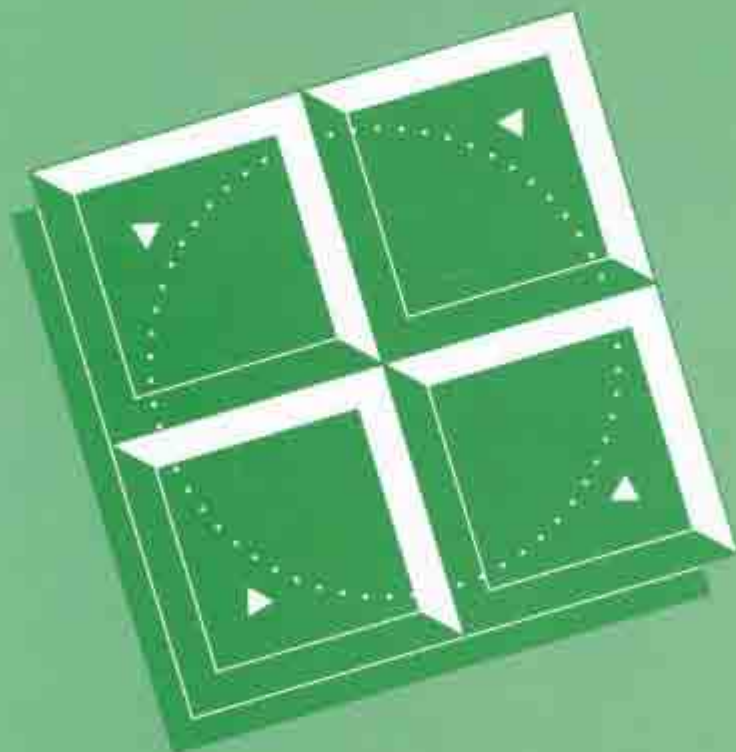


Mémoire de recherche forestière n° 124

Variation et choix des provenances de pin sylvestre en plantation sur plusieurs sites au Québec

par R. BEAUDOIN

Ce mémoire contient un errata
à la page iv du document



Québec 

Roger BEAUDOIN est ingénieur forestier, diplômé de l'Université Laval depuis 1970. En 1973, ce même établissement lui décernait le titre de maître ès sciences (écologie forestière). À l'emploi du ministère des Terres et Forêts d'alors (aujourd'hui le MRN) à partir de 1973, il est affecté à la Recherche forestière à titre de chargé de recherches en amélioration génétique des pins des sections *sylvestris* et *banksiana* et il est responsable depuis 1985 du réseau d'arboretums du MRN et des secteurs spéciaux de R-D en amélioration génétique des arbres.



Chacun des *Mémoires*, des *Notes* 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 des 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 :

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

Variation et choix des provenances de pin sylvestre en plantation sur plusieurs sites au Québec



Différences dans la branchaison entre la provenance n° 1808 (Hongrie) à gauche et la provenance n° 1807 (Hongrie) à droite, à Mastigouche, 12 ans après la plantation.

Variation et choix des provenances de pin sylvestre en plantation sur plusieurs sites au Québec

par

Roger BEAUDOIN, ing.f., M.Sc.

Mémoire de recherche forestière n° 124

Gouvernement du Québec
Ministère des Ressources naturelles
Direction de la recherche forestière
1996

Ce texte est un rapport partiel du projet de recherche n° 0890-1260 : « Amélioration génétique du pin sylvestre ».

BEAUDOIN, R., 1996. *Variation et choix des provenances de pin sylvestre en plantation sur plusieurs sites au Québec*. Gouv. du Québec, min. des Ress. nat., Dir. de la rech. for. Mémoire de recherche forestière n° 124.

ERRATA

Page	Colonne	Paragraphe	Ligne	
6	(Tableau 1)		5	1793... <i>pannonica</i>
9	1	1	2	... entre 500 et 1000 mm par
35	1	1	3	Chibougamau, en moyenne de 27 % à Coulonge, Labrieville et Gaspé et en moyenne...
35	2	3	14	terminale variait de 0 à 3 %.
38	(Figure 23, dernière ligne de la légende)			... de chaque provenance
39	2	4	7	À Matapédia, Gaspé , Dablon et

RN96-3075

ISBN 2-550-30418-7

ISSN 1183-3912

Dépôt légal 1996

Bibliothèque nationale du Québec

Bibliothèque nationale du Canada

© 1996 Gouvernement du Québec

Remerciements

L'auteur désire remercier sincèrement ses confrères de travail, MM. Gilles Vallée et Ante Stipanovic, qui ont fait les démarches nécessaires à l'acquisition des lots de graines, à la planification et à l'établissement des tests de provenances ; les techniciens forestiers du Service de l'amélioration des arbres MM. Simon Barrette, Gaétan Numainville, Hervé Gagnon, Gaston Lapointe et Pierre Lortie qui ont procédé à l'implantation des tests de provenances et à la prise des données ; M. Guido Gagnon et Mme Johanne Claveau, techniciens forestiers, qui ont participé à la prise des données de 10 ans ; Mme Rachelle Girard, étudiante en statistique, et Mme Carmelle Beaulieu, statisticienne de la Direction de la recherche forestière du ministère des Ressources naturelles, qui ont effectué le traitement des données et participé à l'interprétation des résultats des tests statistiques ; le technicien en arts graphiques M. Lévis Beaulieu, pour la préparation des figures ; MM. Fabien Caron, Gilles Vallée, Yves Lamontagne, André Rainville et Stéphan Mercier, de la Direction de la recherche forestière, et M. Gaétan Daoust, du Service canadien des forêts, qui ont réalisé la révision du texte (M. Caron a aussi réalisé l'édition et la publication de ce mémoire) ; M. Yvan Auger, responsable du laboratoire de la Direction de la recherche forestière, pour la réalisation des analyses de sol ; M. Denis Ferland, auxiliaire en informatique, qui nous a assisté dans l'établissement des statistiques descriptives ; Mme Mariette Fournier pour la dactylographie. Finalement, nous tenons à remercier tous ceux et celles qui, de près ou de loin, ont permis la réalisation de ce travail.

Résumé

Un nombre variable de 31 à 63 provenances de pin sylvestre a été évalué dans 12 tests sur le terrain 10 ans après la plantation. Quelques provenances du Québec, issues de plantations, sont incluses dans les tests comme témoins. Le taux de survie et la hauteur moyenne des provenances varient de façon statistiquement significative entre les provenances et entre les sites. Les meilleures provenances pour la hauteur sont d'Europe centrale et du Québec. Les provenances du nord-est de la Pologne et la provenance d'Ukraine ont une plasticité intéressante et performant bien sur l'ensemble des sites. Parmi les provenances du Québec testées dans cette étude et utilisées comme sources de graines pour le reboisement, la meilleure, celle de Berthier (provenance n° 1798) a une hauteur moyenne supérieure de 24 % à celle de Grandes-Piles (provenance n° 1791). Toutes les provenances sont affectées de la même façon par la perte de dominance du bourgeon apical. Cette perte de dominance est la cause principale de la formation de fourches, de grosses branches et de la flexuosité des tiges ; les sites les plus atteints sont ceux de La Patrie, Lotbinière et Verchères. Une étude d'arbres sur 25 provenances montre qu'il y a une différence significative entre ces provenances pour l'angle d'insertion des branches au tronc mais non pour le diamètre des branches. La coloration automnale des aiguilles varie significativement entre les provenances et la coloration la plus bleuâtre est apparue sur les provenances du sud et du centre de la France, d'Angleterre et de Turquie et sur certaines provenances de Hongrie.

