100	100	150	150
Épinette blanche																					
Réceptient (cm ³)	Âge	Standards morphologiques				Concentrations en éléments minéraux dans le plant entier (%)				Fertilité du substrat (ppm)											
		haut. (cm)	diam. (mm)	h/d	tige (mg)	rac. (mg)	tot. (mg)	t/r	N	P	K	N	P	K							
200	1+0	↑	8,2	1,66	4,9	510	235	745	2,2	2,70	2,48	0,31	0,28	1,22	1,10	150	50	100	100	150	150
		↓	8,5	1,71	5,0	540	250	790	2,2	2,70	2,47	0,31	0,28	1,22	1,10	150	50	100	100	150	150
	2+0	↑	25,0	5,00	5,0	4350	1450	5800	3,0	2,48	1,80	0,28	0,21	1,10	0,81	250	50	100	100	150	150
		↓	27,5	5,50	5,0	4925	1625	6550	3,0	2,47	1,80	0,28	0,21	1,10	0,81	250	50	100	100	150	150
350	1+0	↑	9,2	1,90	4,8	620	280	900	2,2	2,70	2,44	0,31	0,28	1,22	1,10	150	50	100	100	150	150
		↓	9,4	1,95	4,8	690	310	1000	2,2	2,70	2,43	0,31	0,28	1,22	1,10	150	50	100	100	150	150
	2+0	↑	35,0	6,00	5,8	7350	2150	9500	3,4	2,44	1,80	0,28	0,21	1,10	0,81	250	50	100	100	150	150
		↓	40,0	6,50	6,2	8500	2500	11000	3,4	2,43	1,80	0,28	0,21	1,10	0,81	250	50	100	100	150	150

↑↓ Valeurs limites.

⇒⇒⇒⇒ Évolution des valeurs du printemps à l'automne.

1.1.5 Rootmaker (89.5)

Des semis d'épinette noire ont été cultivés dans les récipients 45-110 et *Rootmaker* et produits en deux saisons de croissance selon les techniques courantes de production. La première expérience portait sur la comparaison entre les récipients 45-110 et *Rootmaker* et la seconde comportait l'évaluation de trois régies nutritionnelles azotées (N_1 , N_2 et N_3) pour le récipient *Rootmaker*.

En raison de quelques problèmes rencontrés durant la culture, les semis n'ont jamais pu atteindre les hauteurs escomptées : 45-110 = 19,2 cm ; *Rootmaker* = 14,4 cm pour la première expérience et N_1 = 18,0 cm, N_2 = 18,7 cm et N_3 = 20,2 cm pour la seconde à la fin de leur deuxième saison de croissance. Bien que les semis cultivés dans le récipient *Rootmaker* aient présenté des systèmes racinaires moins déformés que ceux qu'on obtient avec le récipient 45-110, le développement des racines se situait principalement dans le haut de la cavité et demeurait très dense, principalement aux endroits où se trouvent les ouvertures. La géométrie des ouvertures dans les parois ne permet pas d'obtenir un développement des racines semblable à celui obtenu avec les récipients en treillis métallique. Les semis issus de ces deux expériences n'ont pas été mis en terre dans le cadre de plantations expérimentales.

1.1.6 25-200 + CuCO_3 et *Ventblock* et *Copperblock* 45-340 et 28-340 (91.1-91.6)

Des semis d'épinette noire, d'épinette blanche, d'épinette de Norvège et de pin blanc ont été cultivés dans le récipient 25-200 soumis à deux traitements (témoin et traité à 50 g/l de CuCO_3 par bandes alternées) et ils ont été produits sous trois régies nutritionnelles azotées en deux saisons de croissance. Des semis d'épinette noire et d'épinette blanche ont également été cultivés dans les récipients *Ventblock* et *Copperblock* 45-340 et 28-340 et produits en deux saisons de croissance, également sous trois régies nutritionnelles azotées. Les récipients 25-200 ont été traités manuellement au cuivre tandis que les *Copperblock* étaient disponibles commercialement. Les parois intérieures des cavités des *Copperblock* étaient toutefois presque complètement traitées au cuivre ; les arêtes non traitées étaient très étroites. L'usage du cuivre pour lutter contre les malformations des racines a été retenu parce qu'il n'existait, à ce moment-là et à notre connaissance, aucun modèle de récipient à parois ajourées pour la culture de PFD. Ces six dispositifs expérimentaux ont été réalisés simultanément avec ceux présentés aux sections 1.1.7 et 1.1.8. (ci-dessous).

Les résultats ont permis de préciser les standards (paramètres morphologiques, concentrations en éléments minéraux dans les tissus et fertilité du substrat) recommandés pour chacun des deux volumes évalués (200 et 340 cm³). Le tableau 3 présente les standards de référence pour l'épinette noire et l'épinette blanche. Ces données permettent, à l'aide du logiciel *Plantec* (LANGLOIS et GAGNON 1993), de construire des calendriers de fertilisation adaptés à chaque essence et type de récipient. Le *Ventblock* 45-340 est le seul récipient utilisable pour produire des semis équilibrés de 35 à 40 cm de hauteur. Le 25-200 ne permet pas de produire des PFD ; son utilisation devrait être orientée principalement pour remplacer le récipient 45-110 utilisé dans les productions conventionnelles. Le développement des racines dans les récipients non traités au cuivre est identique à celui que l'on observe dans le 45-110, à l'exception que la densité des racines en périphérie est moins élevée. Les traitements au cuivre ont permis de produire des systèmes racinaires horizontaux (figure 7). Cependant, le traitement par bandes alternées des 25-200 est très compliqué à réaliser à la main. Après deux saisons, l'efficacité du cuivre dans les récipients évalués doit être considérée comme très faible, ce qui entraîne que les récipients doivent être traités à nouveau. La mise au point d'un récipient à parois ajourées d'environ 340 cm³ serait grandement souhaitable pour produire des PFD à grande échelle. Aucun test de développement des racines hors de la motte d'origine n'a été réalisé à l'automne 1992.

Les semis ont été mis en terre avec ceux provenant des autres essais expérimentaux dans deux plantations comparatives à Drummondville (sept classes de hauteur par essence) au printemps 1993. Les principales observations (MÉNÉTRIER 1996) pour l'ensemble des traitements (91.1 à 1.10 ; sections 1.1.6 à 1.1.8), après trois saisons en plantation, sont les suivantes :

- les taux de survie pour l'ensemble des classes de hauteur et pour chaque essence sont sensiblement identiques (Epn » 90 % et Epb » 87 %) à l'exception de l'épinette blanche cultivée dans le 25-200 qui présente un taux de survie beaucoup plus faible ($\approx$ 60 %). L'incapacité de ces plants à lutter contre la compétition semble être la raison qui explique ce haut taux de mortalité ;
- les gains initiaux de hauteur se maintiennent après trois années en plantation. La hauteur atteinte après trois saisons pour les semis cultivés dans le 25-200 est égale ou inférieure à la hauteur initiale des 15-700 et des 12-1000 ;

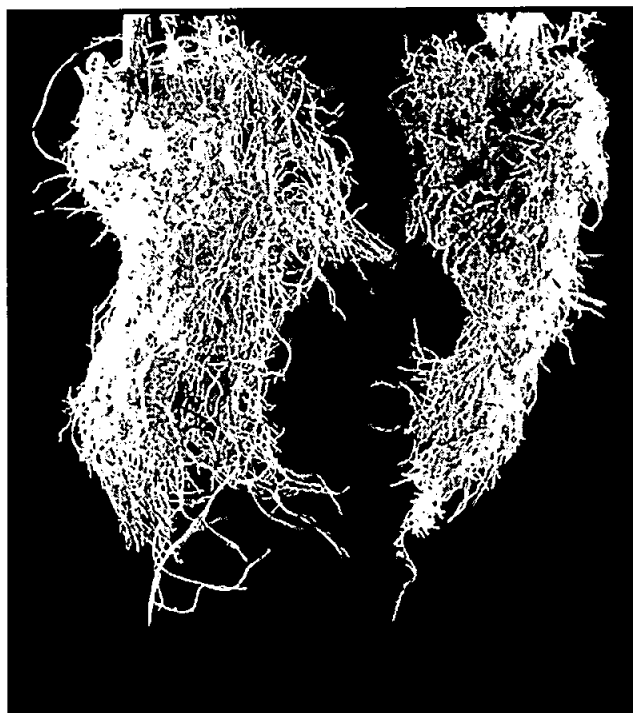


Figure 7. Développement racinaire de l'épinette noire dans les récipients *Ventblock* et *Copperblock* 45-340 à la fin de la 2^e saison de croissance.



Figure 8. Développement racinaire en fin de culture de l'épinette noire dans le récipient *Plantek* 144 et repiquée dans le récipient 12-1000.

- la croissance des plants est plus faible en deuxième année et elle reprend, la troisième année, un rythme de croissance semblable à celui qu'on observait la première année ;
- les accroissements en diamètre sont faibles la première année et augmentent à la deuxième et à la troisième année. Les accroissements en diamètre les plus importants ont été observés pour l'épinette noire dans les récipients 15-700 et 12-1000.

De plus, au printemps 1993, deux plantations expérimentales ont été implantées à Drummondville (même site que les deux plantations mentionnées précédemment) par M. Ronald Girouard de Forêts Canada, pour évaluer le développement des racines des semis produits dans les *Copperblock*. Les énoncés suivants (MONGRAIN 1996) résument les principales observations après une année complète en plantation (semis mis en terre en juin 1993 et mesurés en juin 1993 et 1994) :

- les plants cultivés dans les récipients *Copperblock* 45-340 ont présenté un taux de mortalité plus élevé, spécialement pour l'épinette blanche (Epn [Ventblock=6,1 % ; Copperblock=11,1 %] ; Epb [Ventblock=13,9 % ; Copperblock=40,6 %]). Le secteur où les épinettes blanches étaient mises en terre présentait un très mauvais drainage. Dans ces conditions difficiles, les semis cultivés dans des récipients traités au cuivre ont été beaucoup plus affectés que les plants témoins ;
- les accroissements en hauteur sont de 2,3 cm supérieurs pour les récipients *Ventblock* tandis que pour les diamètres, ils sont sensiblement identiques.

1.1.7 45-340, 15-700 et 12-1000 (91.7-91.8)

Des semis d'épinette noire et d'épinette blanche ont été cultivés en serre dans le récipient *Plantek* 144. Une fois la période de croissance complétée, les semis ont été entreposés en chambre froide. Ils ont par la suite été repiqués dans les récipients *Ventblock* 45-340, 15-700 et 12-1000 et cultivés en serre sous trois régimes nutritionnelles azotées (N₁, N₂ et N₃). Cette expérience portait spécifiquement sur la capacité à produire des semis équilibrés de plus de 40 cm de hauteur sans traitement pour les malformations des racines.

Des semis d'épinette noire de 70,2 cm de hauteur moyenne avec un rapport hauteur/diamètre de 6,3 et de 66,3 cm (h/d = 5,9) ont été produits dans les 12-1000 et 15-700 respectivement. La croissance a été moins élevée avec l'épinette blanche en raison

d'un aoûtement prématuré des semis (hauteur = 49,6 cm et h/d = 4,7 pour le 12-1000 ; hauteur = 51,1 cm et h/d = 5,2 pour le 15-700). La hauteur des semis est directement proportionnelle à la quantité d'azote reçue. Ces résultats ont permis de préciser les gabarits de plants qu'on peut produire dans chacun de ces récipients (35-40 cm, 57,5-62,5 cm et 75,5-82,5 cm pour les 45-340, 15-700 et 12-1000 respectivement). Des malformations importantes des racines ont été observées dans tous les récipients pour les deux essences. Le développement des racines se situe essentiellement en périphérie de la motte et les racines sont dirigées vers le bas. De plus, la forme de la cavité du *Plantek 144* est très bien visible à la fin de la période de croissance (figure 8). Sur cette image, la motte a été ouverte pour bien montrer l'effet nuisible du repiquage ainsi que la densité du système racinaire. Si la production de semis de plus de 40 cm de hauteur devenait nécessaire, il serait essentiel de considérer des récipients d'environ 600 cm³ permettant le cernage des racines. Une culture sur trois saisons de croissance induirait assurément des malformations très importantes des racines ainsi qu'une restriction de la croissance en diamètre des plants dans des récipients de 340 cm³. Le repiquage à partir de semis produits dans des cavités à parois pleines de faible volume n'est pas recommandé. Aucun test de développement des racines n'a été réalisé pour ces essais expérimentaux.

Les semis ont été mis en terre avec ceux provenant des essais expérimentaux (1.1.6 et 1.1.8) à Drummondville et au Lac Lamolaie (réserve de Rimouski) au printemps 1993. Les principales observations après trois saisons en plantation sont présentées à la section 1.1.6. Trois autres plantations expérimentales ont été établies par M. Robert Jobidon à Biencourt, Saint-Luc et Victoriaville et portent sur l'étude éco-physiologique des plantations établies avec des plants de fortes dimensions.

1.1.8 *Ventblock* et *Copperblock* 60-250 (91.9-10)

Des semis d'épinette noire et d'épinette blanche ont été cultivés dans les récipients *Ventblock* et *Copperblock* 60-250 sous trois régies nutritionnelles azotées durant deux saisons de culture. Tout comme nous l'avons mentionné pour les *Copperblock* 45-340 (section 1.1.6), les *Copperblock* 60-250 présentaient des cavités presque totalement traitées au cuivre. Elles auraient dû être traitées au cuivre par bandes alternées comme les *Trimroot* 112 (section 1.1.2) de manière à n'avoir que 50 % de la surface intérieure traitée.

Après deux saisons de croissance, les résultats ont permis de préciser les caractéristiques morphologiques et physiologiques des semis pouvant être produits dans ce type de récipient. On peut produire des semis d'environ 27,5 - 32,5 cm de hauteur avec un rapport hauteur/diamètre d'environ 6,3 (épinette noire) et 5,5 (épinette blanche). Les standards de concentrations en éléments minéraux et de fertilité du substrat sont intermédiaires entre ceux des récipients de 200 et 350 cm³ présentés au tableau 3. Le récipient 60-250 ne peut servir à la production de PFD. Il est toutefois possible d'atteindre des hauteurs de 40 cm dans ce récipient mais avec un rapport h/d beaucoup trop élevé. Le traitement au cuivre a permis de produire des semis possédant une structure racinaire horizontale fibreuse très peu déformée. Cependant, l'absence de racines qui dévient le long de la paroi rend les mottes beaucoup plus fragiles. Le traitement par bandes alternées utilisé dans le *Trimroot* 112 aurait dû être retenu pour la fabrication de ce récipient. Les systèmes racinaires obtenus sont semblables à ceux que présente la figure 7. Aucun test de développement racinaire en serre n'a été effectué à l'automne 1992.

Les semis ont été mis en terre au printemps 1993 en plantations comparatives avec ceux des essais 91.1 à .8 (sections 1.1.6 et 1.1.7). Les principales observations pour ces deux plantations sont présentées à la section 1.1.6.

1.1.9 Récipients universels (91.11)

Des semis d'épinette noire ont été cultivés durant trois saisons de croissance dans des récipients à parois ajourées de 640 et de 1166 cm³ sous trois régies nutritionnelles azotées. Les récipients universels sont fabriqués à partir de sections de polyéthylène en nid d'abeille devant être assemblées. L'usage de tels récipients permettait, pour la première fois, d'entreprendre la culture de plants de très fortes dimensions dans des récipients à parois ajourées, sous les conditions courantes de culture rencontrées en pépinière (culture en tunnel pour la première saison et à l'extérieur par la suite).

Des semis équilibrés d'une hauteur variant entre 52,0 et 69,0 cm ont été produits en trois saisons de croissance (tableau 4). Une augmentation de la régie azotée implique un accroissement de l'ensemble des paramètres morphologiques à l'exception de la masse des racines pour le récipient de 1166 cm³. Les récipients à parois ajourées ont permis de produire des semis présentant des systèmes racinaires peu déformés avec un chevelu abondant (figure 9). Compte tenu de la très grande surface qui est ajourée,

Tableau 4. Bilan morphologique de la culture de l'épinette noire dans les récipients de 640 et de 1166 cm³ après trois saisons de croissance (93-11-08)

Récipient (cm ³)	Régie azotée	Plants #	Hauteur (cm)	Diamètre (mm)	H/D	tige (mg)	Masse anhydre racines (mg)	totale (mg)	T/R
640	N1	24	52,0 (2,9)	7,62 (0,3)	6,8	16092 (883)	4124 (421)	20216	3,9
	N2	24	57,4 (2,1)	8,30 (0,5)	6,9	21306 (1817)	4109 (424)	25415	5,2
	N3	24	61,1 (2,7)	9,40 (0,5)	6,5	25344 (2183)	4642 (604)	29986	5,5
1166	N1	24	51,8 (3,0)	8,79 (0,5)	5,9	20868 (2113)	5949 (421)	26817	3,5
	N2	24	57,7 (3,6)	9,30 (0,5)	6,2	25013 (3017)	5913 (751)	30926	4,2
	N3	24	69,0 (3,8)	9,85 (0,5)	7,0	31466 (2152)	6736 (651)	38202	4,7

Les valeurs entre parenthèses indiquent les intervalles à +/- deux erreurs-types.

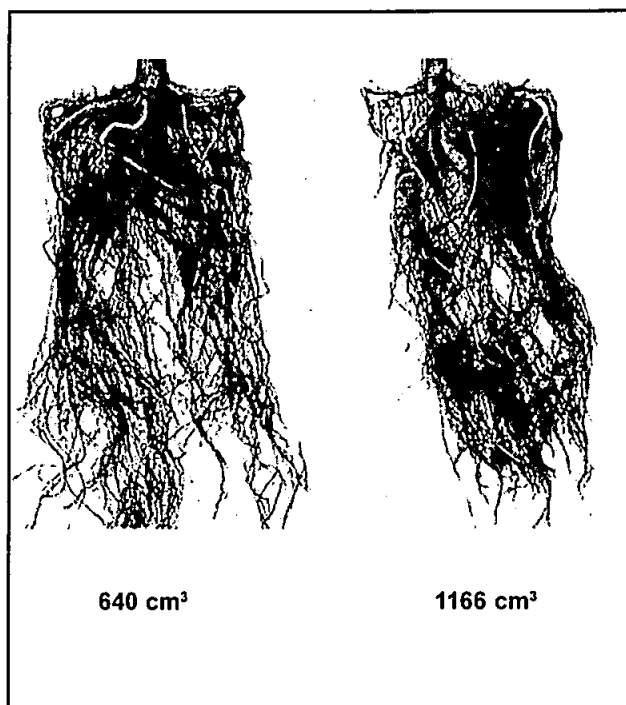


Figure 9. Développement racinaire de l'épinette noire dans les récipients universels de 640 et de 1166 cm³ à la fin de l'été 1993 (GINGRAS 1993b).

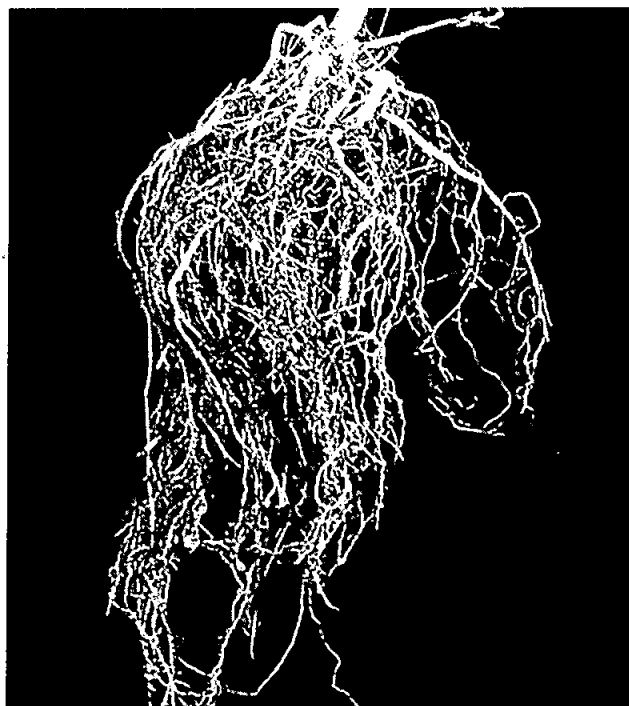


Figure 10. Développement racinaire de l'épinette blanche cultivée durant une saison dans le récipient Plantek 63F et repiquée à racines nues à une densité de 14 plants par mètre de sillon (94-10-03).

l'irrigation des semis a été problématique. L'importance de l'apport en eau a favorisé la formation de mousses et hépatiques sur le pourtour des cavités. Les résultats démontrent qu'un récipient d'environ 600 cm³ serait adéquat pour produire, en trois ans, des semis équilibrés de 57,5 à 62,5 cm de hauteur.

Aucune plantation expérimentale n'a été réalisée avec ces semis. Ils ont été mis en terre au printemps 1994 au centre de ski Mont-Comi.

1.1.10 *Plantek 63F*, 15-700, 12-1000 et racines nues (91.12)

Des semis d'épinette noire ont été cultivés durant une saison de croissance sous tunnel dans le *Plantek 63F* sous trois régies nutritionnelles azotées et repiqués au mois de mai 1992 dans des récipients 15-700 et 12-1000 et à racines nues à une densité de 14 plants/m de sillon pour une culture additionnelle de deux (récipients) ou trois (racines nues) années. Le *Plantek 63F* est le premier récipient à parois ajourées disponible commercialement que nous évaluons. Son faible volume (90 cm³) ne permet cependant pas de produire de PFD ; c'est pourquoi il est évalué pour sa capacité à produire des semis de repiquage avec des systèmes racinaires horizontaux peu déformés. Les essais expérimentaux de repiquage en récipient et à racines nues, avec l'épinette noire, ont été réalisés conjointement avec ceux entrepris avec le mélèze laricin, le pin rouge (section 1.1.11) et les épinettes blanche et de Norvège et le pin blanc (section 1.1.13). Le bilan morphologique de fin de culture pour l'épinette noire est présenté au tableau 5.

Les observations présentées à cette section pour le développement des racines de l'épinette noire s'appliquent intégralement aux cinq essences évaluées aux sections 1.1.11 (racines nues seulement) et 1.1.13 (récipients et racines nues). Le 63F permet de produire de façon naturelle des systèmes racinaires peu déformés avec une bonne proportion de racines horizontales. La géométrie des ouvertures dans les parois des cavités dirige la croissance des racines vers les fentes où elles sont arrêtées par l'air. Certaines racines poursuivent toutefois leur développement vers le bas sans dévier dans les ouvertures et assurent ainsi un maintien adéquat de la motte. Un exemple de développement des racines pour l'épinette blanche produite dans le récipient *Plantek 63F* et repiquée à racines nues est présenté à la figure 10 (section 1.1.13). La culture dans ce récipient n'a posé aucun problème à l'exception de l'irrigation qui doit être suivie de plus près. La croissance des racines,

une fois les semis repiqués, s'est produite à toutes les hauteurs de la motte et dans toutes les directions. Les récipients 15-700 et 12-1000 ont engendré les mêmes malformations des racines que celles déjà mentionnées dans les sections précédentes avec les récipients à parois pleines. Le système racinaire des plants à racines nues était fibreux et très peu déformé. Selon la grille d'évaluation des systèmes racinaires (ROBERT *et al.* 1994), les semis auraient été classés avec une forte proportion dans la classe B.

À la lumière de toutes les expériences réalisées avec le récipient *Plantek 63F*, il semble très probable qu'un récipient d'environ 350 cm³ retenant le concept des parois ajourées du 63F permettrait de produire des PFD (35 à 40 cm de hauteur) avec des systèmes racinaires peu déformés possédant un potentiel de développement des racines élevé en plantation. Tel que mentionné à la section précédente, les résultats obtenus démontrent également qu'un récipient de plus de 350 cm³ à parois ajourées serait nécessaire si une production de semis de plus de 40 cm de hauteur devenait nécessaire.

Aucune plantation expérimentale n'a été réalisée avec ces plants. Les semis d'épinette noire, ainsi que ceux d'épinette blanche, d'épinette de Norvège et de pin blanc (section 1.1.13) produits dans le 15-700 et 12-1000 ont été donnés à un particulier pour une mise en terre sur un boisé privé.

1.1.11 *Plantek 63F* et racines nues (92.1-92.2)

Des semis de mélèze laricin et de pin rouge ont été cultivés durant une saison de croissance dans le récipient *Plantek 63F* et repiqués au printemps 1993 à racines nues à une densité de sept plants par mètre de sillon pour deux saisons de croissance.

Le bilan final de la culture à racines nues est présenté au tableau 6. Des plants équilibrés de près de 90 cm de hauteur ont été produits avec le mélèze, tandis que pour le pin rouge, une hauteur de près de 30 cm a été atteinte après deux saisons en bloc de repiquage. L'ensemble des observations sur le développement des racines présenté à la section 1.1.10 pour l'épinette noire s'applique intégralement à ces deux essences. La figure 11 présente un exemple de développement des racines pour le mélèze laricin et le pin rouge dans le récipient *Plantek 63F*.

Aucune plantation expérimentale n'a été réalisée avec ces semis ; ils ont été distribués dans la région de Trois-Rivières pour leur mise en terre.

Tableau 5. Bilan morphologique de la culture de l'épinette noire dans le Plantek 63F et repiquée dans les 15-700 et 12-1000 et à racines nues

Essence	Repiquage	Date de récolte	Hauteur (cm)	Diamètre (mm)	H/D	tige (mg)	Masse anhydre racines (mg)	totale (mg)	T/R
Épinette noire	15-700	94-05-10	53,2 (1,6)	7,83 (0,3)	6,8	17341 (1125)	6116 (483)	23458	2,8
	12-1000	94-05-10	46,0 (1,7)	7,73 (0,3)	6,0	20102 (1274)	6725 (468)	26827	3,0
	Rac. nues	94-10-03	63,2 (2,4)	9,23 (0,4)	6,8	30824 (2233)	7997 (761)	38821	3,9

Les valeurs entre parenthèses indiquent les intervalles à +/- deux erreurs-types.
Mesures effectuées sur 48 semis par traitement (46 pour le 12-1000)

Tableau 6. Bilan morphologique de la culture du mélèze laricin et du pin rouge dans le Plantek 63F et repiqués à racines nues

Essence	Repiquage	Date de récolte	Hauteur (cm)	Diamètre (mm)	H/D	tige (mg)	Masse anhydre racines (mg)	totale (mg)	T/R
Mélèze laricin	Rac. nues	94-10-03	89,6 (4,0)	12,38 (0,7)	7,2	37101 (5461)	11231 (2010)	48332	3,3
Pin rouge	Rac. nues	94-10-03	29,5 (1,6)	7,21 (0,3)	4,1	17626 (1643)	5364 (417)	22990	3,3

Les valeurs entre parenthèses indiquent les intervalles à +/- deux erreurs-types.
Mesures effectuées sur 48 semis par traitement

1.1.12 LIECO 90 (92.3)

Des semis d'épinette blanche ont été cultivés dans le récipient *LIECO 90* selon les techniques courantes de culture. Ce petit essai expérimental a été entrepris pour évaluer la capacité de produire des PFD dans ce type de récipient.

Les résultats fragmentaires (essai abandonné en raison de problèmes de culture) laissent entrevoir la possibilité de produire des PFD dans ce modèle de récipient qui compte 15 cavités de 310 cm³. Le comportement des plants est semblable à ceux des plants cultivés dans le récipient *Ventblock 45-340*.

Aucune plantation expérimentale n'a été réalisée avec ces semis. Ils ont été ajoutés aux livraisons courantes de plants de la pépinière.

1.1.13 Plantek 63F, 15-700, 12-1000 et racines nues (92.4-.6)

Des semis d'épinette blanche, d'épinette de Norvège et de pin blanc ont été cultivés (ensemencement le 92-01-12) en serre dans le récipient *Plantek 63F* à la pépinière d'East-Angus. Ces semis ont par la suite été déplacés à l'extérieur sous ombrière (92-06-17) et repiqués à la pépinière de Grandes-Piles (92-07-27) dans des récipients *15-700* et *12-1000* pour une saison et demie et repiqués à racines nues pour deux saisons et demie.

Les semis à racines nues ont présenté des gabarits très intéressants tandis que les semis repiqués en récipient auraient nécessité une saison additionnelle de croissance (tableau 7). Les énoncés de la section 1.1.10 sur le développement des racines dans les *63F*, *15-700*, *12-1000* et à racines nues s'appliquent intégralement ici. La figure 10 présente un exemple de développement des racines à la fin de la dernière saison en bloc de repiquage à racines nues.

Les semis issus de ces essais expérimentaux ont été mis en terre sur un boisé privé.

1.1.14 15-320 et 1-360A à 1,0 et 2,0 cm (93.1)

Des semis d'épinette noire, d'épinette blanche et de pin gris ont été cultivés en serre (ensemencement le 8 février 1993) dans le récipient *15-320* (témoin) et la cavité à parois ajourées *1-360A*, à deux densités de culture. Le 2 août 1993, les plants ont été déplacés sous tunnel de manière à leur permettre d'aoûter et d'amorcer les processus d'endurcissement pour l'hiver. Les caractéristiques de la cavité *1-360A* ont été déterminées à partir des résultats des

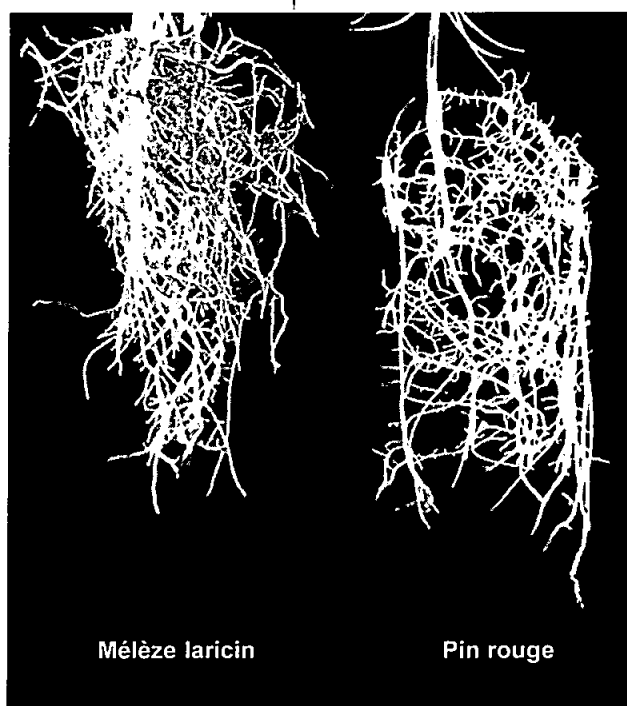


Figure 11. Développement des racines du mélèze laricin et du pin rouge à la fin de leur période de croissance dans le *Plantek 63F* (92-10-05).

essais réalisés sur la production de PFD et sur la culture de semis dans les treillis métalliques, les récipients universels et le récipient *Plantek 63F*. Les cavités individuelles sont munies d'attaches permettant de les assembler à 1,0 et 2,0 cm d'espacement et d'ainsi simuler deux densités de culture.

