

La dynamique morphologique et physiologique de plants soumis à un entreposage de longue durée

par G. LAMBANY

Ce mémoire contient un errata
à la page iv du document



Gil LAMBANY est ingénieur forestier, diplômé de l'Université Laval depuis 1976. En 1978, l'Université de Sherbrooke lui décernait le diplôme de maître en environnement. À l'emploi du Ministère depuis 1984, il est actuellement affecté au Service de l'amélioration des arbres à titre de chargé de recherches en physiologie végétale.



Depuis de nombreuses années, 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 au Ministère de Ressources naturelles.

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 la :

Direction de la recherche forestière
Ministère des Ressources naturelles du Québec
2700, rue Einstein
SAINTE-FOY (Québec)
Canada G1P 3W8

**La dynamique morphologique et physiologique
de plants soumis à un entreposage de longue durée**

Dans un gland, mille forêts

Ralph Waldo Emerson

**La dynamique morphologique et physiologique
de plants soumis à un entreposage de longue durée**

par

Gil LAMBANY, ing.f., M.Env.
Service de l'amélioration des arbres

Mémoire de recherche forestière n° 114

Gouvernement du Québec
Ministère des Ressources naturelles
Direction de la recherche forestière
1994

Ce texte est un rapport partiel du projet de recherche n° 032200 :
Effets des traitements cultureux sur la physiologie des plants.

ERRATA

page - col. - parag. - ligne

3	1	2	2	et de pin gris (provenance 83-D-41) issus...
15	1	1	11	...(LAMBANY 1994), le...
19	Tableau 4 - Note			...; probabilité > 95 %
21	1	3	6	... bien que la chambre froide ait
25	2	2	7	importantes avec les racines; cette situation

ISSN 1183-3912
ISBN 2-550-29692-3
Dépôt légal - 1994
Bibliothèque nationale du Québec
Bibliothèque nationale du Canada
© Gouvernement du Québec 1994

Avant-propos

Ce texte présente les résultats des suivis morphologiques effectués à la pépinière d'East-Angus et des analyses physiologiques réalisées au laboratoire de morphophysiologie végétale de la Division de R-D sur les semences, boutures et plants du Service de l'amélioration des arbres. Mes remerciements s'adressent en premier lieu à MM. Mario Renaud, technicien forestier, Richard Gosselin, technicien de laboratoire, et Benoît-Marie Gingras, chargé de recherches de la division, ainsi qu'à Alain Lebel de la pépinière d'East-Angus, pour leur soutien technique. Je remercie également l'équipe de biométrie du Service des laboratoires de la Direction, particulièrement mesdames

France Lapointe et Nancy Vézina, pour la rigueur apportée aux analyses statistiques. Ma reconnaissance s'adresse aussi à M. Pacôme Boucher et aux représentants de l'Unité de gestion Quévillon, ainsi qu'à M. Claude Fortin du Centre de recherche en biologie forestière de la Faculté de foresterie et de géomatique de l'université Laval, pour leur disponibilité constante tout au long de la réalisation de cette étude. Finalement, j'aimerais mentionner le travail persévérant offert par l'équipe de secrétariat de la Direction ainsi que les soins méticuleux apportés par M. Fabien Caron pour assurer l'édition de ce document.

Résumé

Des plants d'épinette noire et de pin gris produits en *Multipots 67-50* ont fait l'objet, à l'automne 1991, d'un suivi morphologique et physiologique dans le cadre d'un essai opérationnel d'entreposage en chambre réfrigérée à la pépinière d'East-Angus. L'objectif de cette démarche visait à étudier le comportement morphologique et physiologique des plants au cours de la période d'entreposage. En fonction de deux dates d'entreposage (octobre et novembre), d'un mode d'emballage et de conditions uniformes de température (-2 °C) et d'humidité relative (90 %) dans la chambre réfrigérée, des plants d'épinette noire et de pin gris ont été récoltés et qualifiés au point de vue morphologique (hauteur, diamètre, masse, capacité de croissance racinaire et rapidité de débourrement) et physiologique (stress hydrique). L'analyse détaillée des suivis de paramètres réalisés entre octobre 1991 et mai 1992 précise que les plants d'épinette noire entreposés en octobre et novembre et de pin gris entreposés en novembre ont présenté un rendement semblable à celui des plants témoins maintenus sous couvert de neige. Par contre, l'entreposage précoce des semis de pin gris s'est avéré un échec, avec un taux de mortalité élevé des bourgeons terminaux et un état général déficient de la partie aérienne. L'indice de débourrement s'est avéré le paramètre le plus sensible pour qualifier les plants d'épinette noire et de pin gris au cours de cet essai.

Mots-clés : entreposage, CCR, débourrement, endurcissement, potentiel hydrique, *Pinus banksiana*, *Picea mariana*.

Abstract

Morphological and physiological dynamics of plantings submitted to long-term storage. In the fall of 1991, a morpho-physiological study of black spruce and jack pine seedlings grown in containers (67-50) was carried out as part of a trial use of cold storage at the East Angus nursery. The purpose of this study was to observe the morpho-physiological behaviour of seedlings during the storage period. Based on two storage periods (in October and November), one packaging method, uniform temperature (-2 °C) and relative humidity (90 %) conditions in the cold storage room, black spruce and jack pine seedlings were collected and described morphologically (height, diameter, volume, root growth capacity and speed of bud opening) and physiologically (hydric stress). The study of the development profiles of soluble glucides and starch in the shoots and roots is the subject of a separate research paper. The detailed analysis of the monitoring of parameters between October 1991 and May 1992 confirms that black spruce seedlings stored in October and November and jack pine seedlings stored in November showed results similar to those of the control seedlings kept under snow cover. Furthermore, after one season, the growth of these seedlings showed positive results on a reforestation site. On the other hand, early storage of jack pine seedlings proved to be a failure, with a high mortality rate of terminal buds and a generally deficient aerial part. The bud opening index was found to be the most sensitive parameter for describing black spruce and jack pine seedlings during this trial.

Key-words : cold storage, RGP, budbreak, cold hardiness, water potential, *Pinus banksiana*, *Picea mariana*.

Table des matières

Avant-propos	v
Résumé	vii
<i>Abstract</i>	vii
Liste des tableaux	xi
Liste des figures	xiii
Introduction	1
Chapitre premier	
Description du matériel végétal, des traitements appliqués, des dispositifs expérimentaux, des traitements de données et des paramètres mesurés	3
1.1 Matériel	3
1.2 Traitements appliqués	3
1.3 Dispositifs expérimentaux	3
1.3.1 Automne (pré-entreposage)	3
1.3.2 Hiver	5
1.4 Analyses statistiques	5
1.5 Mesures des paramètres morphologiques et physiologiques	5
1.5.1 Période	5
1.5.2 Choix des paramètres	6

Chapitre II		Chapitre V	
Suivi de la température et de l'humidité au cours de l'hivernage en chambre ré- frigérée et à l'extérieur	7	Effets des traitements d'hivernage sur la capacité de croissance des racines	23
2.1 Matériel et méthode	7	5.1 Matériel et méthode	23
2.2 Résultats	8	5.1.1 Matériel	23
2.2.1 Accumulation des degrés de froid (°C)	8	5.1.2 Méthode	23
2.2.2 Accumulation des heures de froid	8	5.2 Résultats	24
2.2.3 Humidité relative dans la chambre réfrigérée	9	5.3 Discussion	25
2.3 Discussion	9	Chapitre VI	
Chapitre III		Effets des traitements d'hivernage sur le potentiel hydrique des plants avant le reboisement	27
Effets des traitements d'hivernage sur la morphologie des plants	11	6.1 Matériel et méthode	27
3.1 Matériel et méthode	11	6.2 Résultats	27
3.2 Résultats	11	6.3 Discussion	28
3.2.1 Hauteur des tiges	11	Conclusion et recommandations	29
3.2.2 Masse des tiges	13	Bibliographie	31
3.2.3 Masse des racines	13	Annexe	
3.3 Discussion	15	Acclimatation des plants pour les tests de capacité de croissance racinaire	33
Chapitre IV			
Effets des traitements d'hivernage sur la rapidité de débourrement et sur certains aspects morphologiques des plants	17		
4.1 Matériel et méthode	17		
4.2 Résultats	18		
4.2.1 Rapidité de débourrement des plants	18		
4.2.2 Taux d'avortement des bourgeons terminaux	19		
4.2.3 Élongation de la pousse terminale des plants débourrés	20		
4.2.4 Pourcentage d'aiguilles saines de deuxième année	20		
4.3 Discussion	21		

Liste des tableaux

Tableau 1	Description des paramètres morphologiques, physiologiques et abiotiques analysés de septembre 1991 à mai 1992	6
Tableau 2	Masse moyenne des tiges (mg) des plants d'épinette noire et de pin gris soumis à trois traitements d'hivernage	13
Tableau 3	Masse moyenne des racines (mg) des plants d'épinette noire et de pin gris soumis à trois traitements d'hivernage	14
Tableau 4	Taux d'avortement des bourgeons terminaux (inventaire de mai 1992)	19
Tableau 5	Élongation (cm) de la pousse terminale annuelle des plants débourrés (inventaire de mai 1992)	20
Tableau 6	Pourcentage d'aiguilles saines de 2 ans (inventaire de mai 1992)	20
Tableau 7	Décompte des racines blanches de plus de 1 cm chez l'épinette noire et le pin gris	25
Tableau 8	Potentiel hydrique moyen (MPa) chez l'épinette noire et le pin gris soumis à trois traitements d'hivernage.	28

Liste des figures

Figure 1	Dispositif expérimental d'automne (pré-entreposage) à la pépinière d'East-Angus	4
Figure 2	Dispositif expérimental d'hiver (à l'extérieur et en chambre réfrigérée) implanté à la pépinière d'East-Angus	4
Figure 3	Ventilation des récoltes de plants d'épinette noire et de pin gris en automne (témoin) et au cours de la période automne-hiver (témoin, octobre et novembre)	4
Figure 4	Profils d'accumulation des degrés de froid (°C) à l'extérieur et en chambre réfrigérée (température référence = 5 °C)	8
Figure 5	Profils d'accumulation des heures de froid à l'extérieur et en chambre réfrigérée (température référence = 5 °C)	9
Figure 6	Variation du taux d'humidité relative (%) en chambre réfrigérée à un mètre du sol	10
Figure 7	Effets de trois modes d'hivernage sur la hauteur de l'épinette noire et du pin gris (témoin : plants maintenus à l'extérieur; octobre : plants entreposés en octobre; novembre : plants entreposés en novembre)	12

- Figure 8** Effets de trois modes d'hivernage sur la masse des tiges de l'épinette noire et du pin gris (témoin : plants maintenus à l'extérieur; octobre : plants entreposés en octobre; novembre : plants entreposés en novembre) 12
- Figure 9** Effets de trois modes d'hivernage sur la masse des racines de l'épinette noire et du pin gris (témoin : plants maintenus à l'extérieur; octobre : plants entreposés en octobre; novembre : plants entreposés en novembre) 14
- Figure 10** Effets de trois modes d'hivernage sur le temps de débourrement de l'épinette noire et du pin gris (témoin : plants maintenus à l'extérieur; octobre : plants entreposés en octobre; novembre : plants entreposés en novembre) 18
- Figure 11** Effets de trois modes d'hivernage sur le nombre de racines blanches (1 cm) produites par l'épinette noire et le pin gris (témoin : plants maintenus à l'extérieur; octobre : plants entreposés en octobre; novembre : plants entreposés en novembre) 24

Introduction

Depuis plusieurs années, les producteurs de plants de l'Ouest canadien et américain entreposent systématiquement, en chambre réfrigérée, les plants destinés au reboisement (HOCKING 1972, HOCKING et WARD 1972, GARBER et MEXAL 1980, CRAM et LINDQUIST 1981, HINESLEY 1982a, SCHROEDER 1984, MAXWELL 1986, OMI 1990). Des pépinières implantées sur la côte en zone tempérée et des sites de reboisement situés en région montagneuse ont favorisé le développement de cette technique qui assure la livraison de plants dormants et non débouffés.

Au Québec, certains pépiniéristes souhaitent utiliser l'entreposage au cours des prochaines années (STEIN 1990) parce que cette opération :

- 1) assure une meilleure gestion des stocks livrables au printemps et élimine les chevauchements entre les opérations d'ensemencement et de livraison des plants;
- 2) permet la livraison de plants non débouffés sur les sites de reboisement;
- 3) élimine les risques de dommages causés par les gels automnaux et printaniers ainsi que la dessiccation hivernale.

Jusqu'à maintenant, les essais d'entreposage réalisés au Québec n'avaient pas confirmé l'efficacité de cette technique. Un volet de recherche a donc été associé à un essai opérationnel en chambre réfrigérée à la pépinière d'East-Angus.

L'objectif général de cette étude consistait à démontrer que l'entreposage de longue durée appliqué à deux essences dans des conditions uniformes de température et d'humidité assure une qualité morphologique et physiologique au moins équivalente, sinon supérieure, à ce que donne un « hivernage » des plants sous couvert de neige.

Comme la période de mise en boîte a un effet important sur le maintien de la qualité des plants (MULLIN et HUTCHISON 1978, OMI 1990), deux dates d'entreposage (octobre et novembre) ont été retenues pour confirmer cet effet sur les semis.

Sur le plan des objectifs spécifiques, différents paramètres ont fait l'objet d'une évaluation afin d'analyser le comportement morphologique et physiologique des plants entreposés ou maintenus sous couvert de neige.