Mots-clés : pin sylvestre, *Pinus sylvestris*, test de provenances, survie, hauteur, perte de dominance, fourches, diamètre des branches, coloration des aiguilles.

Abstract

Variation and choice of scots pine provenances in plantation on several Québec sites. Field tests of from 31 to 63 provenances of scots pine were conducted in each of 12 locations and evaluated 10 years after planting. Some provenances from Québec plantations are included in the tests as controls. Survival and mean height differences between provenances and between the tests sites were statistically significant. The best provenances for height are from Central Europe and from Québec. Provenances from north-eastern Poland and Ukraine showed good plasticity and have a good growth on all sites. Among the Québec sources used for reforestation and also used in this study, the best one, Berthier (provenance no. 1798), had a mean height 24 % larger than that of Grandes-Piles (provenance no. 1791). All provenances were affected similarly by lack of apical dominance. Forks, large branches and stem flexuosity were mainly the result of a lack of apical bud dominance ; La Patrie, Lotbinière and Verchères were the most severely affected test sites. Stem analyses of 25 provenances suggest that there is a significant difference between these provenances for branch angle but not for branch diameter. The autumnal foliage color varies significantly between the provenances and the most bluish coloration occurred in provenances from southern and central France, England, Turkey and some provenances from Hungary.

Key words : scots pine, *Pinus sylvestris*, provenance test, survival, height, lack of apical dominance, forks, diameter of branches, foliage coloration.

Table des matières

Remerciements	v
Résumé	vi
<i>Abstract</i>	vi
Liste des tableaux	xi
Liste des figures	xiii
Introduction	1
 Chapitre premier	
Matériel	3
1.1 Situation géographique, altitude et variété géographique des provenances	3
1.2 Description sommaire des peuplements échantillonnés	3
1.3 Caractéristiques climatiques du lieu d'origine des provenances	7
 Chapitre deux	
Méthodes	11
2.1 Culture en pépinière	11
2.2 Localisation et caractéristiques climatiques et écologiques des sites d'expérience	11
2.3 Dispositifs expérimentaux	11
2.4 Relevés phénotypiques	13
2.5 Analyse des données	13

Chapitre trois

Résultats et discussion	17
3.1 Taux de survie	17
3.1.1 Variation entre les sites	17
3.1.2 Variation entre les provenances	17
3.2 Hauteur	23
3.2.1 Variation entre les sites	23
3.2.2 Choix des meilleures provenances	23
3.2.3 Croissance en hauteur des meilleures provenances d'Europe comparée avec celle de provenances témoins du Québec	30
3.3 Caractéristiques de forme et de branchaison	30
3.3.1 Fourches, flèches et tiges multiples	30
3.3.2 Flexuosité de la tige	37
3.3.3 Angle des branches	39
3.3.4 Diamètre des branches	39
3.4 Coloration des aiguilles	41
Conclusion	43
Bibliographie	45
Annexe I	49
Annexe II	59

Liste des tableaux

Tableau 1	Localisation, altitude et variété géographique des provenances de pin sylvestre	6
Tableau 2	Localisation, altitude et caractéristiques écologiques des sites d'expérience	14
Tableau 3	Données climatiques des sites d'expérience	15
Tableau 4	Situation géographique et taux de survie des provenances à 10 ans sur chaque site d'expérience	19
Tableau 5	Situation géographique des provenances et hauteur à 10 ans sur chaque site d'expérience (en annexe)	(49)
Tableau 6	Application du test de Friedman sur la hauteur moyenne à 10 ans des provenances	24
Tableau 7	Meilleures provenances retenues à chaque site	24
Tableau 8	Perte de dominance et pourcentage d'arbres avec fourches, flèches et tiges multiples à chaque site d'expérience	34
Tableau 9	Pourcentage d'arbres affectés par les insectes, les maladies et les rongeurs sur chaque site à 10 ans	36
Tableau 10	Perte de dominance et flexuosité des tiges sur chaque site d'expérience	36
Tableau 11	Perte de dominance et formation de grosses branches à 12 ans sur chaque site d'expérience	41

Liste des figures

Frontispice	Différences dans la branchaison entre la provenance n° 1808 (Hongrie) à gauche et la provenance n° 1807 (Hongrie) à droite, à Mastigouche, 12 ans après la plantation	ii
Figure 1	Localisation des provenances de pin sylvestre dans l'aire de distribution de l'espèce	4
Figure 2	Répartition des provenances de pin sylvestre en fonction de la distribution géographique approximative des variétés	5
Figure 3	Répartition géographique approximative des provenances de pin sylvestre en fonction des climats	8
Figure 4	Localisation des sites d'expérience	12
Figure 5	Mortalité à chaque site d'expérience	18
Figure 6	Taux de survie des provenances à 10 ans (%) à Chibougamau	22
Figure 7	Test de Waller-Duncan sur la hauteur moyenne des provenances à 10 ans à Chibougamau	(60)
Figure 8	Test de Waller-Duncan sur la hauteur moyenne des provenances à 10 ans à Labrieville	(61)
Figure 9	Test de Waller-Duncan sur la hauteur moyenne des provenances à 10 ans à Trécesson	(62)

Figure 10	Test de Waller-Duncan sur la hauteur moyenne des provenances à 10 ans à Dablon (63)	Figure 18	Test de Waller Duncan sur la hauteur moyenne des provenances à 10 ans à Verchères (71)
Figure 11	Test de Waller-Duncan sur la hauteur moyenne des provenances à 10 ans à Gaspé (64)	Figure 19	Zone des meilleures provenances d'Europe sur les sites de Chibougamau, Labrieville et Trécesson 26
Figure 12	Test de Waller-Duncan sur la hauteur moyenne des provenances à 10 ans à Bonaventure (65)	Figure 20	Zone des meilleures provenances d'Europe sur les sites de Dablon à Verchères 27
Figure 13	Test de Waller-Duncan sur la hauteur moyenne des provenances à 10 ans à Matapédia (66)	Figure 21	Croissance en hauteur des meilleures provenances d'Europe comparée avec celle de provenances témoins du Québec 28
Figure 14	Test de Waller-Duncan sur la hauteur moyenne des provenances à 10 ans à Mastigouche (67)	Figure 22	Perte de dominance du bourgeon apical 31
Figure 15	Test de Waller-Duncan sur la hauteur moyenne des provenances à 10 ans à La Patrie (68)	Figure 23	Répartition de l'angle moyen des branches en fonction des arbres de 25 provenances à Bonaventure 38
Figure 16	Test de Waller-Duncan sur la hauteur moyenne des provenances à 10 ans à Lotbinière (69)	Figure 24	Répartition du diamètre des branches en fonction des arbres de 25 provenances à Bonaventure 40
Figure 17	Test de Waller-Duncan sur la hauteur moyenne des provenances à 10 ans à Coulonge (70)	Figure 25	Coloration automnale des aiguilles selon les provenances à Mastigouche 42

Introduction

Le pin sylvestre est une espèce introduite utilisée depuis plusieurs années dans le reboisement au Québec. Les plus anciennes plantations ont été établies en 1913 près de Grand-Mère dans la vallée du Saint-Maurice (CUNNINGHAM 1957) et les plus connues de nos jours, celles de Berthier, de Grandes-Piles et de Sainte-Philomène, ont été établies vers 1920 avec des graines provenant d'Europe mais dont l'origine géographique exacte demeure inconnue.