Certains résultats présentés ici sont extraits d'un article soumis au *CANADIAN JOURNAL OF FOREST RESEARCH* (GINGRAS et LANGLOIS 1996). Les cavités à parois ajourées à 2,0 cm d'espacement ont permis de produire, pour une hauteur identique, des semis de gabarit significativement plus important et plus équilibrés, pour chacune des trois essences (tableau 8). Le développement des racines des semis produits dans le récipient *15-320* se situait essentiellement sur le pourtour de la motte (identique à tout récipient à parois pleines) tandis que celui des cavités *1-360A* était considérablement moins déformé, plus horizontal et beaucoup mieux distribué à l'intérieur de la motte ; il présentait beaucoup moins de racines en périphérie. La figure 12 illustre le développement des racines de l'épinette blanche en fin de culture. Des racines ont traversé d'une cavité à l'autre (section du haut) à 1,0 cm d'espacement tandis qu'aucune n'a traversé à 2,0 cm. Les concentrations en azote dans les tissus sont très faibles tandis que celles du phos-

Tableau 7. Bilan morphologique de la culture des épinettes blanche et de Norvège et de pin blanc dans le Plantek 63F et repiqués dans les 15-700 et 12-1000 et à racines nues

Essence	Repiquage	Date de récolte	Hauteur (cm)	Diamètre (mm)	H/D	Masse anhydre tige (mg)	Masse anhydre racines (mg)	totale (mg)	T/R
Épinette blanche	15-700	94-05-10	29,0 (1,5)	8,52 (0,3)	3,4	12496 (589)	5224 (392)	17720	2,4
	12-1000	94-05-10	36,4 (1,6)	8,85 (0,2)	4,1	13652 (720)	5560 (372)	19212	2,5
	Rac. nues	94-10-03	49,7 (2,3)	9,45 (0,3)	5,3	28123 (1641)	9301 (613)	37424	3,0
Épinette de Norvège	15-700	94-05-10	35,5 (1,6)	6,80 (0,2)	5,2	10238 (522)	4001 (157)	14238	2,6
	12-1000	94-05-10	31,9 (1,7)	7,86 (0,3)	4,1	12813 (665)	5095 (308)	17908	2,5
	Rac. nues	94-10-03	44,7 (2,1)	8,16 (0,3)	5,5	21624 (1467)	8511 (566)	30135	2,5
Pin blanc	15-700	94-05-10	24,5 (0,8)	7,17 (0,2)	3,4	8733 (544)	5078 (305)	13811	1,7
	12-1000	94-05-10	26,0 (0,9)	8,54 (0,2)	3,0	8503 (402)	6442 (214)	14945	1,3
	Rac. nues	94-10-03	32,2 (1,8)	7,15 (0,3)	4,5	14341 (1251)	5626 (505)	19967	2,5

Les valeurs entre parenthèses indiquent les intervalles à +/- deux erreurs-types.

Mesures effectuées sur 48 semis par traitement

Tableau 8. Bilan morphologique et concentrations en éléments minéraux dans les tissus (93-10-12) de l'épinette noire, de l'épinette blanche et du pin gris dans le récipient 15-320 et les cavités 1-360A à 1,0 et 2,0 cm d'espacement (GINGRAS et LANGLOIS 1996)

Essence	Traitement (récipient)	Hauteur (cm)	Diamètre (mm)	H/D	Masse anhydre tiges (mg)	Masse anhydre racines (mg)	totale (mg)	T/R	Conc. tissu (plant entier) N (%)	P (ppm)	K (ppm)
Épinette noire	15-320	44,4 a	4,10 b	10,9 c	5788 c	1288 c	7076 c	4,5 a	0,95 a	2027 a	7458 a
	1-360A 1 cm	45,0 a	4,56 a	9,9 b	6865 b	1423 b	8288 b	4,9 a	0,88 a	1982 a	7252 a
	1-360A 2 cm	42,6 a	4,62 a	9,3 a	7560 a	1580 a	9140 a	4,8 a	0,88 a	1971 a	7599 a
Épinette blanche	15-320	39,1 a	4,78 c	8,2 b	6249 c	1638 c	7887 c	3,8 b	1,08 a	2011 a	6407 a
	1-360A 1 cm	41,8 a	5,34 b	7,8 b	7544 b	1976 b	9520 b	3,8 b	0,97 b	2009 a	6333 a
	1-360A 2 cm	40,3 a	5,79 a	7,0 a	8167 a	2256 a	10423 a	3,6 a	0,98 b	1987 a	6425 a
Pin gris	15-320	27,2 a	4,75 c	5,7 b	6578 c	1577 b	8154 c	4,2 a	1,31 a	2378 a	6584 a
	1-360A 1 cm	26,8 a	5,24 b	5,2 a	7701 b	1725 b	9426 b	4,5 a	1,20 a	2188 a	6125 a
	1-360A 2 cm	27,5 a	5,56 a	5,0 a	8868 a	1947 a	10815 a	4,6 a	1,14 a	2097 a	6097 a

Mesures effectuées sur 72 semis par traitement.

Verticalement, pour chaque essence, les moyennes suivies de lettres distinctes présentent des différences significatives au seuil $\alpha = 0,05$ selon le test de Duncan.

phore et du potassium sont beaucoup plus près des standards recommandés (tableau 3). Ayant maintenant en main les profils de croissance sans interruption en serre, il serait beaucoup plus facile de gérer adéquatement la culture de manière à ne pas souffrir de déficiences en azote si on devait reprendre une culture identique.

La production de PFD dans des cavités (réceptacles) à parois ajourées n'a posé aucun problème particulier à l'exception de l'irrigation qui doit être suivie de plus près. Même si les essais expérimentaux ont été réalisés en serre, il est très envisageable de produire des PFD dans des réceptacles à parois ajourées selon les techniques conventionnelles. Les standards recommandés pour la culture de PFD (tableau 3) dans des réceptacles de 350 cm³ s'appliquent intégralement à des productions dans des réceptacles à parois ajourées selon un scénario conventionnel (tunnel et extérieur).

Les tests de développement des racines réalisés en serre ont permis de démontrer, pour l'épinette blanche et le pin gris, que ce développement hors de la motte est significativement supérieur dans le cas des cavités 1-360A (tableau 9). La figure 13 en illustre un exemple avec le pin gris. Les analyses statistiques n'ont cependant pas permis de faire ressortir de différences pour l'épinette noire. Pour ce qui est des trois essences, la distribution des nouvelles racines est beaucoup plus uniforme chez les semis cultivés dans la cavité 1-360A.

Deux plantations expérimentales ont été installées à Biencourt (Réserve de Rimouski) au printemps 1994. Les caractéristiques du site de reboisement ainsi que les résultats en plantation comparative sont présentés au chapitre deux.

1.1.15 1-25A, ST150, bac et 45-340 (93.2)

Des semis d'épinette blanche ont été cultivés en serre (ensemencement le 93-04-15) dans le réceptacle ST150 et la cavité 1-25A et repiqués (93-07-23) dans des réceptacles *Ventblock* 45-340 et dans un bac (simulation d'un bloc à racines nues). En raison d'un problème de contamination des semis par *Fusarium* sp. et du risque de propagation dans les serres de la pépinière de Saint-Modeste, les semis ont été déplacés sous tunnel (93-09-02). Peu de temps après, compte tenu du niveau d'infection, le projet a été abandonné.

Tableau 9. Tests de développement des racines (93-10-13 au 93-11-12) de l'épinette noire, de l'épinette blanche et du pin gris (GINGRAS et LANGLOIS 1996)

Essence	Traitement (réceptacle)	Nombre total de racines blanches > 1,0 cm
Épinette noire	15-320	184,5 a
	1-360A 1 cm	236,5 a
	1-360A 2 cm	243,0 a
Épinette blanche	15-320	89,5 b
	1-360A 1 cm	130,5 a
	1-360A 2 cm	127,0 a
Pin gris	15-320	134,5 b
	1-360A 1 cm	249,5 a
	1-360A 2 cm	209,5 a

Mesures effectuées sur 16 semis par traitement.

Verticalement, pour chaque essence, les moyennes suivies de lettres distinctes présentent des différences significatives par rapport au seuil $\alpha = 0,05$ selon le test de Duncan.

Même si ce projet ne s'est pas rendu à terme, le potentiel de la cavité 1-25A a quand même pu être évalué. Le développement des racines dans cette cavité est exempt de malformations (figure 14) et il présente une structure racinaire très horizontale. Les semis cultivés dans la cavité 1-25A, une fois repiqués dans le 45-340 ou à racines nues, ont présenté un développement racinaire horizontal et distribué uniformément sur tout le pourtour de la motte. La figure 15 illustre le développement des racines hors de la motte d'origine entre le réceptacle ST150 et la cavité 1-25A cinq semaines après le repiquage en bac. Cette expérience a permis de démontrer le potentiel très élevé du dessin de la cavité 1-25A pour contrer les malformations des racines. Les pointes qui servent à dévier les racines vers les ouvertures sont à 45° et elles sont beaucoup plus efficaces que celles de la cavité 1-360A. Si un réceptacle à parois ajourées est fabriqué pour les productions opérationnelles de PFD, il est fortement recommandé que le dessin des cavités s'inspire grandement de celui de la cavité 1-25A plutôt que de celui de la cavité 1-360A.

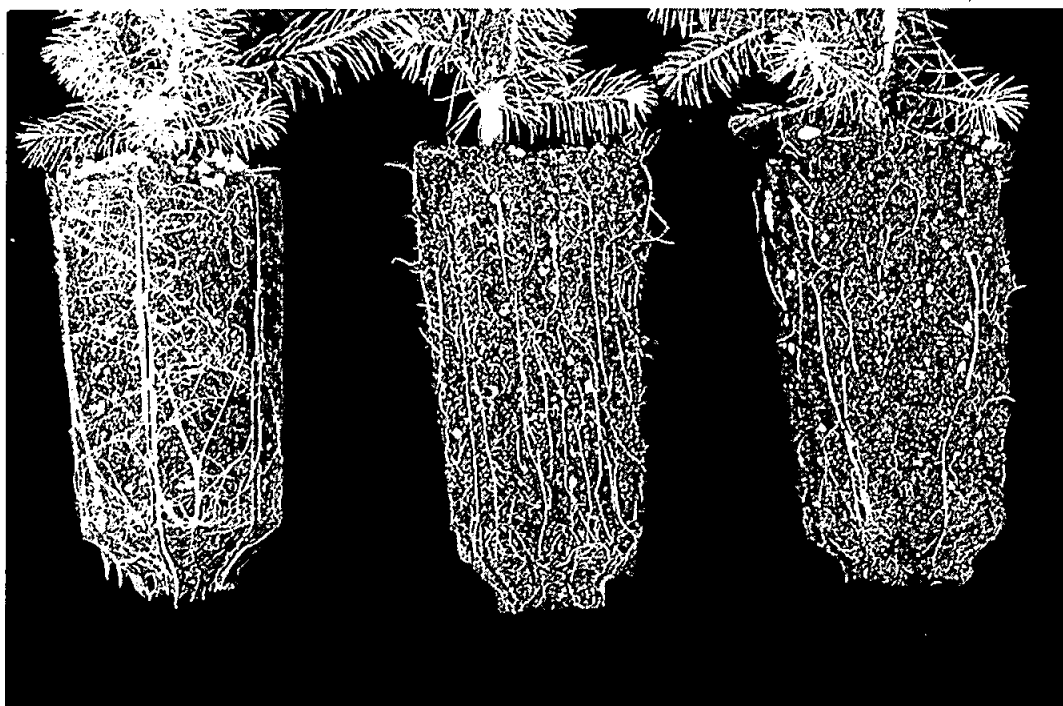


Figure 12. Développement racinaire de l'épinette blanche à la fin de la période de culture dans le récipient 15-320 et la cavité 1-360A à 1,0 et 2,0 cm d'espacement.

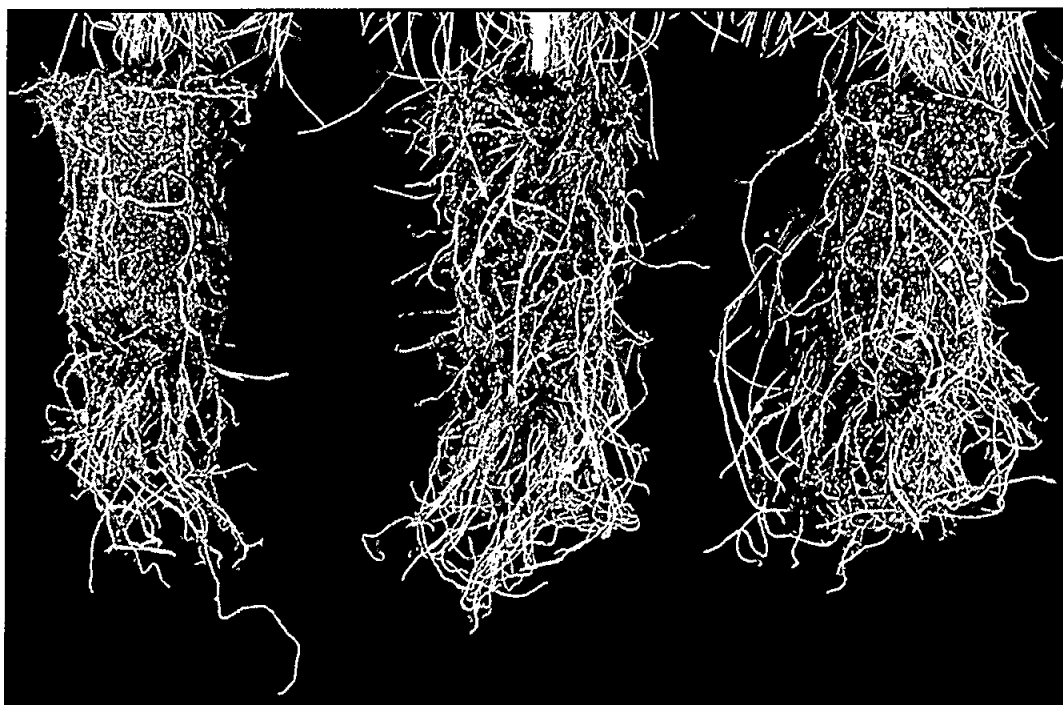


Figure 13. Croissance des racines du pin gris à la fin du test de développement racinaire (93-10-13 au 93-11-12).

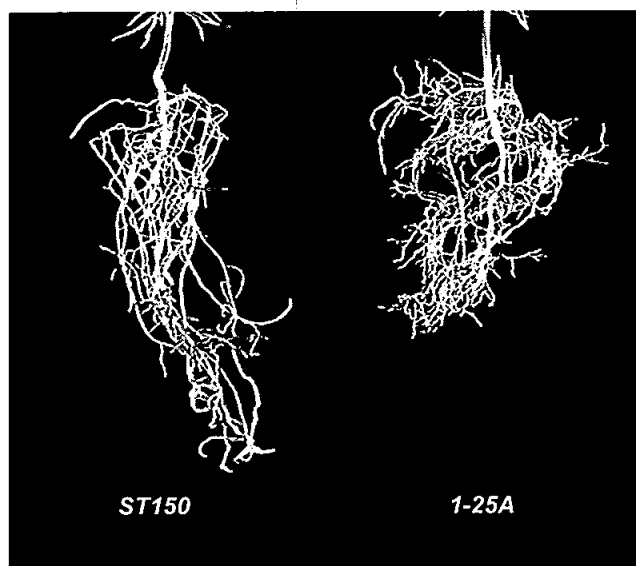


Figure 14. Développement racinaire de l'épinette blanche dans les minicellules ST150 et 1-25A (GINGRAS 1993b).

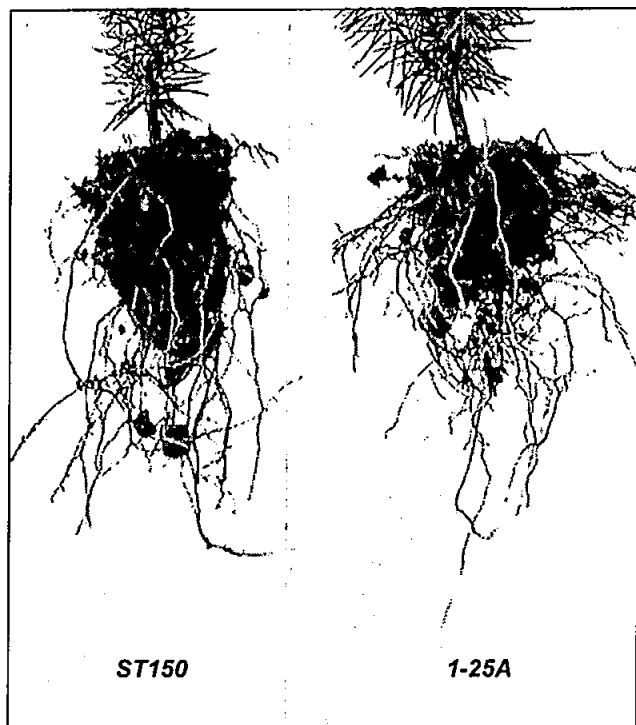


Figure 15. Développement racinaire (93-08-30) de l'épinette blanche produite en minicellules et repiquée en bac (GINGRAS 1993b).

1.1.16 1-25A et ST150 (93.3)

Des semis d'épinette blanche ont été cultivés sous tunnel durant une saison dans le récipient ST150 et les cavités 1-25A. Les semis devaient normalement être repiqués au printemps de leur deuxième saison de croissance dans des récipients 25-350A et 45-340 parce que la motte n'était pas suffisamment ferme pour un repiquage à l'automne 1993.

Le projet a cependant dû être abandonné parce qu'au printemps 1994, seulement 15 % des semis pouvaient être considérés comme utilisables pour le repiquage. Quinze pour cent des semis avaient été coupés au collet par des rongeurs et 60 % des plants avaient subi des dégâts importants par le gel. Le nombre de semis restants était insuffisant pour qu'on poursuive l'expérience. La période de culture en minicellules a cependant permis de valider l'ensemble des observations présentées à la section 1.1.15 sur le développement des racines dans la cavité 1-25A.

1.1.17 1-25A, ST150 et 25-350A (93.4)

Des semis d'épinette noire ont été cultivés dans les récipients ST150 et la cavité 1-25A durant une saison de croissance sous tunnel. Au cours de cette première saison de croissance, 60 % des semis cultivés dans la cavité 1-25A ont été perdus en raison de problèmes d'irrigation. Le faible volume de la cavité et la rapidité à laquelle le substrat se dessèche expliquent cette situation. La culture dans la cavité 1-25A est très délicate et demande plus d'attention qu'une culture normale. Les semis ont été repiqués au printemps 1994 dans la nouvelle cavité expérimentale à parois ajourées 1-350A.

Des semis de dimensions semblables dans les deux cavités de départ (hauteur = 33,0 cm ; diamètre = 4,75 mm) ont été produits à l'automne 1994. Le développement des racines présentait des différences importantes : les malformations imputables à la culture dans une minicellule à parois pleines (ST150) étaient très visibles tandis que pour la cavité 1-25A, aucune malformation n'a été observée. Cet essai a donc permis de valider les avantages du dessin de la cavité 1-25A pour ce qui est de la qualité de l'architecture du système racinaire (section 1.1.15). Les informations sur le développement dans la cavité 1-350A, présentées à la section 1.1.19, s'appliquent ici intégralement.

Aucune plantation expérimentale n'a été réalisée avec ces semis.

Tableau 10. Bilan de la croissance et concentrations des éléments minéraux dans les tissus des semis d'épinette blanche cultivés en serre et en tunnel (94-10-25) dans le récipient 25-350A et la cavité 1-350A

Traitement (récipient)	Hauteur (cm)	Diamètre (mm)	H/D	Masse anhydre			T/R	Concentrations dans les tissus (aiguilles)		
				tige (mg)	racines (mg)	totale (mg)		N (%)	P (ppm)	K (ppm)
25-350A	36,4 a	5,03 a	7,29 a	5859 a	1702 a	7561 a	3,48 b	1,87 a	3450 a	7108 a
1-350A	33,5 a	4,90 a	6,84 a	5504 a	1792 a	7296 a	3,16 a	1,84 a	3265 a	6833 a

Mesures effectuées sur 48 semis par traitement.

Verticalement, pour chaque essence, les moyennes suivies de lettres distinctes présentent des différences significatives au seuil $\alpha = 0,05$ selon le test de Tukey.

1.1.18 Mise au point du 25-350A

À la suite des expériences réalisées sur la production de PFD et sur les cultures dans des cavités et récipients à parois ajourées, une proposition visant la mise au point d'un nouveau récipient à parois ajourées pour la production opérationnelle de PFD a été déposée à la Direction de l'assistance technique. Le récipient 28-350A a été élaboré (annexe 3) en tenant compte des points suivants :

- le récipient doit pouvoir s'adapter à toutes les infrastructures existantes ;
- le dessin de la cavité doit s'inspirer de celui de la cavité 1-25A en raison des gains espérés au niveau de l'architecture du système racinaire ;
- la forme de la cavité doit être carrée et à défilement constant jusqu'à la base, de manière à optimiser l'efficacité du cernage aérien et aussi pour éviter la formation d'un bouchon de racines à la base de la motte. De plus, cette forme permet un

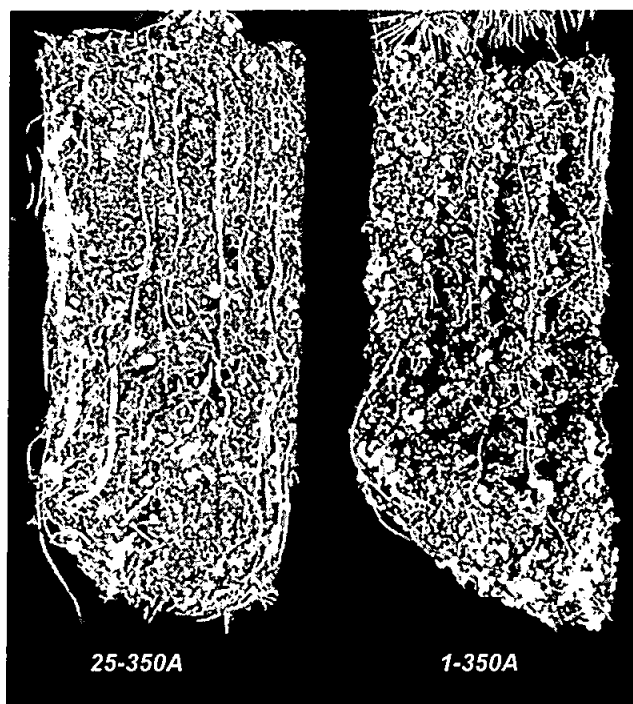


Figure 16 Développement racinaire en fin de culture (94-10-25) de l'épinette blanche dans le récipient 25-350A et la cavité 1-350A.

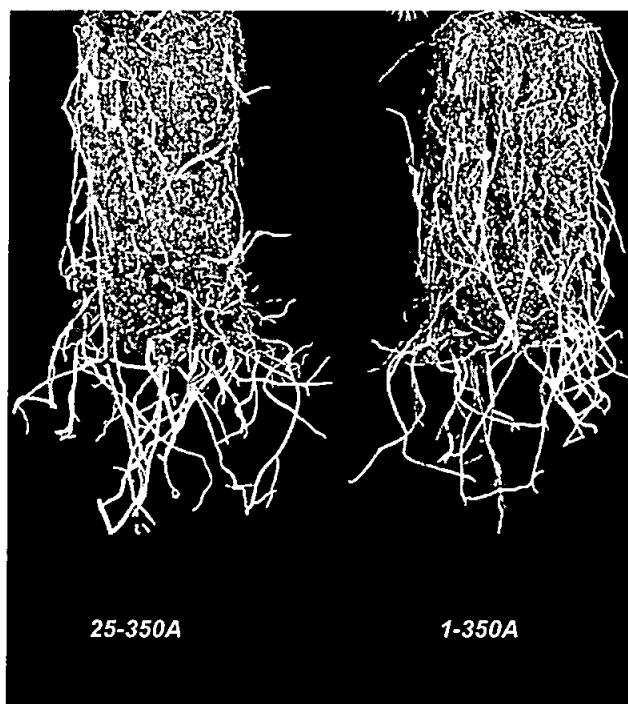


Figure 17. Exemple de développement racinaire à la fin du test de développement des racines (94-10-25 au 94-11-22) de l'épinette blanche dans le récipient 25-350A et la cavité 1-350A.

meilleur empilement pour le transport et l'entreposage des récipients vides. Une cavité carrée présente une surface plus grande ($> 85\%$) et elle permet de fabriquer des parois avec des pointes à 45° vers l'intérieur, qui maximisent l'effet du cernage aérien. Ce dessin est beaucoup plus difficile à réaliser sur les cavités rondes ;

- les cavités doivent être disposées en rangées et en colonnes et l'espace entre les cavités doit être d'au moins 1,5 cm pour permettre une circulation adéquate de l'air entre les cavités, spécialement pour les grandes aires de culture.

À la suite de discussions avec le personnel de la Direction de l'assistance technique, il a été convenu :

- de produire un récipient à parois ajourées, le 25-350A, qui serait considéré comme un récipient transitoire de première génération. Ce modèle retient une densité de culture plus faible (190 plants/m^2) et le dessin de ses cavités est identique à celui des cavités 1-360A, à l'exception du défilement qui est constant jusqu'à la base. Les caractéristiques du 25-350A sont présentées à l'annexe 2.
- que le modèle de récipient (28-350A) proposé par la Division de R-D sur les semences, boutures et plants serait évalué à l'aide de la cavité unique à parois ajourées 1-350A ;
- que des modifications substantielles, y compris le dessin d'un nouveau récipient, seraient apportées au 25-350A si les expériences menées avec la cavité 1-350A démontraient des avantages qualitatifs et quantitatifs au niveau de l'architecture des systèmes racinaires et du plant en général.

1.1.19 25-350A, 1-350A à 1,5 cm (94.1)

Des semis d'épinette blanche ont été cultivés en serre dans le récipient 25-350A et la cavité 1-350A à 1,5 cm d'espacement. Le 25 août 1994, les semis ont été déplacés sous tunnel pour amorcer leurs processus d'endurcissement pour l'hiver. Le dessin de la cavité 1-350A (annexe 2) s'inspire directement de celui de la cavité 1-25A. À la différence de la cavité 1-360A, celle-ci comporte une bande de 2 cm sans ouverture dans le haut de la cavité, pour retenir à l'intérieur l'eau et les éléments nutritifs distribués en cours de culture.

Les semis produits dans la cavité 1-350A à 1,5 cm d'espacement ont présenté un bilan morphologique de fin de saison identique à celui des plants cultivés dans le 25-350A, à l'exception du rapport T/R qui était plus faible (tableau 10). Les concentrations en azote,

phosphore et potassium dans les tissus ne présentaient pas de différences significatives entre les deux traitements. Le développement des racines des semis produits dans la cavité 1-350A était plus horizontal que dans le 25-350A et ne présentait presque pas de racines en périphérie (figure 16). La solidité des mottes des plants produits dans le 25-350A était cependant plus élevée. Les tests de développement des racines menés en serre n'ont pas permis de départager les deux traitements au niveau statistique ($\alpha = 0,05$) (nombre de racines blanches $> 1,0 \text{ cm} = 93,1$ pour la cavité 1-350A et 86,1 pour le 25-350A ; masse des racines blanches = 371 mg pour la cavité 1-350A et 375 mg pour le 25-350A). Cependant, le développement de racines hors de la motte d'origine est plus uniforme et celles-ci sont mieux réparties sur le pourtour des semis cultivés dans la cavité 1-350A (figure 17).

Une plantation expérimentale a été installée à Biencourt au printemps 1995. Les résultats en plantation sont présentés au chapitre deux.

1.1.20 1-350A à 1,5 et 3,0 cm (94.2)

Des semis d'épinette blanche ont été cultivés en serre dans la cavité 1-350A à 1,5 et 3,0 cm d'espacement. Les semis ont par la suite (1994-08-25) été déplacés sous tunnel en même temps que ceux de l'essai précédent (section 1.1.19). Cet essai a été entrepris de manière à évaluer les effets de la densité de culture sur l'efficacité du cernage aérien et sur les dimensions des semis produits.

Les semis produits dans la cavité 1-350A à 1,5 cm d'espacement ont obtenu une hauteur significativement plus élevée que ceux produits à 3,0 cm. En contrepartie, le rapport hauteur/diamètre est plus élevé à 1,5 cm (tableau 11). Les semis produits à 1,5 cm ont obtenu une masse de la partie aérienne significativement supérieure tandis que pour la masse des racines, ce sont les semis produits à 3,0 cm qui ont la masse anhydre la plus élevée. L'usage d'une régie nutritionnelle basée sur un objectif de masse plus élevé a permis de produire, à 1,5 cm, des semis très équilibrés qui rencontrent les normes de production des PFD. Les concentrations dans les tissus sont semblables pour l'azote et le phosphore, tandis que la cavité 1-350A à 3,0 cm présente une concentration de potassium plus faible. Les valeurs obtenues dans les essais 94.1 et 94.2 (sections 1.1.19 et 20) sont beaucoup plus près des standards recommandés que ne l'étaient celles de l'essai avec la cavité 1-360A (section 1.1.14). Le développement des racines en cours de culture a été

Tableau 11. Bilan de la croissance et concentrations des éléments dans les tissus des semis d'épinette blanche cultivés en serre et en tunnel (94-10-25) dans la cavité 1-350A à 1,5 et 3,0 cm d'espacement

Traitement (récipient 1-350A à)	Hauteur (cm)	Diamètre (mm)	H/D	Masse anhydre			T/R	Concentrations dans les tissus (aiguilles)		
				tige (mg)	racines (mg)	totale (mg)		N (%)	P (ppm)	K (ppm)
1,5 cm	38,5 a	5,16 a	7,5 b	6317 a	1725 b	8042 a	3,7 b	1,95 a	3641 a	7208 a
3,0 cm	33,3 b	5,10 a	6,5 a	5582 b	1855 a	7438 a	3,0 a	1,88 a	3559 a	6417 b

Mesures effectuées sur 48 semis par traitement.

Verticalement, pour chaque essence, les moyennes suivies de lettres distinctes présentent des différences significatives au seuil $\alpha = 0,05$ selon le test de Tukey.

Tableau 12. Bilan morphologique (94-10-06 et 07) du bouleau jaune et du chêne rouge cultivés dans des récipients de 350 cm³ après une saison de croissance

Essence	Traitement (récipient)	Hauteur (cm)	Diamètre (mm)	H/D	Masse anhydre			T/R
					tige (mg)	racines (mg)	totale (mg)	
Bouleau jaune	45-340	43,1 a	3,65 b	11,80 b	1440 ab	967 ab	2407 ab	1,65 a
	25-350A	47,0 a	4,04 a	11,64 b	1776 a	1132 a	2908 a	1,85 a
	1-350A à 1,5 cm	42,1 a	4,17 a	10,21 a	1384 b	866 b	2250 b	1,64 a
Chêne rouge	28-340	43,5 a	4,40 a	9,95 ab	3165 a	3731 a	6896 a	0,85 a
	25-350A	42,3 ab	4,11 a	10,45 b	2949 a	2669 b	5619 ab	1,11 b
	1-350A à 3,0 cm	37,5 b	4,08 a	9,43 a	2511 a	2832 b	5343 b	0,90 a

Mesures effectuées sur 96 semis par traitement.