Le premier objectif spécifique, présenté au chapitre II, a été d'établir les profils de certains paramètres abiotiques en chambre froide et à l'extérieur (accumulation des degrés de froid et variation de l'humidité relative). Le deuxième objectif spécifique de cette étude (chapitre III) a pour but d'étudier certains paramètres morphologiques (hauteur, masse des tiges et des racines) au cours de la dormance hivernale.

Le troisième objectif spécifique, étudié à l'intérieur des chapitres IV et V, vise à qualifier et à quantifier le développement de la tige (rapidité de débouffement) et des racines (capacité de croissance racinaire). Finalement, un quatrième objectif spécifique de cette étude a pour but d'évaluer le potentiel hydrique des plants entreposés et des plants maintenus sous la neige, avant la mise en terre (chapitre VI).

Chapitre premier

Description du matériel végétal, des traitements appliqués, des dispositifs expérimentaux, des traitements de données et des paramètres mesurés

Dans le but de répondre adéquatement aux objectifs spécifiques de cet essai, deux dispositifs expérimentaux ont été implantés à la pépinière d'East-Angus.

1.1 Matériel

Des semis d'épinette noire (provenance 88-G-35) et de pin gris (provenance 83-D-41) tirés d'une production sous tunnel en première année de croissance ont entrepris, au printemps 1991, leur deuxième année de croissance (2+0) dans des récipients *Multipot 67-50*¹ à la pépinière d'East-Angus, dans la région de l'Estrie.

Chaque unité de production de pin et d'épinette était constituée de 5 760 récipients (figure 1). Au cours de l'été 1991, les deux essences ont été irriguées et fertilisées selon un scénario de culture habituel dans ce type de cavités afin d'atteindre les standards morphologiques requis en seconde saison de croissance.

1.2 Traitements appliqués

Dans le but d'établir les profils morphologiques et physiologiques comparatifs des deux essences, trois traitements culturels ont été appliqués dès la fin de l'automne 1991 :

1 - **plants témoins** hivernés de façon habituelle sous le couvert de neige (le terme « témoin » leur est appliqué dans ce rapport);

2 - **plants traités et hivernés** en chambre froide dans des boîtes de carton ciré, selon deux scénarios : un premier entreposage réalisé au début d'octobre et un second, effectué au début de novembre (désignés ici par les termes « octobre » et « novembre »).

Les conditions privilégiées pour assurer une dormance adéquate des plants dans la chambre froide ont été les suivantes : température de - 2 °C, humidité relative de 90 % et absence complète de lumière.

1.3 Dispositifs expérimentaux

1.3.1 Automne (pré-entreposage)

Afin d'établir les profils morphologiques et physiologiques des plants avant les mises en boîte, un dispositif expérimental a été implanté à l'intérieur des cultures de chacune des essences au début de septembre (figure 1). Chaque unité de production (pin et épinette) est subdivisée en quatre blocs de nombre égal de récipients (60 rangées de 24 *Multipots* = 1 440 *Multipots*); ces répétitions ont pour fonction de mieux intégrer dans le modèle statistique la variabilité inhérente à une production opérationnelle de plants en pépinière. Dans chaque bloc, 18 récipients ont été choisis aléatoirement; dans chacun de ceux-ci, la récolte des plants des cavités numéros 64, 19 et 7 a permis de réaliser systématiquement les inventaires de septembre, d'octobre et de novembre (18 plants par blocs, par essence et par date : 12 semis assurant la qualification morphologique et six, la qualification physiologique).

1 *Multipot 67-50* = 67 cavités de 50 cm³ chacune.

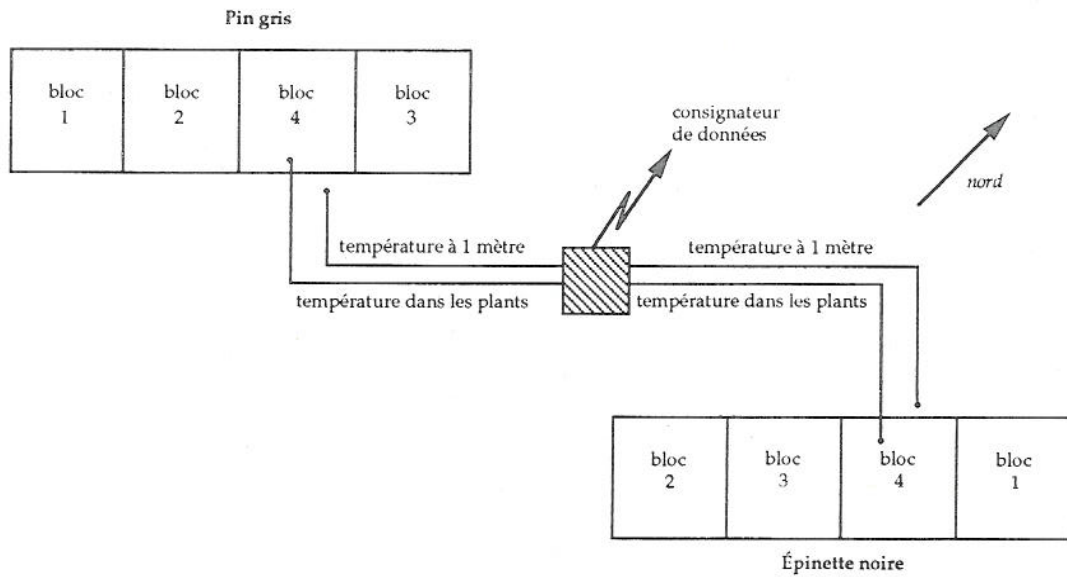


Figure 1. Dispositif expérimental d'automne (pré-entreposage) implanté à la pépinière d'East-Angus.

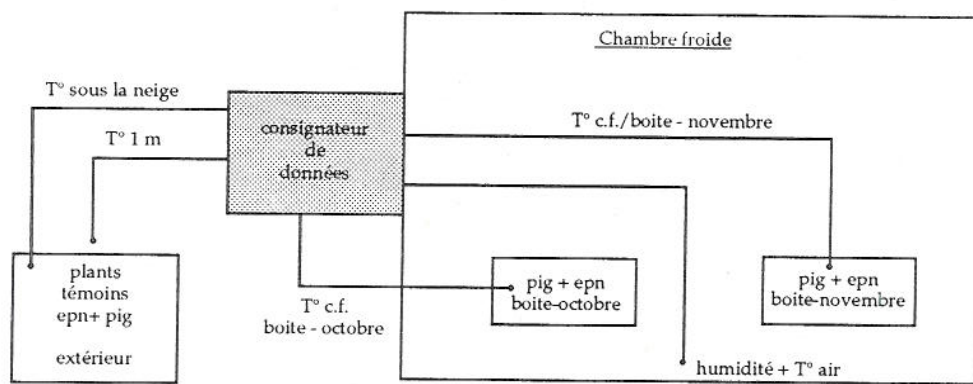


Figure 2. Dispositif expérimental d'hiver (à l'extérieur et en chambre réfrigérée) implanté à la pépinière d'East-Angus.

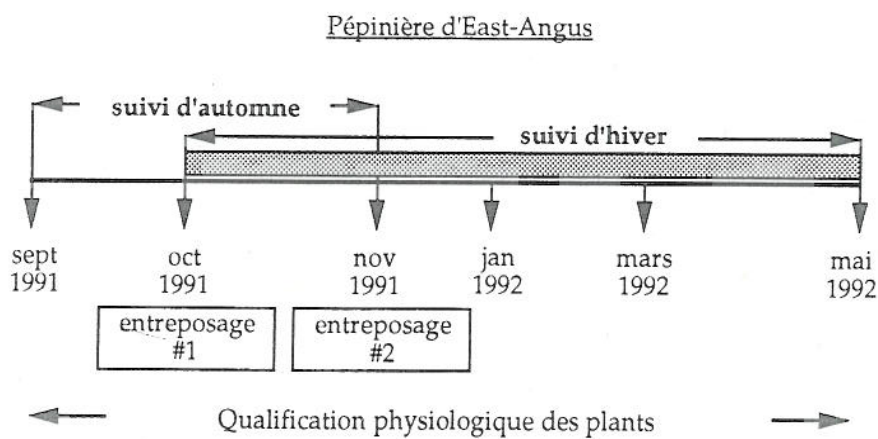


Figure 3. Ventilation des récoltes de plants d'épinette noire et de pin gris en automne (témoin) et au cours de la période automne-hiver (témoin, octobre, novembre)

1.3.2 Hiver

Au début d'octobre, le premier groupe de plants a été entreposé (pin gris et épinette noire : traitement d'octobre, figures 2 et 3).

Pour chaque récolte (novembre, janvier, mars et mai, figure 3) de ce traitement réalisée au cours de l'hiver, une boîte de carton ciré contenant deux essences x quatre blocs x 30 plants par bloc (sauf pour le mois de mai : 40 plants par bloc) était identifiée en chambre froide. Le regroupement des blocs dans la même boîte se justifie par la présence de conditions homogènes de température et d'humidité dans la chambre froide. En novembre, le second groupe de plants a été mis en boîte et entreposé de la même façon (pin gris et épinette noire : traitement novembre) pour chaque date de récolte retenue (janvier, mars et mai) (figures 2 et 3). Sur le plan technique, des groupes de dix plants ont été placés dans des sacs de plastique (partie racine), la partie aérienne étant maintenue à l'air libre dans la boîte. De plus, dans le but de respecter les conditions opérationnelles d'emballage, chaque boîte a été recouverte de cellophane afin de réduire les pertes en eau des plants.

Toujours en novembre, sur une parcelle située à l'extérieur à proximité de la chambre réfrigérée (figure 2), des plants des deux essences, récoltés au hasard dans les *Multipots* du dispositif d'automne (30 plants par bloc, deux blocs par récipient sauf en mai : 40 plants par bloc), ont été disposés dans trois îlots distincts (traitement témoin : récoltes de janvier, mars et mai). Dans chaque boîte, les essences et les blocs (4) ont été identifiés.

1.4 Analyses statistiques

Afin de comparer statistiquement les résultats morphologique et physiologique obtenus entre les traitements pour une essence et une date donnée, un modèle à deux facteurs a été retenu : traitement fixe et bloc aléatoire avec une observation par cellule. Le modèle d'analyse de la variance permettant de vérifier les hypothèses de départ (H_0 : aucune différence entre les traitements pour un paramètre morphologique ou physiologique spécifique, une essence et une date de récolte; H_1 : différence entre les traitements) a été le suivant :

$$Y_{ij} = \mu + T_i + \beta_j + (TB)_{ij} + \varepsilon_{ij}$$

où Y_{ij} représente la valeur d'un paramètre morphologique ou physiologique d'un groupe de « x » plants provenant du $i^{\text{ème}}$ traitement et du $j^{\text{ème}}$ bloc

$$i = 1, 2, 3$$

$$j = 1, 2, 3, 4$$

μ représente la valeur moyenne d'un paramètre morphologique ou physiologique quels que soient le traitement et le bloc

T_i représente l'effet du $i^{\text{ème}}$ traitement

β_j représente l'effet du $j^{\text{ème}}$ bloc

$(TB)_{ij}$ représente l'effet de l'interaction entre le $i^{\text{ème}}$ traitement et le $j^{\text{ème}}$ bloc

ε_{ij} représente l'erreur expérimentale associée aux plants du $i^{\text{ème}}$ traitement et du $j^{\text{ème}}$ bloc

L'interaction traitement x bloc a été évaluée graphiquement (croisement entre les niveaux d'un même facteur) ou à l'aide d'un test d'additivité (Tukey). L'ensemble des analyses de variance a été réalisé au moyen du progiciel SAS selon la procédure GLM, et les moyennes différentes ont été séparées à l'aide du test de Fisher. Dans les cas où l'on ne rencontrait pas d'homogénéité de la variance, une analyse sur les rangs a permis de rendre le test plus robuste pour les fins de cette étude.

1.5 Mesures des paramètres morphologiques et physiologiques

1.5.1 Période

En septembre et en octobre pour les plants entreposés en octobre et en septembre, en octobre et novembre pour les plants entreposés en novembre (figure 3), une qualification « pré-entreposage » a été effectuée sur des plants récoltés à l'intérieur du dispositif d'automne. Par la suite et comme l'indique la figure 3, les plants témoins ont fait l'objet de trois autres récoltes en janvier, mars et mai 1992 alors que les plants mis en boîte en octobre et en novembre ont été systématiquement inventoriés à quatre et à trois reprises une fois les deux entreposages complétés.

1.5.2 Choix des paramètres

Dans le but de caractériser les plants d'épinette noire et de pin gris au cours de l'automne (témoin : extérieur) et en hiver (témoin : extérieur; traitements chambre froide : octobre et novembre), les paramètres décrits au tableau 1 ont été analysés systématiquement.

Les méthodes d'évaluation des paramètres morphologiques et physiologiques sont décrites à chacun des chapitres respectifs.

Tableau 1. Description des paramètres morphologiques, physiologiques et abiotiques analysés de septembre 1991 à mai 1992

	Dispositif d'automne Septembre - Novembre 1991	Dispositif d'hiver Octobre 1991 - Mai 1992
	Témoin à l'extérieur	Trois traitements
Paramètres biotiques		
Morphologie	hauteur, masses (tiges et racines)	hauteur, masses (tiges et racines) rapidité de débourrement CCR
Physiologie	glucides solubles + amidon (tiges et racines)* contenus tissulaires (tiges et racines)* substrats (éléments assimilables)*	glucides solubles + amidon (tiges et racines)* contenus tissulaires (tiges et racines)* substrats (éléments assimilables)* stress hydrique (mai seulement)
Paramètres abiotiques	température de l'air (quatre sondes)	température de l'air (ext., chambre froide) humidité relative (chambre froide)

* L'analyse de ces paramètres fait l'objet d'un mémoire de recherche spécifique.