Le pin sylvestre n'a jamais suscité d'engouement de la part des reboiseurs pour la production ligneuse. De 1964 à 1993, un total de 19,3 millions de plants a été mis en terre au Québec sur les terres publiques et privées. L'approvisionnement en graines était fait à partir de récoltes dans les zones de récolte de cônes et de reboisement 5 et 7 qui comprennent, entre autres, les trois plantations mentionnées précédemment et aussi par l'achat de graines de France (provenance d'Auvergne) et de Turquie, dans une proportion d'environ 25 %, pour la production d'arbres de Noël. Au fil des ans, les producteurs d'arbres de Noël ont remplacé le pin sylvestre par le sapin baumier et le sapin de Fraser pour répondre aux exigences du marché et de 1986 à 1990, le ministère des Forêts a cessé de produire des plants. Depuis environ cinq ans, des récoltes de cônes sont effectuées dans certaines plantations et l'objectif annuel de reboisement est maintenu à 150 000 plants répartis entre les régions administratives 3, 5, 6 et 8 (G. COUTURE, communication personnelle).

Le principal problème rencontré dans plusieurs plantations et qui limite grandement la croissance et l'utilisation du pin sylvestre, est la mauvaise forme de l'arbre. La majorité des reboisements de pin sylvestre se font dans le sud du Québec. Les observations réalisées sur 168 plantations, dans le cadre d'une étude des plantations réalisées au Québec par BERTRAND et BOLGHARI, révèlent que beaucoup d'arbres de presque toutes ces plantations sont devenus fourchus et flexueux après quelques années de croissance.

Ce comportement peut être lié à plusieurs facteurs et de prime abord, la provenance a été mise en cause. Il devenait donc nécessaire d'acquérir une connaissance plus approfondie de la croissance et de la forme des arbres d'un bon nombre de provenances réparties à travers l'aire de distribution de l'espèce ainsi que des provenances locales utilisées dans le reboisement. Ces provenances sont plantées sur plusieurs sites où les conditions pédoclimatiques sont variables. Les résultats de ces recherches vont permettre d'orienter les responsables de la production de plants dans le choix des meilleures provenances et vont aussi permettre à l'aménagiste forestier de prescrire le reboisement en pin sylvestre aux endroits appropriés pour un rendement optimum.

Chapitre premier

Matériel

1.1 Situation géographique, altitude et variété géographique des provenances

Cette étude comprend 76 provenances de pin sylvestre. Les lots de graines des provenances de Russie, d'Estonie, de Lituanie, d'Ukraine et de Chine représentent, au total, 21 provenances et ont été obtenus en 1978, par l'intermédiaire de M. B.D. Haddon de l'Institut forestier national de Petawawa. Les autres provenances d'Europe ont été obtenues de chaque pays. Les lots de graines de 15 provenances du Québec ont été obtenus de la pépinière forestière de Berthier. Les provenances sont identifiées par un numéro donné au moment de la réception des graines (n° SR, figure 1 et tableau 1). La provenance n° 1984 est issue d'un mélange de graines des provenances n°s 1981 et 1987, survenu au moment de l'ensemencement en pépinière ; de même, la provenance n° 1843 est formée d'un mélange des provenances n°s 1845 et 1849. La localisation des provenances mélangées n'apparaît pas à la figure 1, mais leurs coordonnées, leur altitude et leur variété géographique sont présentées au tableau 1. La localisation des provenances n°s 1833 (Hongrie), 1835 (Chine), 1841 (Bulgarie) et 1868 (Angleterre) n'apparaît pas à la figure 1 et au tableau 1 à cause d'un manque de données.

La répartition des provenances par variété géographique est basée, pour la majorité des provenances de cette étude, sur les résultats des travaux de RUBY et WRIGHT (1976). Les provenances situées au centre de la Russie et près des Monts Ourals ont été réparties d'après PRAVDIN (1969) dans CUNNINGHAM et VAN HAVERBEKE (1991), parce qu'elles étaient mieux représentées dans cette étude. Sauf pour quelques provenances d'Angleterre et de Russie, pour lesquelles les données étaient insuffisantes, et pour les provenances du Québec, toutes les provenances ont été réparties dans 18 variétés (tableau 1 et figure 2).

L'altitude des provenances dont les données n'étaient pas disponibles a été estimée dans HAMMOND INCORPORATED (1993). L'altitude des provenances varie en général entre 100 et 300 m et quelques provenances ont une altitude de 1000 à 1500 m.

*

1.2 Description sommaire des peuplements échantillonnés

Cinquante-six provenances proviennent de peuplements naturels d'Europe et d'Asie. Quelques autres sont issues de vergers à graines d'Europe : ce sont les n°s 1797 (France), 1814 (Hongrie), 1829 (Danemark), 1840 (Belgique) et 1868 (Angleterre). Les provenances des vergers sont formées à partir d'un mélange de plusieurs lots de graines ; ainsi, la provenance n° 1840 est un mélange, à part égale, des graines de 15 clones différents.

Puisque le pin sylvestre est une espèce introduite au Québec, les 15 provenances du Québec proviennent de plantations et les cônes ont été récoltés entre 1969 et 1974. Ces plantations sont situées sur neuf sites différents et plusieurs lots de graines peuvent provenir de la même plantation (Grandes-Piles, Berthier). Toutefois, la récolte des cônes s'est faite à des années différentes sur des arbres abattus ou debout et parfois sur des arbres sélectionnés (provenances n°s 1812 et 1831). Les plantations les plus âgées, celles de Grandes-Piles, de Berthier et de Sainte-Philomène, ont été installées vers 1920 et leur hauteur moyenne varie entre 15 et 18 m à l'âge de 50 ans. Ces trois plantations sont, depuis 1969, les principales sources d'approvisionnement en graines pour le reboisement en pin sylvestre au Québec.