Verticalement, pour chaque essence, les moyennes suivies de lettres distinctes présentent des différences significatives au seuil $\alpha = 0,05$ selon le test de Tukey.

Tableau 13. Tests de développement radiculaire (95-02-13 au 95-03-13) du bouleau jaune et du chêne rouge

Essence	Traitement (récipient)	Nombre total de racines blan- ches > 1,0 cm
Bouleau jaune	45-340	52,9 a
	25-350A	79,6 a
	1-350A à 1,5 cm	53,0 a
Chêne rouge	28-340	21,5 a
	25-350A	24,5 a
	1-350A à 3,0 cm	24,8 a

Mesures effectuées sur 24 semis par traitement.

Verticalement, pour chaque essence, les moyennes suivies de lettres distinctes présentent des différences significatives au seuil $\alpha = 0,05$ selon le test de Duncan.

identique pour les deux traitements et semblable en tous points avec celui de la cavité 1-350A de l'essai précédent (section 1.1.19). Un espacement de 3,0 cm empêche complètement les racines de traverser d'une cavité à l'autre. Le développement des racines hors de la motte d'origine (test de développement des racines) est uniforme et bien réparti sur le pourtour pour les deux traitements. Aucune différence significative ($\alpha = 0,05$) n'a été observée entre les deux traitements pour le nombre de nouvelles racines blanches de plus de 1,0 cm de longueur (1,5 cm = 93,6 et 3,0 cm = 84,5) et pour la masse anhydre des racines blanches (1,5 cm = 460 mg et 3,0 cm = 438 mg).

Les résultats de cet essai et du précédent (section 1.1.19) démontrent qu'il est possible d'améliorer l'architecture du système radiculaire en cours de culture ainsi que le potentiel de développement des

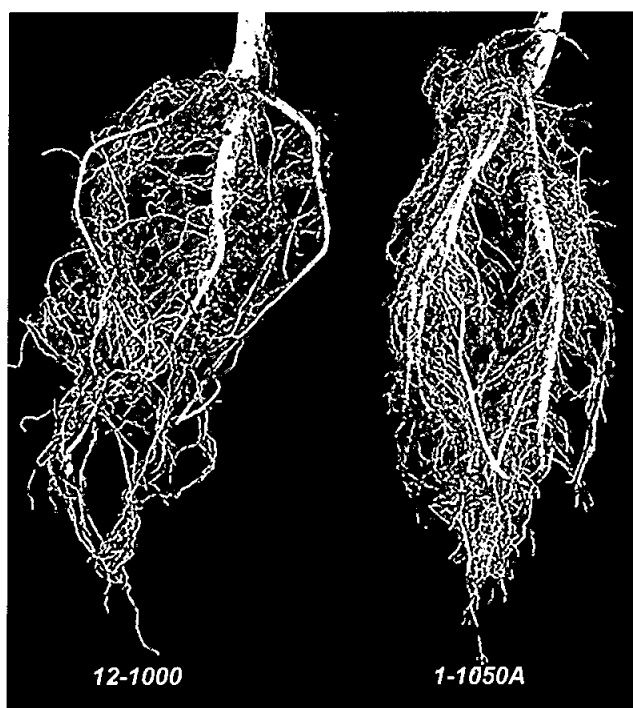


Figure 18. Développement racinaire en fin de culture (94-10-07) du chêne rouge cultivé dans le récipient 12-1000 et la cavité 1-1050A.

nouvelles racines une fois le plant mis en terre (tests de développement des racines). Un espacement minimal de 1,5 cm (idéalement 3,0 cm) entre les cavités est nécessaire de manière à optimiser l'efficacité du cernage aérien. Un contrôle rigoureux de l'irrigation est nécessaire pour éviter de se retrouver dans des conditions trop sèches (dommages potentiels aux semis) ou trop humides (inefficacité du cernage aérien, racines qui passent d'une cavité à l'autre, etc.). Les résultats nous permettent d'affirmer qu'il serait avantageux de modifier le dessin du 25-350A et de retenir le dessin (28-350A) présenté à l'annexe 3.

Les semis ont été mis en terre au printemps 1995 à Biencourt en même temps que ceux de l'essai précédent (section 1.1.19). Les résultats en plantation comparative sont également présentés au chapitre deux.

1.1.21 25-350A, 1-350A à 1,5 et 3,0 cm, 45-340 et 28-340 (94.3)

Au printemps 1994, des essais expérimentaux (sections 1.1.21 et 22) ont été entrepris pour évaluer l'efficacité des récipients à parois ajourées dans les productions de bouleau jaune et de chêne rouge. Même si les productions de feuillus représentent une

faible proportion de la production de plants au Québec, le problème des malformations des racines est tout aussi important que celui qu'on observe chez les conifères.

Des semis de bouleau jaune et de chêne rouge ont été cultivés sous tunnel selon un scénario 1+0 dans des récipients 25-350A, 1-350A à 1,5 cm et 45-340 (témoin) pour le bouleau jaune et les récipients 25-350A, 1-350A à 3,0 cm et 28-340 (témoin) pour le chêne rouge.

Le récipient 25-350A a permis de produire des semis de bouleau jaune aux caractéristiques morphologiques semblables ou supérieures à celles des 45-340 (tableau 12) tout en présentant un système racinaire nettement moins déformé. Les semis de bouleau jaune produits dans la cavité 1-350A sont également comparables ou supérieurs aux témoins avec un système racinaire très peu déformé. Toutefois, les semis produits dans la cavité 1-350A ont des masses anhydres significativement inférieures à ceux cultivés dans le récipient 25-350A. La solidité de la motte des semis cultivés dans les récipients 25-350A était adéquate tandis que celle des cavités 1-350A était plus faible au point d'être problématique.

Les semis de chêne rouge cultivés dans la cavité 1-350A présentent une hauteur significativement inférieure à celle des témoins (tableau 12). Le diamètre est toutefois identique pour les trois traitements. Les masses anhydres des racines sont plus élevées pour le 28-340 tandis que pour la partie aérienne, il n'y a pas de différences. Les semis de chêne rouge produits dans le récipient 25-350A et la cavité 1-350A ont présenté des systèmes racinaires beaucoup moins déformés que ceux des 28-340. L'efficacité du cernage aérien a cependant été diminuée en raison des conditions trop humides qui prévalaient dans le tunnel de culture.

Les tests de développement des racines n'ont pas permis de départager les trois traitements de chaque essence (tableau 13). Cependant, la distribution des nouvelles racines sur la surface de la motte est plus uniforme pour les semis produits dans les récipients ou les cavités à parois ajourées. Seule la masse des nouvelles racines de plus de 1,0 cm du bouleau jaune produit dans le 25-350A est significativement plus élevée si on considère un seuil $\alpha = 0,10$.

Tableau 14. Bilan morphologique (94-10-07) du chêne rouge cultivé dans des récipients de 1000 cm³ après une saison de croissance

Essence	Traitement (récipient)	Hauteur (cm)	Diamètre (mm)	H/D	Masse anhydre			T/R
					tige (mg)	racines (mg)	totale (mg)	
Chêne rouge	12-1000	49,3 a	5,73 a	8,62 a	5329 a	7030 a	12359 a	0,77 a
	1-1050A à 3,0 cm	49,7 a	5,51 a	9,06 a	5100 a	5735 b	10835 a	0,93 b

Mesures effectuées sur 96 semis/traitement.

Verticalement, pour chaque essence, les moyennes suivies de lettres distinctes présentent des différences significatives au seuil $\alpha = 0,05$ selon le test de Tukey.

Au printemps 1995, deux plantations expérimentales ont été établies à Saint-Germain de Grantham. Les résultats du développement des racines en plantation ainsi que ceux relatifs à l'accroissement des paramètres morphologiques sont présentés au chapitre deux.

1.1.22 12-1000 et 1-1050A (94.4)

Des semis de chêne rouge ont été cultivés sous tunnel en une seule saison de culture dans le récipient 12-1000 et la cavité à parois ajourées 1-1050A selon les conditions courantes de culture à la pépinière de Berthierville.

Les semis cultivés dans les deux types de récipient présentent des caractéristiques morphologiques semblables, à l'exception de la masse des racines qui est significativement plus élevée pour la cavité 1-1050A. (tableau 14). Les plants produits dans la cavité 1-1050A ont présenté des systèmes radiculai-

res moins déformés avec une bonne structure horizontale (figure 18). L'efficacité du cernage aérien aurait certainement pu être plus élevée si l'irrigation avait été maintenue à un niveau plus bas. L'utilisation d'un récipient à parois ajourées reproduisant le dessin de la cavité 1-25A ou de la cavité 1-350A permettrait assurément d'augmenter encore la qualité du développement des racines. Aucune différence significative au seuil $\alpha = 0,05$ n'est apparue entre les deux traitements lors des tests de développement des racines pour le nombre de nouvelles racines blanches de plus de 1,0 cm (12-1000 = 15,8 et 1-1050A = 24,5). Cependant, la distribution des nouvelles racines sur la surface de la motte est plus uniforme pour les semis produits dans la cavité 1-1050A.

Au printemps 1995, une plantation expérimentale a été établie à Saint-Germain de Grantham. Les résultats (développement des racines en plantation, accroissement des paramètres morphologiques, etc.) sont également présentés au chapitre deux.

Tableau 15. Bilan morphologique (95-10-24) des semis d'épinette noire et d'épinette blanche cultivés dans la cavité 1-1050A après trois saisons de croissance

Essence	Traitement (récipient)	Hauteur (cm)	Diamètre (mm)	H/D	Masse anhydre			T/R
					tige (mg)	racines (mg)	totale (mg)	
Épinette noire	1-1050A à 3,0 cm	54,7 a	13,73 a	4,04 a	48497 a	14841 b	63338 a	3,32 a
	1-1050A à 6,0 cm	54,9 a	14,04 a	3,95 a	53012 a	17752 a	70764 a	3,02 a
Épinette blanche	1-1050A à 3,0 cm	41,9 a	14,12 a	2,97 a	37404 a	13772 a	51176 a	2,69 a
	1-1050A à 6,0 cm	45,4 a	14,61 a	3,10 a	45104 a	15927 a	61031 a	2,81 a

Mesures effectuées sur 48 semis par traitement.

Verticalement, pour chaque essence, les moyennes suivies de lettres distinctes présentent des différences significatives au seuil $\alpha = 0,05$ selon le test de Tukey.

1.1.23 1-1050A à 3,0 et 6,0 cm (94.6)

Des graines d'épinette noire et d'épinette blanche ont été ensemencées le 3 mai 1994 dans des cavités uniques à parois ajourées de 1050 cm³ (1-1050A) selon deux densités de culture (à 3,0 cm et 6,0 cm d'espacement entre les cavités) pour une production sur trois saisons de croissance. L'objectif de cet essai expérimental était de produire des semis de plus de 40 cm de hauteur avec des systèmes racinaires peu déformés destinés à des sites caractérisés par une très forte compétition.

Après trois saisons de croissance, les semis d'épinette noire produits dans la cavité 1-1050A à deux densités de culture présentent des caractéristiques semblables, à l'exception de la masse des racines qui est significativement plus élevée à 6,0 cm d'espacement (tableau 15). Pour l'épinette blanche, il n'y a aucune différence significative entre les deux densités de culture.

1.2 Autres travaux réalisés en pépinière

De novembre 1994 à avril 1995, des suivis de température ont été réalisés (LAMBANY et RENAUD 1995) dans des productions en récipients 25-350A et *Ventblock* 45-340 hivernés directement au sol ou maintenus sur des plateaux de culture et recouverts dans les deux cas d'une toile double (géotextile + plastique). Le but de cette expérience consistait à évaluer la possibilité de maintenir les semis (1+0) sur des plateaux de culture à l'intérieur des tunnels au cours de l'hiver. Les observations suivantes résument les principaux résultats de cette expérience :

- dans le cas du récipient 25-350A (figure 19), les écarts maximums de température moyenne du substrat entre les récipients déposés au sol et ceux maintenus sur des plateaux de culture se situent entre décembre et janvier. La température moyenne du substrat la plus froide (-4,5 °C) a été atteinte en décembre pour les plants maintenus sur plateaux de culture tandis que pour les plants déposés directement sur le sol, la température moyenne la plus froide (-0,5°C) a été atteinte à la mi-février. Pour l'ensemble du suivi, les températures moyennes du substrat des récipients déposés sur le sol sont plus élevées que celles des récipients maintenus sur des plateaux de culture. Au fur et à mesure que l'hiver progresse, les écarts de température s'amenuisent ;

- les écarts maximums de température moyenne du substrat entre les récipients déposés sur le sol et ceux maintenus sur des plateaux de culture se situent également entre décembre et janvier pour le *Ventblock* 45-340 (figure 20). La température moyenne du substrat la plus froide (-9,0°C) a été atteinte en décembre pour les récipients maintenus sur des plateaux de culture tandis que pour les récipients déposés sur le sol, elle (-2,5°C) a été atteinte à la mi-janvier. Comme nous l'avons mentionné pour le 25-350A, les températures moyennes du substrat dans les récipients déposés directement sur le sol sont supérieures à celles des récipients placés sur des plateaux de culture. Les écarts de température s'amenuisent au fur et à mesure que la couverture de neige augmente ;

- des écarts de température beaucoup plus importants ont été observés entre les substrats des récipients déposés directement sur le sol et ceux maintenus sur des plateaux de culture pour ce qui est du récipient *Ventblock* 45-340 au cours de la période se situant entre décembre et janvier. Les substrats des récipients à parois ajourées présentent une capacité d'absorption plus élevée de la chaleur latente du sol que ceux du *Ventblock* 45-340. Les profils de température entre les deux modèles de récipient deviennent semblables vers la fin janvier. L'épaisseur de la couverture nivale ainsi qu'une libération moins importante de chaleur par le sol peuvent expliquer cette similitude.

En fonction des résultats obtenus, l'hypothèse suivante peut être formulée : les plants produits dans le 25-350A présenteraient, grâce à un transfert thermique plus efficace entre le sol et le récipient, une susceptibilité beaucoup moins élevée au gel de leurs racines que les semis produits dans le *Ventblock* 45-340. Si les expériences à venir confirment cette hypothèse, les récipients à parois ajourées présenteront un réel avantage pour ce qui est de la protection contre le gel des racines.

Au cours de l'été 1994, des plants d'épinette noire (2+0) et d'épinette blanche (2+0) produits en récipients à parois ajourées (1-360A) et à parois fermées (15-320) ont été cultivés en serre et soumis à des teneurs en eau différentes (xérique : 0,10 cm³ cm⁻³, mésique : 0,16 cm³ m⁻³, hydrique : 0,30 cm³ m⁻³) (ROBIDAS 1995). Six relevés morphologiques et physiologiques ont permis d'établir si le type de récipient, en fonction des conditions hydri-

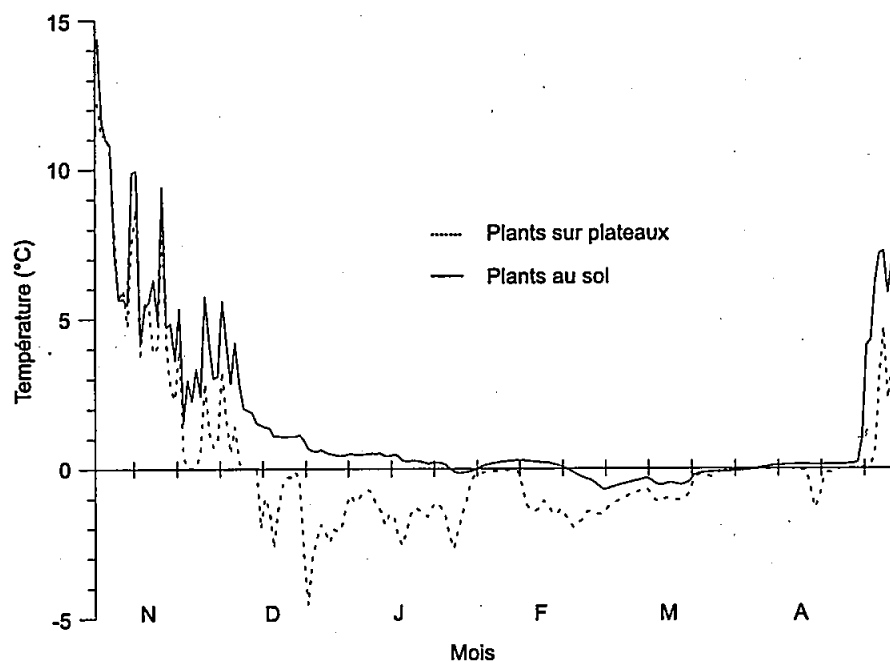


Figure 19. Températures moyennes du substrat dans les cavités de récipients 25-350A placés sur le sol ou sur des plateaux de culture (LAMBANY et RENAUD 1995).

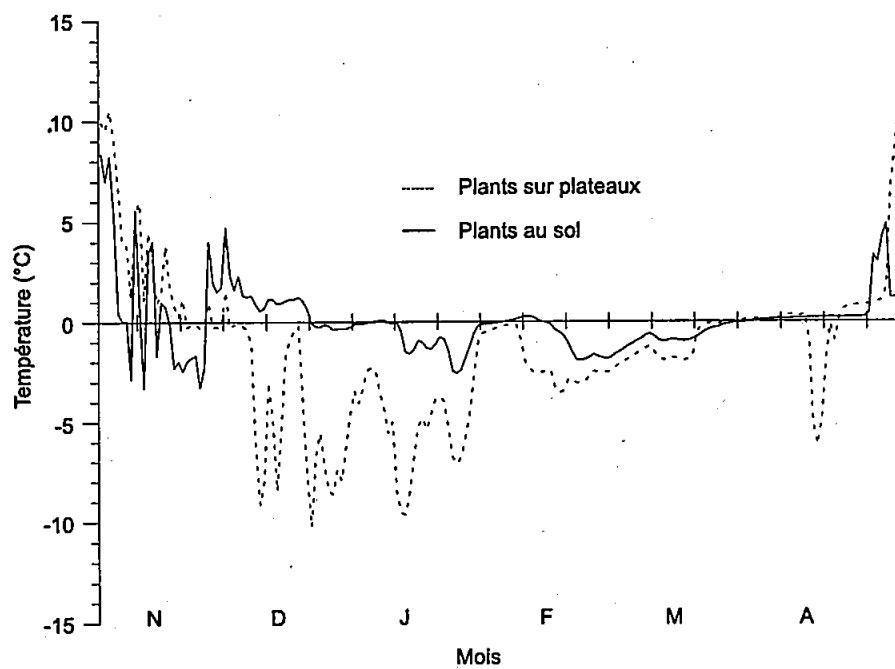


Figure 20. Températures moyennes du substrat dans les cavités de récipients 45-340 placés sur le sol ou sur des plateaux de culture (LAMBANY et RENAUD 1995).

ques appliquées au sol, affecte le développement des semis chez les deux essences à l'étude. Les principaux résultats observés dans le cadre de la réalisation de ce mémoire de maîtrise ont été les suivants :

- la masse anhydre de la tige et celle des feuilles ont été affectées par le type de récipient utilisé et par les régies d'irrigation ; par contre, les taux relatifs de croissance des deux essences (masse anhydre des tiges et des racines) sont demeurés semblables au cours de l'été ;
- le récipient à parois ajourées permet une production supérieure de racines blanches de moins de 1 cm et de plus de 1 cm dans le haut de la motte pour les plants d'épinette blanche, mais pas ceux de l'épinette noire ;
- le récipient à parois ajourées n'a pas permis une production supérieure de racines blanches de moins de 1 cm et de plus de 1 cm dans le bas de la motte pour les deux essences étudiées ;
- les masses anhydres des racines blanches produites dans la partie supérieure de la motte des plants d'épinette blanche cultivés en récipient à parois ajourées sont supérieures à celles des plants produits dans celui à parois fermées, situation absente chez l'épinette noire ; le type de récipient n'a pas eu d'effet sur la masse anhydre des racines blanches dans la partie inférieure de la motte des deux essences ;
- le développement des nouvelles racines blanches présente une meilleure répartition à la surface de la motte lorsqu'on emploie le récipient à parois ajourées ;

- au cours de la saison de culture, le potentiel hydrique et les échanges gazeux (concentration en CO_2 intercellulaire, photosynthèse nette, conductance stomatique et transpiration) des deux essences n'ont pas présenté de différences entre les deux récipients utilisés peu importe la régie d'irrigation appliquée. En première évaluation, ces résultats semblent confirmer que dans les conditions expérimentales appliquées, la masse des racines n'a pas été un facteur limitant sur le plan physiologique.

Dans le cadre d'une expérience de mycorhization réalisée par GAGNON (1996), des pins gris 1+0 ont été produits dans un tunnel du Centre de recherche en biologie végétale de l'Université Laval dans deux types de récipient : le 45-340 et le 25-350A. Durant la saison 1994 (1+0), les semis produits dans le récipient 25-350A ont reçu 18 % plus d'azote (41,9 mg contre 35,4 mg) que ceux cultivés dans le 45-340. À la date du 27 octobre 1994, le récipient 25-350A avait permis de produire des semis avec un diamètre au collet et des masses anhydres des tiges et totale de 11 %, 53 % et 27 % supérieurs à ceux du 45-340.

Par contre, il n'y a pas eu de gain de biomasse des racines des pins gris 1+0 dans le récipient 25-350A. Les résultats démontrent cependant que le récipient 25-350A permet de produire des semis aux dimensions comparables et même supérieures à celles des semis produits dans le 45-340. Dans cette étude, le gain de biomasse pour les tiges ainsi que pour le plant entier a été supérieur à la différence de fertilisant appliqué (18 %) entre les deux types de récipient.

Chapitre deux

Rendement en plantation comparative des PFD cultivés dans des récipients à parois ajourées

2.1 Plantations expérimentales

Quinze plantations expérimentales ont été établies depuis 1991 (Hérouxville [4], Mastigouche [2], Drummondville [2], Biencourt [4] et Saint-Germain de Grantham [3]) pour évaluer la performance des semis produits dans les différents types de récipients et cavités à parois ajourées. Les suivis sont réalisés durant les cinq premières années. Les relevés comportent l'évaluation des paramètres morphologiques et des concentrations en éléments minéraux dans les tissus ainsi qu'une étude du développement des racines hors de la motte d'origine et une caractérisation des sites de reboisement (composition de la végétation de compétition, drainage, etc.).

Comme on l'a mentionné au chapitre précédent, les résultats portant sur le développement des racines en plantation et sur la performance des PFD cultivés dans des récipients à parois ajourées sont principalement présentés dans ce chapitre (dispositifs 93.1, 94.1, 94.2, 94.3 et 94.4). Des informations provenant de certaines plantations réalisées avec du 45-340 par la région 01 ainsi que des observations provenant de superficies régénérées naturellement ont été incluses dans ce chapitre. Les deux plantations les plus importantes sont celles établies à Biencourt en 1994 (dispositif 93.1) parce qu'elles permettent de comparer la croissance des racines et la performance de PFD (épinette noire et épinette blanche) cultivés dans des récipients conventionnels et des cavités à parois ajourées d'environ 350 cm³.

Chacun des points des sections 2.3 et 2.4 contient une brève description des expériences entreprises et en présente les principaux résultats.

2.2 Caractéristiques des sites de reboisement

Quatre plantations expérimentales ont été établies dans la réserve faunique de Rimouski (Biencourt) (deux en 1994 et deux en 1995) et trois à Saint-Germain de Grantham (1995) pour évaluer la performance en plantation de PFD et de plants feuillus cultivés dans des récipients à parois ajourées. Les principales caractéristiques des sites de reboisement sont présentées au tableau 16.

2.3 Développement des racines en plantation

Des études du développement des racines ont été effectuées chaque automne et à l'été 1996 (inventaire hâtif en raison de la date du colloque des 18 et 19 septembre 1996) pour les plantations réalisées à Biencourt et Saint-Germain de Grantham. Les premières évaluations du développement des racines consistaient à dénombrer les nouvelles racines blanches de plus de 1,0 cm de longueur qui émergeaient de la motte d'origine et d'en déterminer la masse anhydre totale par plant. Cette méthode a été abandonnée parce qu'elle demande beaucoup de temps et ne fournit aucune information sur la distribution des nouvelles racines. Depuis 1995, le développement des racines est déterminé directement sur le terrain de façon qualitative en évaluant la distribution verticale (de haut en bas) et la distribution sur 360° (par rapport à l'axe de la tige) des nouvelles racines qui ont émergé de la motte d'origine. Tous

Tableau 16. Caractéristiques des sites de reboisement de Biencourt (2) et de Saint-Germain de Grantham

Biencourt 1994 (93.1)	
Zone écologique	Sapinière à bouleau jaune
Peuplement d'origine	Sapin baumier, bouleau jaune et épinettes
Année de la coupe	1991 - Mise en andains
Préparation de terrain	Rotoculteur (1993)
Orientation	90°
Pente	0-5 % pour les blocs 1-4 et 5-15 % pour les blocs 5-8
Type de sol	Classe texturale : loam ; pierrosité : peu pierreux ; présence de beaucoup de matière organique pour les blocs du bas (1-4)
Drainage	Moyen (blocs 1-4) et rapide (blocs 5-8)
Fertilité	Le 94-07-21 : N min. = 17 ppm, P disp. = 38 ppm et K éch. = 53 ppm. La fertilité est uniforme sur toute la plantation.
Année de mise en terre	1994
Outil de mise en terre	Pioche forestière
Densité de reboisement	2,0 x 2,0 m. Des semis supplémentaires ont été placés au mètre le long des lignes pour les diverses récoltes durant les cinq premières années.
Végétation de compétition	Framboisier, régénération naturelle en sapin baumier, érable rouge, sureau rouge, aulne rugueux et bouleau jaune. La compétition est faible dans le bas de la plantation (blocs 1-4) et devient abondante et dense dans le haut (blocs 5-8).
Précipitations (juin-sept.) †	1994 = 503 mm; 1995 = 367 mm
Biencourt 1995 (94.1 et 94.2)	
Zone écologique	Sapinière à bouleau jaune
Peuplement d'origine	Sapin baumier, bouleau jaune et épinettes
Année de la coupe	1991 - Mise en andains
Préparation de terrain	Rotoculteur (1993). Le scarificateur à disques a dû être utilisé en 1995 pour dégager les lignes de plantation qui ne sont pas nécessairement les mêmes que celles tracées par le rotoculteur.
Orientation	90°
Pente	15-20%
Type de sol	Classe texturale : loam limoneux. Pierrosité : très pierreux
Drainage	Rapide
Fertilité	—
Année de mise en terre	1995
Outil de mise en terre	Pioche forestière
Densité de reboisement	2,0 x 2,0 m
Végétation de compétition	Framboisier, épilobe, sapin baumier, érable rouge et sureau rouge. La compétition est sévère et uniforme dans toute la plantation.
Précipitations (juin-sept.) †	1995 = 367 mm
Saint-Germain de Grantham 1995 (94.3)	
Zone écologique	Érablière à tilleul
Peuplement d'origine	Terre agricole abandonnée depuis 2 à 3 ans
Année de la coupe	—
Préparation de terrain	Labourage et herse agricole ; paillis en longueur avec colerettes à la base de chaque plant
Orientation	45°
Pente	0 % ; terrain plat subdivisé en planches agricoles
Type de sol	Classe texturale : loam argileux sableux. Pierrosité : peu pierreux
Drainage	Moyen dans l'ensemble (avec une zone de mauvais drainage) dans le dispositif 94.3, chêne rouge
Fertilité	—
Année de mise en terre	1995
Outil de mise en terre	Pelle
Densité de reboisement	3,5 x 2,0 m
Végétation de compétition	Chiendent, trèfle et quelques saules près des fossés. Fauchage du foin chaque année entre les rangées de paillis (1-2 coupes).
Précipitations (juin-sept.) †	—

† Jobidon (1996).

Tableau 17. Bilan morphologique des plants récoltés les 2, 3 et 4 octobre 1995 à Biencourt pour les analyses de développement des racines (93.1)

Essence	Traitement (réipient)	Hauteur (cm)	Diamètre (mm)	H/D	Masse anhydre			T/R	Conc. tissus (plant entier)		
					tiges (mg)	racines (mg)	totale (mg)		N (%)	P (ppm)	K (ppm)
Épinette noire	15-320	62	10,2	6,1	42,5 a	12,7 a	55,2 a	3,4 a	1,72	1843	6250
	1-360A 2 cm	65	11,4	5,7	54,1 a	15,0 a	69,2 a	3,7 a	1,59	1753	5975
Épinette blanche	15-320	52	10,2	5,1	36,3 b	10,6 b	46,9 b	3,5 a	1,39	1443	5550
	1-360A 2 cm	54	11,2	4,9	46,7 a	13,9 a	60,6 a	3,4 a	1,42	1528	5500

Mesures effectuées sur 16 semis par traitement.

Verticalement, pour chaque essence, les moyennes suivies de lettres distinctes présentent des différences significatives au seuil $\alpha = 0,05$ selon le test de Tukey.

Analyses statistiques effectuées seulement sur les masses anhydres.

les systèmes racinaires sont photographiés et les semis sont par la suite remis en terre. Ces plants ne sont toutefois plus considérés dans les inventaires subséquents. À l'aide des diapositives prises sur le terrain, la cotation de chaque système racinaire est validée au laboratoire. Pour chacune des deux distributions (verticale et sur 360°), les indices de qualification sont les suivants : nulle (1), faible (2), moyenne (3), bonne (4) et élevée (5). Des classes intermédiaires ont également été retenues (ex : 3,5).

2.3.1 Biencourt (93.1)

Au printemps 1994, deux plantations expérimentales (annexe 4) ont été établies dans la réserve faunique de Rimouski (Biencourt) avec les semis d'épinette noire et d'épinette blanche provenant des expériences réalisées en serre à la pépinière de Saint-Modeste en 1993 (93.1 - section 1.1.14).

Les analyses du développement des racines en plantation de l'automne 1995 ont été effectuées sur seulement deux (15-320 et 1-360A à 2,0 cm) des trois traitements de manière à obtenir une précision plus élevée pour les deux traitements retenus. Les semis d'épinette noire présentent, après deux saisons en plantation, des masses anhydres semblables (tableau 17). Des différences significatives seraient probablement apparues entre les deux traitements si le nombre de plants récoltés avait été plus élevé. On peut estimer un accroissement de masse totale, par rapport aux valeurs de l'automne 1993 en pépinière, de 48 g pour le 15-320 et de 60 g pour la cavité 1-360A, soit une différence de 12 g. Les concentrations en éléments minéraux dans le plant entier sont cependant un peu plus faibles que celles mesurées pour le 15-320. Les analyses statistiques (tableaux de fréquence et test de Kruskal-Wallis) effectuées sur 16 plants par traitement pour la distribution verticale

et pour la distribution sur 360° n'ont pas fait ressortir de différences significatives entre les deux traitements. La figure 21 présente les distributions de fréquence pour chaque traitement. Douze plants sur seize pour chaque traitement ont été considérés comme ayant un beau développement racinaire hors de la motte d'origine (uniformité de la distribution des nouvelles racines sur le pourtour des mottes). Les malformations des racines observées dans le 15-320 en cours de culture sont toujours visibles après deux années en plantation. La solidité des mottes est toutefois plus grande pour les cavités 1-360A à 2,0 cm. Une quantité très élevée de mottes (90 % pour le 15-320 et 60 % pour la cavité 1-360A à 2,0 cm) étaient comprimées. La texture et le drainage des microsites étaient semblables. Dix pour cent des plants ont développé des racines adventives pour chacun des traitements. Près de 7,5 % des plants ont été cassés par le verglas cours de l'hiver 1995.