Chapitre II

Suivi de la température et de l'humidité au cours de l'hivernage en chambre réfrigérée et à l'extérieur

Parmi les facteurs de succès associés à l'entreposage de plants en chambre réfrigérée, la température et l'humidité relative sont des paramètres importants. Pour de longues durées d'entreposage, la plupart des auteurs s'entendent sur l'importance de maintenir les températures sous le point de congélation tout en conservant des taux élevés d'humidité (HOCKING 1972, HINESLEY 1982a, RITCHIE 1984, HEE *et al.* 1987). Ces conditions environnementales permettent en effet de réduire la demande métabolique des plants et les risques de développement de moisissures.

Afin de suivre les variations de température (à l'extérieur et en chambre réfrigérée) et de l'humidité relative (en chambre réfrigérée), un système informatisé de prises de données a été installé.

2.1 Matériel et méthode

Un appareil d'acquisition de données programmable (*Campbell Scientific*, modèle *CR10WP*), muni de sondes de température et d'humidité, a servi entre septembre 1991 et mai 1992 à un relevé périodique des températures sur chacune des sondes à intervalle de cinq minutes, avec un calcul des moyennes horaires. À partir de novembre, on a installé dans la chambre réfrigérée une sonde supplémentaire permettant de mesurer le taux d'humidité relative (H.R.) toutes les cinq minutes; le programme de l'appareil calculait ensuite la moyenne horaire de ce paramètre.

Pour les plants témoins situés à l'extérieur, deux sondes ont été disposées dans chacune des cultures (Epn et Pig), entre les mois de septembre et le début d'octobre. La première fut placée à un mètre du sol et

l'autre, sous le couvert des plants (figure 1). D'octobre 1991 à mai 1992, on a déplacé le consignateur dans l'antichambre de l'entrepôt réfrigéré; le suivi systématique des températures a été réalisé à l'aide de cinq sondes (figure 2) :

- à l'extérieur, dans le dispositif témoin :
 - numéro 1, à un mètre du sol (ext.-1 m);
 - numéro 2, sous le couvert de neige (ext.-sln);
- à l'intérieur, dans la chambre réfrigérée :
 - numéro 3, dans les boîtes entreposées en octobre (octobre);
 - numéro 4, dans les boîtes entreposées en novembre (novembre);
 - numéro 5, dans la chambre froide à 1 mètre (chambre froide).

Les moyennes horaires de température calculées par le consignateur ont été compilées de deux façons :

- l'accumulation des degrés de froid (°C) correspondant à la soustraction [T° de référence (5 °C) - T° horaire enregistrée], les résultats négatifs n'étant pas considérés (p. ex. T° horaire = -2 °C; résultat : 5 °C - (-2 °C) = 7 °C);
- l'accumulation d'une heure de froid (h) pour chaque température horaire inférieure ou égale à 5 °C.

Le choix de la température de référence (5 °C) correspond à la valeur la plus favorable à assurer l'endurcissement du plant et la levée normale de dormance (PERRY 1971). Toute valeur moyenne de température inférieure à ce degré de référence entraîne une accumulation de degrés de froid et d'heures de froid.

De la même façon, l'appareil a compilé les données d'humidité relative dans la chambre réfrigérée sur une base journalière à partir des 24 données horaires inscrites. La prise de données couvre la période de la mi-novembre 1991 à mai 1992.

2.2 Résultats

2.2.1 Accumulation des degrés de froid (°C)

Les profils d'accumulation des degrés de froid enregistrés par les cinq sondes décrites précédemment varient grandement (figure 4).

Jusqu'en décembre, les courbes d'accumulation des degrés de froid à un mètre et sous la neige ont été identiques. Par la suite, la courbe de la sonde à 1 mètre est demeurée toujours supérieure, avec une pente élevée de décembre à avril. Un début de plafonnement apparaît en avril pour ces deux courbes, avec le réchauffement des températures. À la fin du suivi en mai, l'accumulation de degrés de froid sous la neige a enregistré des valeurs deux fois moins élevées que dans l'air à 1 mètre, avec des résultats de $2,3 \times 10^4$ degrés comparativement à $4,7 \times 10^4$ degrés, reflétant ainsi l'effet protecteur de la couverture nivale.

Les profils de température pour les traitements d'octobre et de novembre, ainsi que la température de la chambre froide à un mètre (chambre froide) se rapprochent d'une droite. Comme l'indique la figure 4, l'écart qui se maintient tout au cours de la saison entre l'accumulation de degrés des traitements d'octobre et de novembre provient essentiellement du froid supplémentaire qu'ont reçu les plants entreposés en octobre (3350 degrés), soit un mois plus tôt. L'accumulation de degrés de froid dans la chambre réfrigérée présente une droite légèrement au-dessus du tracé du traitement d'octobre; on explique cette situation par le fait que l'air de la chambre réfrigérée se refroidit beaucoup plus rapidement que l'air confiné dans l'environnement de la boîte, ce qui suppose une accumulation plus importante de degrés de froid au départ. Par la suite, les droites sont demeurées parallèles. Finalement, la linéarité des courbes représentant les trois sondes placées dans l'entrepôt confirme l'homogénéité et la stabilité de la température dans la chambre réfrigérée.

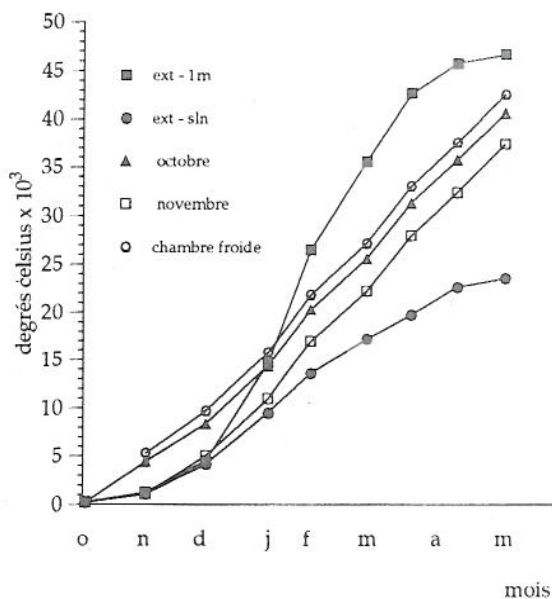


Figure 4. Profils d'accumulation des degrés de froid (°C) à l'extérieur et en chambre réfrigérée (température de référence = 5 °C).

L'accumulation de degrés de froid associée au traitement d'octobre a été supérieure à la sommation des températures de l'air à l'extérieur (ext.-1 m) jusqu'au début de janvier; par la suite, la situation s'inverse avec une accumulation de degrés nettement supérieure à l'extérieur (ext.-1 m) et ce jusqu'au début d'avril, pour se réduire progressivement avec le réchauffement de la température extérieure au printemps. Les mêmes tendances ont été observées avec le traitement de novembre; dans ce cas cependant, le point d'intersection des deux droites apparaît plus tôt en décembre. Finalement, il est intéressant de remarquer que l'accumulation de degrés de froid pour les traitements d'octobre et de novembre demeure toujours égale ou supérieure à celle de la sonde maintenue sous la neige (ext.-sln). En mai, l'écart atteignait près de 2×10^4 degrés. L'analyse des courbes de température avec une référence de 0 °C (non présentée) plutôt que 5 °C confirme que sous le couvert de neige, la température se maintenait à 0 °C à partir de la fin de janvier.

2.2.2 Accumulation des heures de froid

Les courbes d'accumulation des heures de froid à l'extérieur (ext-1 m) et sous la neige (ext-sln) se sont confondues jusqu'en mars (figure 5); par la suite, la couverture nivale permet un accroissement supérieur des heures cumulées sous la neige par comparaison au cumul d'heures à un mètre du sol, les températures de l'air se réchauffant rapidement à cette période de

l'année. À partir de mai, les deux droites plafonnent, ce qui reflète le retour à des températures de l'air et du sol supérieures à 5 °C.

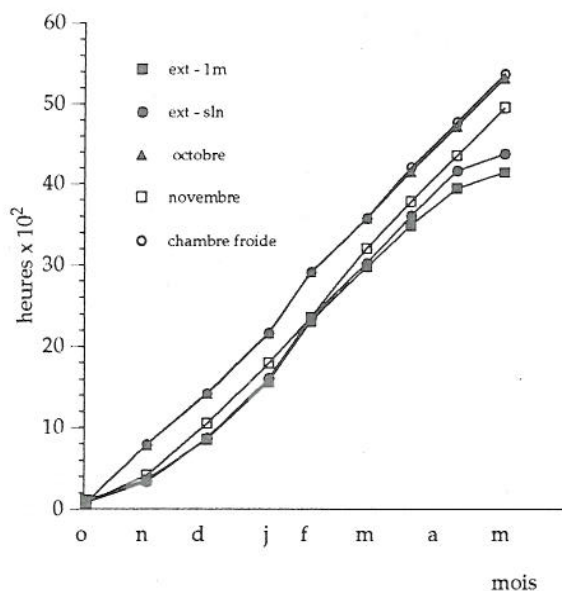


Figure 5. Profils d'accumulation des heures de froid à l'extérieur et en chambre réfrigérée (température de référence = 5 °C).

Contrairement aux résultats obtenus dans les profils d'accumulation des degrés de froid, la figure 5 précise que, dès le mois de novembre, la somme des heures de froid correspondant à des températures inférieures ou égales à 5 °C pour les traitements d'octobre et de novembre a présenté des valeurs supérieures à celles des sondes à l'extérieur (ext-1 m; ext-sln). Tout comme pour les profils des degrés de froid, la différenciation des deux droites entre les traitements d'octobre et de novembre apparaît entre les mois d'octobre et de novembre; les plants entreposés en octobre accumulent en effet près de 300 heures de froid de plus que les plants entreposés un mois plus tard. Par la suite, les deux traitements ont présenté des droites parallèles jusqu'en mai. Finalement, l'accumulation d'heures de froid dans la chambre réfrigérée a suivi exactement le profil du traitement d'octobre tout au long de l'expérience.

La linéarité des droites de sommation des heures de froid en chambre réfrigérée reflète de façon adéquate le bon fonctionnement des unités de réfrigération.

2.2.3 Humidité relative dans la chambre réfrigérée

Les conditions d'humidité relative (%) dans la chambre réfrigérée ont été adéquates de novembre 1991 à mai 1992 (figure 6). Tout au cours de cette période, le taux minimal (90 %) exigé a été respecté grâce à l'emploi d'une unité d'humidification à vapeur. À certaines périodes (mi-novembre et fin janvier), des valeurs d'humidité relative proches de la saturation (100 %) ont été enregistrées.

2.3 Discussion

Les résultats du suivi quotidien des paramètres abiotiques (température et humidité relative) sur une période de sept mois présentent des tendances caractéristiques. Tout d'abord, les températures en chambre réfrigérée ont été maintenues constantes à environ -2 °C d'octobre 1991 à mai 1992, confirmant ainsi le bon fonctionnement des unités de réfrigération. L'analyse comparative des données fournies par les sondes en chambre froide (octobre et novembre) et à l'extérieur (ext-sln) précise que les plants entreposés ont accumulé au cours de la période d'entreposage, un nombre de degrés de froid (5 °C) plus importants que les plants maintenus sous la neige. Ce constat reflète, d'une part, les écarts de température enregistrés entre les sondes des deux traitements particulièrement au début de l'automne et, d'autre part, l'effet protecteur de la couverture nivale pour les plants maintenus à l'extérieur. En heures de froid accumulées, les tendances sont semblables mais avec des écarts moins accentués; cette situation s'explique par le fait qu'une heure enregistrée (≤ 5 °C) peut impliquer une sommation supérieure de degrés de froid (p. ex. : 2 °C = 3 °C accumulé). Tout comme pour l'accumulation des degrés de froid, les différences en nombre d'heures mesurées entre les sondes à l'extérieur et la sonde en chambre froide apparaissent particulièrement d'octobre à novembre pour se maintenir ensuite jusqu'en avril. Les résultats des suivis d'heures accumulées confirment finalement qu'au moment du premier entreposage en octobre, il manquait entre 200 et 250 heures de froid aux plants pour atteindre un degré d'endurcissement jugé adéquat (MULLIN et PARKER 1976, MASON et MCKAY 1989); en novembre, la valeur de référence de 360 heures de froid accumulées (T° de référence = 5 °C) a été atteinte, indiquant normalement un endurcissement adéquat des plants à cette période de l'année. La compilation des données d'humidité relative dans la chambre réfrigérée confirme la stabilité de ce paramètre au cours des sept mois d'entreposage. La valeur « seuil » requise pour cet essai, soit 90 %, a été maintenue en tout temps dans la chambre froide.