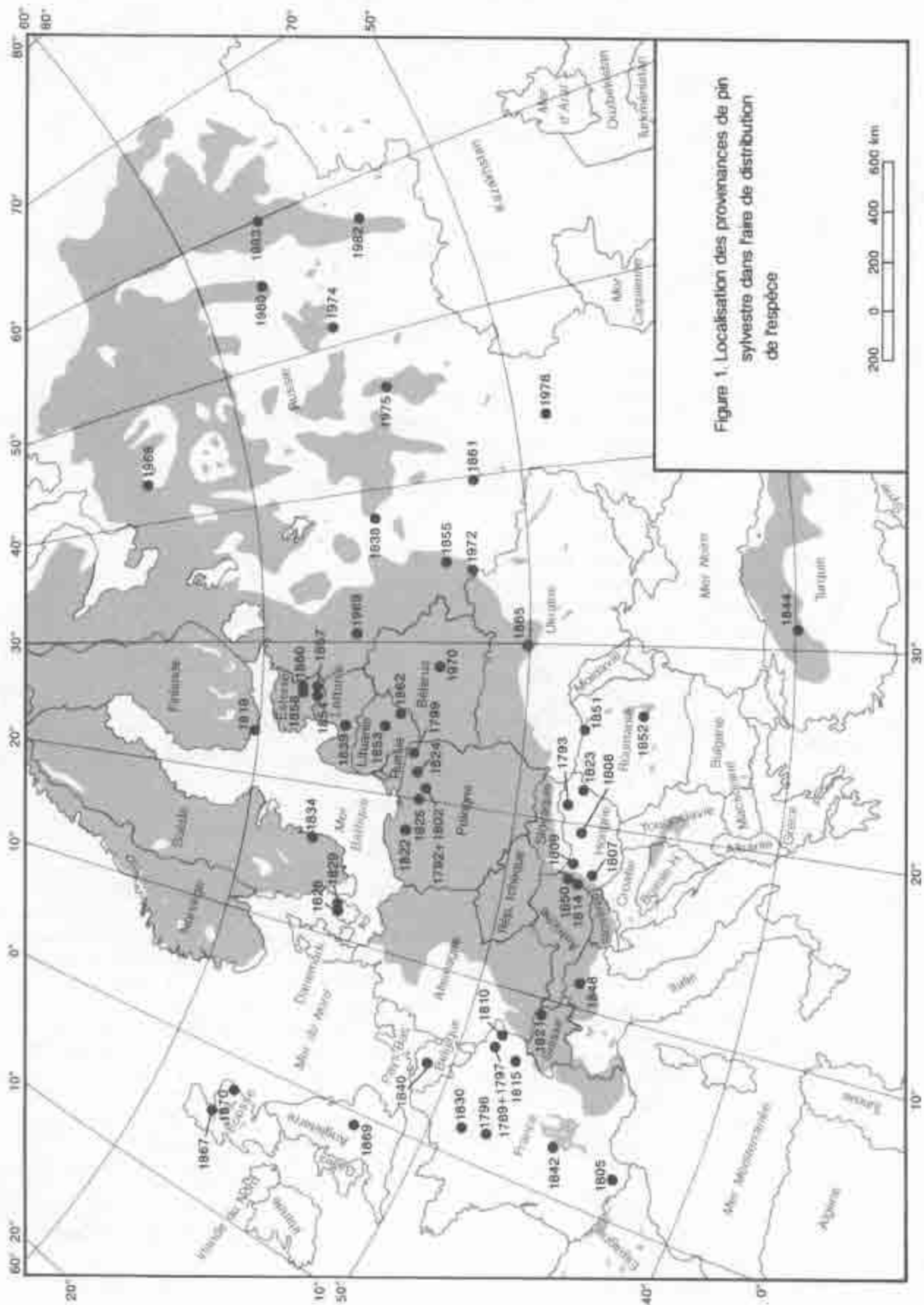


Figure 1. Localisation des provenances de pin sylvestre dans l'aire de distribution de l'espèce

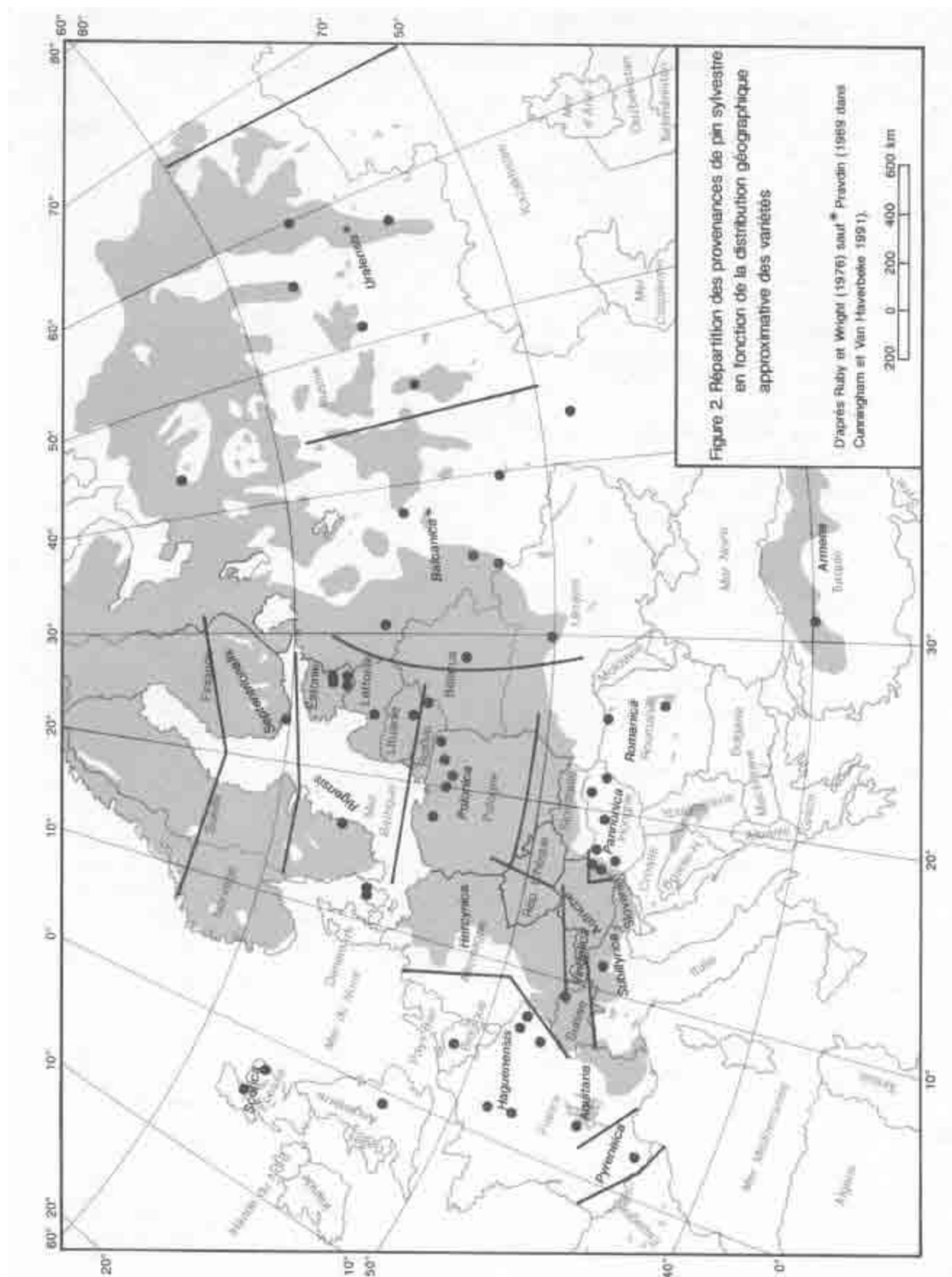


Tableau 1. Localisation, altitude et variété géographique des provenances de pin sylvestre