Après deux saisons en plantation, les semis d'épinette blanche produits dans la cavité 1-360A à 2,0 cm présentent des masses anhydres significativement plus importantes que celles des semis cultivés dans le 15-320 (tableau 17). Si on se réfère aux valeurs de masses totales obtenues lors de l'inventaire final en octobre 1993, des accroissements de 39 g et de 50 g ont été obtenus pour le 15-320 et la cavité 1-360A respectivement, ce qui donne une différence de 11 g. Les concentrations en éléments minéraux dans les tissus sont sensiblement identiques pour les deux traitements. La distribution verticale et la distribution sur 360° des racines sont significativement plus élevées ($\alpha = 0,10$ & $\alpha = 0,05$ respectivement) pour les plants cultivés dans la cavité 1-360A à 2,0 cm (figure 22). Un nombre plus élevé de semis (11 par rapport à 8) ont été classés comme ayant un beau développement racinaire pour ce qui est des semis produits

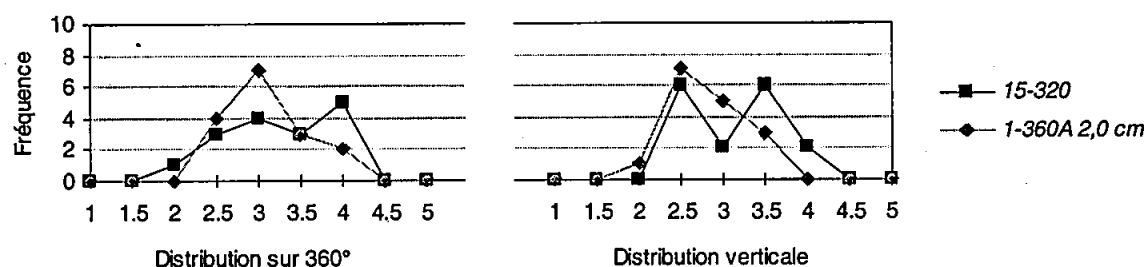


Figure 21. Développement racinaire de l'épinette noire (93.1) après deux saisons en plantation (95-10-02).

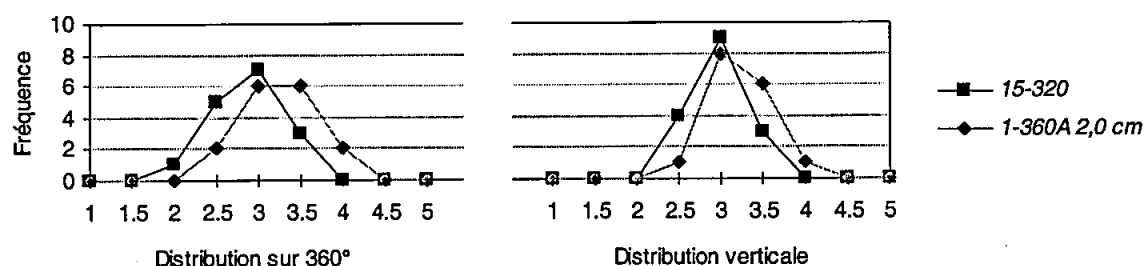


Figure 22. Développement racinaire de l'épinette blanche (93.1) après deux saisons en plantation (95-10-02).

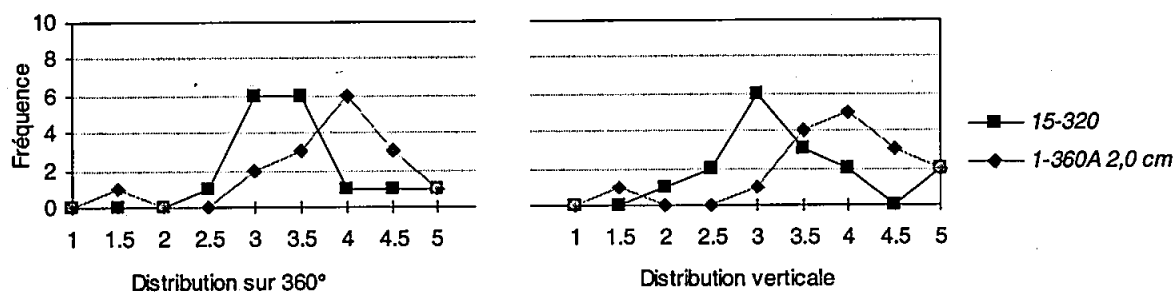


Figure 23. Développement racinaire de l'épinette noire (93.1) après 2 1/2 saisons en plantation (96-07-02).

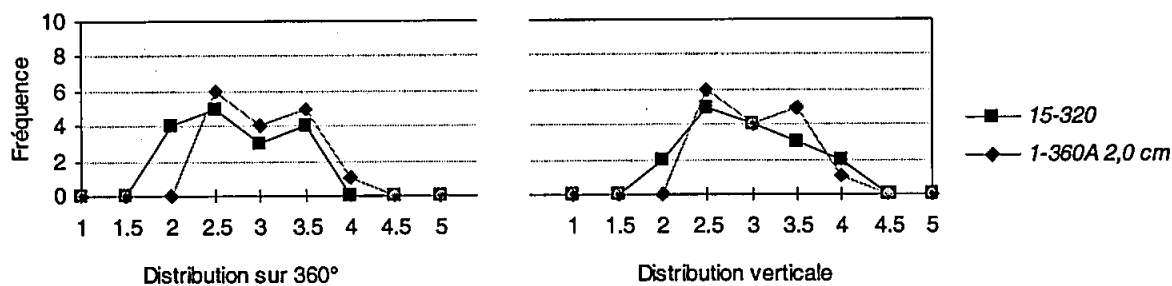


Figure 24. Développement racinaire de l'épinette blanche (93.1) après 2 1/2 saisons en plantation (96-07-02).

Note. Indices de qualification : nulle (1), faible (2), moyenne (3), bonne (4) et élevée (5).

dans la cavité 1-360A à 2,0 cm. De plus, la solidité des mottes était plus grande dans les cavités 1-360A à 2,0 cm. Un nombre très élevé de mottes étaient comprimées pour les deux types de récipients. Les caractéristiques du sol étaient semblables pour les deux traitements. Des dommages par le verglas ont également été observés dans ce dispositif, principalement sur les plants produits dans le 15-320.

Le relevé du développement des racines effectué au mois de juillet 1996 (2 ½ saisons en plantation) pour l'épinette noire a permis de faire ressortir des différences significatives entre la cavité 1-360A à 2,0 cm et le récipient 15-320. Au seuil théorique $\alpha = 0,10$ (seuil observé = 0,053), la cavité 1-360A a une meilleure distribution des racines sur 360° que celle des 15-320 (figure 23). De plus, la distribution verticale des racines est significativement supérieure ($\alpha = 0,05$) pour la cavité 1-360A. Le développement des nouvelles racines de la cavité 1-360A est mieux équilibré sur le pourtour de la carotte et il présente un chevelu racinaire plus dense que celui des 15-320 (figures 25 et 26). Des racines adventives ont été observées sur quelques plants de chaque traitement. Plus de 60 % des mottes d'origine étaient comprimées quels que soient les récipients.

Les analyses du développement des racines effectuées pour l'épinette blanche en juillet 1996 n'ont pas permis de faire ressortir de différences significatives entre les deux traitements (figure 24). Cependant, à un seuil de 12,6 %, des différences significatives auraient été observées en faveur de la cavité 1-360A à 2,0 cm pour la distribution sur 360° des nouvelles racines. Le faible nombre de plants analysés (16) peut expliquer les différences entre les résultats de cet inventaire et de celui effectué après deux ans. Le développement des racines des semis cultivés dans le récipient 15-320 est plus orienté vers le bas que celui de la cavité 1-360A. Le système racinaire des cavités 1-360A occupe un volume de sol plus grand et il comporte plus de racines de structure. Vingt-cinq pour cent (4/16) des plants issus des 15-320 présentaient des racines adventives. Un nombre très élevé de mottes étaient comprimées (56 % pour le 15-320 et 69 % pour la cavité 1-360A). Les figures 27 et 28 présentent des exemples de développement des racines dans les deux types de récipients.

Pour l'ensemble des deux dispositifs évalués, le développement des racines des semis produits dans la cavité à parois ajourées 1-360A est au moins égal ou supérieur à celui du récipient 15-320 (récipient conventionnel à parois pleines). De plus, les semis

cultivés dans la cavité 1-360A présentent des systèmes racinaires beaucoup moins déformés à la sortie de la pépinière. De plus, la forme de la motte d'origine demeure toujours plus visible en plantation pour les semis cultivés dans le récipient 15-320.

2.3.2 Biencourt (94.1 & 94.2)

Au printemps 1995, deux plantations expérimentales (annexe 5) ont été établies dans la réserve faunique de Rimouski (Biencourt - sites localisés à moins d'un kilomètre de ceux de la section 2.3.1) avec les semis d'épinette blanche provenant des expériences réalisées en serre à la pépinière de Saint-Modeste en 1994 (94.1 et 94.2 - sections 1.1.19 et 1.1.20).

Après une saison et demie en plantation, les plants d'épinette blanche (94.1) cultivés dans le récipient 25-350A et la cavité 1-350A à 1,5 cm ne présentent pas de différences significatives (tableaux de fréquence et test de Kruskal-Wallis) pour le développement des racines (distribution verticale et distribution sur 360°). La figure 29 présente les graphiques de distribution de fréquence pour les deux traitements. La répartition des racines sur le pourtour de la motte est uniforme et dense pour les deux traitements. Le système racinaire des plants cultivés dans le 25-350A semble cependant occuper un volume de sol un peu plus élevé et il présente plus de racines de structure. Les mottes des cavités 1-350A sont plus fragiles que celles des 25-350A ; c'est pourquoi elles montrent un pourcentage plus élevé de mottes cassées ou tronquées. Bien que les plants aient été mis en terre à la pioche forestière, une proportion très élevée (67 % et 92 % pour les 25-350A et 1-350A respectivement) de mottes étaient comprimées. Les figures 31 et 32 présentent un exemple de développement des racines, 1 ½ année après la mise en terre des semis, pour les deux types de récipient.

La densité de culture en pépinière (1-350A à 1,5 et 3,0 cm - dispositif 94.2) n'influence pas la distribution verticale et la distribution sur 360° (figure 30) des nouvelles racines d'épinette blanche après 1 ½ saison en plantation (aucune différence significative). La répartition spatiale des nouvelles racines sur le pourtour des mottes est uniforme pour les deux densités de culture. Les racines des semis cultivés à 1,5 cm semblent cependant un peu plus grosses. Toutefois, les racines des plants cultivés à 3,0 cm sont en moyenne plus longues. Le développement des nouvelles racines des deux traitements ressemble à celui que présente la figure 32. La solidité des mottes était plus élevée pour les plants produits à 3,0 cm et un fort pourcentage (100 % à 1,5 cm et 83 % à 3,0 cm) de ces mottes étaient comprimées.

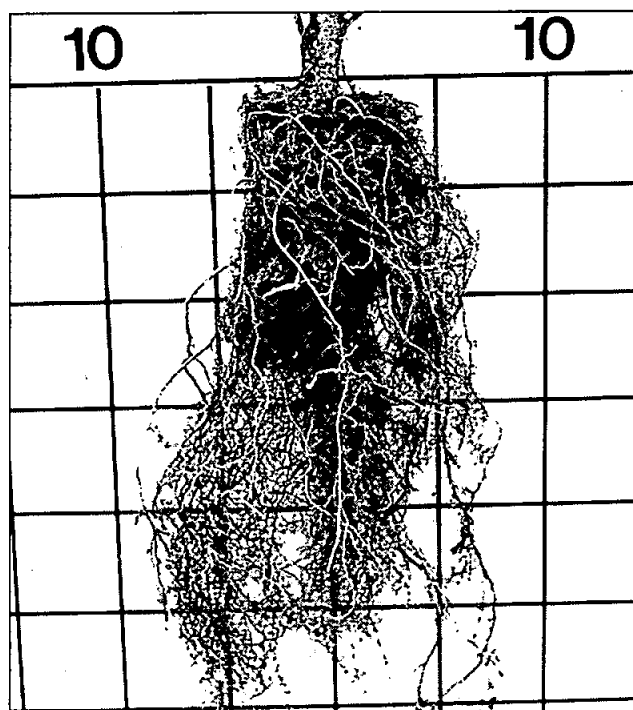


Figure 25. Développement racinaire de l'épinette noire (93.1) cultivée dans le 15-320 après 2 ½ saisons en plantation (96-07-02).

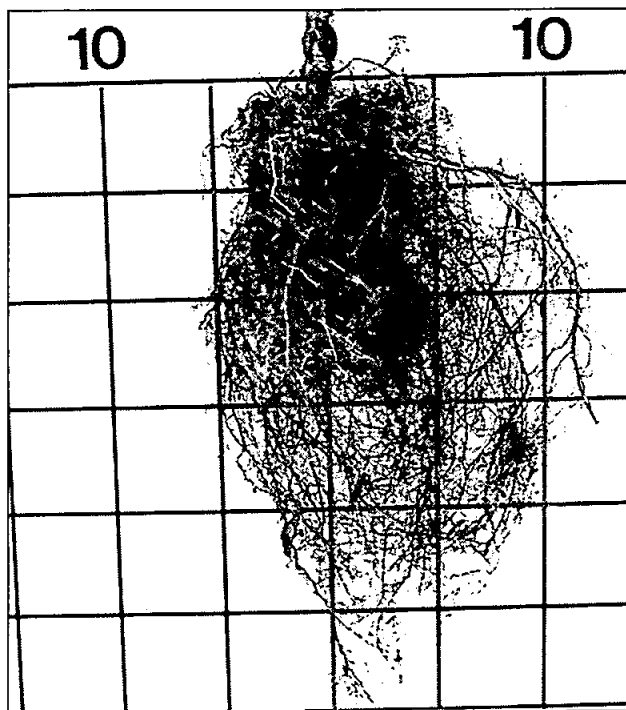


Figure 26. Développement racinaire de l'épinette noire (93.1) cultivée dans la 1-360A à 2,0 cm après 2 ½ saisons en plantation (96-07-02).

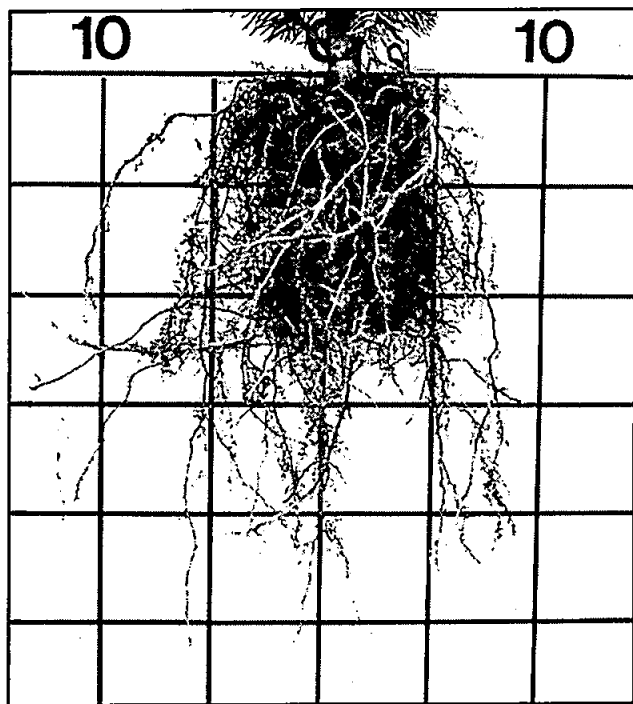


Figure 27. Développement racinaire de l'épinette blanche (93.1) cultivée dans le 15-320 après 2 ½ saisons en plantation (96-07-02).

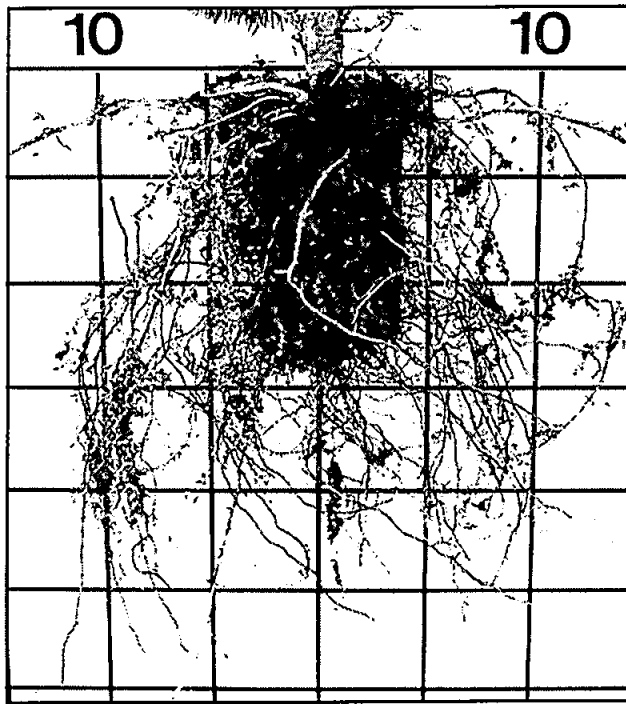


Figure 28. Développement racinaire de l'épinette blanche (93.1) cultivée dans la 1-360A à 2,0 cm après 2 ½ saisons en plantation (96-07-02).

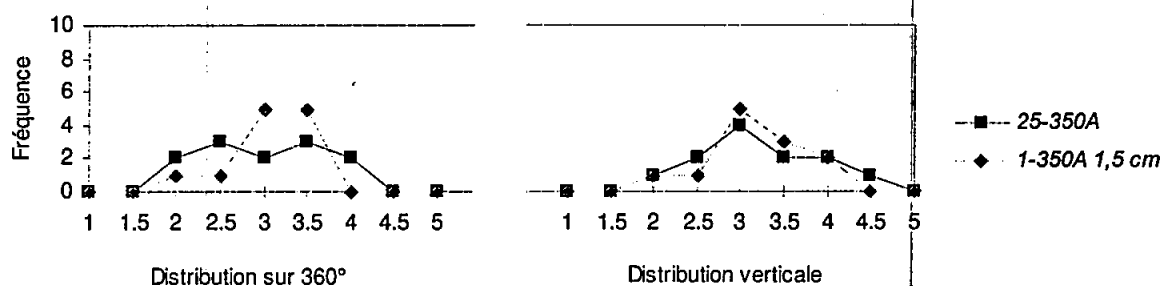


Figure 29. Développement des racines de l'épinette blanche (94.1) après 1 ½ saison en plantation (96-07-08).

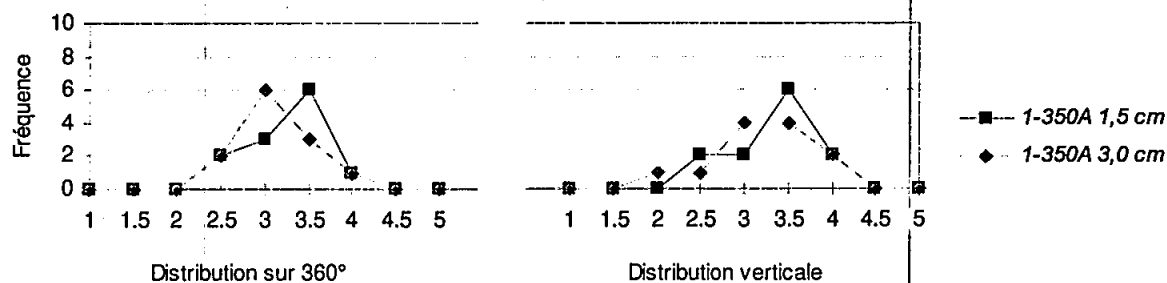


Figure 30. Développement des racines de l'épinette blanche (94.2) après 1 ½ saison en plantation (96-07-08).

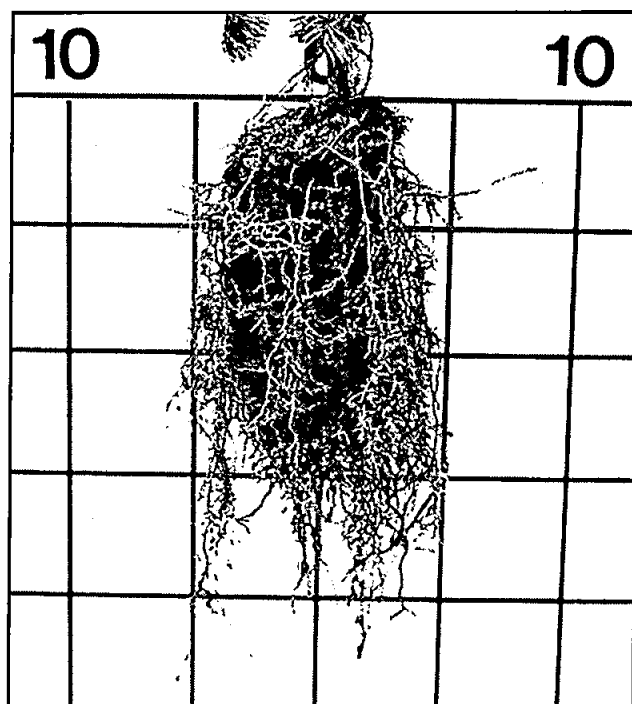


Figure 31. Exemple de développement racinaire de l'épinette blanche (94.1) cultivée dans le 25-350A après 1 ½ saison en plantation (96-07-08).

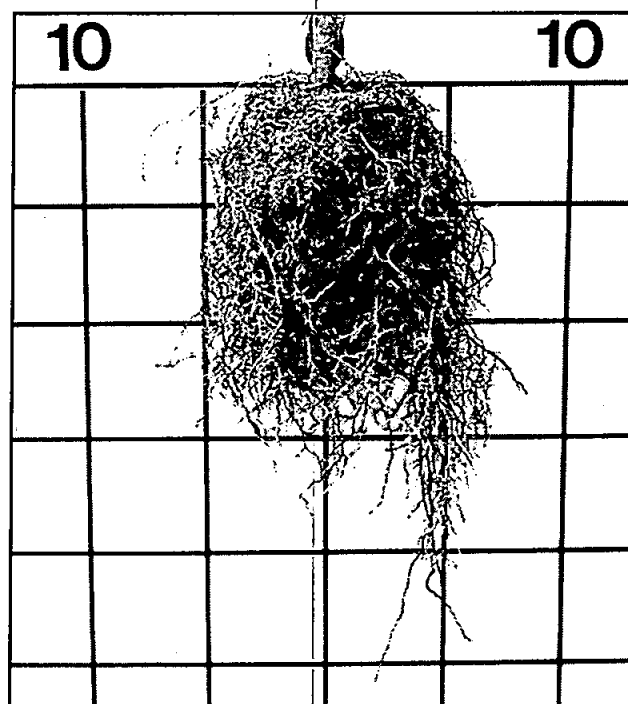


Figure 32. Exemple de développement racinaire de l'épinette blanche (94.1) cultivée dans la cavité 1-350A à 1,5 cm après 1 ½ saison en plantation (96-07-08).

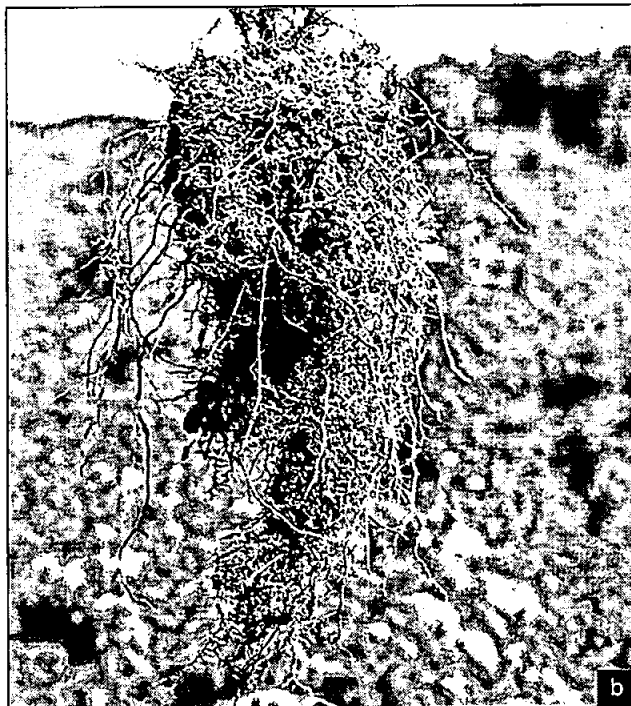


Figure 33. Exemples de développement racinaire de l'épinette noire cultivée dans le 45-340 après 1 ½ saison en plantation - Réserve faunique de Rimouski (96-06-19).

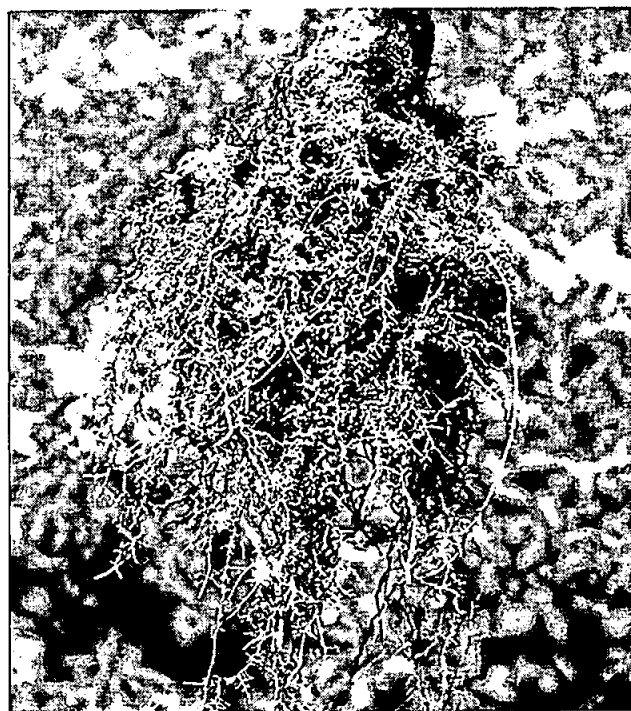


Figure 34. Exemples de développement racinaire de l'épinette blanche cultivée dans le 45-340 après 1 ½ saison en plantation - Réserve faunique de Rimouski (96-06-19).

Même si aucune différence significative n'a été observée entre le récipient 25-350A et la cavité 1-350A pour le développement des racines en plantation, il ne faut pas oublier que le système racinaire des semis cultivés dans la cavité 1-350A est moins déformé à sa sortie de la pépinière que celui des semis en récipient 25-350A.

2.3.3 Reboisement opérationnel

Des observations de développement des racines ont été effectuées dans quelques plantations de la région 01 de manière à évaluer très sommairement le développement des nouvelles racines de semis cultivés dans des récipients conventionnels et mis en terre selon les techniques utilisées pour le reboisement à grande échelle. Ces observations, bien que très fragmentaires, sont nécessaires comme base de comparaison pour nos dispositifs, parce que nos plantations ont été réalisées avec des semis produits en une saison en serre, et qu'ils ont été mis en terre à la pioche forestière dans un sol qui avait été travaillé au rotoculteur.

La majorité des semis observés ont été mis en terre dans des sols fertiles avec un bon drainage. L'intensité de la végétation de compétition en était d'ailleurs un très bon indicateur. Les semis évalués présentaient dans l'ensemble des systèmes racinaires bien développés qui ont permis de bonnes croissances en hauteur des plants. Les énoncés suivants résument nos principales observations :

- les systèmes racinaires sont principalement constitués d'une forte densité de racines fines ;
- la forme de la motte d'origine ainsi que les malformations des racines imputables à la culture dans des récipients conventionnels sont encore visibles. Ceci a principalement été observé dans les jeunes plantations ;
- la distribution verticale et la distribution sur 360° des nouvelles racines étaient comparables dans l'ensemble à ce qui a été observé sur l'épinette noire et l'épinette blanche cultivées dans le récipient 15-320 (section 2.3.1).

Les figures 33 et 34 illustrent des exemples de développement des nouvelles racines après 1 ½ année en plantation pour l'épinette noire et l'épinette blanche cultivées dans le récipient 45-340.

Les quelques observations présentées ci-dessus reposent sur l'examen visuel de quelques plants seulement, sans aucune prise de mesure. Une analyse plus rigoureuse (sites, préparation de terrain, outil de

mise en terre, essence, mode de culture, type de récipient, etc.) serait nécessaire pour qualifier adéquatement le développement racinaire de semis produits de façon conventionnelle et mis en terre à grande échelle.

2.3.4 Saint-Germain (94.3 et 94.4)

Au printemps 1995, trois plantations expérimentales (dispositifs en blocs aléatoires complets) ont été établies à Saint-Germain de Grantham avec les semis de bouleau jaune et de chêne rouge provenant des expériences réalisées à la pépinière de Berthierville en 1994 (94.3 et 94.4 - sections 1.1.21 et 1.1.22). Seulement deux des trois plantations (bouleau jaune et chêne rouge cultivés dans des récipients de 340-350 cm³ - dispositifs 94.3) ont été retenues pour les études du développement des racines de manière à obtenir le plus de précisions possible sur les trois traitements de chaque essence.

Le bouleau jaune est une essence qui présente de nombreuses racines adventives (56 %, 69 % et 63 % des semis évalués [16] pour les 45-340, 25-350A et 1-350A à 1,5 cm respectivement). Le développement de ces racines est déjà très important et il constituera vraisemblablement l'essentiel des racines de structure. La distribution verticale et la distribution sur 360° des nouvelles racines ne sont pas significativement différentes (tableaux de fréquence et test de Kruskal-Wallis) entre les trois types de récipient (figure 35). Pour l'ensemble des traitements, on observe une relation directe entre le développement des nouvelles racines et le gabarit (hauteur et diamètre) du plant. Les figures 37 et 38 présentent un exemple de développement des racines de bouleau jaune dans le récipient 45-340 et la cavité 1-350A.