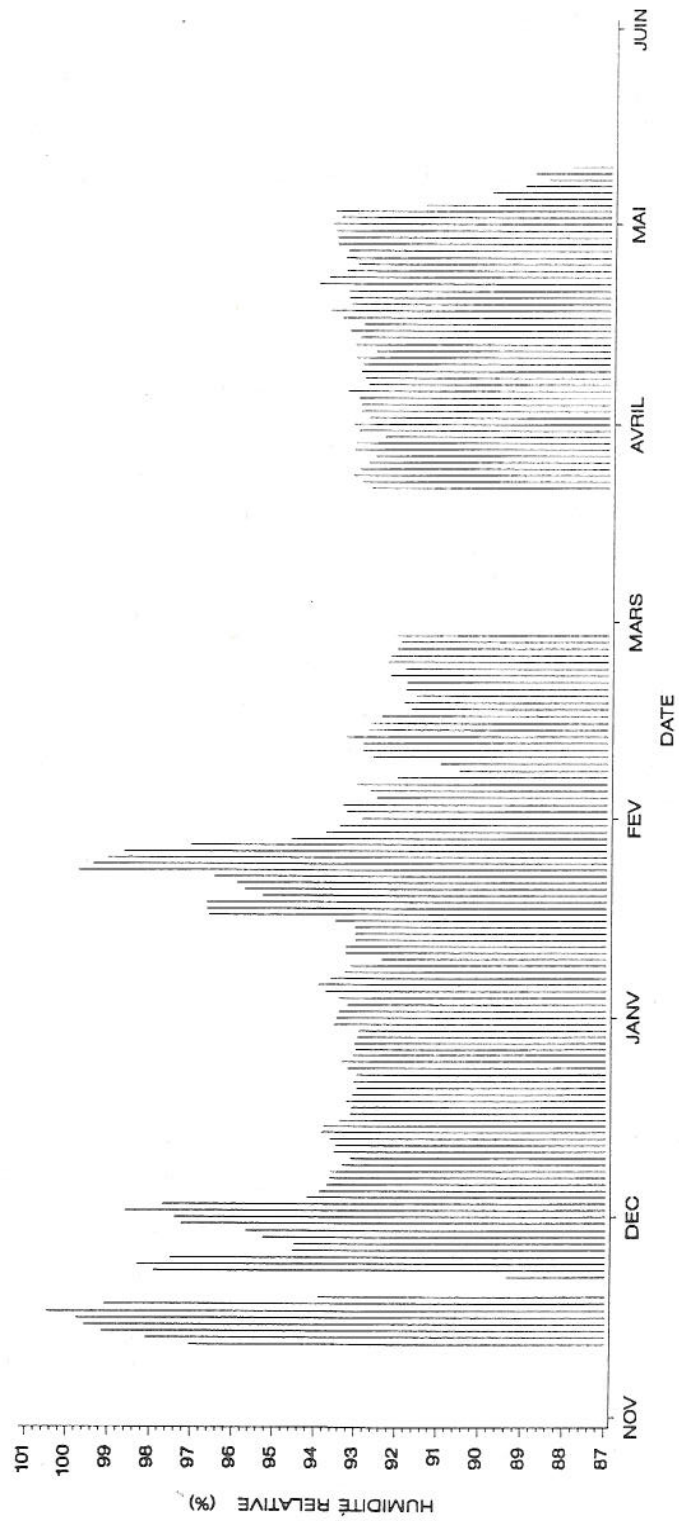


Figure 6. Variation du taux d'humidité relative (%) en chambre réfrigérée à un mètre du sol.

Chapitre III

Effets des traitements d'hivernage sur la morphologie des plants

Les conditions particulières de température, d'humidité relative et de lumière d'une chambre réfrigérée peuvent, en fonction de la sensibilité de l'essence, modifier les caractéristiques morphologiques d'un plant et plus particulièrement la masse des fractions aérienne et souterraine. Au cours d'une longue période sans lumière, les mécanismes respiratoires semblent en effet être modifiés de façon significative (VAN DEN DRIESSCHE 1979), ce qui peut induire une réduction de la masse du plant; ce processus peut être accru au cours de l'hiver si les plants sont soumis à des stress anormaux.

Afin d'étudier l'évolution morphologique des plants et d'évaluer les différences, s'il y a lieu, entre les plants des deux essences étudiées soumis aux trois traitements (témoin, octobre et novembre), nous avons évalué la hauteur et la masse des tiges et des racines de septembre 1991 à mai 1992.

3.1 Matériel et méthode

Des plants d'épinette noire et de pin gris ont, dans un premier temps, été récoltés à l'intérieur du dispositif d'automne (témoin) (48 plants : quatre blocs x 12 plants par bloc) en septembre et en octobre 1991. À partir d'octobre, les plants ont été récoltés dans chacun des traitements à l'intérieur du dispositif d'hiver (trois traitements x 48 plants). Le choix des récipients et des plants s'est fait entièrement au hasard.

Au laboratoire, les plants ont été lavés puis coupés au collet; la hauteur (cm) des plants a été mesurée individuellement. Les semis ont été par la suite

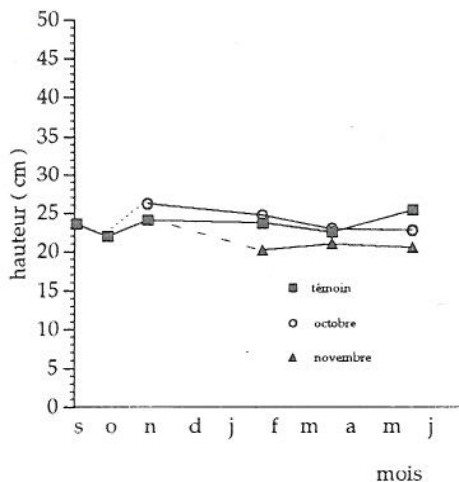
regroupés aléatoirement deux par deux (fraction tige et fraction racine séparément), séchés à l'étuve à 60 °C et pesés (six pesées par bloc et par tissu soit 24 mesures par traitement); le regroupement avait pour but de réduire le nombre de manipulations et de pesées tout en conservant une bonne précision d'analyse.

3.2 Résultats

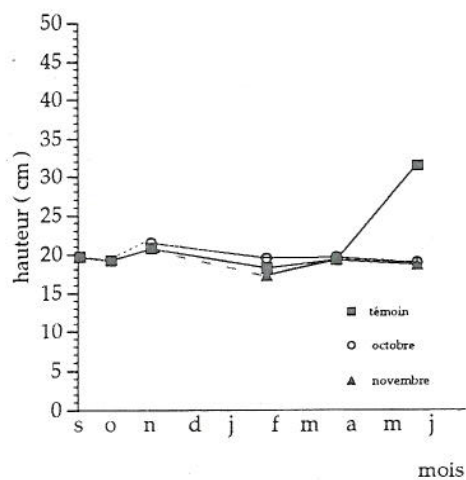
3.2.1 Hauteur des tiges

L'évolution respective des hauteurs de l'épinette noire et du pin gris présente généralement un tracé linéaire (figure 7). Chez ces deux essences, le profil des plants du traitement témoin confirme que, dès septembre, la croissance en hauteur était terminée; les bourgeons du pin gris étaient fermés alors que l'épinette noire commençait cette étape phénologique. Les données de hauteur des plants du traitement témoin récoltés en octobre et en novembre ont permis de tracer les interpolations entre octobre et novembre pour les plants entreposés en octobre (lignes pointillées fines), et novembre et janvier pour les plants entreposés en novembre (lignes pointillées larges).

Tout au cours du suivi, les plants soumis aux trois traitements ont présenté des valeurs constantes, soit 25 cm pour l'épinette noire et 20 cm pour le pin gris, reflétant une bonne homogénéité des lots. En mai finalement, les plants d'épinette noire du traitement témoin à l'extérieur ont légèrement amorcé leur débourrement alors que ceux du pin gris étaient en phase active d'élongation.

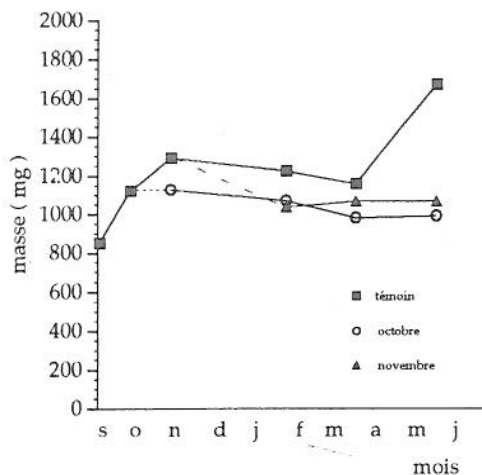


a. Épinette noire

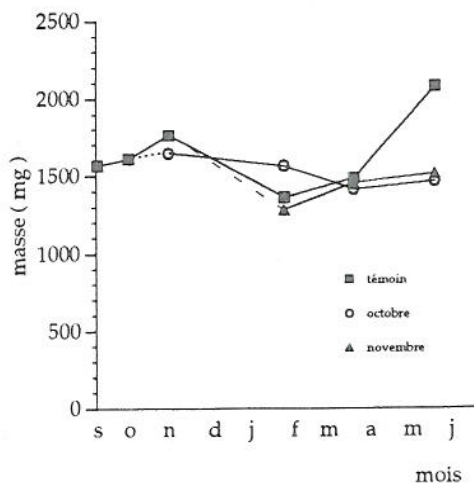


b. Pin gris

Figure 7. Effets de trois modes d'hivernage sur la hauteur de l'épinette noire et du pin gris (témoin : plants maintenus à l'extérieur; octobre : plants entreposés en octobre; novembre : plants entreposés en novembre)



a. Épinette noire



b. Pin gris

Figure 8. Effets de trois modes d'hivernage sur la masse des tiges de l'épinette noire et du pin gris (témoin : plants maintenus à l'extérieur; octobre : plants entreposés en octobre; novembre : plants entreposés en novembre)

3.2.2 Masse des tiges

La masse des tiges¹ des plants d'épinette noire du traitement témoin a poursuivi son accroissement de septembre à novembre (52 %, figure 8a), tendance moins accentuée chez le pin gris (12,5 %, figure 8b). L'arrêt de la croissance des plants des deux essences entreposées en octobre a été immédiat (lignes pointillées fines sur les figures 8a et 8b). Le tableau 2 d'analyse de la variance confirme l'absence de différences entre les masses des tiges de plants d'épinette noire des traitements témoin et d'octobre à l'inventaire de novembre. De novembre 1991 à mars 1992, la masse des tiges des plants de cette essence (témoin et d'octobre) a présenté une diminution progressive avec des baisses plus ou moins parallèles. En mars, l'analyse de la variance n'indique qu'une légère différence de masse entre les plants des traitements témoin et d'octobre. Pour sa part, la masse des tiges du traitement de novembre (figure 8a) indique peu de variations de janvier à mai et une absence de différences avec les plants du traitement témoin.

Pour ce qui est du pin gris, les tendances sont à peu près semblables au cours de la période novembre-mars pour les trois traitements, à savoir : aucune différence entre la masse des tiges des plants en début d'entreposage (novembre) et peu de différence à la fin de la période hivernale (mars, tableau 2). Il est à noter qu'en mai, l'accroissement de la masse des tiges du traitement témoin demeure important pour les deux essences.

3.2.3 Masse des racines

Comme l'indique la figure 9, la période de septembre à octobre présente une croissance significative de la masse racinaire (Epn : 79 %; Pig : 18 %, figure 9). Le profil des plants d'épinette noire du traitement témoin indique un accroissement constant de la masse racinaire de novembre à mai. L'analyse de variance pour les inventaires de novembre et de mars confirme des différences chez ces plants. Les semis du traitement d'octobre ont suivi un profil parallèle mais inférieur aux valeurs des plants du traitement témoin, situation identique à celle observée dans les tiges. À la récolte de novembre, un mois après l'entreposage des plants du traitement d'octobre, les plants d'épinette noire du traitement témoin présentent une masse moyenne des racines légèrement supérieure à celle des plants du traitement d'octobre (tableau 3). En mars cependant, aucune différence significative n'était notée entre les trois traitements.

Le profil de la masse des racines du traitement novembre s'est confondu à celui du traitement témoin de janvier à mai. En mars, l'analyse de variance a confirmé l'absence de différence entre ce traitement, d'une part, et les traitements témoin et d'octobre, d'autre part.

Le pin gris a présenté de novembre à mai des valeurs moyennes semblables pour les trois traitements : l'analyse de variance (tableau 3) ne permet de déceler aucune différence significative entre les masses racinaires des plants des trois traitements aux inventaires de novembre et de mars.

Tableau 2. Masse moyenne des tiges (mg) de plants d'épinette noire et de pin gris soumis à trois traitements d'hivernage

	Inventaire de novembre				Inventaire de mars					
	Témoin		Octobre		Témoin		Octobre		Novembre	
	\bar{x}	e.t.	\bar{x}	e.t.	\bar{x}	e.t.	\bar{x}	e.t.	\bar{x}	e.t.
Épinette noire	1293 a	301	1130 a	152	1160 a	205	979 b	121	1066 a	275
Pin gris	1762 a	317	1643 a	223	1483 a	202	1413 a	278	1455 a	338

Pour chacun des inventaires, les lettres différentes rencontrées sur une même ligne représentent des différences significatives à $\alpha = 0,05$; probabilité > 95 %

*Témoin : plants maintenus à l'extérieur; octobre : plants entreposés en octobre; novembre : plants entreposés en novembre.

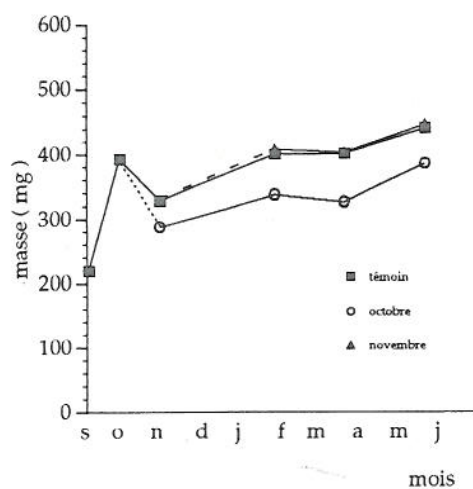
1 Dans cette étude, la masse sèche des tiges comprend aussi les aiguilles.