N° provenance	Lieu d'origine	Latitude nord	Longitude ¹ est	Altitude (m)	Variété ² géographique
1789	France, Haguenau	48°49'	7°47'	150	<i>haguenensis</i>
1790	Canada, Québec, Eardley, plantation Lac Philippe	45°37'	75°59'	242	..
1791	Canada, Québec, Radnor, pépinière de Grandes-Piles	46°41'	72°41'	152	..
1792	Pologne, Dluzek	53°33'	20°39'	145	<i>polonica</i>
1793	Hongrie, Novajdrany	48°05'	20°46'	200*	<i>haguenensis</i>
1796	France, Orléans	47°56'	1°56'	100-200*	<i>haguenensis</i>
1797	France, Haguenau, verger à graines	48°49'	7°47'	200-500*	<i>haguenensis</i>
1798	Canada, Québec, pépinière de Berthier	46°02'	73°12'	15	..
1799	Pologne, Rozpuda	54°00'	22°50'	100-200*	<i>polonica</i>
1800	Canada, Québec, Rawdon	46°05'	73°50'	..	..
1802	Pologne, Dluzek	53°33'	20°39'	100-200*	<i>polonica</i>
1803	Canada, Québec, Seigneurie de la Petite-Nation	45°49'	74°58'	182	..
1805	France, La Matte des Angles	42°35'	2°08'	1500	<i>Pyreneica</i>
1807	Hongrie, Kesztlely	46°46'	17°10'	100-250*	<i>pannonica</i>
1808	Hongrie, Mende	47°18'	19°28'	100-200*	<i>pannonica</i>
1809	Hongrie, Bakonyszentlászlo	47°16'	17°52'	100-200*	<i>pannonica</i>
1810	France, Mosig II	48°38'	7°20'	400	<i>haguenensis</i>
1811	Canada, Québec, Radnor, pépinière de Grandes-Piles	46°41'	72°41'	152	..
1812	Canada, Québec, Radnor, pépinière de Grandes-Piles	46°41'	72°41'	152	..
1814	Hongrie, Bajti, verger à graines	47°13'	16°26'	500*	<i>pannonica</i>
1815	France, Amance	47°48'	6°04'	500*	<i>haguenensis</i>
1816	Canada, Québec, Mulgrave	45°45'	75°20'	..	..
1818	Finlande, Bromary-Solbôle	60°03'	23°03'	30	<i>septentrionalis</i>
1820	Canada, Québec, Radnor, pépinière de Grandes-Piles	46°41'	72°41'	150	..
1821	Suisse, Thurgau, Schlattingen	47°30'	9°10'	500	<i>vindelica</i>
1822	Pologne, Lipowa	53°50'	17°55'	100-200*	<i>polonica</i>
1823	Hongrie Nyirbeltek	47°42'	21°40'	100*	<i>pannonica</i>
1824	Pologne, Ruciane	53°51'	21°31'	145	<i>polonica</i>
1825	Pologne, Taborz	53°43'	20°00'	110	<i>polonica</i>
1826	Canada, Québec, De Salaberry	46°08'	74°35'	180	..
1827	Canada, Québec, Eardley, parc de la Gatineau	45°36'	76°01'	210	..
1828	Danemark, Tisvilde	56°00'	12°00'	60*	<i>rigensis</i>
1829	Danemark, Gurre Valdem, verger à graines	56°01'	12°31'	60*	<i>rigensis</i>
1830	France, Bitche	48°57'	1°25'	200*	<i>haguenensis</i>
1831	Canada, Québec, Seigneurie d'Orvilliers, plantation Sainte-Philomène	46°04'	73°14'	15	..
1833	Hongrie, Bajcsa, Delzala	..	..	..	<i>pannonica</i>
1834	Suède, Hammersbo	57°20'	16°12'	125*	<i>rigensis</i>
1835	Chine	..	..	..	<i>mongolica</i>
1836	Canada, Québec, Radnor, plantation Consolidated-Bathurst	46°40'	72°37'	..	..
1837	Canada, Québec, pépinière de Berthier	46°02'	73°12'	15	..
1838	Russie, Datchnde, Ramenskoye	55°35'	38°15'	200-500*	<i>balcanica</i>
1839	Lettonie, Zvirgzdje	56°40'	24°10'	50*	<i>rigensis</i>
1840	Belgique, Groenendaal, verger à graines	50°46'	4°29'	100*	<i>haguenensis</i>
1841	Bulgarie	..	..	500-1000*	<i>rhodopaea</i>
1842	France, La Chaise Dieu	45°18'	3°41'	1000	<i>aquitana</i>
1843	Roumanie, Mures, Pâdure (1845) et	46°20'	24°52'	900	<i>romanica</i>
(1845 et 1849)	Italie Bolzano-Bressanone-Naz-Sciavez-Fortezza (1849)	46°45'	10°48'	700	<i>subillyrica</i>
1844	Turquie, Catacik	39°58'	31°05'	1450	<i>armena</i>
1846	Canada, Québec, Radnor, pépinière de Grandes-Piles	46°40'	72°41'	152	..
1848	Italie, Trento-Valda, Piani	46°13'	11°12'	900	<i>subillyrica</i>
1850	Hongrie, Tanulmanyi all. Hegyvidéky	47°40'	16°37'	500*	<i>pannonica</i>
1851	Roumanie, Suceava, Breaza	47°38'	25°20'	1130	<i>romanica</i>

Tableau 1 (fin). Localisation, altitude et variété géographique des provenances de pin sylvestre