Le chêne rouge produit très peu de racines adventives et son développement racinaire est fortement conditionné par les caractéristiques du site. En effet, les systèmes racinaires présentant les distributions les plus uniformes ont été observés dans les sections les plus sèches de la plantation (sol sableux et bien drainé par rapport à un sol lourd argileux). Le développement des racines des semis de chêne rouge produits dans les récipients à parois ajourées (25-350A et 1-350A à 3,0 cm) est supérieur à celui des plants produits dans le récipient 28-340. Le récipient 25-350A présente une distribution verticale et une distribution sur 360° nettement supérieures ($\alpha = 0,05$) à celles des semis cultivés dans le récipient 28-340 (figure 36). La cavité 1-350A a un développement racinaire sur 360° nettement plus élevé ($\alpha = 0,05$) que celui des 28-340. Cependant, aucune

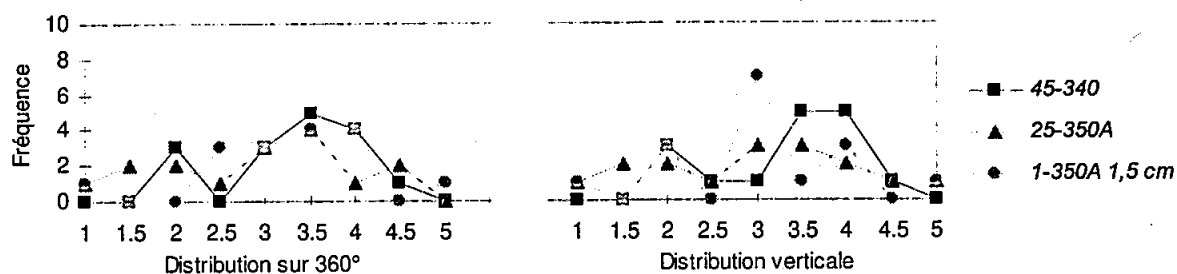


Figure 35. Développement racinaire vertical et sur 360° du bouleau jaune (94.3) après 1 1/2 saison en plantation.

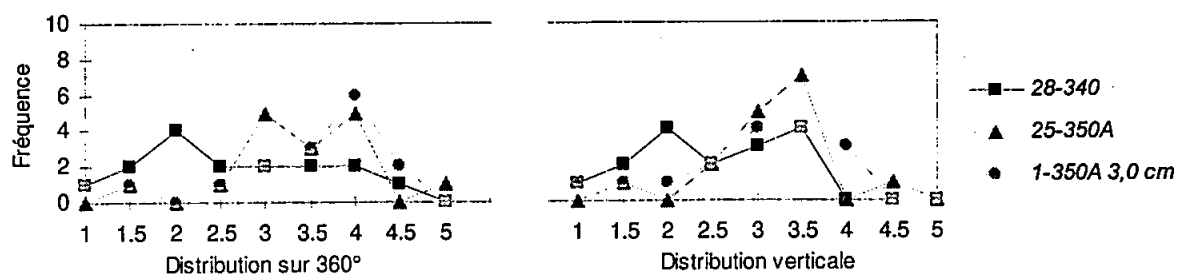


Figure 36. Développement racinaire vertical et sur 360° du chêne rouge (94.3) après 1 1/2 saison en plantation.

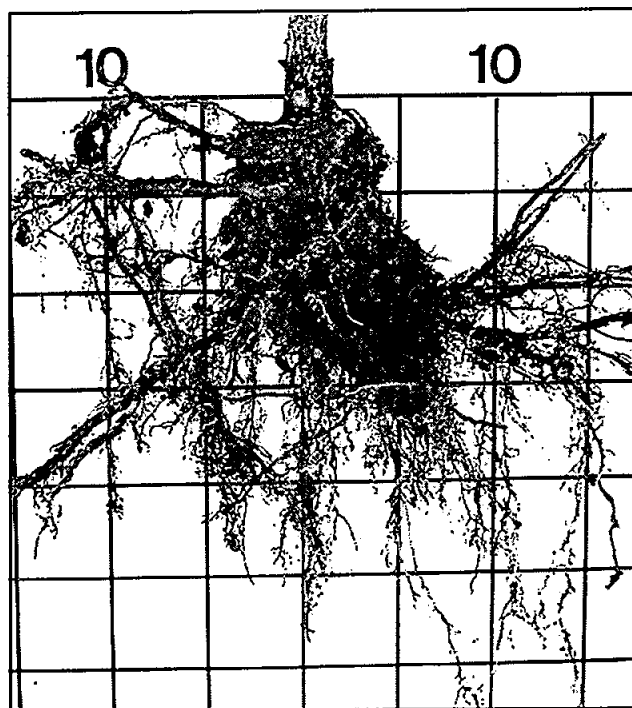


Figure 37. Exemple de développement racinaire du bouleau jaune (94.3) cultivé dans le 45-340 après 1 1/2 saison en plantation (96-07-22).

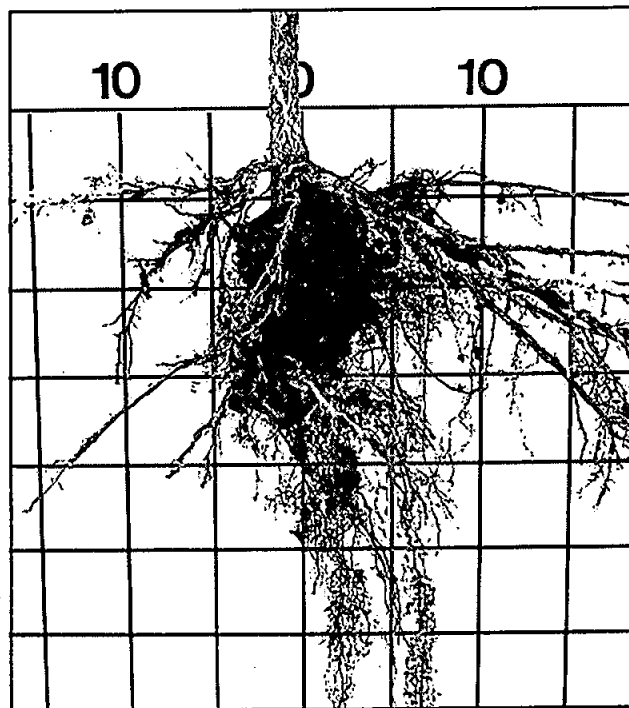


Figure 38. Exemple de développement racinaire du bouleau jaune (94.3) cultivé dans le 1-350A à 1,5 cm après 1 1/2 saison en plantation (96-07-22).

différence n'a été observée entre ces deux traitements pour la distribution verticale des nouvelles racines. Aucune différence marquée n'a toutefois été observée pour la distribution verticale et la distribution sur 360° des nouvelles racines entre le récipient 25-350A et la cavité 1-350A.

Comme mentionné précédemment pour les épinettes noire et blanche (section 2.3.1), il est important de se rappeler que les systèmes racinaires de semis produits dans des récipients à parois ajourées sont beaucoup moins déformés à la sortie de la pépinière. Ceci pourrait donner un avantage aux récipients à parois ajourées principalement lorsque le développement des nouvelles racines hors de la motte d'origine est semblable à celui des récipients conventionnels.

2.3.5 Régénération naturelle

Des semis d'épinette noire et d'épinette blanche aux dimensions semblables à celles de nos plants des expériences de Biencourt (93.1) ont été déterrés pour une évaluation qualitative de leur développement racinaire. Toutefois, l'âge de ces semis n'a pas été évalué. La recherche d'un récipient permettant un développement racinaire de qualité en plantation suppose que nous ayons une bonne idée de la manière dont se développe le système racinaire d'un arbre naturellement établi. Ceci permettra de mieux comprendre la dynamique de croissance des nouvelles racines ainsi que le devenir des malformations racinaires d'origine une fois les semis mis en terre. Les énoncés suivants résument nos principales observations :

- l'architecture des racines des semis naturellement établis est totalement différente de celle de semis plantés ;
- le système racinaire est principalement constitué de racines de structure qui se développent dans les 30 premiers cm de sol. Les racines d'absorption sont réparties sur des racines latérales de divers ordres et elles ne forment pas de chevelu dense autour de la racine principale comme le font les semis de reboisement autour de la motte d'origine ;
- la distribution des racines est aléatoire et elle est très fortement conditionnée par les caractéristiques du sol. La distribution verticale et celle sur 360° sont généralement faibles ;

- aucune malformation des racines typique à la culture des semis en récipient (chignon, etc.) n'est visible avec les semis régénérés naturellement. Cependant, le système racinaire présente quelquefois des anomalies de forme imputables en bonne partie aux nombreux obstacles rencontrés par les racines ;
- l'ancrage de l'ensemble des plants extraits est adéquat ;
- certains plants présentent des racines entremêlées.

Les figures 39 et 40 présentent quelques exemples du développement des racines de l'épinette noire et de l'épinette blanche.

2.4 Performance des semis en plantation

Le suivi des plantations établies à Biencourt et à Saint-Germain en 1994 et 1995 a été réalisé au printemps et à l'automne de la première saison ainsi qu'à chaque automne subséquent. Les paramètres évalués à chaque prise de mesure sont la hauteur totale du plant (cm) ainsi que son diamètre au collet (mm). Les accroissements annuels sont obtenus par la différence de croissance entre chaque année. Le suivi des autres paramètres morphologiques (masses anhydres) et physiologiques (concentrations dans les tissus) n'a été effectué que lors de l'analyse des systèmes racinaires pour le relevé de l'automne 1995 à Biencourt (tableau 17 - section 2.3.1).

2.4.1 Biencourt (93.1)

Les données présentées dans cette section proviennent des mêmes plantations que celles décrites à la section 2.3.1 pour l'analyse des systèmes racinaires. Les trois traitements (15-320, 1-360A à 1,0 cm et 1-360A à 2,0 cm) ont été considérés dans les inventaires morphologiques.

À la fin de la première saison de croissance en plantation, aucune différence n'a été observée pour les accroissements en hauteur et en diamètre ainsi que pour le pourcentage de survie entre les trois traitements pour l'épinette noire (tableau 18). On peut aussi faire la même constatation pour ce qui est des accroissements annuels et du pourcentage de survie à la deuxième année en plantation. Toutefois, le rapport H/D qui s'est le plus amélioré (diminution marquée [$\alpha = 0,05$]) après une et deux années en plantation) est celui des semis produits dans le 15-320 (non indiqué dans le tableau). Pour l'ensemble des analyses statistiques effectuées sur la hauteur et le diamètre, le terme bloc a été significatif dans tous les cas dénotant une très grande variabilité entre les blocs pour les accroissements annuels. La figure 41 présente le gradient d'accroissement de la hauteur

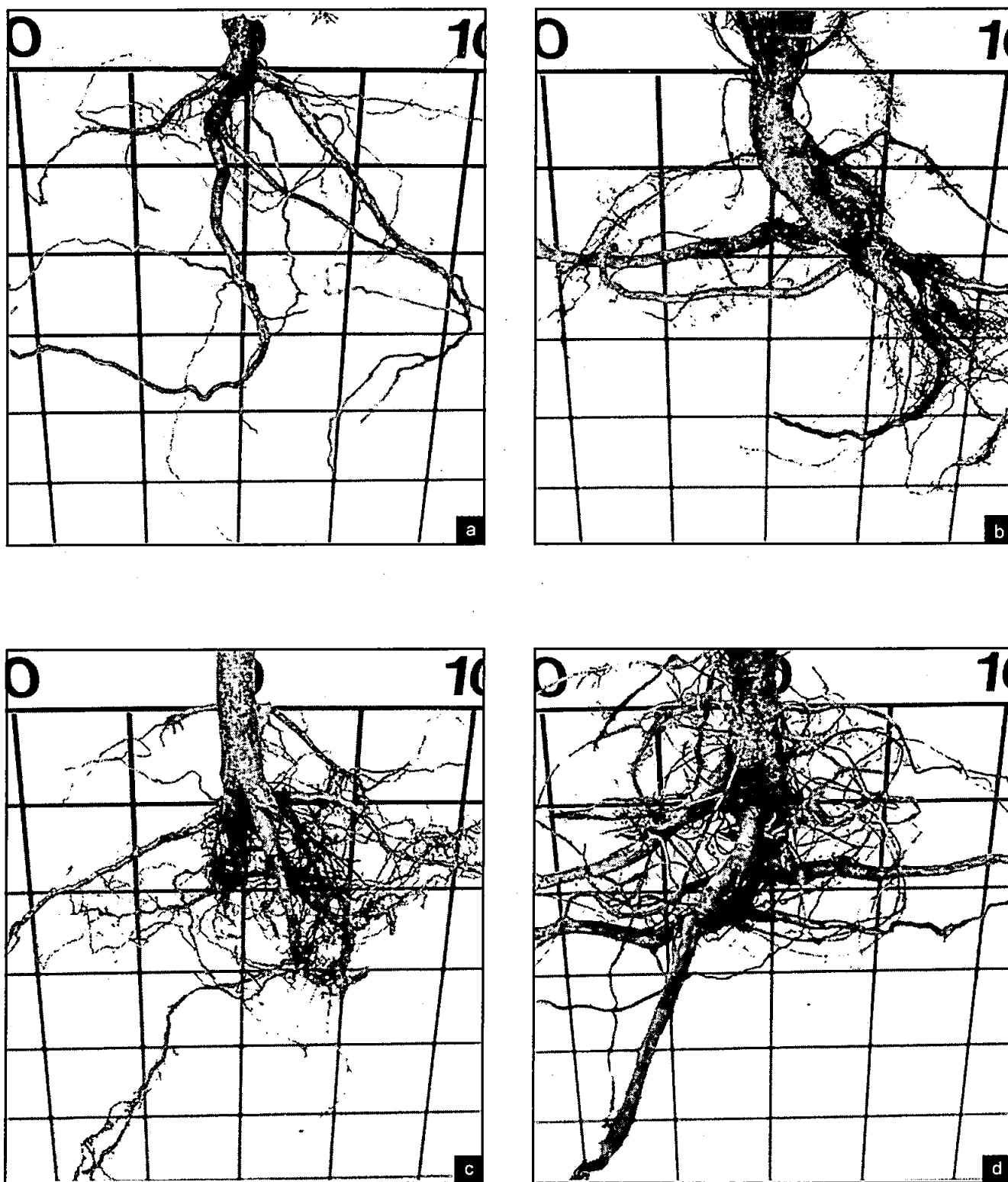


Figure 39. Exemples de développement racinaire de semis d'épinette noire régénérés naturellement, récoltés à Biencourt (a, b et c - 96-05-23) et à la Forêt Montmorency (d - 96-05-28).

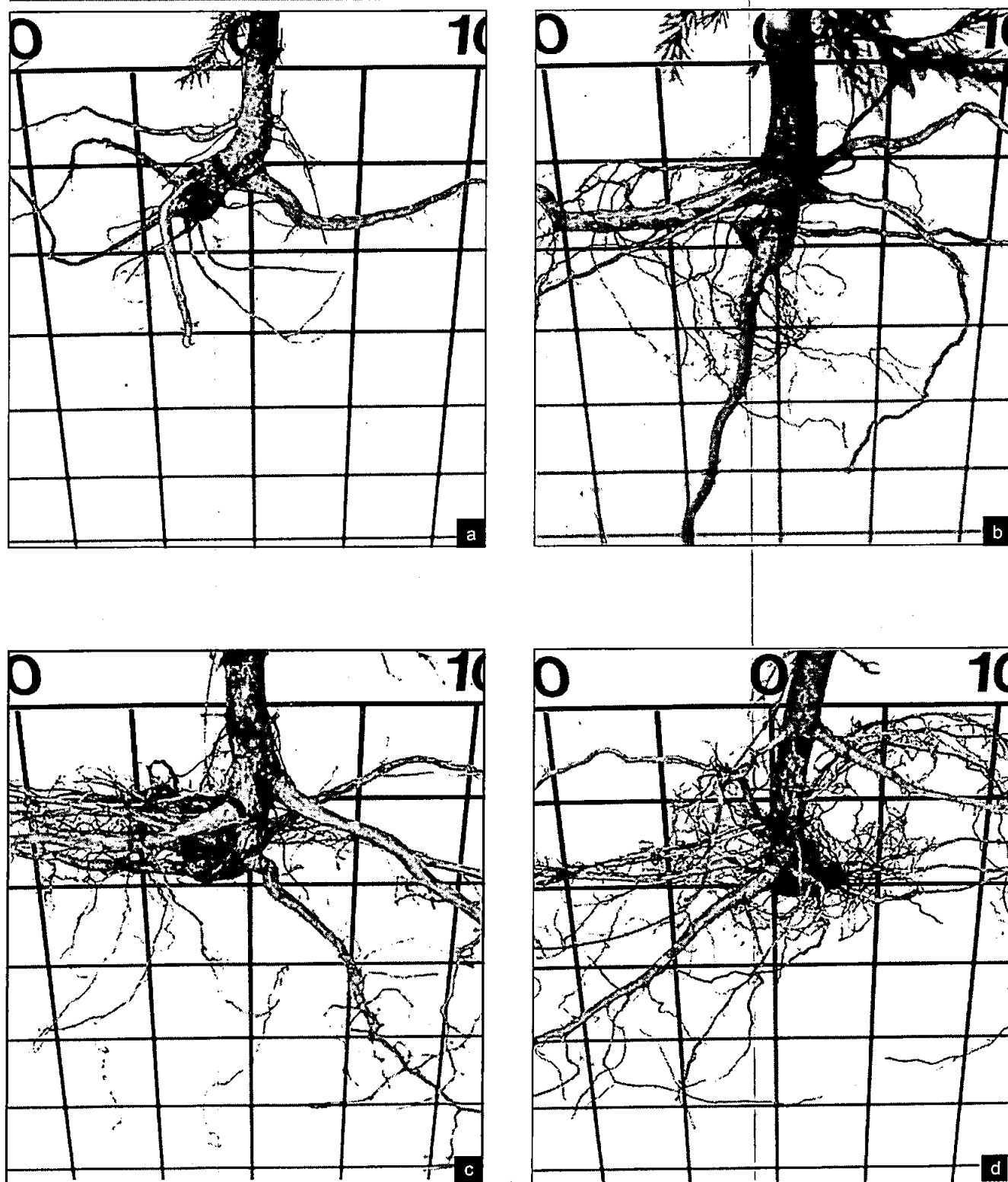


Figure 40. Exemples de développement racinaire de semis d'épinette blanche régénérés naturellement, récoltés à la Forêt Montmorency le 96-05-28.

Tableau 18. Bilan des accroissements annuels en hauteur et en diamètre et pourcentage de survie des semis d'épinette noire et d'épinette blanche (93.1) après 1, 2 et 3 saisons en plantation

Essence	Traitement (réceptif)	Première année			Deuxième année			Troisième année		
		Accroissement hauteur (cm)	diamètre (mm)	Survie (%)	Accroissement hauteur (cm)	diamètre (mm)	Survie (%)	Accroissement hauteur (cm)	diamètre (mm)	Survie (%)
Épinette noire	15-320	6,1 a	2,3 a	100 a	14,6 a	5,8 a	100 a	22,6 a	4,1 a	100 a
	1-360A 1 cm	6,0 a	2,3 a	100 a	14,7 a	6,0 a	99 a	24,9 a	4,3 a	99 a
	1-360A 2 cm	5,9 a	2,3 a	100 a	15,4 a	6,1 a	100 a	22,9 a	4,1 a	100 a
Épinette blanche	15-320	8,7 a	1,7 a	100 a	8,2 a	5,0 a	99 a	16,1 a	3,3 a	99 a
	1-360A 1 cm	7,9 ab	1,7 a	100 a	7,5 a	5,3 a	100 a	15,6 a	3,2 a	100 a
	1-360A 2 cm	7,4 b	1,7 a	100 a	8,9 a	5,4 a	100 a	16,8 a	3,7 a	100 a

Moyennes effectuées sur 200 plants par traitement.

Verticalement, pour chaque essence et année, les moyennes suivies de lettres distinctes présentent des différences significatives ($\alpha = 0,05$) selon le test de Tukey.

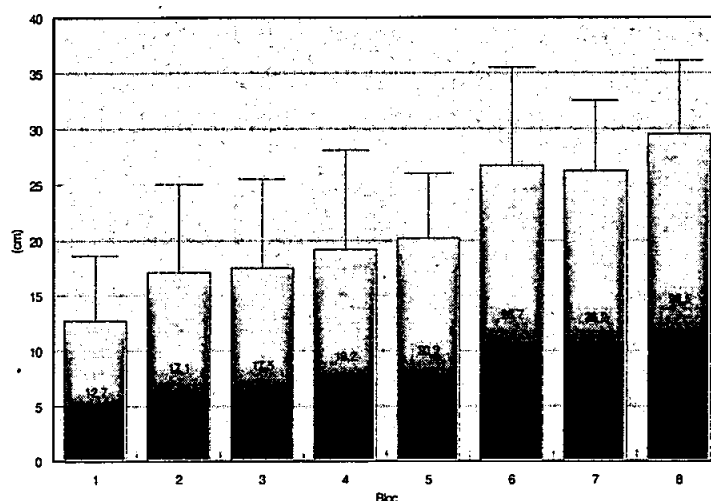


Figure 41. Gradient d'accroissement total de la hauteur entre les blocs pour l'épinette noire (93.1) cultivée dans la cavité 1-360A à 2,0 cm au printemps de la troisième année en plantation.

totale entre les blocs après deux années en plantation pour le traitement 1-360A à 2,0 cm. Les valeurs varient de 12,7 cm (bloc 1) à 29,5 cm (bloc 8). Ces données correspondent aux caractéristiques du site, où les blocs du bas (1-4) sont localisés dans une section nettement moins favorable que celle des autres blocs (tableau 16). Après trois saisons en plantation, les semis cultivés dans la cavité 1-360A à 1,0 cm présentent des accroissements annuels en hauteur et en diamètre et un pourcentage de survie identiques à ceux des deux autres traitements. Le gradient de croissance en hauteur observé entre les blocs au cours des deux premières années est toujours aussi important.

Après une saison de croissance, les semis d'épinette blanche produits dans le réceptif 15-320 ont eu un accroissement en hauteur supérieur à ceux produits dans la cavité 1-360A à 2,0 cm (tableau 18). Aucune différence n'a cependant été observée pour l'accroissement en diamètre et le pourcentage de survie. À la deuxième saison de croissance, les accroissements annuels et le pourcentage de survie étaient semblables pour les trois traitements. Pour les deux premières saisons de croissance, le terme bloc a été significatif pour toutes les analyses statistiques d'accroissement. Un gradient de croissance semblable à celui observé pour l'épinette noire (figure 41) a été mesuré pour tous les traitements de l'épinette blanche. Après trois saisons, les accroissements annuels ainsi que les pourcentages de survie sont

semblables pour les trois traitements. Comme mentionné précédemment pour l'épinette noire, l'effet des blocs sur la croissance des plants est toujours aussi visible.

Pour l'ensemble des deux plantations, la croissance de la troisième année est égale ou légèrement supérieure à la somme des croissances des deux premières années. Les seules différences observées sur la croissance des plants sont dues aux variations du terrain (blocs) et non à l'effet des traitements. L'état de santé des plants est très bon et la coloration du feuillage varie de vert à vert foncé (du bas vers le haut de la plantation). La végétation de compétition est de plus en plus haute et dense (framboisier $\approx 1,0$ m et arbustive $\approx 1,5$ m) sur l'ensemble du site bien que l'on observe toujours un gradient de hauteur du bas vers le haut (semblable à celui observé pour l'épinette noire et l'épinette blanche). Les plants sont généralement visibles et semblent en bonne position pour se démarquer de la compétition.

2.4.2 Biencourt (94.1 et 94.2)

Les relevés effectués dans cette section ont été réalisés dans les plantations expérimentales de 1995 à Biencourt (section 2.3.2).

Après une saison de croissance en plantation, les semis d'épinette blanche produits dans la cavité 1-350A à 1,5 cm d'espacement ont eu des accroissements en hauteur et en diamètre semblables à ceux des semis cultivés dans le récipient 25-350A (tableau 19 - dispositif 94.1). Les pourcentages de survie sont également semblables. Après deux saisons en plantation, les semis cultivés dans la cavité 1-350A à 1,5 cm d'espacement présentent un accroissement annuel en hauteur supérieur à celui des plants produits dans le récipient 25-350A. Aucune différence significative n'est toutefois observée pour l'accroissement en diamètre. Les pourcentages de survie sont restés identiques à ceux de la première année.

Les accroissements en hauteur et en diamètre ainsi que le pourcentage de survie sont identiques après une saison de croissance en plantation pour les semis cultivés dans la cavité 1-350A à 1,5 cm et 3,0 cm d'espacement (tableau 19 - dispositif 94.2). Les semis cultivés dans la cavité 1-350A à 3,0 cm d'espacement présentent un accroissement annuel en hauteur supérieur à celui des plants cultivés à 1,5 cm après deux saisons en plantation. Le taux de survie est toujours de 100 % pour les deux traitements.

Dans ces deux dispositifs, les différences d'accroissement de hauteur et de diamètre entre les blocs ne permettent pas de préciser un gradient imputable aux conditions du site. Néanmoins, l'accroissement en hauteur pour le dispositif 94.2 semble influencé par les conditions du site (valeurs plus faibles pour les blocs situés dans les parties les plus basses de la plantation). Les caractéristiques de ces deux sites sont beaucoup plus homogènes que celles des plantations établies en 1994 (dispositifs 93.1 - section 2.4.1). Les plants des deux dispositifs sont très beaux mais sont pour la plupart opprimés par la végétation concurrente. La végétation de compétition est très dense et haute (framboisier > 1 m) et elle est uniforme sur toute la plantation.

2.4.3 Reboisement opérationnel

Des données de croissance en hauteur et en diamètre ont été recueillies à partir de relevés effectués par le personnel de la région 01 dans plusieurs de leurs plantations établies en 1994 et 1995. L'objectif recherché par l'utilisation de ces données est de déterminer une valeur moyenne de l'accroissement annuel en hauteur et du pourcentage de survie après une, deux et trois années en plantation pour l'épinette noire et l'épinette blanche. Ces données pourront servir à comparer sommairement les accroissements mesurés dans nos plantations de 1994 à Biencourt (dispositifs 93.1) à ce qui est normalement observé dans la région 01. Dans l'ensemble, le site où sont installés nos dispositifs de 1994 est peu représentatif (faible végétation de compétition, conditions moins favorables à la croissance des semis, etc.) des sites qu'on rencontre normalement dans la région 01 (LABRECQUE 1996 ; ensemble des représentants de la région 01 ayant visité nos plantations).

Les accroissements moyens en hauteur et le pourcentage de survie ont été évalués sur 51, 42 et une placettes échantillons pour l'épinette noire à la première, deuxième et troisième année respectivement. Des accroissements annuels de 13,9 cm, 9,2 cm et 26,6 cm de hauteur ont été obtenus après un, deux et trois ans en plantation avec des pourcentages de survie de 99,3 % et 97,1 % pour les deux premières années (tableau 20). Pour l'épinette blanche, les accroissements annuels en hauteur sont de 14,0 cm, 13,8 cm et 32,7 cm pour les trois premières années en plantation avec des pourcentages de survie de 99,7 % et 100 % pour la première et la deuxième année.

Tableau 19. Bilan des accroissements annuels en hauteur et en diamètre et pourcentage de survie des semis d'épinette blanche (94.1 et 94.2) après 1 et 2 saisons en plantation

Dispositif	Essence	Traitement (récipient)	Première année			Deuxième année		
			Accroissement hauteur (cm)	diamètre (mm)	Survie (%)	Accroissement hauteur (cm)	diamètre (mm)	Survie (%)
94.1	Épinette blanche	25-350A	7,1 a	1,7 a	100 a	9,6 b	2,5 a	100 a
		1-350A à 1,5 cm	6,8 a	1,7 a	100 a	10,4 a	2,6 a	100 a
94.2	Épinette blanche	1-350A à 1,5 cm	5,8 a	1,1 a	100 a	10,8 b	2,5 a	100 a
		1-350A à 3,0 cm	5,7 a	1,1 a	100 a	12,7 a	2,3 a	100 a

Moyennes effectuées sur 360 plants/traitement

Verticalement, pour chaque essence et année, les moyennes suivies de lettres distinctes présentent des différences significatives ($\alpha = 0,05$) selon le test de Tukey.

Tableau 20. Moyenne des accroissements annuels et pourcentage de survie des semis d'épinette noire et d'épinette blanche cultivés dans le récipient 45-340 après 1, 2 et 3 saisons en plantation (région 1)

Essence	P. e. ^{TT}	Première année ^T			P. e. ^{TT}	Deuxième année ^T			P. e. ^{TT}	Troisième année ^T		
		Accroissement hauteur (cm)	diamètre (mm)	Survie (%)		Accroissement hauteur (cm)	diamètre (mm)	Survie (%)		Accroissement hauteur (cm)	diamètre (mm)	Survie (%)
Épinette noire	51	13,9	.	99	42	9,2	.	97	1	26,6	.	.
Épinette blanche	27	14,0	.	100	5	13,8	.	100	1	32,7	.	.

^T (Labrecque 1994)

^{TT} Nombre de placettes échantillon évaluées

Tableau 21. Bilan des accroissements annuels en hauteur et en diamètre et pourcentage de survie du bouleau jaune et du chêne rouge (94.3 et 94.4) après 1 et 2 saisons en plantation

Dispositif	Essence	Traitement (récipient)	Première année			Deuxième année		
			Accroissement hauteur (cm)	diamètre (mm)	Survie (%)	Accroissement hauteur (cm)	diamètre (mm)	Survie (%)
94.3	Bouleau jaune	45-340	24,8 a	5,7 a	97 a	40,9 a	9,6 a	91 a
		25-350A	28,1 a	6,4 a	93 a	38,9 a	8,6 a	86 ab
		1-350A à 1,5 cm	26,7 a	6,0 a	91 a	41,4 a	9,5 a	77 b
94.3	Chêne rouge	28-340	11,2 a	.	87 b	2,1 a	1,9 a	69 a
		25-350A	11,6 a	.	93 ab	2,9 a	2,5 a	83 a
		1-350A à 3,0 cm	11,6 a	.	96 a	4,6 a	2,5 a	83 a
94.4	Chêne rouge	12-1000	14,4 a	.	92 a	7,6 a	3,3 a	84 a
		1-1050A à 3,0 cm	14,9 a	.	91 a	8,3 a	3,7 a	84 a

Moyennes sur 224 plants pour 94.3 et 240 plants pour 94.4.

Verticalement, pour chaque essence et année, les moyennes suivies de lettres distinctes présentent des différences significatives ($\alpha = 0,05$) selon le test de Tukey.

Pour l'épinette noire, les données issues de nos plantations de Biencourt (tableau 18) se comparent assez bien avec ce qu'on obtient dans les plantations opérationnelles de la région 01. Néanmoins, pour l'épinette blanche, les croissances en hauteur sont inférieures. Toutefois, pour nos deux plantations de Biencourt (93.1), les accroissements en hauteur auraient été beaucoup plus importants si on avait considéré que le secteur était vraiment représentatif de ce que l'on retrouve généralement dans la région 01.

2.4.4 Saint-Germain (94.3 & 94.4)

Après une saison en plantation, les semis de bouleau jaune cultivés dans les trois types de récipient présentent des accroissements en hauteur et en diamètre ainsi qu'un pourcentage de survie identiques (tableau 21 - 94.3). À la fin de la deuxième saison de croissance en plantation, on n'observe aucune différence pour les accroissements en hauteur et en diamètre. Toutefois, les semis cultivés dans la cavité 1-350A à 1,5 cm présentent un pourcentage de survie significativement inférieur à celui des semis produits dans le récipient 45-340. La hauteur totale moyenne des plants (trois traitements) à la fin de la deuxième saison est de 1,05 m. Les meilleures croissances ont été observées au centre du dispositif où le sol est mieux drainé.