Tableau 3. Masse moyenne des racines (mg) des plants d'épinette noire et de pin gris soumis à trois traitements d'hivernage

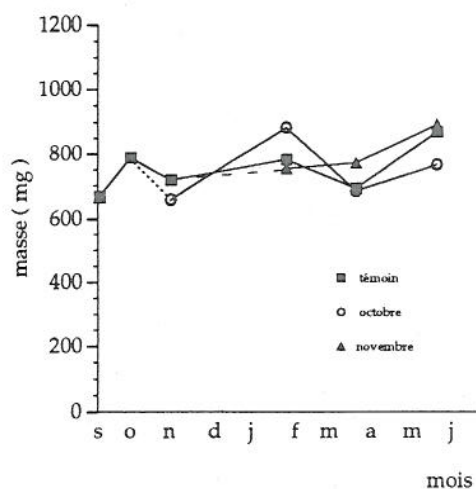
	Inventaire de novembre				Inventaire de mars					
	Témoin*		Octobre		Témoin		Octobre		Novembre	
	\bar{x}	e.t.	\bar{x}	e.t.	\bar{x}	e.t.	\bar{x}	e.t.	\bar{x}	e.t.
Épinette noire	329 a	61	288 b	60	402 a	95	327 a	80	404 a	88
Pin gris	717 a	171	658 a	136	692 a	115	683 a	155	771 a	202

Pour chacun des inventaires, les lettres différentes rencontrées sur une même ligne représentent des différences significatives à $\alpha = 0,05$; probabilité $> 95\%$

*Témoin : plants maintenus à l'extérieur; octobre : plants entreposés en octobre; novembre : plants entreposés en novembre.



a. Épinette noire



b. Pin gris

Figure 9. Effets de trois modes d'hivernage sur la masse des racines de l'épinette noire et du pin gris (témoin : plants maintenus à l'extérieur; octobre : plants entreposés en octobre; novembre : plants entreposés en novembre)

3.3 Discussion

En période de dormance, qu'ils soient maintenus sous un couvert de neige ou entreposés en chambre réfrigérée, les plants doivent soutenir une activité métabolique minimale dans leurs tissus. Ce processus est assuré par la respiration progressive de certaines réserves métaboliques du plant (glucides, acides aminés, lipides, etc.). Bien que cette constatation ait été faite entre novembre 1991 et mars 1992 pour les glucides solubles et l'amidon présents dans les tiges et les racines et qui peuvent représenter jusqu'à 30 % de la masse sèche des tissus (LAMBANY 1993), le coefficient de variation élevé de la masse moyenne des 24 groupes de plants par traitement a masqué cette tendance et reflète partiellement un échantillonnage insuffisant de plants par traitement. Comme cette variabilité était importante et de même ordre de grandeur pour les trois traitements, l'analyse de la variance a difficilement fait ressortir des différences de comportement morphologique au cours de la saison pour ces deux paramètres. Au cours d'une étude analogue sur le douglas taxifolié, CANNELL *et al.* (1990) ont fait face au même problème de variabilité de la masse des plants. Par contre, VAN DEN DRIESSCHE (1979) est parvenu à évaluer de façon précise les pertes observées sur des plants de pin rouge et

d'épinette blanche pour des périodes d'entreposage de 49 et de 107 jours : ces résultats peuvent s'expliquer par un nombre supérieur de plants inventoriés et un classement morphologique. BRADBURY et MALCOM (1978) ayant réalisé un suivi d'hiver sur l'épinette de Sitka avec un niveau élevé d'échantillonnage (six blocs x 25 plants/bloc), ont observé peu de variation dans les masses moyennes des plants. Dans le présent essai, le suivi démontre que la masse des racines de l'épinette en octobre est encore en croissance, ce qui a permis de distinguer plus facilement les traitements à l'inventaire de novembre, situation par contre absente dans le cas du pin gris. Les tiges de l'épinette noire, avec des profils globalement semblables à ceux de la portion racinaire (sauf pour le traitement novembre), n'ont présenté aucune différence significative, situation associée à la faiblesse de l'échantillonnage et à la variabilité des résultats. Alors que dans le cas de l'épinette noire, cette étude confirme la présence de différences entre les plants des traitements témoin et d'octobre (tiges en mars et racines en novembre), les résultats chez le pin gris montrent une plus grande similitude entre les trois traitements, sauf à la récolte de mai. Cette situation pourrait être associée au fait que, dès le premier entreposage, cet essence avait à peu de choses près terminé sa croissance (masse des tiges et des racines), contrairement à l'épinette noire.

Chapitre IV

Effets des traitements d'hivernage sur la rapidité de débournement et sur certains aspects morphologiques des plants

La rapidité de débournement des plants est un facteur important qui a été particulièrement analysé par les chercheurs et praticiens de la côte ouest canadienne et américaine (HINESLEY 1982b, RITCHIE *et al.* 1985, RITCHIE 1987, OMI 1990).

En effet, la plupart des études ont déjà confirmé que l'entreposage modifie de façon significative la rapidité de débournement des plants (RITCHIE 1984). Selon les conditions d'entreposage et la date d'extraction, le temps de réaction du plant au débournement peut être modifié plus ou moins fortement d'une espèce à l'autre (RITCHIE *et al.* 1985). L'accumulation de froid ainsi que l'arrêt, à l'automne, de certains phénomènes physiologiques d'endurcissement (BURR et TINUS 1988, OMI *et al.* 1990), modifient à différents degrés la levée normale de dormance des plants. De plus, les conditions abiotiques de la chambre réfrigérée et la longueur de la période d'entreposage peuvent causer certains dommages morphologiques.

Dans le but d'évaluer ces différents aspects chez l'épinette noire et le pin gris, nous avons réalisé en serre des tests de débournement au cours de la période d'entreposage et une évaluation de la qualité des plants avant le reboisement.

4.1 Matériel et méthode

Des plants d'épinette noire et de pin gris ont été récoltés en novembre 1991 et en janvier, mars et mai 1992 sous la neige (témoin-extérieur) et en chambre réfrigérée (octobre; novembre) dans le but d'évaluer, en serre, leur rapidité de débournement et certains de leurs attributs morphologiques (récolte de mai). Pour

les fins de ce suivi, on a évalué vingt-quatre plants choisis aléatoirement pour chacun des traitements et pour chacune des essences (quatre blocs x six plants par bloc).

Après chacun des prélèvements, les plants étaient empotés dans des *Multipots 67-50* placés sur quatre rangées (une rangée = 1 bloc) et acclimatés aux conditions suivantes avant leur transfert en serre :

- absence de lumière, $T^{\circ} = 19 - 20^{\circ}C$ pendant 3 jours;
- éclairage artificiel (fluorescents, 8 heures), $T^{\circ} = 19^{\circ} - 20^{\circ}C$ pendant 2 jours; (irrigation selon les besoins).

Au début d'octobre, avant le premier traitement d'entreposage (traitement octobre), une analyse a permis de mesurer la fertilité résiduelle moyenne en azote (NH_4 , NO_3 , N minéral) du mélange tourbe-vermiculite; cette donnée connue, un amendement avec un fertilisant liquide de composition 34-0-0 a permis d'ajuster le substrat de chaque cavité à une concentration de 200 ppm au début de chaque essai en serre (GINGRAS, communication personnelle).

Après l'acclimatation et l'amendement du substrat, les semis ont été installés en serre pour le test de débournement sous les conditions suivantes :

- température de nuit : $16^{\circ}C$;
- température de jour : $21^{\circ}C$;
- photopériode de 18 heures alimentée par des lampes au sodium (24 watts/m^2).

Les plants ont été irrigués au besoin avec de l'eau déminéralisée. Le test de débourrement consistait à évaluer, une fois par semaine et sur chaque plant, l'éclatement des écailles des bourgeons et l'apparition des aiguilles (bourgeon terminal ou axillaire). L'inventaire hebdomadaire s'est poursuivi jusqu'à ce que 90 % des plants de chacun des traitements aient atteint ce stade.

En mai, immédiatement avant la livraison des semis pour le reboisement, une analyse plus détaillée de l'état général de la portion foliaire du plant a été effectuée. À la fin du test de débourrement, les observations suivantes ont été colligées :

- 1 - le taux d'avortement (%) des bourgeons terminaux (pin gris et épinette noire);
- 2 - l'élongation (cm) de la pousse annuelle de l'apex terminal des plants débourrés (pin gris et épinette noire);
- 3 - le pourcentage d'aiguilles saines de deuxième année (pin gris).

On considérait un bourgeon comme avorté lorsqu'il présentait un aspect desséché et qu'il se détachait de la tige sans effort. La mesure de l'élongation a été effectuée à l'aide d'une règle (cm); finalement on a classé une aiguille comme saine, lorsqu'après une observation visuelle, aucun symptôme de dessèchement, de jaunissement accentué ou de coloration anormale des aiguilles n'apparaissait.

4.2 Résultats

4.2.1 Rapidité de débourrement des plants

Pour l'épinette noire, les plants du traitement témoin ont réduit progressivement leur temps de débourrement de 70 jours à l'automne (récolte de novembre) à 21 jours en mars (figure 10a). La récolte de mai indique un temps de débourrement nul pour ce traitement puisqu'à cette période, la croissance apicale des plants avait débuté. Par comparaison, les plants entreposés en octobre (octobre) ont présenté jusqu'à la récolte de mars un temps de débourrement inférieur aux plants du traitement témoin, cette différence s'amenuisant cependant régulièrement.

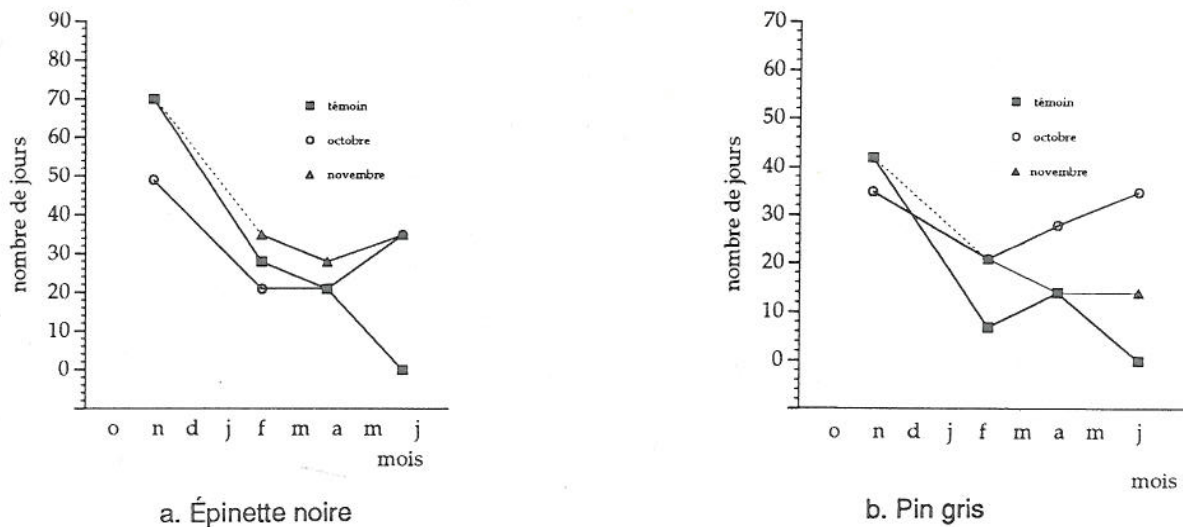


Figure 10. Effets de trois modes d'hivernage sur le temps de débourrement de l'épinette noire et du pin gris (témoin : plants maintenus à l'extérieur; octobre : plants entreposés en octobre; novembre : plants entreposés en novembre).

De mars à mai, un point de rupture apparaît : les plants entreposés en octobre ont présenté un retard de plus en plus accentué. Le retard de mars à mai a atteint 14 jours. Pour leur part, les plants du traitement de novembre présentent, dans le cas de l'épinette noire et à partir de mars, un retard par rapport aux semis des deux autres traitements. Pour les récoltes de janvier et de mars, l'écart a été de sept jours pour les plants du traitement témoin et respectivement de 14 et de 7 jours pour les plants du traitement d'octobre. En mai, le temps de débourrement des plants des traitements d'octobre et de novembre demeurait identique à 35 jours. L'interpolation (en pointillé sur le graphique) confirme dès le début de l'entreposage que les plants entreposés en novembre présentent un retard progressif par rapport aux plants du traitement témoin.

Les plants de pin gris du traitement témoin ont présenté les mêmes tendances que l'épinette noire avec cependant des temps de débourrement plus courts. La figure 10b indique que, dès janvier, la levée de dormance est atteinte pour les plants de ce traitement. Les semis entreposés en octobre ont enregistré un débourrement légèrement plus précoce que les plants témoins en novembre; cependant, par la suite, le retard s'est accumulé. Le point de rupture qui apparaissait en mars sur l'épinette noire apparaît en janvier sur le pin gris, avec un retard de plus en plus accentué jusqu'en mai. À cette date, les plants de ce traitement indiquent une rapidité de débourrement semblable à celle des plants récoltés en novembre, soit 35 jours.

Pour leur part, les plants du traitement de novembre ont présenté un profil intermédiaire entre les plants des traitements témoin et d'octobre. Tout comme pour l'épinette noire, l'interpolation confirme un retard dans le débourrement des plants entreposés en novembre par rapport aux plants témoins. En mai, ces plants ont débourré 35 jours plus hâtivement que les plants du traitement d'octobre alors qu'en mars, le temps de débourrement de ces plants était identique à celui des plants du traitement témoin. L'effet général du maintien des plants en chambre froide est donc d'accroître progressivement les temps associés au débourrement des plants, l'intensité demeurant dépendante de l'essence et de la période d'entreposage à l'automne.