N° provenance	Lieu d'origine	Latitude nord	Longitude ¹ est	Altitude (m)	Variété ² géographique
1852	Roumanie, Căvasna, Intorsura Buzoului	45°40'	26°00'	900	<i>romanica</i>
1853	Lituanie, Jonavos	55°15'	24°20'	110	<i>rigensis</i>
1854	Estonie, Valgamaa	57°45'	26°00'	50*	<i>rigensis</i>
1855	Russie, Orlov, Neruskovskoe	53°	35°	500*	<i>balcanica</i>
1857	Estonie, Võru	57°50'	27°00'	50*	<i>rigensis</i>
1858	Estonie, Elva	58°20'	26°20'	50*	<i>rigensis</i>
1860	Estonie, Tartu	58°22'	26°40'	60	<i>rigensis</i>
1861	Russie, Voronezh, Novousmansk	52°	40°	200-500*	<i>balcanica</i>
1862	Lituanie, Vilnius	54°38'	25°28'	100	<i>polonica</i>
1865	Ukraine, Kiev, Nelishovitskoe	50°	30°	100-200*	<i>balcanica</i>
1867	Ecosse, Morayshire, Culbin	57°40'	4°00'	100*	<i>scotica</i>
1868	Angleterre, verger à graines	..	..	..	..
1869	Angleterre, Thetford, Norfolk	52°30'	0°45'	100*	..
1870	Ecosse, Aberdeenshire	57°20'	2°08'	100*	<i>scotica</i>
1966	Russie, Archangelsk	65°45'	43°14'	100-200*	..
1969	Russie, Pskov	56°23'	30°30'	500*	<i>balcanica</i>
1970	Russie, Mogilev	53°18'	28°40'	300*	<i>balcanica</i>
1972	Russie, Sumsk	52°01'	34°00'	500*	<i>balcanica</i>
1974	Russie, Tatar	55°40'	51°26'	500*	<i>uralensis</i>
1975	Russie, Ulyanovsk	54°22'	46°46'	500*	<i>uralensis</i>
1978	Russie, Volgograd	48°38'	44°37'	200-500*	..
1980	Russie, Permsk	57°38'	55°30'	500*	<i>uralensis</i>
1982	Russie, Bashkir	53°25'	57°40'	1000*	<i>uralensis</i>
1983	Russie, Sverdlovsk	56°50'	59°58'	1000*	<i>uralensis</i>
1984	Russie, Altai Krai (1981) et	52°23'	84°29'	500-1000*	<i>*altaica</i>
(1981 et 1987)	Russie, Krasnoyarsk Krai (1987)	56°17'	96°00'	500-1000	<i>eniseensis</i>

¹ Longitude ouest pour les provenances n°s 1867, 1869, 1870 et pour toutes les provenances du Québec.

² Variétés décrites par RUBY et WRIGHT (1976) sauf les variétés *balcanica*, *uralensis* et *eniseensis* décrites par PRAVDIN (1969) dans CUNNINGHAM et VAN HAVERBEKE (1991),

* Altitude approximative des provenances dans HAMMOND INCORPORATED (1993).

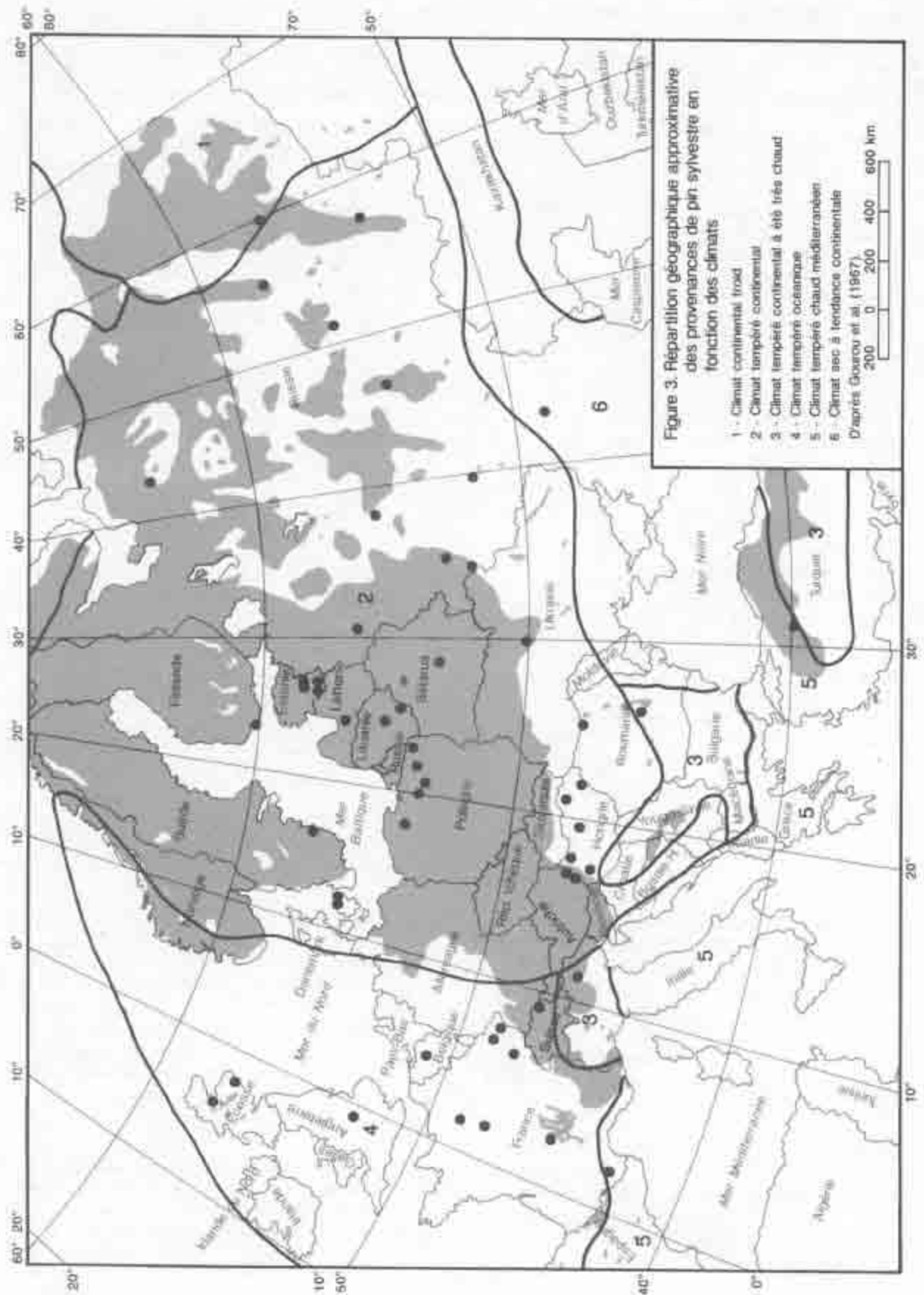
1.3 Caractéristiques climatiques du lieu d'origine des provenances

Le pin sylvestre pousse dans des conditions climatiques très variables à cause de son aire de distribution très vaste ; c'est parmi toutes les espèces de pin celle dont l'aire de distribution est la plus étendue. L'amplitude des variations latitudinales et longitudinales des provenances testées est de 26° et 100° respectivement.

D'après la répartition géographique des climats dans GOUROU *et al.* (1967), les provenances étudiées feraient partie des climats suivants : froids (provenances de la zone n° 1), tempérés (provenances des zones n°s 2, 3, 4, 5) et secs (provenance de la zone n° 6) (figure 3).