Les plants de chêne rouge produits dans les trois types de récipient ont eu des accroissements en hauteur semblables après une saison en plantation (tableau 21 - 94.3). Les semis produits dans le récipient 28-340 présentent toutefois le plus bas pourcentage de survie à la fin de la première saison. Les accroissements annuels en hauteur et en diamètre de la deuxième année sont semblables pour les trois

traitements ; il en est de même pour les pourcentages de survie. À la suite d'un dépérissement observé sur une forte proportion des tiges, la croissance en hauteur a donc dû s'effectuer par une branche latérale qui deviendra éventuellement la nouvelle tige principale. Même si cette branche a eu une bonne croissance, l'accroissement par rapport à la hauteur mesurée à l'automne 1995 est souvent négatif, ce qui explique les valeurs d'accroissement faibles à la deuxième année. La mortalité la plus élevée a été observée dans les blocs les plus mal drainés de la plantation.

Les semis de chêne rouge cultivés dans la cavité 1-1050A à 3,0 cm ont eu un accroissement en hauteur et un pourcentage de survie semblables à ceux qu'on obtient dans des récipients 12-1000 après la première saison en plantation (tableau 21 - 94.4). Après deux saisons en plantation, les accroissements en hauteur et en diamètre ainsi que les pourcentages de mortalité sont également semblables. Les remarques présentées au paragraphe précédent sur le dépérissement des tiges et le pourcentage de mortalité s'appliquent intégralement à ce dispositif.

Le site de Saint-Germain de Grantham offre des caractéristiques de sol adéquates pour la croissance du bouleau jaune mais il présente des conditions nettement plus difficiles pour le développement du chêne rouge. Bien qu'un paillis en longueur ait été posé lors de la mise en terre, une coupe du chiendent entre les rangées a été nécessaire en 1995 pour bien dégager les plants. Deux de ces coupes ont été réalisées en 1996. Les protections contre le mulot et le chevreuil ont été efficaces puisqu'aucun plant n'a subi de dommages à ce jour.

Conclusions et perspectives d'avenir

Les constatations effectuées depuis quelques années dans les plantations de plusieurs pays ont forcé une prise de conscience sur les conséquences de planter des semis cultivés dans des récipients à parois pleines. En effet, des problèmes de stabilité des plants, d'infection par l'armillaire et de diminution de la qualité des bois sont présentement à l'étude dans plusieurs pays (BALISKY *et al.* 1995, BRINKMAN 1995, LINDSTRÖM et HÅKANSSON 1995). Les techniques de production en pépinière ainsi que celles qui sont liées à la préparation du terrain et à la mise en terre des semis sont actuellement remises en question, parce qu'elles ne favorisent pas un développement racinaire de qualité. Une augmentation du volume du récipient ainsi que l'utilisation de récipients permettant le cernage des racines latérales sont les deux avenues actuellement préconisées en pépinière (BURDETT 1990, LINDSTRÖM et HÅKANSSON 1995, FRAYSSE 1996).

Le ministère des Ressources naturelles a entrepris, depuis 1989, plusieurs expériences pour mettre au point des récipients permettant la production de semis équilibrés avec des systèmes racinaires horizontaux peu déformés. Nos travaux de recherche ont permis de démontrer les avantages des récipients à parois ajourées pour ce qui est de l'architecture des racines et ils ont mené à la mise au point du récipient 25-350A pour la production de PFD ainsi qu'à l'établissement de standards pour la culture dans ce récipient. Dans ce but, la gestion de la nutrition minérale (culture des semis en pépinière et établissement de standards) pour l'ensemble du dossier PFD a été réalisée à l'aide du logiciel *Plantec* (LANGLOIS et GAGNON 1993).

Tableau 22. Avantages et inconvénients de cultiver et de mettre en terre des semis produits dans les récipients 45-340 et 25-350A

Critères d'évaluation	45-340	25-350A	Commentaires
Pépinière			
1 Densité de culture (plants/m ²)	√√√	√√	La diminution de la densité de culture (214- >190) permet de produire des semis plus équilibrés.
2 Production de PFD équilibrés	√√	√√√	Pour une hauteur équivalente, production de semis avec un diamètre et des masses anhydres des tiges, racines et totales significativement plus élevés et un rapport H/D plus faible.
3 Production de systèmes racinaires peu déformés	√	√√√	Le 25-350A permet de diminuer les malformations racinaires (développement de racines horizontales à l'intérieur de la motte).
4 Culture des semis (irrigation)	√√√	√√	Quoi que le contrôle de l'humidité dans les substrats soit toujours difficile, les techniques actuellement utilisées par les pépiniéristes permettent de mieux gérer l'irrigation dans le 25-350A.
5 Protection contre le gel	√	√√√	Hypothèse (les travaux de recherche de M. Gil Lambany devaient confirmer les avantages du 25-350A).
6 Développement des racines hors de la motte d'origine	√√	√√√	Meilleure distribution des nouvelles racines sur le pourtour de la motte.
7 Manutention printanière des semis	√	√√√	Disponibilité plus rapide des semis au printemps pour le récipient 25-350A et diminution des coûts d'entreposage (moins de plants à entreposer).
8 Coût d'achat des récipients	√√√	√√	45-340 = 0,053 \$ / cavité et 25-350A = 0,114 \$ / cavité (Perreault 1996).
9 Livraison + transport (bacs)	√√√	√√	65 plants par bac pour le 45-340 contre 60 pour le 25-350A.
10 Entreposage des récipients (espace et manipulation)	√	√√√	L'entreposage des 45-340 nécessite beaucoup plus d'espace que celui des 25-350A pour un même volume de production.
Total / 40	20	26	Écart = 6 (15 %)
Plantation			
1 Persistance des malformations des racines	√√	√√√	Les malformations des racines observées en cours de culture pour le 45-340 persistent sur les sites de reboisement.
2 Développement des racines	√√	√√√	Le développement des racines hors de la motte d'origine est supérieur pour les semis cultivés dans le 25-350A.
3 Accroissement de la masse totale du plant	√√	√√√√	Après deux saisons en plantation.
4 Taux de survie et accroissement des paramètres morphologiques < 10 ans	√√√	√√√	Résultats de nos expériences et selon la documentation.
5 Robustesse aux bris mécaniques	√√	√√√	Meilleur rapport H/D pour les semis cultivés dans le récipient 25-350A.
6 Instabilité des plants et susceptibilité aux infections par l'armillaire < 10 ans	√√√	√√√	Selon la documentation.
7 Taux de survie et accroissement des paramètres morphologiques ≥ 10 ans	√√	√√√	Selon la documentation.
8 Instabilité des plants et susceptibilité aux infections par l'armillaire ≥ 10 ans	√	√√√	Selon la documentation.
Total / 32	17	25	Écart = 8 (25 %)
Total / 72	37	51	Écart = 14 (19 %)

Évaluation relative entre les deux récipients :

Faible (√); Satisfaisant (√√); Très bon (√√√); Excellent (√√√√)

Deux techniques ont été évaluées pour le cernage des racines : le carbonate de cuivre et l'utilisation de récipients à parois ajourées. Le CuCO_3 , appliqué par bandes à une concentration de 50 g/l, permet de produire des systèmes racinaires peu déformés avec une bonne proportion de racines horizontales. Après 5 ans en plantation, le développement racinaire des plants produits dans des récipients traités au cuivre est supérieur à celui des témoins (meilleure distribution des racines et moins de malformations). Malgré ces bons résultats, l'emploi du cuivre pour contrer les malformations des racines a été abandonné en raison du coût très élevé du produit, de sa toxicité (réactif) et de la nécessité de traiter les récipients avant chaque nouvelle culture. De plus, les premières expériences avec les récipients à parois ajourées (treillis métallique, etc.) ont démontré qu'il était possible d'obtenir les mêmes résultats sans utiliser de produits chimiques.

Plusieurs récipients à parois ajourées ont été utilisés pour produire des semis de différents gabarits. Ils ont tous démontré des avantages au niveau de l'architecture du système racinaire, ainsi que du potentiel de développement des racines en plantation.

Le tableau 22 (section pépinière) résume les avantages et les inconvénients de produire dans des récipients à parois ajourées. La cotation selon les différents critères retenus repose sur une évaluation relative basée sur les différences observées ou escomptées entre les deux types de récipients. Les cotes attribuées sont : faible (1), satisfaisant (2), très bon (3) et excellent (4). Un examen de la grille d'évaluation permet de constater que la culture de semis dans le récipient 25-350A présente plus d'avantages en pépinière et en plantation que dans le récipient 45-340.

L'utilisation du récipient 25-350A suppose une légère diminution du nombre de plants par m^2 , ce qui nécessite une superficie de culture un peu plus grande pour une même quantité de plants. Cependant, cette diminution de la densité de culture, essentielle pour que l'air circule entre les cavités, permet de produire des semis plus équilibrés (meilleur rapport H/D) que ceux produits dans le récipient 45-340. La culture dans le récipient 25-350A est identique à celle dans le récipient 45-340 à l'exception de la gestion de l'irrigation qui est plus délicate (quantité d'eau par irrigation, irrigation des bordures, fréquence des irrigations et des suivis). L'expérience acquise par les producteurs avec le récipient 25-350A leur permet maintenant de gérer plus adéquatement l'irrigation dans ce type de récipient. Un projet sur la gestion de l'irrigation conduit

par Gil Lambany est présentement en cours de réalisation, en vue de fournir aux pépinières un outil pour gérer plus facilement les apports en eau au cours de la culture.

Si l'hypothèse formulée par LAMBANY (1996) sur la protection contre le gel selon laquelle « Les plants produits dans le 25-350A présenteraient, grâce à un transfert thermique plus efficace entre le sol et le récipient, une susceptibilité beaucoup moins élevée au gel racinaire que les semis produits dans le récipient 45-340 » est adéquate et vérifiable par les expériences en cours, le récipient 25-350A présentera un avantage indéniable sur le récipient 45-340. Ce seul avantage pourrait justifier à lui seul l'utilisation de récipients à parois ajourées pour tous les types de production en pépinière.

Le récipient 25-350A permet la production de semis possédant des systèmes racinaires peu déformés avec une bonne proportion de racines horizontales bien distribuées à l'intérieur de la motte. Cette architecture du système racinaire peut toutefois être encore améliorée en utilisant le concept du dessin de la cavité 1-350A. Cette cavité permet de produire un système racinaire très peu déformé avec une très forte proportion de racines horizontales. Les tests de développement des racines effectués en serre ont permis de démontrer que les semis cultivés dans le récipient 25-350A possèdent une distribution plus uniforme des racines sur le pourtour de la motte d'origine que ceux produits dans le récipient 45-340.

Les mottes des plants cultivés dans les récipients 25-350A dégèlent beaucoup plus rapidement au printemps que celles des plants produits dans le récipient 45-340. Ceci pourrait permettre de diminuer la quantité de plants à entreposer en chambre froide à l'automne, puisque les plants sont disponibles plus tôt au printemps. On pourrait alors réaliser des économies importantes sur les coûts liés à l'entreposage des plants en chambre froide. De plus, si on doit entreposer des récipients vides, les 25-350A peuvent s'empiler et ils prennent beaucoup moins d'espace que les 45-340.

Le coût d'achat des récipients 25-350A est cependant plus élevé et l'on transporte moins de plants dans les bacs de manutention lors du transport des semis vers les sites de reboisement. Les coûts de livraison seront donc légèrement supérieurs si l'on transporte dans des bacs des semis cultivés dans le récipient 25-350A.

L'ensemble des observations effectuées dans nos plantations expérimentales ainsi que dans la documentation scientifique a également permis de faire ressortir que la mise en terre de semis cultivés dans le récipient 25-350A est plus intéressante que celle de semis produits dans le récipient 45-340 (tableau 22 - section plantation).

Les malformations des racines inhérentes à la culture en récipient persistent sur les sites de reboisement et elles sont beaucoup plus visibles sur les plants cultivés dans le récipient 45-340. En effet, ce récipient favorise le développement d'un système racinaire situé uniquement en périphérie de la motte, contrairement à celui du récipient 25-350A qui est plus horizontal et mieux distribué à l'intérieur de la motte. De tous les plants produits dans des récipients conventionnels que nous avons déterrés en plantation, la moitié présentait une persistance très évidente de la motte d'origine avec des malformations racinaires importantes, tandis que l'autre moitié présentait des systèmes racinaires où la motte d'origine n'était presque plus visible. Conséquemment, bien que l'on ne puisse pas dégager de règle concernant la persistance de la motte d'origine, il apparaît souhaitable de mettre en terre des plants munis d'un système racinaire peu déformé qui donnera rapidement naissance à des racines latérales bien distribuées sur le pourtour de la motte afin d'obtenir un développement racinaire qui ressemble le plus possible à celui de semis naturellement établis. Dans ce cas, le 25-350A présente un avantage certain par rapport au 45-340. Selon DELEPORTE (1981), la répartition dans l'espace et la quantité de racines jouent un rôle dans la stabilité des plants.

Dans toutes nos plantations expérimentales (conifères et feuillus), la qualité du développement des racines en plantation pour les récipients à parois ajourées est au moins égale et presque toujours supérieure à celle des semis cultivés dans les récipients conventionnels. Dans nos analyses concernant le développement racinaire, nous aurions dû tenir compte du type de racines pour distinguer entre les racines de structure et les racines d'absorption. En effet, la distribution peut être semblable en apparence mais différente lorsque l'on précise le type de racines présentes. Durant les premières années, la croissance en hauteur peut être semblable alors que l'arbre sera incapable de remplir sa fonction d'ancrage (AUBERLINDER 1983). Le type de racines peut être complètement différent et les effets sur la stabilité peuvent se faire sentir seulement après plusieurs années.

L'analyse des systèmes racinaires de semis naturellement établis nous a démontré que les plants installent très rapidement un système racinaire basé sur quelques grosses racines de structure qui portent les racines d'absorption. Les semis issus d'une culture en récipient doivent favoriser l'émergence de racines de structure la plus rapide possible. Le suivi du développement racinaire en plantation au cours des prochaines années nous permettra de déterminer si des systèmes racinaires différents sont produits dans chaque type de récipient.

L'examen du développement des racines en plantation doit aussi tenir compte de la formation de racines adventives. À la différence des semis naturellement établis, les semis de reboisement ont, pour quelques essences, la capacité de développer des racines adventives (COUTTS *et al.* 1990). Pour l'épinette noire et le bouleau jaune, une bonne proportion des nouvelles racines qui se développent en plantation sont adventives. Ces racines, qui proviennent de la tige, peuvent croître plus vigoureusement que les racines provenant du système racinaire de la pépinière, en raison de leur position dans la partie du haut, la portion plus favorable du profil du sol (COUTTS *et al.* 1990).

Après quelques années en plantation, les semis produits dans les récipients à parois ajourées présentent des accroissements annuels en hauteur et en diamètre semblables à ceux des récipients conventionnels. Les pourcentages de survie sont également identiques sauf pour certains feuillus. Ces résultats sont en accord avec ceux de DELEPORTE (1981), AUBERLINDER (1983), NICHOLS et ALM (1983) et FRAYSSE (1996). Selon DELEPORTE (1981), l'influence des malformations racinaires sur la croissance des plants ne se fait pas sentir pendant la première décennie de la plantation. Les différences de croissance et de stabilité n'apparaissent qu'après la dixième année. Selon NICHOLS et ALM (1983), même si des plantations semblent réussies, elles ne le sont peut-être pas autant que si les plants n'avaient pas subi de malformations des racines.

À la lumière des résultats actuels dans l'ensemble de nos expériences en pépinière et en plantation, il apparaît que le choix d'un récipient à parois ajourées pour produire des PFD est justifié. Le 25-350A demeure actuellement le meilleur récipient disponible commercialement pour cette production. Certains avantages majeurs (hypothèse et « selon la documentation ») énoncés dans le tableau 22 ne seront toutefois vérifiés qu'au cours des prochaines années :

- protection contre le gel en pépinière ;
- persistance des malformations des racines en plantation ;
- type de système racinaire développé en plantation dans chacun des récipients ;
- taux de survie, accroissement des paramètres morphologiques, stabilité des plants et infection par des pathogènes (armillaire, etc.) au cours des années à venir (< 10 ans et > 10 ans).

Il est actuellement trop tôt pour statuer définitivement sur l'ensemble des avantages du 25-350A. Toutefois, l'information actuelle nous indique que dans le pire des cas, le rendement des semis produits dans le récipient 25-350A sera au moins égal à celui des récipients 45-340. Le suivi en plantation de nos dispositifs au cours des prochaines années est essentiel ainsi que la poursuite des travaux sur la protection contre le gel et sur l'irrigation.

Le suivi des plantations établies en 1996 avec les premiers lots de plants produits à grande échelle dans le récipient 25-350A est également essentiel, puisque l'on ne peut pas faire porter sur deux plantations expérimentales toute l'évaluation d'un nouveau mode de culture. Bien que nos dispositifs aient été établis de façon très rigoureuse, il n'en demeure pas moins que nos travaux de recherche ont été réalisés dans des conditions particulières (première culture en serre sans modèles de croissance préétablis, plants produits en accéléré sur sept mois, faibles concentrations des éléments dans les tissus, site de reboisement peu représentatif, préparation du terrain au rotoculteur et mise en terre des semis à la pioche forestière). De plus, chaque expérience devrait être reprise au minimum une fois pour en valider les résultats.

Des études additionnelles sur les malformations des racines en plantation et leur incidence sur la stabilité et la susceptibilité des plants à l'infection par l'armillaire seraient également nécessaires. En effet, nous devons définir très précisément ce qu'est une malformation racinaire et dans quelle mesure elle peut nuire au développement des plants. Une étude du développement des racines de semis naturellement établis pourrait assurément apporter beaucoup de précisions.

Bien que la qualité initiale du semis lors de sa mise en terre (architecture du système racinaire, plant équilibré, concentrations tissulaires adéquates, etc.) soit essentielle, d'autres facteurs sont très importants pour le succès d'une plantation :

- choix de l'essence ;
- choix du site de reboisement ;
- préparation de terrain ;
- délai de mise en terre des plants ;
- manutention des plants (entreposage, livraison, conservation, etc.) ;
- choix de l'outil pour la mise en terre des plants ;
- qualité de la mise en terre.

La dynamique de la production de plants et celle du reboisement constituent une chaîne où l'affaiblissement d'un seul maillon peut compromettre le rendement escompté. À titre d'exemple, nous avons remarqué que la compression des mottes lors de la mise en terre des plants restreint le développement des nouvelles racines. En effet, aucune croissance racinaire, ou très peu, n'a été observée sur les faces compressées des mottes et cela, même sur des semis cultivés dans des récipients à parois ajourées et mis en terre à la pioche forestière. Cet exemple démontre à quel point chaque étape du cycle pépinière - plantation est importante et que tout doit être fait pour renforcer les maillons qui sont actuellement les plus faibles.

Tout en continuant à améliorer la qualité des semis produits en pépinière, des travaux de recherche devraient être entrepris pour déterminer les conditions que l'on devrait fournir aux semis lors de leur mise en terre afin d'assurer un développement optimal durant les phases initiales de leur développement : choix de l'essence, caractéristiques morpho-physiologiques des semis, type de préparation de terrain, transport et manutention des plants et techniques de mise en terre pour un site donné. Selon GRAHAM *et al.* (1989), la préparation de site, qui varie d'une région à l'autre, a principalement pour but de diminuer les débris de coupe, les risques de feu et la végétation de compétition, de faciliter la plantation, de minimiser les maladies et de préparer le sol (conditions optimales) pour recevoir les semis. L'approfondissement du cycle pépinière - plantation ainsi que des interactions qui existent entre chaque composante devraient permettre une meilleure connaissance de chaque étape et préciser les endroits où des correctifs doivent être apportés. Cette démarche de recherche, bien que nécessitant plusieurs années de travaux de terrain, permettra assurément d'améliorer le rendement de nos plantations.

En plus des expériences nécessaires sur les interactions pépinière - plantation, les travaux de mise au point de récipients à parois ajourées doivent se poursuivre. Le 25-350A, considéré au moment de sa fabrication comme un récipient de transition, devrait être modifié pour tenir compte des avantages de la cavité 1-350A. L'annexe 3 présente une proposition améliorée de récipient (28-350A) destiné aux productions de PFD. L'utilisation de ce récipient permettrait de produire des semis plus équilibrés avec des systèmes raculaires moins déformés et plus horizontaux, et une efficacité plus grande du cernage aérien. Le récipient présenté à l'annexe 6, le 16-564A, pourrait être utilisé si la production de plants de plus de 40 cm de hauteur s'avérait nécessaire pour des sites à très forte compétition. Considérant l'importance des malformations raculaires observées dans le récipient 45-110, il serait grandement souhaitable de le remplacer progressivement par le 36-206A (Annexe 7) qui est un récipient à parois ajourées de plus fort volume. Ce récipient serait très bien adapté à la production de semis équilibrés d'environ 25 cm de hauteur.

Liste des ouvrages cités

- ALLEN, H. L., 1990. *Manipulating loblolly pine productivity with early cultural treatment. Sustained productivity of forest soils*. Dans : S. P. Gessel, D. S. Lacate, G. F. Weetman et R. F. Powers, éd. Proceedings of the 7th North American Forest Soils Conference. University of British Columbia, Vancouver, Canada, juillet 1988.
- APPLETON, B. L., 1995. *Nursery production methods for improving tree roots - an update*. Journal of Arboriculture 21(6) : 265-270.
- ARNOLD, M. A. et D. F. WELSH, 1995. *Effects of planting hole configuration and soil type on transplant establishment of container-grown live oak*. Journal of Arboriculture 21(4) : 213-218.
- AUBERLINDER, V., 1983. De l'instabilité du pin maritime. Dans : Annales de recherches sylvicoles 1982, AFOCEL : 139-178.
- BALISKY, A. C., P. SALONIUS, C. WALLI et D. BRINKMAN, 1995. *Seedling roots and forest floor : misplaced and neglected aspects of British Columbia's reforestation effort ?* The Forestry Chronicle. 71(1) : 59-65.
- BRINKMAN, D., 1995. *Root form problems won't go away*. C.S.M. Spring : 6.
- BURDETT, A. N., 1978. *Control of root morphogenesis for improved mechanical stability in container-grown lodgepole pine*. Can. J. For. Res. 8 : 483-486.
- BURDETT, A. N. 1990. *Physiological processes in plantation establishment and the development of specifications for forest planting stock*. Can. J. For. Res. 20: 415-427.

- COLIN, F., F. DANJON et L. WEHRLÉN, 1995. *Études racinaires au sein du programme « croissance » de l'INRA (Quercus petraea et Pinus pinaster)*. Rev. For. Fr. XLVII - n° sp. : 165-172.
- COUTTS, M. P., C. WALKER et C. BURNAND, 1990. *Effects of establishment method on root form of Lodgepole pine and Sitka spruce and on the production of adventitious roots*. Forestry 63(2) : 143-159.
- DELEPORTE, P., 1981. *Premiers résultats de trois essais de déformations racinaires*. Dans : Annales de recherches sylvicoles 1981, AFOCEL : 164-239.
- FRAYSSE, J.-Y., 1996. [Communication personnelle]. AFOCEL, Station Sud-Ouest, Domaine de Sivaillan.
- GAGNON, J., 1996. [Communication personnelle]. Ministère des ressources naturelles, Direction de la recherche forestière.
- GINGRAS, B.-M. et P. GAGNON, 1991. *Étude sur le cernage racinaire des plants produits en récipients*. Rapport final de la subvention 832190, juin. Faculté de foresterie et de géomatique, Université Laval, Québec.
- GINGRAS, B.-M., 1992. *Étude sur le cernage racinaire de plants produits en récipients*. Mémoire de maîtrise. Mars, École des gradués, Université Laval, Québec, n° 11110.
- GINGRAS, B.-M., 1993a. *Bilan des essais expérimentaux sur la production en récipients de plants de fortes dimensions*. Document interne de la Direction de la recherche forestière. Mars. Ministère des Ressources naturelles du Québec.
- GINGRAS, B.-M., 1993b. *Bilan provisoire des essais expérimentaux réalisés avec des récipients à parois ajourées*. Gouv. du Québec, min. des Ressources naturelles, Dir. de la rech. for. Note de recherche forestière n° 56. 14 p.
- GINGRAS, B.-M., 1994. *Culture de plants de fortes dimensions dans des récipients à parois ajourées*. Document interne de la Direction de la recherche forestière. Février. Ministère des Ressources naturelles du Québec.
- GINGRAS, B. M., 1995. *Analyse des systèmes racinaires en plantations comparatives : bilan provisoire du mois d'août 1995*. Document interne de la direction de la recherche forestière. Ministère des Ressources naturelles du Québec.
- GINGRAS, B.-M. et C.-G. LANGLOIS, 1996. *Production of large seedlings in air slit containers : nursery-grown seedlings*. Article soumis pour publication au Canadian Journal of Forest Research en mars.
- GIROUARD, R., 1995. *Root form and stability of outplanted trees : results of a 1989 survey*. Arboricultural Journal 19 : 121-146.
- GRAHAM, R. T., A.E. HARVEY et M.F. JURGENSEN, 1989. *Effect of site preparation on survival and growth of Douglas-fir (Pseudotsuga menziesii Mirb. Franco.) seedlings*. New Forests 3 : 89-98.
- JOBIDON, R., 1996. [Communication personnelle]. Ministère des Ressources naturelles, Direction de la recherche forestière.
- LABRECQUE, L., 1994. *Région du Bas-Saint-Laurent - Rencontre régionale - Dossier PFD - 24 et 25 août 1994*. Document interne du ministère des Ressources naturelles (région 01), Rimouski.
- LABRECQUE, L., 1996. [Communication personnelle]. Ministère des Ressources naturelles, Région 01, Rimouski.
- LAMBANY, G. et M. RENAUD, 1995. *Étude comparative des températures hivernales observées dans différentes productions de plants hivernés au sol ou maintenus sur des plateaux de culture*. Document interne de la Direction de la recherche forestière, Ministère des Ressources naturelles du Québec.
- LAMBANY, G., 1996. [Communication personnelle]. Ministère des ressources naturelles, Direction de la recherche forestière.
- LANGLOIS, C.-G. et J. GAGNON, 1993. *A global approach to mineral nutrition based on the growth needs of seedlings produced in forest tree nurseries*. Dans : N. J. Barrow (éd.) : Plant nutrition, from genetic engineering to field practice. Proceedings of the 12th International Plant Nutrition Colloquium, 21-26 September, Perth, Western Australia.. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Pays-Bas : 303-306.

- LINDSTRÖM, A. et L. HÅKANSSON, 1995. *Going to the root of the evil*. C.S.M. Spring : 14-17.
- MÉNÉTRIER, J., 1996. [Communication personnelle]. Ministère des Ressources naturelles, Direction de la recherche forestière.
- MONGRAIN, R., 1996. [Communication personnelle]. Forêt Canada.
- NICHOLS, T.J. et A.A. ALM, 1983. *Root development of container-reared, nursery-grown, and naturally regenerated pine seedlings*. Can. J. For. Res. 13 : 239-245.
- PERREAU, F.-N., 1996. [Communication personnelle]. Ministère des Ressources naturelles, Direction de la production de semences et de plants.
- ROBERT, D., P. VEILLEUX et L. LABRECQUE, 1994. *Méthode d'évaluation de la qualité du système racinaire des plants à racines nues (3^e version)*. Document interne de la Direction de l'assistance technique, Ministère des Ressources naturelles du Québec.
- ROBIDAS, L., 1995. *Développements morphologique et physiologique de plants de Picea glauca et de Picea mariana produits en récipients conventionnels et en récipients à parois ajourées*. Mémoire de maîtrise. Mars, École des gradués, Université Laval, Québec, n° 14244.
- SHEEDY, G., 1991. *La stabilité des plants en contenant : qu'en est-il exactement ? Résultats des évaluations réalisées dans 43 plantations de pin gris et d'épinette noire de l'Abitibi*. Gouv. du Québec, min. des Ressources naturelles, Dir. de la rech. Note de recherche forestière n° 45. 16 p.
- SHEEDY, G., 1996. *La stabilité des plantations : résultats des évaluations réalisées en 1989 et 1994 dans six plantations de pin gris de l'Abitibi*. Gouv. du Québec, min. des Ressources naturelles, Dir. de la rech. for. Note de recherche forestière n° 69. 10 p.

Annexes

Annexe 1. Historique de l'ensemble des essais expérimentaux réalisés en pépinière et en plantation pour la culture des PFD et le développement de récipients à parois ajourées

Dispositif	Année(s)	Pépinière expérience(s)	essence(s)	Plantation lieu	établie en
89.1 (Grandes-Piles)	89-90	Cernage au cuivre 45-110 (témoin, latex, 50 et 100 g/l de CuCO_3)	Epn	Hérouxville et Mastigouche	91
89.2 (Grandes-Piles)	89-90	Cernage au cuivre Trimroot 112 (traité et non traité au cuivre)	Epn	Hérouxville et Mastigouche	91
89.3 (Université Laval)	89-90	Cernage aérien Treillis métallique (R1, R2 et R3)	Epn, Epb et Pig	Hérouxville	91
89.4 (Grandes-Piles)	89-90	Cernage aérien Pastilles Jiffy (#140 et #70)	Epn	Hérouxville	91
89.5 (Sainte-Luce)	89-90	Cernage aérien Rootmaker et 45-110	Epn	—	—
91.1-6 (Grandes-Piles)	91-92	PFD + cernage au cuivre 25-200 (traité et non traité au CuCO_3) Ventblock et Copperblock 45-340 et 28-340	Epb, Epn, Epø et Pib	Drummondville	93
91.7-8 (East-Angus)	91-92	PFD > 40 cm de hauteur Plantek 144 => Ventblock 45-340, 15-700 et 12-1000	Epb et Epn	Drummondville, lac Lamolaie et Biencourt, Saint-Luc et Victoriaville (R. Jobidon)	93
91.9-10 (Sainte-Luce)	91-92	PFD + cernage au cuivre Ventblock et Copperblock 60-250	Epb et Epn	Drummondville	93
91.11 (Sainte-Luce)	91-93	PFD + cernage aérien Récipients universels (R2 et R3)	Epn	—	—
91.12 (Grandes-Piles)	91-93	PFD + cernage aérien + repiquage Plantek 63F => 15-700, 12-1000 et racines nues (14 plants/m)	Epn	—	—
92.1-2 (Grandes-Piles)	92-94	PFD + cernage aérien + repiquage Plantek 63F => racines nues (14 plants/m)	Mel et Pir	—	—
92.3 (Grandes-Piles)	92-93	PFD LIECO 90	Epb	—	—
92.4-6 (E.-Angus et G.-Piles)	92-94	PFD + cernage aérien + repiquage Plantek 63F => 15-700, 12-1000 et racines nues (14 plants/m)	Epb, Epø et Pib	—	—
93.1 (Saint-Modeste)	93 *	PFD + cernage aérien 15-320, 1-360A à 1 et 2 cm	Epb, Epn et Pig	Biencourt	94
93.2 (Saint-Modeste)	93-94	PFD + cernage aérien + repiquage 1-25A et ST150 => Bac + 45-340	Epb	—	—
93.3 (Grandes-Piles)	93-94	PFD + cernage aérien + repiquage 1-25A et ST150	Epb	—	—
93.4 (Sainte-Luce)	93-94	PFD + cernage aérien + repiquage 1-25A et ST150 => 1-350A	Epn	—	—
94.1 (Saint-Modeste)	94	PFD + cernage aérien 25-350A et 1-350A à 1,5 cm	Epb	Biencourt	95
94.2 (Saint-Modeste)	94	PFD + cernage aérien 1-350A à 1,5 et 3 cm	Epb	Biencourt	95
94.3 (Berthierville)	94	Cernage aérien 25-350A, 1-350A à 1,5 et 3,0 cm, Ventblock 45-340 et 28-340	Boj et Chr	Saint-Germain	95
94.4 (Berthierville)	94	Cernage aérien 12-1000 et 1-1050A	Chr	Saint-Germain	95
94.6 (Saint-Modeste)	94-96	PFD > 40 cm de hauteur 1-1050A à 3 et 6 cm	Epb et Epn	À venir	97

Epn = épinette noire ; Epb = épinette blanche ; Epø = épinette de Norvège ; Pig = pin gris ; Pib = pin blanc ; Pir = pin rouge ;
Mel = mélèze laricin ; Boj = bouleau jaune ; Chr = chêne rouge.