4.2.2 Taux d'avortement des bourgeons terminaux

Après plus de sept mois d'entreposage, les traitements en chambre réfrigérée ont eu un effet différent sur le taux d'avortement des bourgeons terminaux des deux essences étudiées (tableau 4).

Chez l'épinette noire, aucun traitement n'a présenté de différences quant au taux d'avortement des apex terminaux malgré des écarts importants du taux d'avortement; sauf pour les plants du traitement de novembre (4,3 %), environ un plant sur cinq subit un avortement du bourgeon terminal.

Dans le cas du pin gris par contre, les plants du traitement d'octobre enregistrent des taux d'avortement bien supérieurs à ceux des traitements témoin et de novembre, avec un taux de mortalité de 44 %, comparativement à 9 % et 17 % pour les deux autres traitements.

Tableau 4. Taux d'avortement (%) des bourgeons terminaux (inventaire de mai 1992)

Essence	Traitement*		
	Témoin	Octobre	Novembre
Épinette noire	22,7 a	21,7 a	4,3 a
Pin gris	8,7 a	43,5 b	17,4 a

Pour chacune des essences, les lettres différentes rencontrées sur une même ligne représentent des différences significatives à $\alpha = 0,05$; probabilité = > 95 %

* Témoin : plants maintenus à l'extérieur; octobre : plants entreposés en octobre; novembre : plants entreposés en novembre.

Tableau 5. Élongation (cm) de la pousse terminale annuelle des plants débourrés (inventaire de mai 1992)

Essence	Traitement*					
	Témoïn		Octobre		Novembre	
	\bar{x}	e.t.	\bar{x}	e.t.	\bar{x}	e.t.
Épinette noire	8,6 b**	1,6	3,5 a*	0,6	4,3 a	0,5
Pin gris	15,6 b**	1,6	6,9 a	4,3	14,7 b	1,2

Pour chacune des essences, les lettres différentes rencontrées sur une même ligne représentent des différences significatives à $\alpha = 0,05$; probabilité > 95 %.

* Témoïn : plants maintenus à l'extérieur; octobre : plants entreposés en octobre; novembre : plants entreposés en novembre.

** Plants déjà débourrés lors de la mise en serre.

4.2.3 Élongation de la pousse terminale des plants débourrés

L'évaluation de l'élongation de la pousse terminale (tableau 5) confirme les tendances observées dans l'analyse du taux d'avortement des bourgeons terminaux, particulièrement lorsque l'on compare les deux traitements d'entreposage.

En effet, chez l'épinette noire, aucune différence dans la longueur de la pousse annuelle n'a été observée entre les traitements à la fin du test de débourement. La hauteur supérieure différente des plants témoins est attribuée au fait que ces derniers étaient déjà en croissance au début du test de débourement en serre.

Chez le pin gris, les plants entreposés en octobre ont présenté une élongation inférieure de près de 50 % aux valeurs des plants des traitements témoïn et de novembre. Tout comme pour l'épinette noire cependant, les plants du traitement témoïn étaient déjà en croissance lors de la mise en serre.

4.2.4 Pourcentage d'aiguilles saines de deuxième année

Contrairement à l'épinette noire qui a présenté, lors de l'inventaire de mai, une coloration adéquate des aiguilles de seconde année et ce, pour les trois traitements, le pin gris a subi une décoloration et un dessèchement prononcés de l'extrémité de ses aiguilles. Dans ce cas, les plants ont réagi différemment selon le traitement (tableau 6). En effet, le décompte des aiguilles affectées confirme que plus l'entreposage est précoce, plus les dommages aux aiguilles ont été importants.

Tableau 6. Pourcentage d'aiguilles saines de 2 ans (inventaire de mai 1992)

Essence	Traitement*					
	Témoïn		Octobre		Novembre	
	\bar{x}	e.t.	\bar{x}	e.t.	\bar{x}	e.t.
Épinette noire	-	-	-	-	-	-
Pin gris	92 c	8,7	36,6 a	14,5	79,5 b	19,3

Pour chacune des essences, les lettres différentes rencontrées sur une même ligne représentent des différences significatives à $\alpha = 0,05$; probabilité > 95 %.

* Témoïn : plants maintenus à l'extérieur; octobre : plants entreposés en octobre; novembre : plants entreposés en novembre.

4.3 Discussion

Les profils de débournement des plants de pin gris et d'épinette noire mesurés au cours de ce suivi ont confirmé globalement les résultats des recherches menées par MULLIN et PARKER (1976), HINESLEY (1982b), RITCHIE (1984), RITCHIE *et al.* (1985). Pratiquement, les plants maintenus à l'extérieur sous couvert de neige atteignent la levée de dormance vers le mois de janvier alors que les plants entreposés présentent un retard progressif au cours de la saison (épinette noire : traitement d'octobre et de novembre; pin gris : traitement d'octobre) ou une certaine stabilité (pin gris : traitement de novembre). En mai, près de sept mois après l'entreposage, les plants d'épinette noire mis en chambre froide (octobre et novembre) présentent une dormance plus importante que les plants du traitement témoin. Ce retard dans la capacité de débournement apparaît dès la récolte de mars (pente positive). Chez le pin gris, la différence demeure plus importante entre les traitements à partir de mars. Les plants de pin gris stockés en octobre, tout comme ceux de l'épinette noire mais de façon plus précoce (janvier), ont enregistré un retard important par rapport aux plants du traitement témoin.

En début de saison, les résultats de débournement plus rapide pour les stocks entreposés en octobre, pour une courte période de temps (pin gris) ou une plus longue période (épinette noire), confirment ceux observés par RITCHIE (1984). L'analyse des données indique partiellement que l'épinette noire, au moment de l'entreposage d'octobre, avait atteint un stade phénologique (*pre-chilling*) la rendant, en condition de serre, aussi sensible aux tests de débournement que les plants du traitement témoin et ce jusqu'en janvier. MULLIN et PARKER (1976) considèrent que l'épinette blanche est prête à entreposer lorsqu'on atteint une accumulation de 200 heures de froid (T° de référence de 10°C mesurée dans le substrat à 15 cm). Nos résultats sur le suivi de la température de l'air (référence à 8°C) indiquent une accumulation de 203 heures au moment de l'entreposage.

Chez le pin gris, les résultats confirment les tendances observées par MULLIN et PARKER (1976) à savoir que la période optimale (*pre-chilling*) pour atteindre une pré-dormance adéquate à l'automne est retardée par rapport à celle de l'épinette noire. La figure 10b précise que bien que la chambre froide aie fourni au pin gris des températures permettant d'induire un temps de débournement plus rapide chez les plants du traitement d'octobre, cette situation a été modifiée au point d'intersection des deux droites

(témoin *versus* octobre) au mois de novembre, au moment où les plants témoins (ext.) ont accumulé près de 350 heures de froid (T° référence à 5°C). Toujours chez le pin gris, MULLIN et PARKER (1976) considèrent la valeur de 375 heures comme adéquate pour assurer ultérieurement une levée de dormance normale. Bien que les plants d'épinette noire et de pin gris entreposés en novembre aient bénéficié pendant un mois des mêmes conditions que les plants du traitement témoin à l'extérieur, les figures 10a et 10b confirment que l'entreposage ne permet pas aux plants de réagir avec la même rapidité au test de débournement. Les conditions particulières de la chambre réfrigérée mais aussi d'autres facteurs extérieurs (photopériode, endurcissement, alternance gel-dégel, etc.) pourraient expliquer ces réactions différentes. En soi, la chambre réfrigérée ne satisfait donc pas totalement aux conditions permettant une levée de dormance normale. L'étude confirme que la période octobre-janvier demeure la plus importante pour assurer une levée de dormance normale et donc permettre un temps de débournement adéquat, tendances déjà observées par RITCHIE *et al.* (1985) sur l'épinette et le pin.

Bien que les plants entreposés aient présenté un retard progressif dans le processus de débournement au cours de la saison, ce n'est qu'à l'inventaire de mai que des symptômes d'avortement, de dessèchement et de croissance apicale ralentie sont apparus sur les pins gris. Des observations semblables ont été notées par RITCHIE (1983). OMI *et al.* (1991) ont fait part de débournements incomplets après 135 jours dans des lots de *Pseudotsuga* entreposés en septembre et en octobre, situation associée à l'arrêt brusque de la séquence normale et lente d'endurcissement à l'automne. Dans la présente étude, la différence de réaction observée lors de l'inventaire de mai entre les plants entreposés en octobre et ceux entreposés en novembre provient, d'une part, d'un état phénologique des plants différent au moment de l'entreposage et, d'autre part, d'une différence dans l'accumulation de froid lors de l'inventaire de mai (372 heures à une température inférieure à 5°C). Finalement, les figures 10a et 10b précisent que pour maintenir une rapidité de débournement équivalente à celle des plants du traitement témoin, les semis d'épinette noire entreposés en octobre devraient séjourner en chambre froide entre 2 500 et 3 500 heures (point approximatif d'inflexion de la courbe) alors que les plants mis en boîte en novembre pourraient atteindre le seuil de 3 500 à 4 000 heures. Au delà de cette période, les plants en chambre froide présentent un débournement de plus en plus tardif par rapport aux plants maintenus à l'extérieur. Chez le pin gris, les résultats sont exactement les mêmes, avec des points d'inflexion sur les

courbes des traitements d'octobre et de novembre apparaissant à la fin de janvier et de mars respectivement (figure 10b). Le fait d'observer un retard progressif du débourrement des plants n'est cependant pas une indication d'une qualité inférieure du plant mais plutôt d'une adaptation physiologique progressive aux conditions de la chambre froide. La conséquence d'un entreposage prolongé dans les conditions caractéristiques du Québec, où les sites de reboisement ne sont accessibles qu'en mai ou juin, est que les plants présenteront éventuellement un débourrement plus tardif par rapport aux plants maintenus tout l'hiver sous un couvert de neige.

Chapitre V

Effets des traitements d'hivernage sur la capacité de croissance des racines

La capacité de croissance des racines (CCR) est une mesure de l'expression du développement des racines d'un semis dans un environnement contrôlé. Ce paramètre, qui intègre plusieurs processus physiologiques, demeure à plusieurs égards un indicateur intéressant de la qualité et de la vitalité du plant.

Les études les plus récentes confirment que l'entreposage de plants, dans les conditions particulières d'une chambre réfrigérée et en fonction de l'essence et de la date d'entreposage, peut affecter la réaction de ce paramètre (HEE *et al.* 1987, BURR et TINUS 1988, OMI 1990).

Dans le but d'évaluer l'évolution de ce paramètre chez l'épinette noire et le pin gris, nous avons mis au point un test rigoureux et intégré de mesure de la capacité de croissance des racines et nous l'avons appliqué sur ces deux essences, à quatre dates de récolte différentes, entre novembre 1991 et mai 1992.

5.1 Matériel et méthode

5.1.1 Matériel

Des plants d'épinette noire et de pin gris ont été récoltés respectivement en novembre 1991, janvier, mars et mai 1992 sous la neige (témoin - extérieur) et en chambre réfrigérée (traitement octobre et novembre) dans le but de mesurer, en chambre de croissance contrôlée, leur capacité à produire de nouvelles racines blanches. Vingt-quatre plants choisis aléatoirement pour chacun des traitements et chacune des essences (quatre blocs x six plants par bloc) ont été retenus à chaque récolte pour les fins de ce suivi.

5.1.2 Méthode

Le test de capacité de croissance exige un repiquage dans des pots de plus fort volume. Comme la CCR est sensible aux caractéristiques et au taux d'humidité du substrat (CANNELL et TABBUSH 1990, OMI *et al.* 1990), les conditions abiotiques suivantes ont été respectées lors des quatre inventaires :

- mélange tourbe-vermiculite 66 % - 33 % (vol/vol);
- ajustement de la densité du substrat à 0,08 gr/cm³;
- installation d'un plant par pot (2,4 litres) à l'aide d'un plantoir;
- en serre, maintien d'un taux d'humidité de l'ordre de 60 % dans chaque pot par l'emploi d'une charte de référence poids/pourcentage d'humidité (masse moyenne de 24 pots choisis aléatoirement).

Afin que les plants ne subissent pas un stress de lumière et de température, nous avons élaboré une période d'acclimatation pour assurer la croissance normale des racines. Cette méthode est décrite à l'annexe 1.

La période d'acclimatation terminée, les plants ont été maintenus en serre dans des conditions constantes de température et de lumière. L'humidité, non contrôlable dans l'air, a fait l'objet d'un maintien rigoureux dans le substrat, les lampes au sodium créant des conditions importantes d'assèchement.

Le test de 18 jours dans la serre a été réalisé dans les conditions suivantes :

- photopériode : 18 heures/jour;
- éclairage : lampes au sodium (24 watts/m²);
- température de la serre : 16 °C (nuit); 24 °C (jour).

Les plants répartis sur deux tables ont été disposés aléatoirement (essences x blocs x traitements); chaque pot a été identifié individuellement pour les fins du suivi.