Les provenances de la zone n° 1 (provenance n°s 1983 et 1984) sont situées à l'est des monts Ourals, c'est-à-dire à l'est du 60° degré de longitude, et poussent sous un climat continental froid ; la température moyenne du mois le plus chaud y est supérieure à 15 °C alors que la température moyenne du mois le plus froid y est inférieure à -15,6 °C ; les précipitations se produisent surtout en saison chaude et sont de 250 à 500 mm par année (GOUROU *et al.* 1967 ; HAMMOND INCORPORATED 1993).

Le pin sylvestre est une espèce surtout de climat tempéré continental (zone n° 2), dont la température moyenne du mois le plus chaud est supérieure à 20 °C alors que la température moyenne du mois le plus froid



est inférieure à 0 °C ; les précipitations se produisent en saison chaude et varient entre 500 et 1000 par année (GOUROU *et al.* 1967).

Les provenances de la zone n° 3 (provenances n°s 1848 et 1852) poussent sous un climat tempéré continental à été très chaud, dont la température moyenne du mois le plus chaud est supérieure à 25 °C alors que la température moyenne du mois le plus froid y est d'environ 0 °C ; les précipitations se produisent surtout en saison chaude et sont plus abondantes pour la provenance n° 1848 (1000 à 1500 mm) que pour la provenance n° 1852 (500 à 1000 mm) (GOUROU *et al.* 1967 ; HAMMOND INCORPORATED 1993).

Les provenances de la zone n° 4 poussent sous un climat tempéré océanique, où la température moyenne du mois le plus chaud est inférieure à 20 °C alors que la température moyenne du mois le plus froid est supérieure à 5 °C ; les précipitations se produisent surtout en saison froide et varient, en général, entre

500 et 1000 mm ; elles sont plus abondantes dans la région des Alpes (1000 à 1500 mm) (GOUROU *et al.* 1967 ; HAMMOND INCORPORATED 1993).

Les provenances de la zone n° 5 (provenances n°s 1805 et 1844) poussent sous un climat tempéré chaud méditerranéen, dont la température est supérieure à 20 °C pendant au moins trois mois alors que la température moyenne du mois le plus froid y est supérieure à 5 °C ; les précipitations ont lieu exclusivement en saison froide et varient entre 250 et 500 mm (GOUROU *et al.* 1967 ; HAMMOND INCORPORATED 1993).

La provenance de la zone n° 6 (provenance n° 1978) pousse sous un climat sec à tendance continentale, dont la température moyenne du mois le plus chaud est supérieure à 20 °C alors que la température moyenne du mois le plus froid est inférieure à 0 °C ; les précipitations se produisent surtout en saison chaude et varient entre 250 et 500 mm (GOUROU *et al.* 1967 ; HAMMOND INCORPORATED 1993).

Chapitre deux

Méthodes

2.1 Culture en pépinière

Les graines de toutes les provenances ont été semées à l'automne de 1978 et au printemps de 1979, à la pépinière de Duchesnay située à environ 40 kilomètres au nord-ouest de Québec, par 46°52' N et 71°39' O.

L'emplacement de la pépinière est situé dans le domaine climacique de l'érablière à bouleau jaune (THIBAUT 1985). Le climat y est relativement chaud, continental et humide. Le nombre moyen de jours sans gel est de 114 et le nombre de degrés-jours au-dessus de 5 °C (1951-1980) est de 1585 (SERVICE DE L'ENVIRONNEMENT ATMOSPHERIQUE 1982a, 1982b).

Les sols de la pépinière sont des sables limoneux dérivés d'un dépôt fluvio-glaciaire avec un drainage de classe 2. Ils ont été labourés, hersés, fertilisés et amendés avec de la tourbe de mousse selon les recommandations faites pour une production normale en pépinière.

Les lots de graines ont été distribués aléatoirement et semés en vrac, sans répétition, sur des plates-bandes d'environ un mètre de largeur. Les semis ont été repiqués après 2 ans de croissance en pépinière. Les racines les plus longues ont été taillées au moment de l'extraction des plants (2+2).

À la sortie de la pépinière, la hauteur moyenne des plants variait, entre les provenances, de 15 à 65 cm, avec une hauteur moyenne de 50 cm.

2.2 Localisation et caractéristiques climatiques et écologiques des sites d'expérience

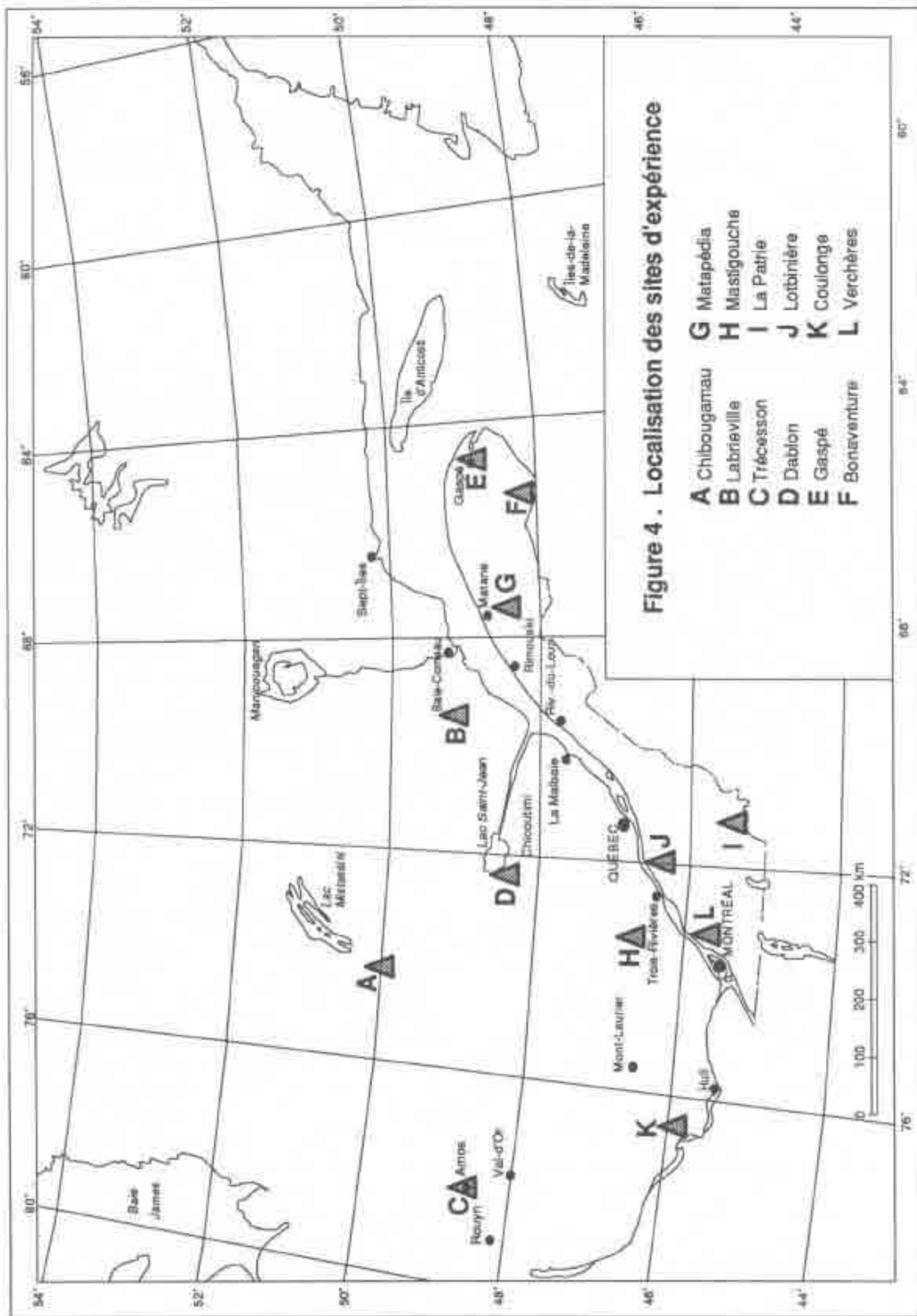
Quatorze tests de provenances ont été réalisés au printemps de 1983 dans les arboretums du Service de l'amélioration des arbres (figure 4). La situation géographique, l'altitude et les caractéristiques écolo-