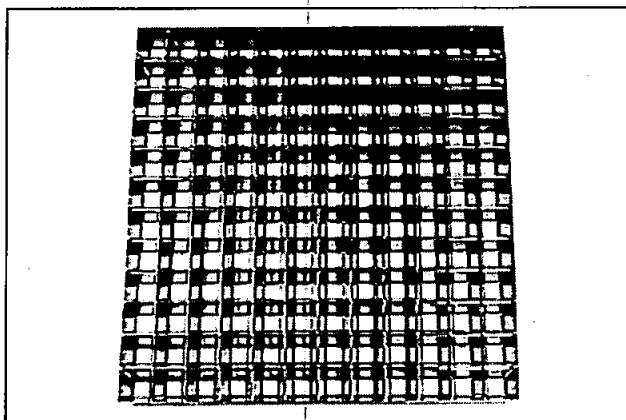
Annexe 2. Caractéristiques de l'ensemble des récipients évalués pour la culture des PFD ou pour le développement de récipients à parois ajourées

Les 30 récipients évalués depuis 1989 dans le cadre d'essais expérimentaux sont classés par ordre croissant du volume des cavités.

Plantek 144 (Lännen)

Longueur : 40,0 cm
Largeur : 40,0 cm
Profondeur : 4,0 cm
Surface : 0,1600 m²
Matériau : Polyéthylène haute densité

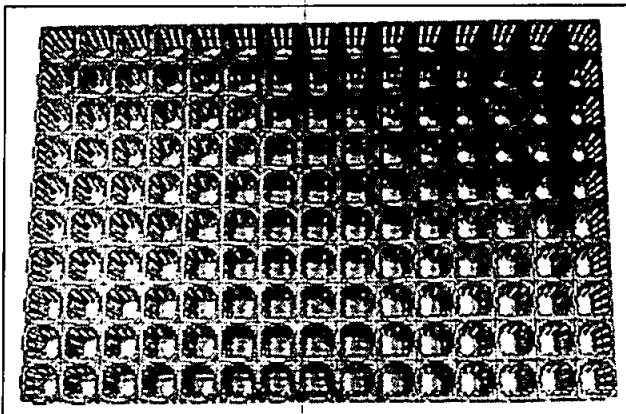
Nombre de cavités : 144
Diamètre de la cavité : ---
Côté de la cavité : 3,2 cm
Volume de la cavité : 21 cm³
Plants au m² : 900
Efficacité des arrosages : nd



1-25A (IPL Inc.)

Longueur : 3,5 cm (assemblage de 10*15 cavités sur la photo)
Largeur : 3,5 cm
Profondeur : 5,3 cm
Surface : 0,0012 m²
Matériau : Polyéthylène haute densité

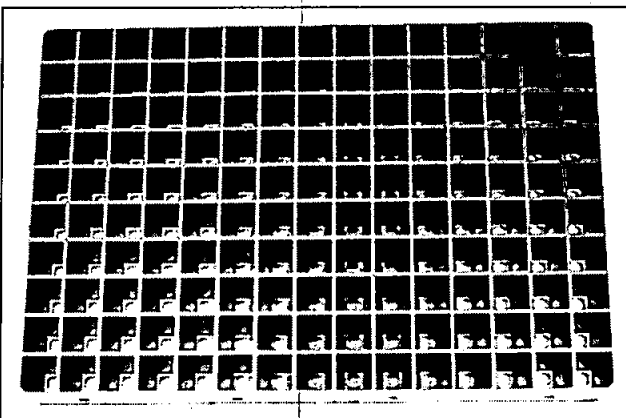
Nombre de cavités : 1 à parois ajourées
Diamètre de la cavité : ---
Côté de la cavité : 2,7 cm
Volume de la cavité : 25 cm³
Plants au m² : 810
Efficacité des arrosages : 0,979



ST150 (Plastomer)

Longueur : 48,3 cm
Largeur : 32,4 cm
Profondeur : 5,7 cm
Surface : 0,1563 m²
Matériau : Polyéthylène haute densité

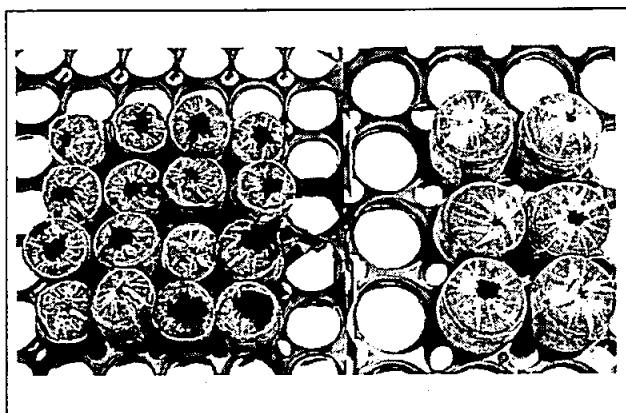
Nombre de cavités : 150
Diamètre de la cavité : ---
Côté de la cavité : 2,8 cm
Volume de la cavité : 26 cm³
Plants au m² : 959
Efficacité des arrosages : 0,988



Jiffy #140 & #70 (Jiffy Products Ltd.)

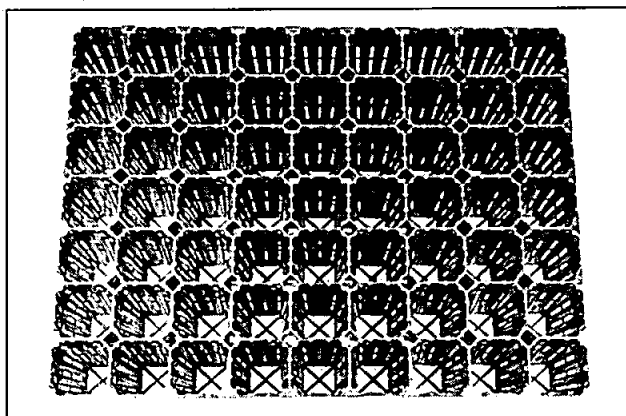
Longueur : 36,2 cm (#140 à gauche et #70 à droite sur la photo)
 Largeur : 47,2 cm
 Profondeur : 6,5 cm
 Surface : 0,1709 m²
 Matériau : Pastilles sur feuilles de polyéthylène

Nombre de cavités : 140 & 70
 Diamètre de la cavité : 3,1 cm & 4,3 cm
 Côté de la cavité : ---
 Volume de la cavité : 46 cm³ et 90 cm³
 Plants au m² : 819 & 409
 Efficacité des arrosages : 0,752 & 0,736

**Plantek 63F (Lännen)**

Longueur : 39,8 cm
 Largeur : 29,6 cm
 Profondeur : 9,0 cm
 Surface : 0,1178 m²
 Matériau : Polyéthylène haute densité

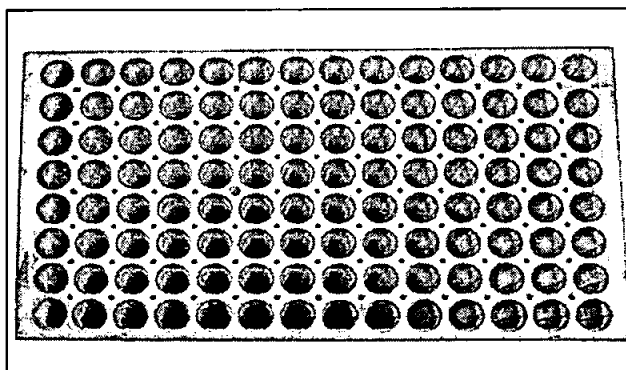
Nombre de cavités : 63 à parois ajourées
 Diamètre de la cavité : ---
 Côté de la cavité : 4,2 cm
 Volume de la cavité : 90 cm³
 Plants au m² : 534
 Efficacité des arrosages : 0,988

**Trimroot 112 [± cuivre] (Beaver Plastics Ltd.)**

(Ventblock-Copperblock 112-105)

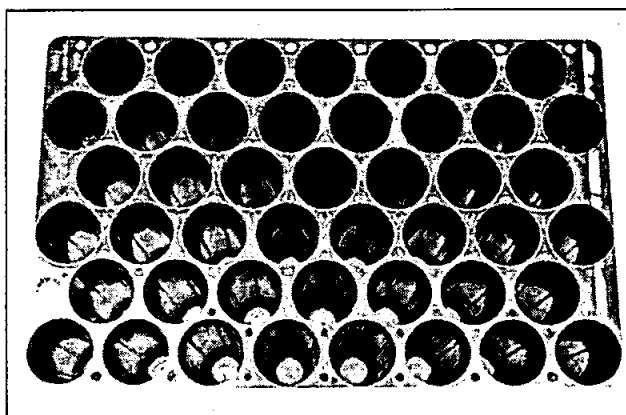
Longueur : 60,0 cm
 Largeur : 35,2 cm
 Profondeur : 15,0 cm
 Surface : 0,2112 m²
 Matériau : Styromousse expansé
 [± bandes alternées de cuivre]

Nombre de cavités : 112
 Diamètre de la cavité : 3,5 cm
 Côté de la cavité : ---
 Volume de la cavité : 93 cm³
 Plants au m² : 530
 Efficacité des arrosages : 0,804

**45-110 (IPL Inc.)**

Longueur : 35,4 cm
 Largeur : 22,2 cm
 Profondeur : 12,5 cm
 Surface : 0,0786 m²
 Matériau : Polyéthylène haute densité

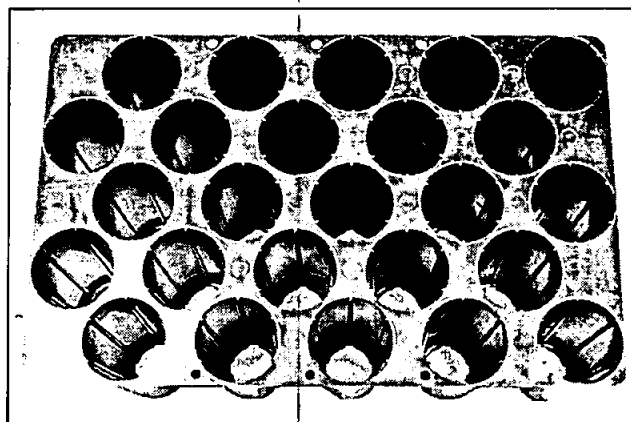
Nombre de cavités : 45
 Diamètre de la cavité : 3,8 cm
 Côté de la cavité : ---
 Volume de la cavité : 110 cm³
 Plants au m² : 572
 Efficacité des arrosages : 0,930



25-200 (IPL Inc.)

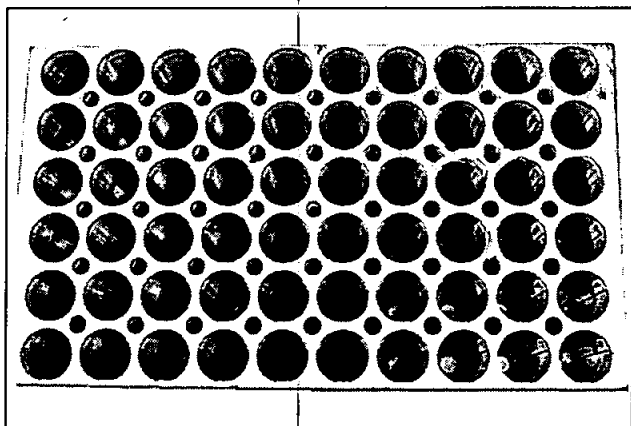
Longueur : 35,4 cm
 Largeur : 22,2 cm
 Profondeur : 12,5 cm
 Surface : 0,0786 m²
 Matériau : Polyéthylène haute densité

Nombre de cavités : 25
 Diamètre de la cavité : 5,0 cm
 Côté de la cavité : ---
 Volume de la cavité : 200 cm³
 Plants au m² : 318
 Efficacité des arrosages : 0,916

**Ventblock-Copperblock 60-250 (Beaver Plastics Ltd.)**

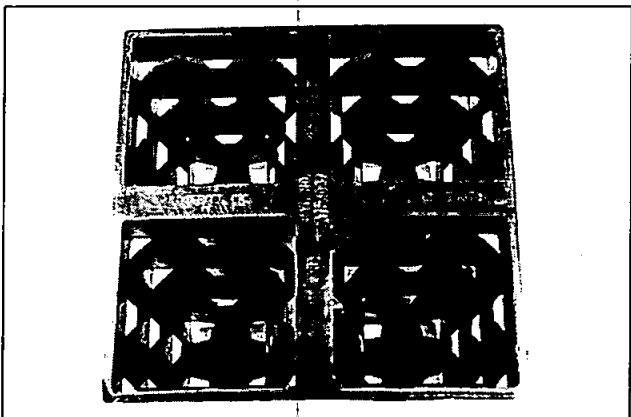
Longueur : 60,2 cm
 Largeur : 34,9 cm
 Profondeur : 15,2 cm
 Surface : 0,2101 m²
 Matériau : Styromousse expansé
 [± bandes alternées de cuivre]

Nombre de cavités : 60
 Diamètre de la cavité : 5,1 cm
 Côté de la cavité : ---
 Volume de la cavité : 250 cm³
 Plants au m² : 285
 Efficacité des arrosages : 0,869

**RootMaker™ (Lacebark Research)**

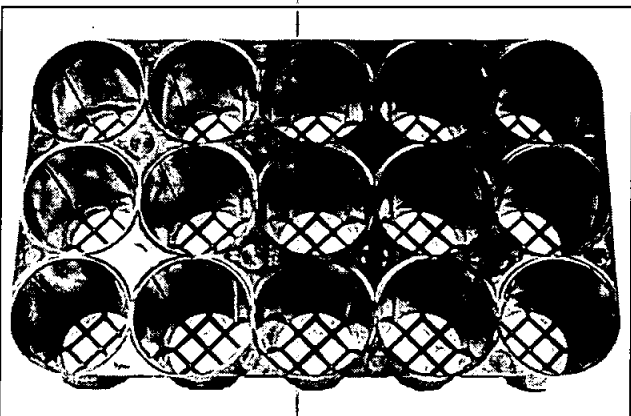
Longueur : 16,0 cm
 Largeur : 16,0 cm
 Profondeur : 9,8 cm
 Surface : 0,0256 m²
 Matériau : Polyéthylène haute densité

Nombre de cavités : 4 à parois ajourées
 Diamètre de la cavité : ---
 Côté de la cavité : 6,8 cm
 Volume de la cavité : 260 cm³
 Plants au m² : 156
 Efficacité des arrosages : 0,886

**Lieco 90 (BCC)**

Longueur : 35,4 cm
 Largeur : 21,4 cm
 Profondeur : 10,0 cm
 Surface : 0,0758 m²
 Matériau : Polyéthylène haute densité

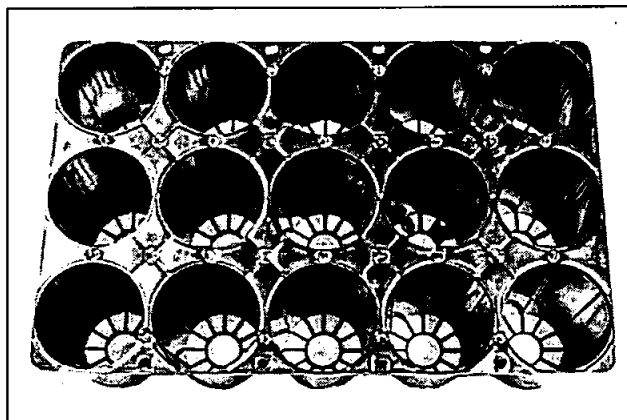
Nombre de cavités : 15
 Diamètre de la cavité : 6,8 cm
 Côté de la cavité : ---
 Volume de la cavité : 310 cm³
 Plants au m² : 198
 Efficacité des arrosages : nd



15-330 (15-320) (IPL Inc.)

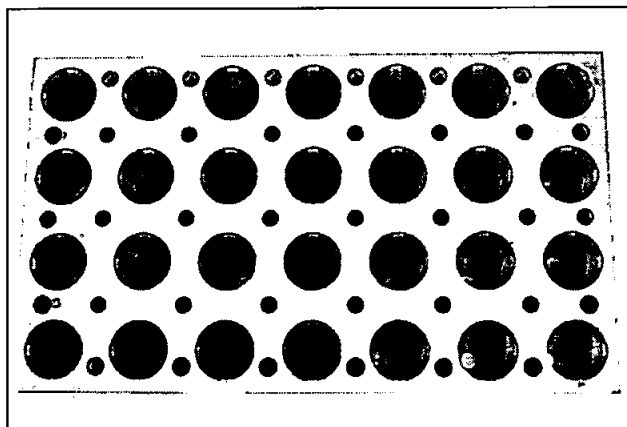
Longueur : 35,4 cm
 Largeur : 22,2 cm
 Profondeur : 12,0 cm
 Surface : 0,0786 m²
 Matériau : Polyéthylène haute densité

Nombre de cavités : 15
 Diamètre de la cavité : 6,6 cm
 Côté de la cavité : ---
 Volume de la cavité : 330 cm³
 Plants au m² : 190
 Efficacité des arrosages : 0,922

**Ventblock-Copperblock 28-340 (Beaver Plastics Ltd.)**

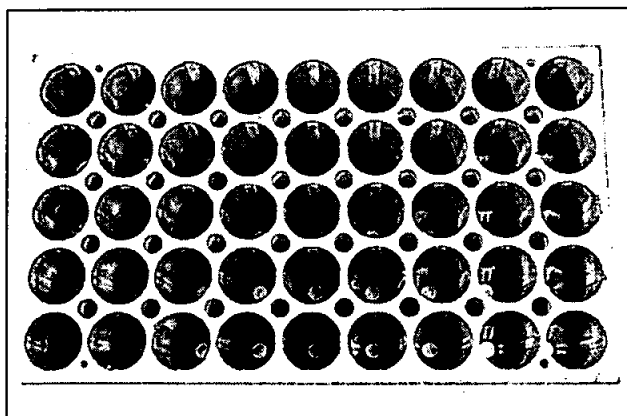
Longueur : 60,4 cm
 Largeur : 35,7 cm
 Profondeur : 15,2 cm
 Surface : 0,2156 m²
 Matériau : Styromousse expansé
 [± bandes alternées de cuivre]

Nombre de cavités : 28
 Diamètre de la cavité : 6,0 cm
 Côté de la cavité : ---
 Volume de la cavité : 340 cm³
 Plants au m² : 129
 Efficacité des arrosages : 0,694

**Ventblock-Copperblock 45-340 (Beaver Plastics Ltd.)**

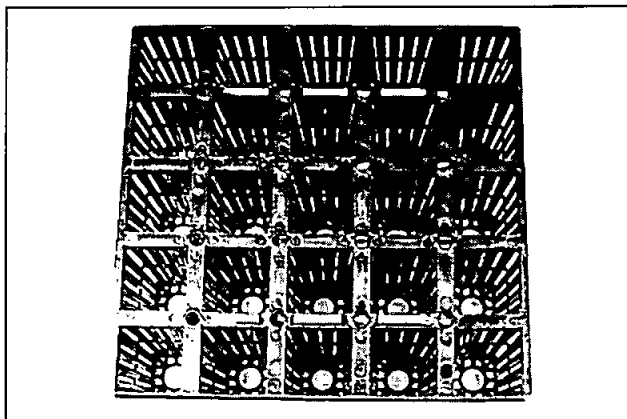
Longueur : 59,4 cm
 Largeur : 35,3 cm
 Profondeur : 15,2 cm
 Surface : 0,2097 m²
 Matériau : Styromousse expansé
 [± bandes alternées de cuivre]

Nombre de cavités : 45
 Diamètre de la cavité : 6,0 cm
 Côté de la cavité : ---
 Volume de la cavité : 340 cm³
 Plants au m² : 214
 Efficacité des arrosages : 0,885

**25-350A (IPL Inc.)**

Longueur : 37,0 cm
 Largeur : 35,5 cm
 Profondeur : 14,0 cm
 Surface : 0,1314 m²
 Matériau : polyéthylène haute densité

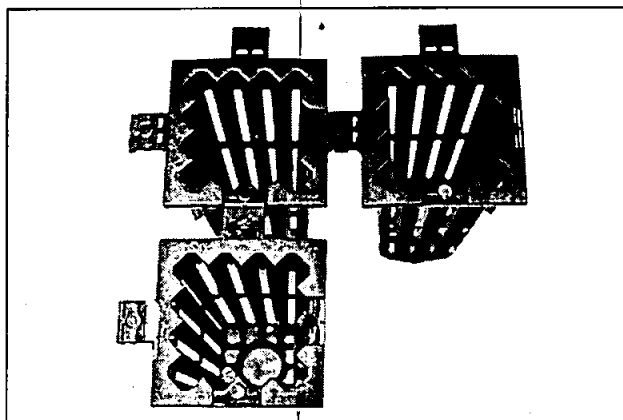
Nombre de cavités : 25 à parois ajourées
 Diamètre de la cavité : ---
 Côté de la cavité : 5,9 cm
 Volume de la cavité : 350 cm³
 Plants au m² : 190
 Efficacité des arrosages : 0,954



1-350A à 1,5 & 3,0 cm d'espacement (IPL Inc.)

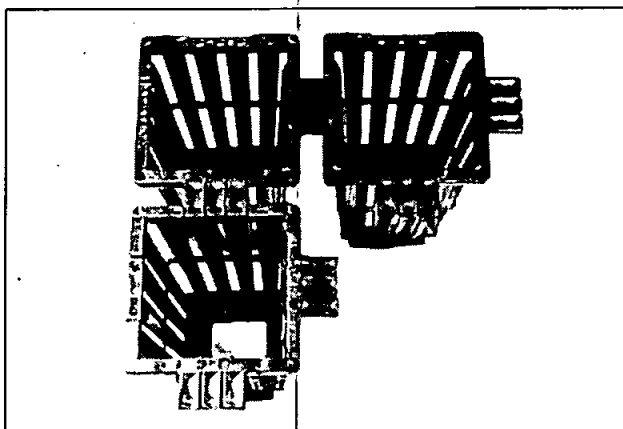
Longueur : 7,4 cm (assemblage à 3,0 cm d'espacement sur la photo)
 Largeur : 7,4 cm
 Profondeur : 14,0 cm
 Surface : 0,0055 m²
 Matériau : Polyéthylène haute densité

Nombre de cavités : 1 à parois ajourées
 Diamètre de la cavité : ---
 Côté de la cavité : 5,9 cm
 Volume de la cavité : 350 cm³
 Plants au m² : 182 & 150
 Efficacité des arrosages : 0,945 & 0,779

**1-360A à 1,0 & 2,0 cm d'espacement (IPL Inc.)**

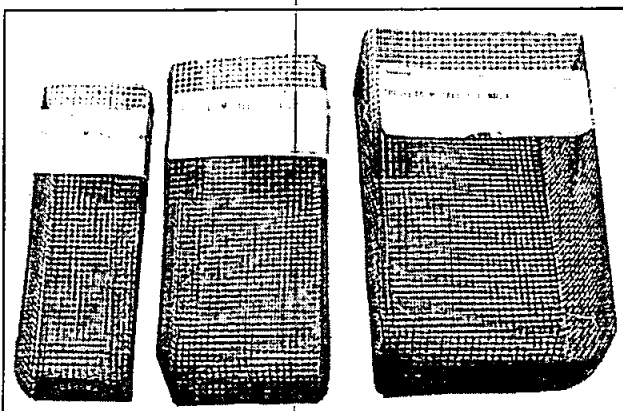
Longueur : 7,5 cm (assemblage à 2,0 cm d'espacement sur la photo)
 Largeur : 7,5 cm
 Profondeur : 12,7 cm
 Surface : 0,0056 m²
 Matériau : Polyéthylène haute densité

Nombre de cavités : 1 à parois ajourées
 Diamètre de la cavité : ---
 Côté de la cavité : 6,3 cm
 Volume de la cavité : 360 cm³
 Plants au m² : 180 & 149
 Efficacité des arrosages : 0,896 & 0,706

**Treillis métallique R1, R2 et R3 (MRN)**

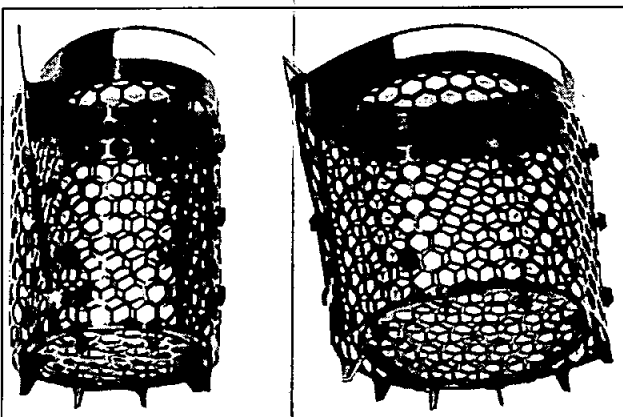
Longueur : 5,1 cm, 7,6 cm & 10,2 cm (de gauche à droite)
 Largeur : 5,1 cm, 7,6 cm & 10,2 cm
 Profondeur : 15,2 cm
 Surface : 0,0026 m², 0,0058 m² & 0,0103 m²
 Matériau : Treillis métallique

Nombre de cavités : 1 à parois ajourées
 Diamètre de la cavité : ---
 Côté de la cavité : 5,1 cm, 7,6 cm & 10,2 cm
 Volume de la cavité : 393 cm³, 885 cm³ & 1573 cm³
 Plants au m² : fonction de l'espacement
 Efficacité des arrosages : fonction de l'espacement

**Réceptacles universels R2 et R3 (IPL Inc.)**

Longueur : ---
 Largeur : ---
 Profondeur : 15,0 cm
 Surface : 0,0043 m² & 0,0077 m²
 Matériau : Polyéthylène haute densité

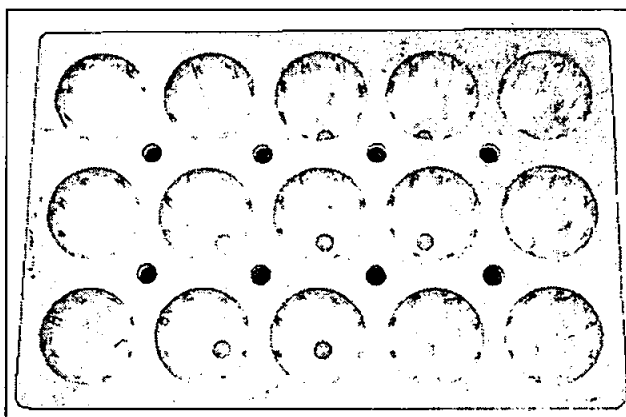
Nombre de cavités : 1 à parois ajourées
 Diamètre de la cavité : 7,4 cm & 9,9 cm (de g. à d.)
 Côté de la cavité : ---
 Volume de la cavité : 640 cm³ & 1166 cm³
 Plants au m² : fonction de l'espacement
 Efficacité des arrosages : fonction de l'espacement



15-700 (Polymos Inc.)