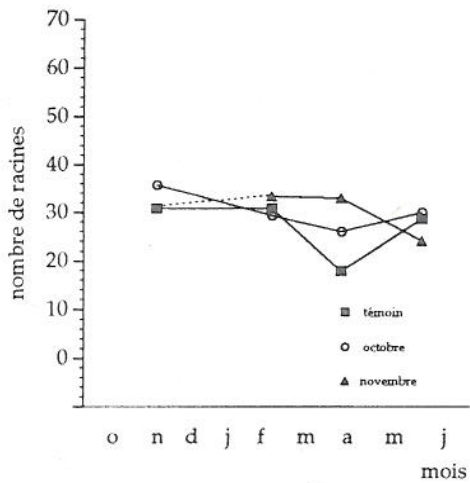
Après une croissance en serre de 18 jours, chaque plant a été soigneusement dépoté à la main. À l'aide d'un petit pinceau, la « carotte » a été dégagée de toute trace de tourbe. Par la suite, chaque nouvelle racine blanche a été excisée à l'aide d'une pince.

Le critère de décompte de la racine blanche était basé sur la longueur de la radicelle extraite : supérieure à 1 cm, elle était comptée; inférieure à 1 cm, elle était rejetée.

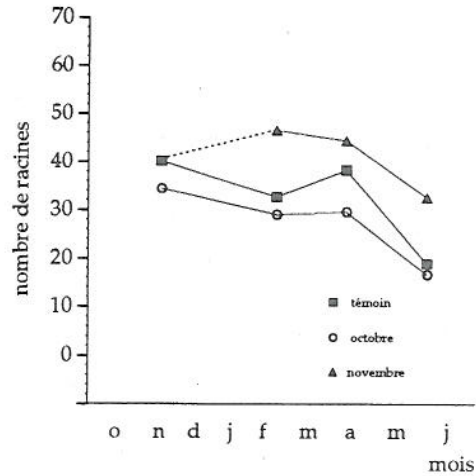
5.2 Résultats

Globalement, la CCR a présenté, pour les trois traitements, un profil plus ou moins uniforme, avec une pente légèrement négative jusqu'en mars pour l'épinette noire (figure 11a). Sauf pour la récolte à cette période, les valeurs moyennes du nombre de racines supérieures à 1 cm ont oscillé autour de 30 unités. Les résultats de l'analyse de comparaison de moyennes (tableau 7) confirment l'absence de différence entre les traitements à chaque récolte, à l'exception de l'inventaire de mars, où les valeurs des plants entreposés en novembre (33) et en octobre (26) sont demeurées supérieures à celles des plants du traitement témoin (17,9). Malgré la confirmation de la normalité des populations chez l'épinette noire, le décompte des racines blanches par date et par traitement a enregistré d'importantes variations.

Pour ce qui est du pin gris, des différences plus marquées ont été notées entre les trois traitements lors des quatre inventaires (figure 11b). En premier lieu, les écarts enregistrés au cours des quatre inventaires ont été plus importants que chez l'épinette noire, passant d'environ 47 unités (novembre, récolte de janvier) à 17 unités (octobre, récolte de mai). De plus, lorsqu'on réalise l'interpolation graphique de



a. Épinette noire



b. Pin gris

Figure 11. Effets de trois modes d'hivernage sur le nombre de racines blanches (1 cm) produites par l'épinette noire et le pin gris (témoin : plants maintenus à l'extérieur; octobre : plants entreposés en octobre; novembre : plants entreposés en novembre).

Tableau 7. Décompte des racines blanches de plus de 1 cm chez l'épinette noire et le pin gris

Essence	Date de récolte							
	Novembre		Janvier		Mars		Mai	
	\bar{x}	e.t.	\bar{x}	e.t.	\bar{x}	e.t.	\bar{x}	e.t.
Épinette noire								
Témoin*	30,9 a**	19,5	30,9 a	16,5	17,9 a	7,6	28,7 a	12,8
octobre*	35,9 a	14,9	29,4 a	11,2	26,0 b	11,4	30,1 a	16,8
novembre*	-	-	33,4 a	14,9	33,04 c	13,9	24,2 a	11,5
Pin gris								
Témoin	40,1 a	22,8	32,5 a	15,9	38,2 b	18,0	18,9 a	13,6
octobre	34,4 a	21,0	29,0 a	20,0	29,6 a	9,9	16,6 a	11,3
novembre	-	-	46,5 b	27,5	44,4 b	18,6	32,5 b	20,1

**Pour chacun des inventaires et chaque essence, les lettres différentes rencontrées sur une même colonne représentent des différences significatives à $\alpha = 0,05$; probabilité > 95 %.

* Témoin : plants maintenus à l'extérieur; octobre : plants entreposés en octobre; novembre : plants entreposés en novembre.

novembre à janvier (pointillé sur la figure 11b), le décompte de racines des plants du traitement de novembre présente une courbe convexe, avec des valeurs maximales atteintes à la fin de janvier. Les profils des deux autres traitements ont été, quant à eux, de tendance décroissante, avec des valeurs maximales atteintes en novembre. Seule la récolte de la fin de mars déroge à cette tendance. Par comparaison à l'épinette noire, où aucune différence significative n'a été observée entre les traitements au cours de la saison, les analyses sur le pin gris confirment que les plants du traitement de novembre ont constamment présenté des valeurs supérieures à celles des plants des traitements d'octobre et témoin, sauf en mars (tableau 7). De plus, contrairement à l'épinette noire, où la réaction de la CCR indique un recoupe-ment constant entre les traitements, les résultats du pin gris présentent des profils relativement parallèles tout au cours de la saison. Notons toutefois que les valeurs mesurées sur les plants du traitement d'octobre, bien qu'en tout temps inférieures à celles du traitement témoin, n'en sont pas statistiquement différentes (sauf en mars).

5.3 Discussion

À l'exception du traitement de novembre, les résultats obtenus chez ces deux essences ne présentent pas les profils souvent observés chez des essences de l'Ouest, soit des valeurs faibles à l'automne, atteignant un niveau maximal en janvier et baissant progressivement par la suite (RITCHIE *et al.* 1985). Les résultats obtenus confirment en fait que la CCR maximale est atteinte en novembre chez les deux essences étudiées pour les plants des traitements témoin et d'octobre, et en janvier pour les plants du traitement

de novembre. Bien que l'entreposage et la date de mise en boîte n'ont pas produit un effet marqué sur l'épinette noire (sauf à la récolte de mars, tableau 7), les écarts constants de la réaction de la CCR du pin gris entreposé en novembre confirment les résultats obtenus par RITCHIE *et al.* (1985) sur le pin tordu et l'épinette et par OMI *et al.* (1991) sur le pin ponderosa. Dans cet essai, les tendances indiquent qu'un entreposage trop précoce affecte négativement la CCR chez le pin gris. L'analyse détaillée confirme que l'accumulation de froid ne peut expliquer à elle seule la CCR observée. En effet, tout au cours de l'hiver, les plants entreposés en octobre ont accumulé environ 375 heures de froid de plus que les plants du traitement novembre. Malgré ce fait, la CCR indique pour ce traitement des valeurs inférieures dans le cas du pin gris et égales dans le cas de l'épinette par rapport au traitement de novembre. Les plants du traitement témoin (pin gris et épinette noire), même s'ils ont accumulé approximativement 600 heures de froid de moins que les plants des traitements d'octobre et de novembre, ont présenté un développement équivalent des racines blanches (sauf en mars).

L'accumulation de froid à l'automne ne semble donc pas le seul facteur pouvant expliquer une meilleure réaction de la CCR. La partie aérienne du plant, beaucoup plus sensible, à l'extérieur, aux variations des conditions de température et de photopériode, assure des interactions biochimiques importantes avec les tissus racinaires; cette situation n'a été que partiellement subie par les plants entreposés en octobre. Par contre, les plants mis en boîte en novembre semblent avoir profité à la fois du mois supplémentaire passé à l'extérieur et de l'accumulation de froid supérieure acquise en novembre.

Chapitre VI

Effets des traitements d'hivernage sur le potentiel hydrique des plants avant le reboisement

En fonction des conditions de température et d'humidité de la chambre réfrigérée, du mode d'emballage employé et des conditions extérieures prévalant au moment de l'entreposage, les plants peuvent subir, à divers degrés, un stress hydrique plus ou moins important. Tant la partie « racine » que la partie « feuille » demeurent sensibles à cette technique d'hivernage, pendant la période d'entreposage et plus tard sur les sites de plantation.

Bien que plusieurs techniques aient été mises au point depuis plusieurs années afin d'évaluer à un moment donné l'état hydrique de la partie aérienne d'un plant, la mesure du potentiel hydrique du xylème (*PMS*) demeure l'une des plus adaptées et des plus flexibles (SCHOLANDER *et al.* 1965). Ce paramètre intègre à la fois la tension en eau du sol (*water supply*), la résistance au déplacement de l'eau dans le plant et la demande de transpiration imposée par l'environnement (CLEARY et ZAERR 1980). Par contre, il ne fournit pas toutes les informations offertes par les courbes pression-volume.

Dans le but de préciser, dans une première étape, l'état osmotique des plants d'épinette noire et de pin gris soumis à un entreposage de longue durée, nous avons réalisé des mesures du potentiel hydrique des plants immédiatement avant leur transport vers les sites de reboisement en mai 1992.

6.1 Matériel et méthode

Des plants d'épinette noire et de pin gris ont été récoltés à l'extérieur (témoin) et en chambre réfrigérée (octobre; novembre) au mois de mai, immédiatement avant leur transport vers les sites de reboisement.

Quarante plants, choisis aléatoirement pour chacun des traitements et pour chacune des essences (quatre blocs x 10 plants par bloc), ont été retenus pour la mesure du potentiel hydrique.

Au laboratoire, après deux jours d'acclimatation (dégel progressif à 20 °C en l'absence de lumière), dix plants d'épinette noire et de pin gris choisis par bloc et par traitement ont été placés dans des sacs de plastique. Immédiatement avant la prise de mesure, la tige de chaque plant a été coupée au collet. À cet endroit, on enlève délicatement l'écorce à l'aide d'un scalpel; la portion dégagée est ensuite insérée dans le trou d'un bouchon de caoutchouc et le tout, fixé au couvercle de la chambre. Après la fermeture du système, on introduit dans la chambre de l'azote sous pression et à débit constant jusqu'à l'apparition de la sève (qu'on peut observer à l'aide d'une loupe 10 X) à l'extrémité de la tige coupée. Ce point de rupture atteint, on mesure en bars, puis on convertit en méga-pascals (MPa ; 1 MPa = 10,0 bar). Ces données sont ensuite compilées par essence et par traitement.

6.2 Résultats

Les résultats présentent de faibles valeurs de stress hydrique, les écarts ne dépassant pas 0,3 MPa (3 bars) et 0,05 MPa (0,5 bars) entre les deux traitements pour l'épinette noire et le pin gris respectivement (tableau 8). Malgré cela, les données indiquent des comportements différents des semis entre les traitements.

Chez l'épinette noire, des écarts de près de 80 % sont apparus entre les plants des traitements d'octobre et de novembre, ces derniers présentant un niveau de stress hydrique plus élevé. Chez le pin gris

Tableau 8. Potentiel hydrique moyen (MPa) chez l'épinette noire et le pin gris soumis à trois traitements d'hivernage

Essence	Traitements*		
	Témoin**	Octobre	Novembre
Epn	(- 0,65 b)	- 0,36 a	- 0,65 b
Pig	(- 0,26 b)	- 0,29 ab	- 0,34 a

Pour chacune des essences, les lettres différentes rencontrées sur une même ligne représentent des différences significatives à $\alpha = 0,05$; probabilité > 95 %.

* Témoin : plants maintenus à l'extérieur; octobre : plants entreposés en octobre; novembre : plants entreposés en novembre.

** Les plants du traitement témoin étant soumis aux variations journalières du potentiel hydrique et ayant atteint un stade phénologique (débourrement) différent de ceux des plants entreposés, ces valeurs ne sont présentées qu'à titre indicatif.

par contre, la différence n'a pas dépassé 20 % entre les deux traitements en chambre réfrigérée; le tableau 8 confirme l'absence de différence significative entre les plants entreposés aux deux dates de récolte.

6.3 Discussion

La mesure du potentiel hydrique, réalisée dans le cadre de cet essai sur l'entreposage, n'avait pour but principal qu'une évaluation ponctuelle et relative de l'état hydrique des plants. Comme ce paramètre présente généralement un profil évolutif spécifique dès la mise en terre (BLAKE 1983, OMI 1990), les valeurs enregistrées ne correspondent par nécessairement au stress maximal subi par les plants. De plus, on ne peut comparer des plants se situant à des stades phénologiques différents (témoin en phase de débourrement, plants entreposés en phase de dormance). Malgré tout, on peut comparer les plants entreposés en octobre et en novembre. À ce chapitre, CLEARY et ZAERR (1980) précisent que, pour le douglas taxifolié, des valeurs ne dépassant pas 0,8 MPa (8 bars) indiquent un faible degré de stress chez les plants : ce bilan hydrique induit peu de restrictions sur le plan de la croissance morphologique. Comme la valeur la plus élevée enregistrée par l'épinette noire était inférieure de 0,15 MPa par rapport à ce seuil de référence, il est possible de conclure que ces plants n'étaient pas en état de stress au moment de la récolte. Ce bilan reflète donc l'application de conditions adéquates de conservation des plants dans la chambre froide. Des températures constantes (-2 °C) et un taux d'humidité relatif supérieur à 90 % semblent assurer une qualité adéquate des plants même après huit mois d'entreposage.

Bien que significatives, les légères différences mesurées entre les plants d'épinette noire des traitements d'octobre et de novembre, ne vont pas dans le sens des résultats obtenus par OMI *et al.* (1990); dans son étude, cet auteur confirme qu'un entreposage trop hâtif (octobre) du pin ponderosa augmente le niveau de stress hydrique du plant sur une période de 31 jours; l'essence semble donc un facteur prépondérant de variation. Par contre, au cours de cette même étude, l'auteur observe une réaction hydrique semblable des plants entreposés en novembre par rapport aux plants du traitement témoin (à l'extérieur), ce qui confirme les tendances observées sur l'épinette noire au cours de notre essai.

Dans cette expérience, la mesure de la PMS à une date spécifique et précédant l'induction de l'activité de développement des racines, ne permet pas de prédire le comportement de ce paramètre au cours de la période suivant le reboisement. OMI (1990) confirme le lien entre l'apparition de nouvelles racines et la réduction de la résistance au flux de l'eau dans les plants. BLAKE (1983) précise, sur une période de 88 jours de suivi, que le potentiel en eau des plants entreposés demeure plus faible (moins négatif) que celui des plants maintenus à l'extérieur, situation associée à l'état plus élevé de dormance des plants, à une transpiration inférieure et à l'absence d'une réduction de l'activité stomatale après la plantation. Un travail important pourrait être réalisé à ce chapitre et, plus particulièrement, dans le cadre de l'entreposage réfrigéré de plants de fortes dimensions.

Conclusion et recommandations

Cet essai sur l'entreposage prolongé de plants d'épinette noire et de pin gris avait pour but de préciser la réaction de certains paramètres morphologiques et physiologiques en fonction de la période de l'année et de deux périodes d'entreposage (octobre et novembre).

L'étude a permis de démontrer que lorsque certaines conditions sont respectées, l'entreposage prolongé assure la livraison de plants de qualité comparable à celle de semis hivernés sous la neige. Malgré cela et comme l'ont déjà démontré d'autres études, cette technique produit des effets sur le débournement et la qualité des tiges et du bourgeon terminal.

Le suivi des accumulations de degrés (5 °C) et d'heures de froid aura permis de démontrer l'effet tampon de la couverture nivale sur les plants maintenus à l'extérieur, le corollaire étant que les plants entreposés ont accumulé beaucoup plus de froid au cours de l'entreposage. Ce constat explique, partiellement du moins, l'apparition d'une dormance de plus en plus importante au printemps chez les deux essences étudiées, par rapport au témoin laissé dans le champ, l'absence de photopériode et de radiations étant d'autres facteurs importants que notre étude n'a pas mesurés. Ce retard, qui pourrait à première vue sembler un inconvénient, offre des avantages intéressants par rapport aux plants déjà en phase « active » lors de leur mise en terre, soit une demande métabolique moins élevée, une phase de débournement non induite, une capacité de commencer plus tôt le développement des racines, etc. Au cours de cet essai, la partie aérienne des plants, plus particulièrement du pin gris, est demeurée la plus sensible aux traitements. La vitesse de débournement, le taux d'avortement des bourgeons et l'état général des aiguilles ont permis de démontrer la sensibilité des plants de pin gris entreposés en octobre. De plus, dans l'éventualité d'une qualification (classement) des plants entreposés, cette

étude confirme la nécessité de la rapprocher le plus près possible de la date de livraison, l'inventaire de mars n'ayant démontré aucun symptôme de dommage sur la partie foliaire des plants de pin gris.

Au cours de cet essai, l'évaluation ponctuelle de l'état hydrique des plants a permis de mesurer l'effet des conditions de température et d'humidité de la chambre réfrigérée sur l'état hydrique du semis. Comme les recherches scientifiques confirment l'importance de ce paramètre lors des premières semaines qui suivent le reboisement, il serait pertinent de réaliser un essai permettant de tracer le profil hydrique comparatif de plants entreposés par rapport aux plants témoins (extérieur) sur une période de quatre à six semaines en utilisant la technique des courbes pression-volume. De façon plus spécifique et comme l'essai a été réalisé sur de petits plants (produits en récipients *Multipot 67-50*) dont la surface foliaire présente un moindre problème en période de sécheresse après le reboisement, le travail devrait maintenant s'orienter vers des productions de plants de fortes dimensions. En effet, leur gabarit morphologique (surface foliaire plus particulièrement) laisse supposer, en première hypothèse, certains problèmes d'équilibre hydrique, en relation avec les différentes phases phénologiques du plant et, plus particulièrement, le développement des racines.

Dans cette expérience et parallèlement à l'évaluation de paramètres morphologiques spécifiques, certains mécanismes internes du plant ont été étudiés. Les glucides solubles et l'amidon ont été mesurés respectivement dans les tiges et les racines de plants soumis aux trois traitements (témoin, octobre et novembre). Ces résultats sont présentés dans un autre mémoire de recherche, complétant ainsi ce dossier sur l'entreposage en chambre froide de l'épinette noire et du pin gris.

Cet essai a traité spécifiquement de l'entreposage de l'épinette noire et du pin gris (produits en *Multipot 67-50*), dans des boîtes de carton ciré.

Dans l'éventualité où l'entreposage offrira aux cours des prochaines années des avantages opérationnels importants et la livraison d'un produit de qualité, certaines recommandations doivent être considérées afin d'assurer le succès de cette opération.

En tout premier lieu, les résultats démontrent que des températures oscillant autour de -2°C et une humidité relative supérieure à 90 % demeurent des conditions adéquates pour assurer le maintien de la qualité du plant. Deuxièmement, le mode d'emballage employé au cours de cet essai, c'est-à-dire la boîte de carton ciré et le sac de polyéthylène ensachant les racines du plant, confirme son efficacité sur le plan de la qualité du semis avant le reboisement. La date d'extraction et de mise en boîte demeure, en fonction de l'essence entreposée, le facteur le plus sensible. Pour l'épinette noire, 200 heures de froid (T° de réf-

rence = 5°C) ou 300 degrés de froid accumulés, semblent suffisants pour permettre au plant de maintenir un potentiel de développement morphologique et une qualité physiologique adéquats même après sept mois d'entreposage. Chez le pin gris, essence plus sensible, 400 heures de froid accumulées (T° de référence = 5°C) ou environ 1 200 degrés de froid semblent des seuils minimaux à respecter afin d'éviter des dommages à la partie aérienne du plant. Des études plus poussées devraient cependant être entreprises afin de raffiner des modèles plus ajustés à chaque essence.

Comme la chambre réfrigérée demeure un milieu asséchant malgré le maintien d'un taux d'humidité élevé, on recommande, si les conditions climatiques le permettent, de saturer les cavités avant l'extraction. Au cours de cette opération, l'application d'un fongicide permettrait de réduire les risques d'infection, plus particulièrement dans la première phase de l'entreposage, au moment où les températures n'ont pas atteint le point de congélation, et au printemps, au moment de la livraison des plants.

Bibliographie

- BLAKE, T.J., 1983. *Transplanting shock in white spruce; effect of cold-storage and root pruning on water relations and stomatal conditions*. *Physiol. Plant.* 57 : 210-216.
- BRADBURY, I.K. et D.C. MALCOM, 1978. *Dry matter accumulation by Picea sitchensis seedlings during winter*. *Can. J. for. Res.* 8 : 207-213.
- BURR, K.E. et R.W. TINUS, 1988. *Effects of the timing of cold storage on cold hardiness and root growth potential of Douglas-fir*. Document présenté au Combined Western Forest Nursery Council, Forest Nursery Association of British Columbia, and Intermountain Forest Nursery Association meeting, Vernon, British Columbia, 8-11 août : 133-138.
- CANNELL, M.G.R., P.M. TABBUSH *et al.*, 1990. *Sitka spruce and Douglas fir seedlings in the nursery and in cold storage : root growth potential, carbohydrate content, dormancy, frost hardiness and mitotic index*. *Forestry (Oxford)* 63(1) : 9-27.
- CLEARY, B. et J. ZAERR, 1980. *Guidelines for measuring plant moisture stress with a pressure chamber*. PMS Instruments Co., Corvallis, Oregon. 21 p.
- CRAM, W.H. et C.H. LINDQUIST, 1981. *Overwinter and spring storage of pine and spruce seedlings*. *Forestry Chronicle* : 162-164.
- GARBER, M.P. et J.G. MEXAL, 1980. *Lift and storage practices : their impact on successful establishment of southern pine plantations*. *New Zealand Journal of Forest Science* 10 : 72-82.
- HEE, S.M. *et al.*, 1987. *Freezer storage practices at Weyerhaeuser Nurseries*. *Tree Planters' Notes* 38(3) : 7-10.

- HINESLEY, L.E., 1982a. *Cold storage of Fraser fir seedlings*. Forest Science 28(4) : 772-776.
- HINESLEY, L.E., 1982b. *Dormancy in Abies fraseri seedlings at the end of the first growth cycle*. Can. J. For. Res. 12 : 374-382.
- HOCKING, D. et B. WARD, 1972. *Late lifting and freezing in plastic bags improve white spruce survival after storage*. Tree Planters' Notes 23(3) : 24-26.
- HOCKING, D., 1972. *Nursery practices in cold storage of conifer seedlings in Canada and the United States : a survey*. Tree Planters' Note 23(2) : 26-29.
- LAMBANY, G., 1994. *Évolution des glucides dans les tissus de plants soumis à un entreposage de longue durée*. Mémoire de recherche forestière n° 112 (à paraître).
- MASON, W.L. et H. MCKAY, 1989. *Evaluating the quality of Sitka spruce planting stock before and after cold storage*. Combined Proceedings, International Plant Propagators' Society 39 : 234-242.
- MAXWELL, J.B., 1986. *Cold storage of conifer seedlings in British Columbia*. British Columbia Ministry of Forests Survey, B.C. : 52-58.
- MULLIN, R.E. et J.D. PARKER, 1976. *Provisional guidelines for fall lifting for frozen overwinter storage of nursery stock*. For. Chron. 52(1) : 22-25.
- MULLIN, R.E. et R.E. HUTCHISON, 1978. *Fall lifting dates, overwinter storage, and white pine seedling performance*. For. Chron. 9 : 261-264.
- OMI, S.K., 1990. *Effects of fall lifting and long term freezer storage on Ponderosa pine seedlings physiology and quality*. Thèse de doctorat, Oregon State University. 205 p.
- OMI, S.K., B. YODER et R. ROSE, 1990. *Fall lifting and long term freezer storage of ponderosa pine seedlings : effects on post-storage leaf water potential, stomatal conductance, and root growth potential*. Tree Physiology 8 : 315-325.
- OMI, S.K., R. ROSE et T.E. SABIN, 1991. *Effectiveness of freezer storage in fulfilling the chilling requirement of fall-lifted ponderosa pine seedlings*. New Forests 5 : 307-326.
- PERRY, T.O., 1971. *Dormancy of trees in winter*. Science 171 : 29-36.
- RITCHIE, G.A., 1984. *Effect of freezer storage on bud dormancy release in Douglas-fir seedlings*. Can. J. For. Res. 14 : 186-190.
- RITCHIE, G.A., 1987. *Some effects of cold storage on seedling physiology*. Tree Planters' Notes, Spring : 11-15.
- RITCHIE, G.A., J.R. RODEN et N. KLEYN, 1985. *Physiological quality of lodgepole pine and interior spruce seedlings : effects of lift date and duration of freezer storage*. Can. J. For. Res. 15 : 636-645.
- SCHOLANDER, P.F. et al., 1965. *Sap pressure in vascular plants*. Science 148 : 339-346.
- SCHROEDER, W.R., 1984. *Storage of nursery stock*. PFRA Shelterbelt Centre, Indian Head, Saskatchewan : 59-64.
- STEIN, A., 1990. *Entreposage des plants en récipients à l'automne*. Gouv. du Québec, ministère de l'Énergie et des Ress., Service de la régénération forestière. 35 p.
- VAN DEN DRIESSCHE, R., 1979. *Respiration rate of cold-storage nursery stock*. Can. J. For. Res. 9 : 15-18.

Annexe

Acclimatation des plants pour les tests de capacité de croissance racinaire

A. En pépinière :

- Extraction des plants à l'extérieur (témoin) ou sortie des plants de la chambre réfrigérée (plants entreposés).
- Maintien des plants en récipient ou en boîte à la température de la pièce, pendant 24 heures.
- Empotage individuel des plants (pots *Zam* 2,4 l).

B. En serre :

- Installation des pots au sol et recouvrement à l'aide d'une toile noire opaque; $T^{\circ} = 10^{\circ}\text{C}$ (24 heures).
- Installation des pots sur les tables :
 - 5 heures de lumière naturelle, $T^{\circ} = 12^{\circ}\text{C}$;
 - 3 heures de lumière naturelle, $T^{\circ} = 16^{\circ}\text{C}$;
 - 16 heures sans lumière, $T^{\circ} = 14^{\circ}\text{C}$.
- Modifications des conditions de température de la journée précédente :
 - 4 heures de lumière naturelle, $T^{\circ} = 18^{\circ}\text{C}$;
 - 4 heures de lumière naturelle, $T^{\circ} = 24^{\circ}\text{C}$;
 - 16 heures sans lumière, $T^{\circ} = 18^{\circ}\text{C}$.

Au cinquième jour, l'essai d'une durée de 18 jours débutait (Les conditions sont décrites au chapitre V).

Pour rencontrer les objectifs de son programme de reboisement, le ministère des Ressources naturelles doit assurer, tous les printemps, la livraison de millions de plants. Comme cette opération engendre des problèmes spécifiques dans certaines régions, on privilégie l'entreposage de longue durée en chambre réfrigérée, à la fin de l'automne. Les conditions de température et d'humidité de l'entrepôt, la période d'extraction et le mode d'emballage ont cependant une incidence sur la qualité du plant. Le Ministère a donc entrepris des travaux de recherche et de développement visant à caractériser le développement morphologique des semis hivernés en chambre froide en vue d'optimiser cette technique et ultimement d'améliorer la qualité des plants.