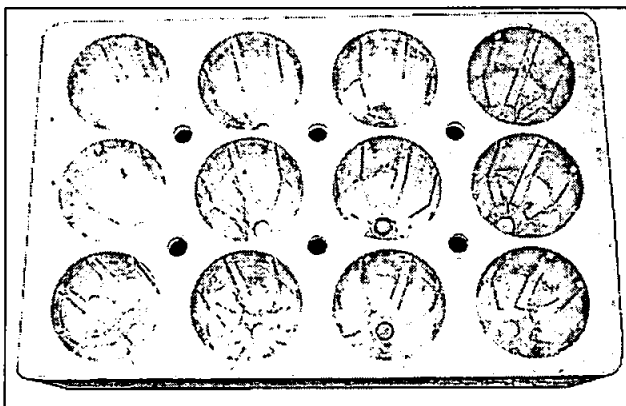
Longueur : 55,0 cm
 Largeur : 35,5 cm
 Profondeur : 15,0 cm
 Surface : 0,1953 m²
 Matériau : Styromousse expansé

Nombre de cavités : 15
 Diamètre de la cavité : 8,4 cm
 Côté de la cavité : ---
 Volume de la cavité : 700 cm³
 Plants au m² : 76
 Efficacité des arrosages : 0,820

**12-1000 (Polymos Inc.)**

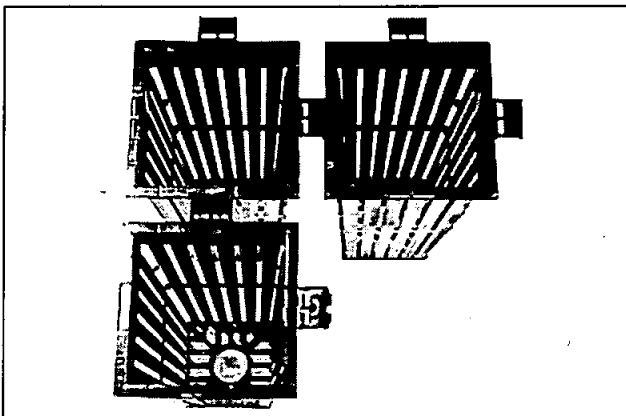
Longueur : 55,0 cm
 Largeur : 35,5 cm
 Profondeur : 15,0 cm
 Surface : 0,1953 m²
 Matériau : Styromousse expansé

Nombre de cavités : 12
 Diamètre de la cavité : 10,0 cm
 Côté de la cavité : ---
 Volume de la cavité : 1000 cm³
 Plants au m² : 61
 Efficacité des arrosages : 0,839

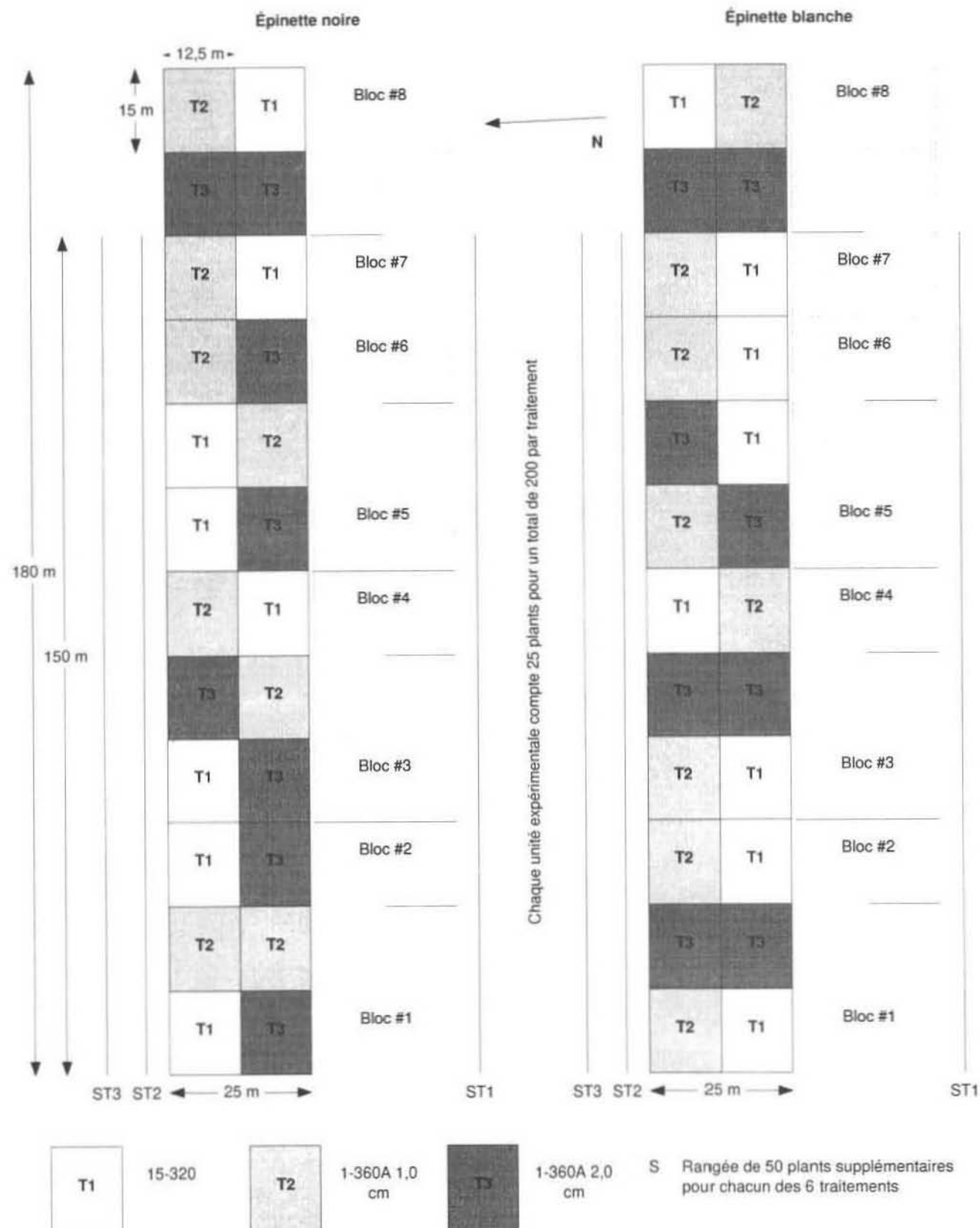
**1-1050A à 1,5 & 3,0 cm d'espacement (IPL Inc.)**

Longueur : 10,1 cm (assemblage à 3,0 cm d'espacement sur la photo)
 Largeur : 10,1 cm
 Profondeur : 20,5 cm
 Surface : 0,0102 m²
 Matériau : Polyéthylène haute densité

Nombre de cavités : 1 à parois ajourées
 Diamètre de la cavité : ---
 Côté de la cavité : 8,6 cm
 Volume de la cavité : 1050 cm³
 Plants au m² : 98 & 84
 Efficacité des arrosages : 0,959 & 0,831



Annexe 3. Schéma des dispositifs expérimentaux installés à Biencourt (93.1) en 1994



Annexe 4. Schéma des dispositifs expérimentaux installés à Biencourt (94.1 & 94.2) en 1995

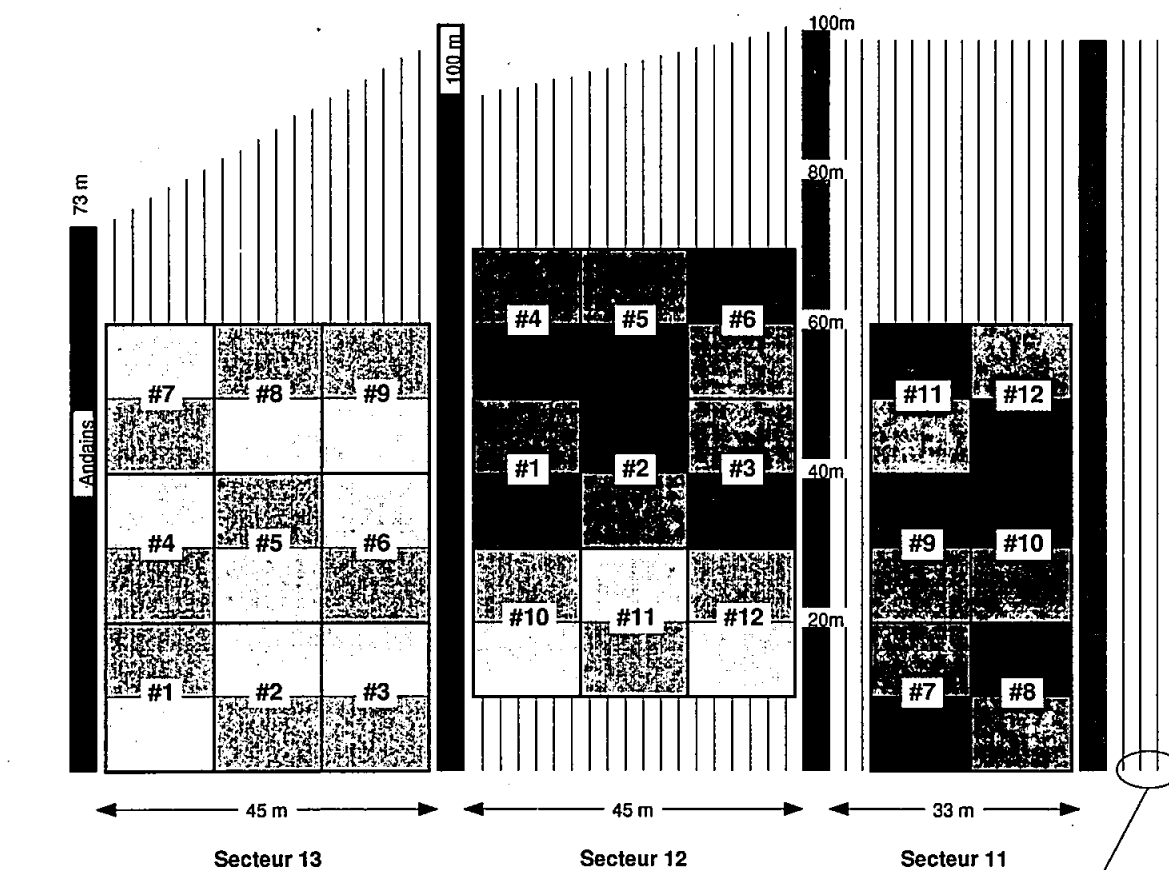
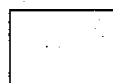
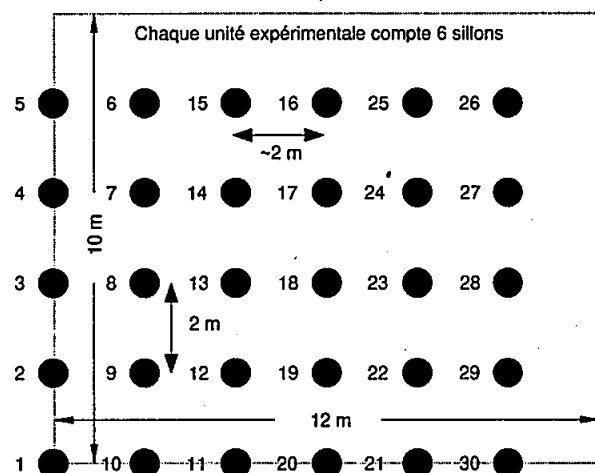


Schéma d'une unité expérimentale



94.1

25-350A



1-350A

94.1 25-350A
94.1 1-350A
94.2 1-350A 1,5 cm
94.2 1-350A 3,0 cm



94.2

1-350A 1,5 cm



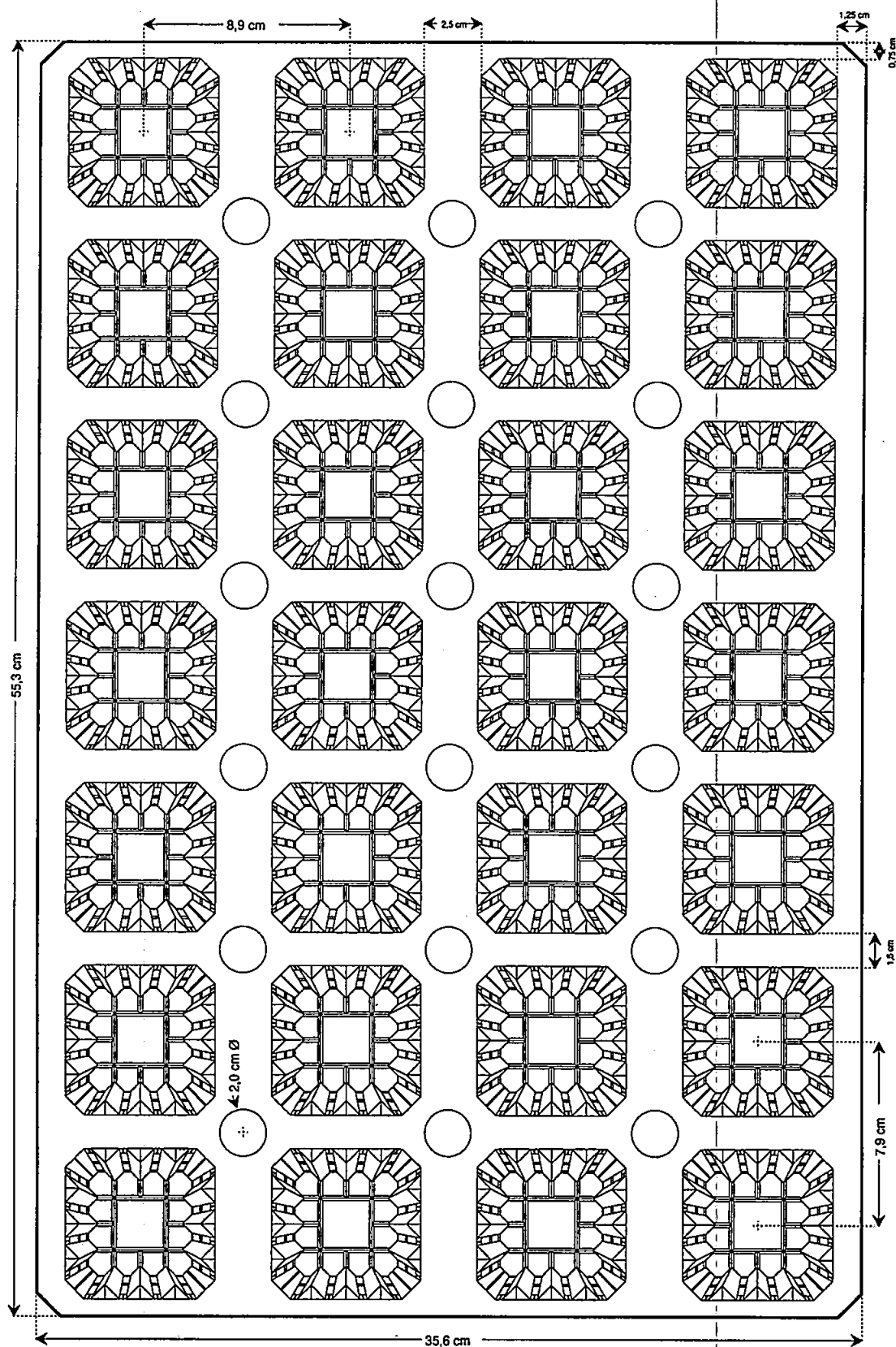
1-350A 3,0 cm

Chaque bloc (12) compte deux unités expérimentales et mesure 20 m de longueur sur 6 sillons de largeur (~12 m);
Chaque unité expérimentale compte 30 semis (6 * 5); les semis sont espacés d'environ 2,0 m entre les sillons et de 2,0 m le long des sillons;
Chaque traitement compte 360 semis (30 * 12);
La plantation compte 1440 semis (4 * 360).

Le modèle statistique pour chaque dispositif distinct est :

Source	DI	
Bloc	11	B-1
R	1	R-1
Erreur exp.	11	(B-1)(R-1)
Erreur éch.	696	BR(n-1)
Total	719	BRn-1

Annexe 5. Caractéristiques du récipient 28-350A



Annexe 6. Caractéristiques du récipient 16-564A

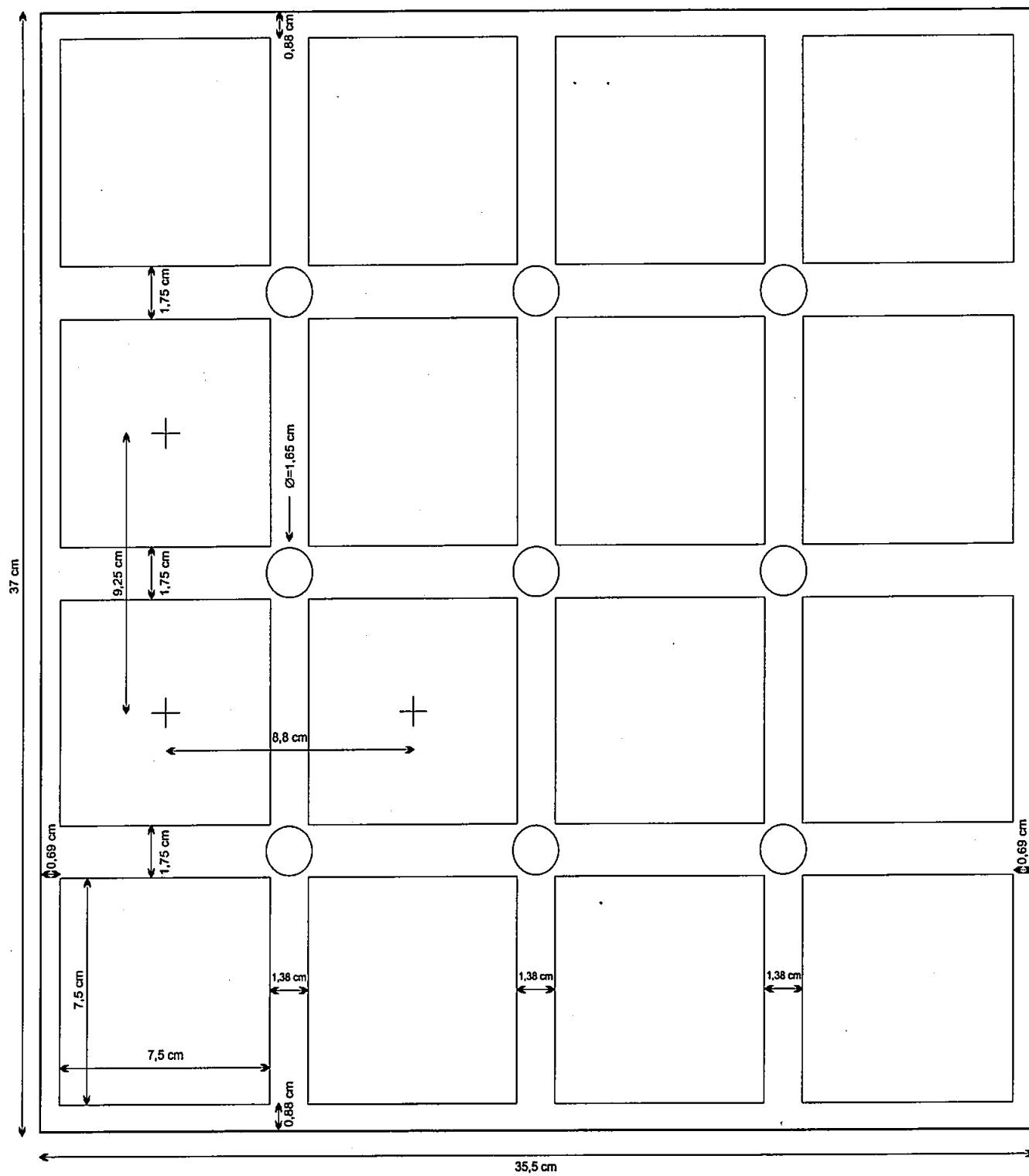


Schéma du récipient

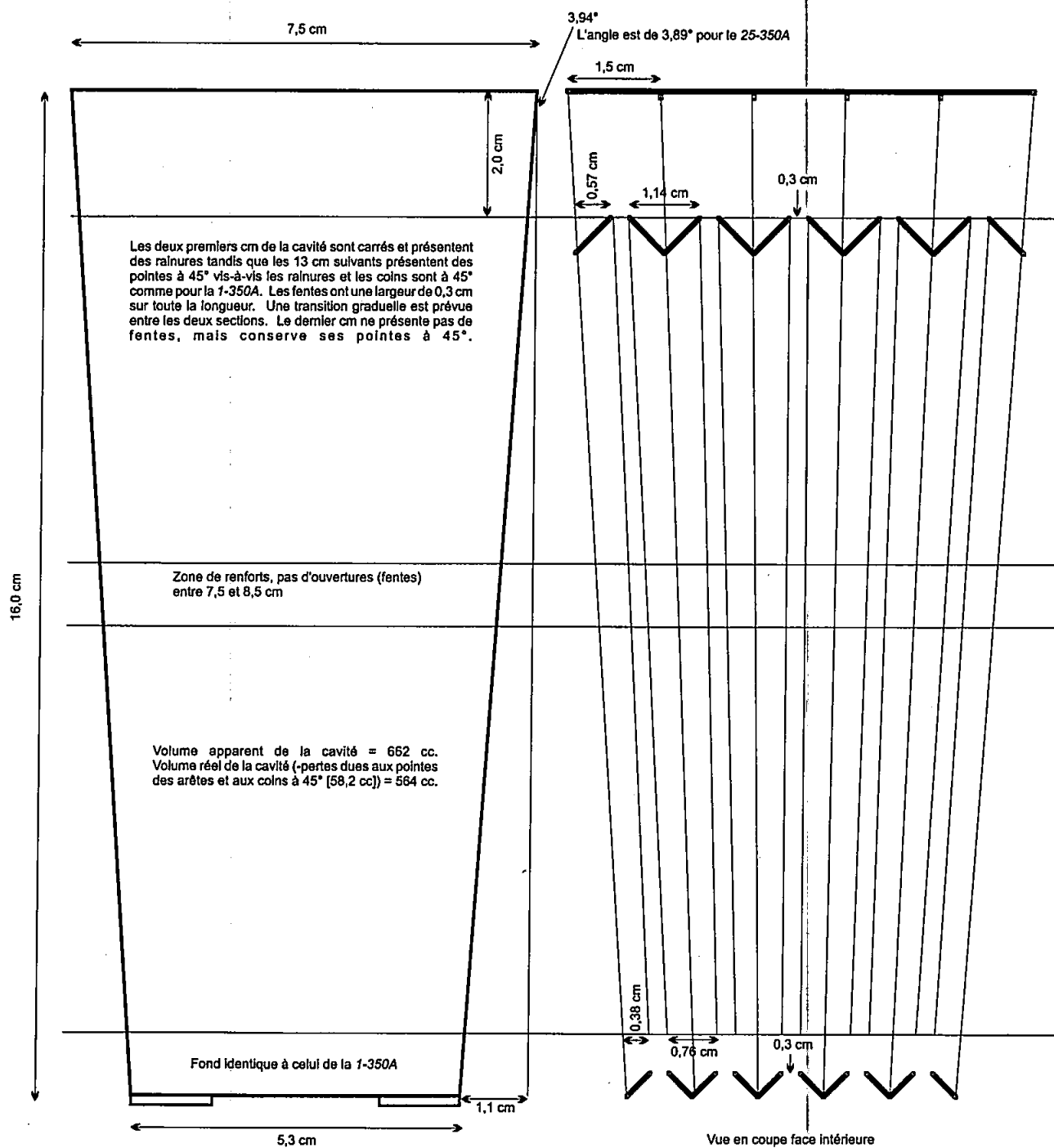
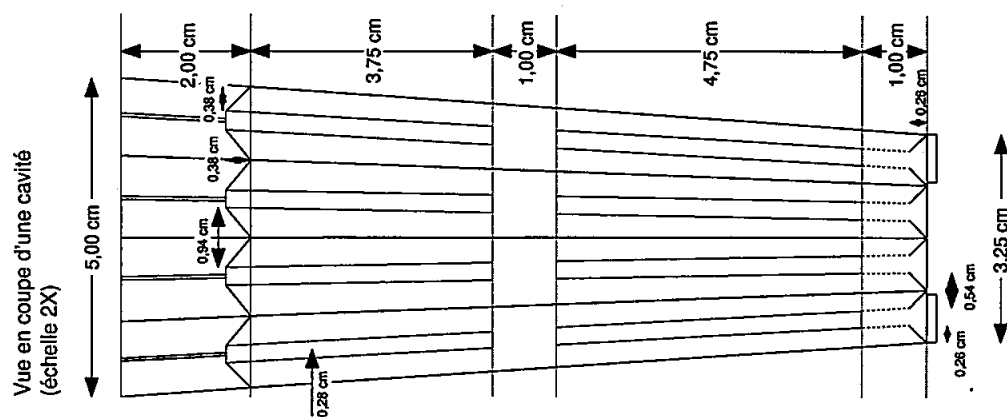
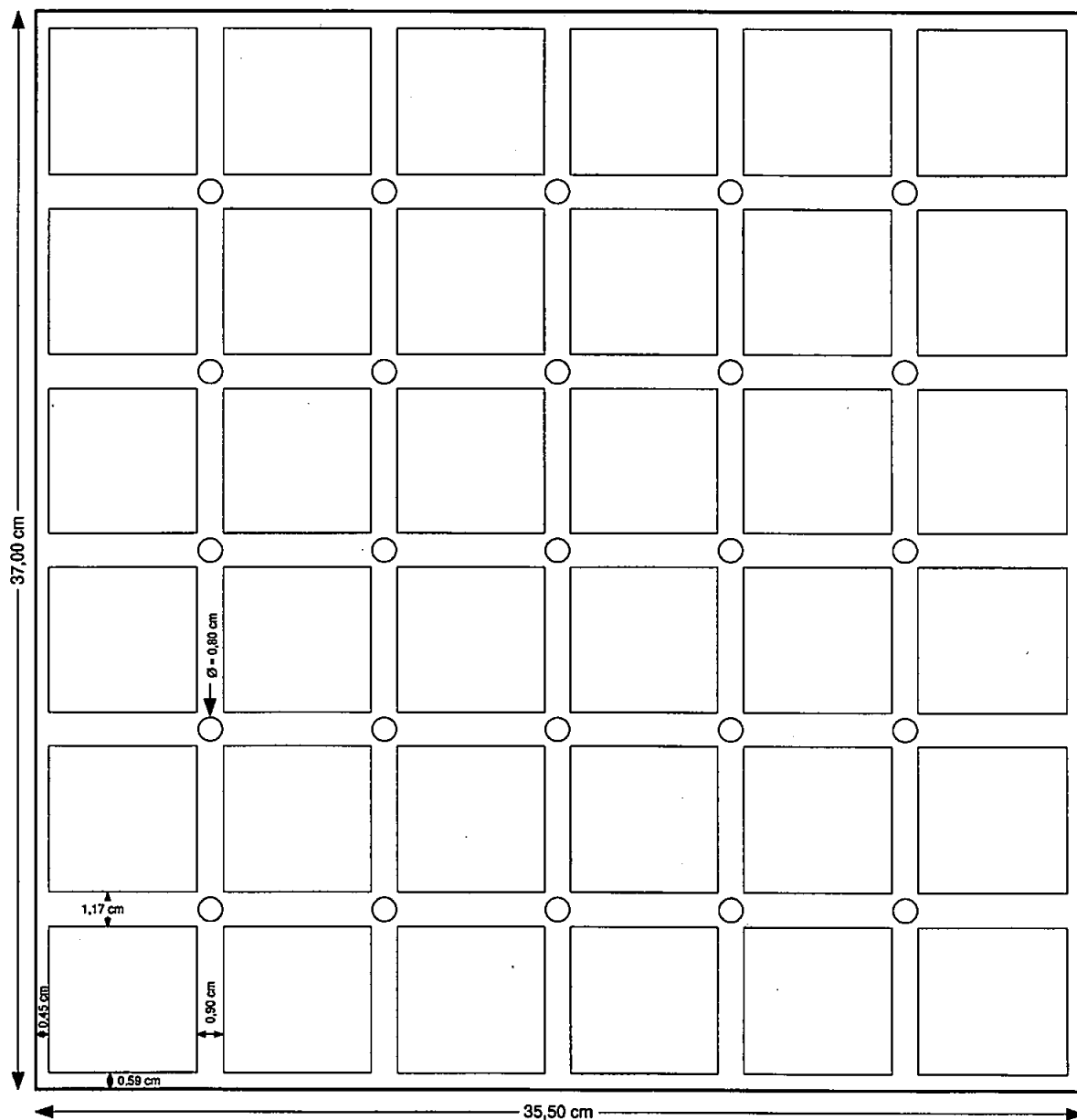


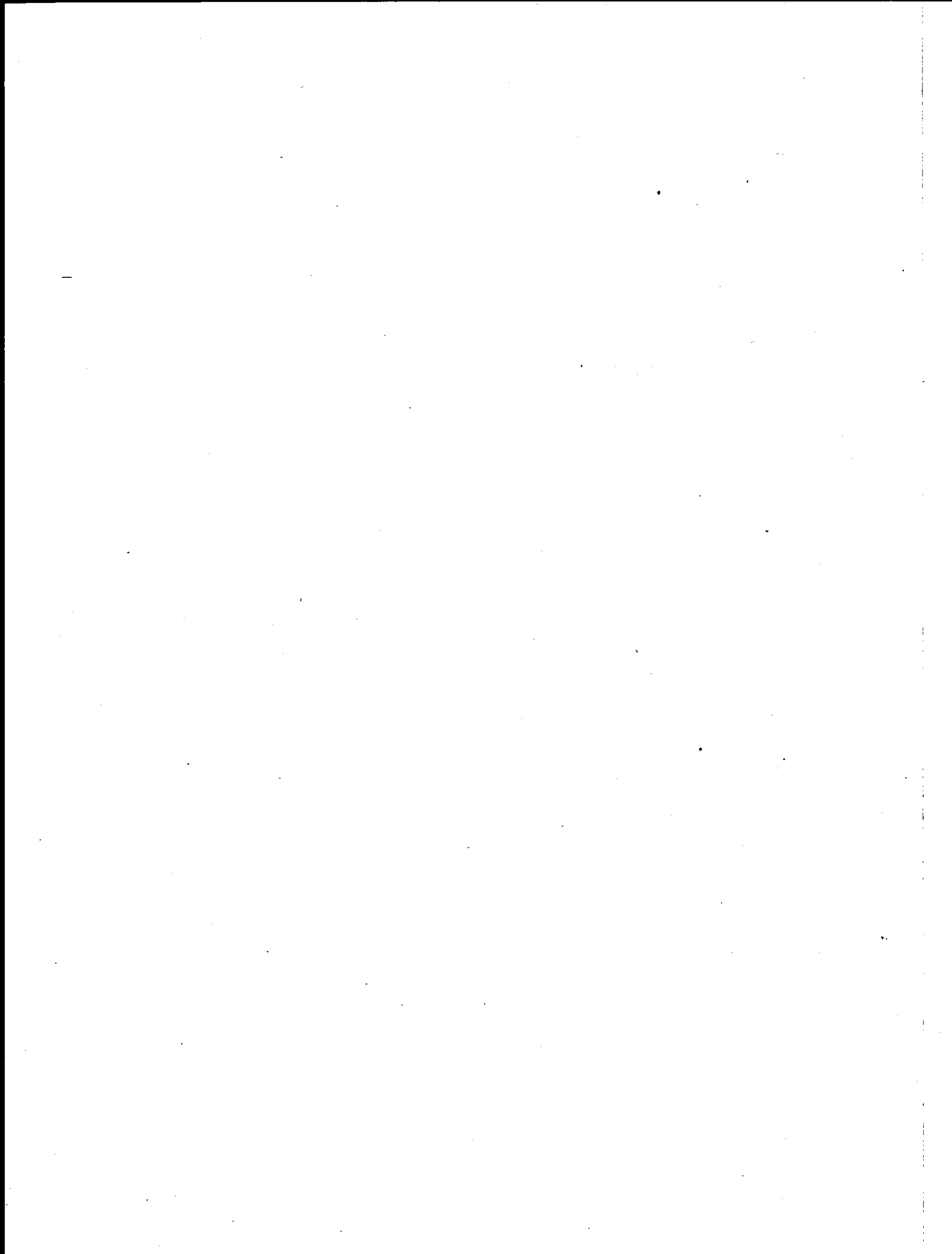
Schéma de la cavité



Cavité carrée à parois ajourées de 215,88 cm³ (5,00 cm × 5,00 cm au sommet; 3,25 cm × 3,25 cm à la base; 12,5 cm de hauteur) de volume apparent. Une fois les côtés et les arêtes enlevées, le volume réel est d'environ 206 cm³. Le fond des cavités est identique à celui des 25-350A. Le récipient compte 36 cavités et la densité de culture est de 274 plants au m².



Annexe 7. Caractéristiques du récipient 36-206A



Pour rencontrer ses objectifs de reboisement, le ministère des Ressources naturelles doit s'assurer que l'on met bien tout en oeuvre pour produire et mettre en terre des semis de qualité qui possèdent une grande rapidité d'installation et d'adaptation. Les recherches entreprises par le Ministère sur le contrôle des malformations des racines, la nutrition minérale et le choix d'un bon récipient constituent des éléments essentiels à la production de semis de qualité supérieure. Ces travaux et ceux que l'on mène actuellement sur la production de plants de fortes dimensions dans des récipients à parois ajourées vont permettre d'accroître le rendement des futures plantations.



Gouvernement du Québec
**Ministère des Ressources
naturelles**

ISBN 2-550-34339-5
F.D.C. 232.329.6(047.3)(714)
L.C. SD 404.3

RN99-3048