giques des sites d'expérience sont présentées au tableau 2 et les données climatiques, au tableau 3. Les données climatiques proviennent du SERVICE DE L'ENVIRONNEMENT ATMOSPHERIQUE (1982a, 1982b, 1982c).

Les sites d'expérience énumérés aux tableaux 2 et 3 sont classés, de Chibougamau à Verchères, dans un ordre décroissant de sévérité des conditions climatiques de croissance (longueur de la période sans gel). Les données concernant le site des Îles-de-la-Madeleine ont été placées volontairement à la fin des tableaux compte tenu des conditions particulières de ce site (très venteux, air salin, influence maritime). Comme on peut le constater, l'ensemble de ces sites couvre des conditions écoclimatiques très variables. En se référant à THIBAUT (1985), on peut identifier huit domaines climatiques et 14 régions écologiques différentes. Le climat du site expérimental des Îles-de-la-Madeleine subit une forte influence maritime, ce qui explique les valeurs relativement élevées de la température moyenne de janvier (-5,9 °C) et de la période sans gel (161 jours) à cette latitude.

2.3 Dispositifs expérimentaux

Les dispositifs sont formés de parcelles linéaires de quatre plants espacés de 2,0 x 2,0 m. Les blocs au nombre de 10 sont incomplets et non équilibrés, excepté à Chibougamau et La Patrie où le nombre de provenances par bloc est complet. Certaines provenances ont été testées seulement dans un ou quelques dispositifs à cause du nombre insuffisant de plants. Le nombre de provenances plantées varie de 70 à Verchères à 31 à Trécesson ; en général, il varie de 31 à 40 provenances et 25 provenances sont communes à tous les tests. Quelques provenances du Québec, provenant surtout des plantations les plus âgées et qui sont utilisées comme sources de graines pour le reboisement au Québec depuis de nombreuses années, servent comme base de comparaison pour la croissance en hauteur.



2.4 Relevés phénotypiques

La hauteur moyenne, par provenance, des plants (2+2) a été évaluée visuellement, à l'aide d'une règle, dans chaque plate-bande en pépinière à l'automne de 1982.

La hauteur des arbres a été mesurée après 1, 2, 5 et 10 ans de croissance en plantation dans un nombre variable de dispositifs (12, 2, 14 et 12 dispositifs) pour chaque année de mesurage. Le DHP a été mesuré à 10 ans dans les 12 dispositifs analysés.

Des données sur le nombre de flèches multiples, de tiges multiples et de fourches par arbre ont été prises au moment du mesurage de 10 ans dans 11 tests et à 12 ans à Lotbinière. Les flèches multiples sont des pousses terminales de l'année, qui se développent d'égale hauteur sur l'arbre ; les tiges multiples sont définies comme étant la division du tronc en deux tiges ou plus, à moins de 1,30 m du sol tandis que les fourches sont définies comme étant la division du tronc en deux tiges ou plus à 1,30 m et plus du sol (GAGNON et NUMAINVILLE 1991).

Un relevé des arbres affectés par les insectes et les maladies a été réalisé par le Service de l'amélioration des arbres, 5 et 10 ans après la plantation. Ces données portent sur la nature, la cause et l'importance des dégâts pour chaque arbre de toutes les provenances. L'identification de l'agent déprédateur et l'évaluation de l'importance des dommages ont été réalisées par le Service de protection contre les insectes et les maladies (de l'époque) dans neuf dispositifs à 12 ans. Un total de 100 arbres par dispositif a été choisi aléatoirement par sondage en continu le long de virées. La procédure d'échantillonnage est décrite en détail dans l'ouvrage de BOULET *et al.* (1994).

Des observations visuelles sur la coloration des aiguilles ont été faites sur les 47 provenances du test de Mastigouche, par les mêmes observateurs, à la mi-novembre sur des arbres âgés de 12 ans. Ces observations ont été réalisées dans les blocs un à quatre et la coloration moyenne des arbres de chaque parcelle a été notée. L'échelle de coloration utilisée était graduée de 1,0 à 5,0 ; le chiffre 1,0 désigne des arbres dont la coloration des aiguilles est jaunâtre et le chiffre 5,0, ceux dont la coloration est bleuâtre.

Une étude d'arbres a été réalisée à Bonaventure, après 12 ans de croissance en plantation, sur 34 provenances. Les données ont été prises sur six arbres par provenance, dans les trois premiers blocs, en prenant deux arbres par bloc. L'angle d'insertion des branches au tronc a été mesuré, à l'aide d'un rapporteur d'angle, sur toutes les branches des

verticilles formés 5, 6, 7 et 8 ans après la plantation. Le diamètre de toutes les branches des mêmes verticilles a été mesuré à 3 cm du tronc, à l'aide d'un compas forestier pour tiges de petit diamètre.

Des observations ont été menées sur, en moyenne, 240 arbres âgés de 12 ans, sur tous les sites, afin d'évaluer le nombre d'arbres affectés par la perte de dominance du bourgeon apical et la fréquence de ce symptôme sur les sept dernières années de croissance en plantation. À Mastigouche, Dablon et Lotbinière, ces observations ont été prises respectivement sur 628, 616 et 410 arbres, soit en moyenne 13, 16 et 10 arbres par provenance, pour évaluer de plus l'effet de la provenance sur la perte de dominance.

La flexuosité des tiges a été évaluée sur le même nombre d'arbres sur chaque site que pour la perte de dominance du bourgeon apical. La partie de la tige examinée se situe entre le sol et la hauteur 10 ans après la plantation. Les codes utilisés pour la flexuosité sont les mêmes que ceux décrits par GAGNON et NUMAINVILLE (1991) pour les arbres droits, légèrement flexueux, flexueux et très flexueux.

Les branches dont le diamètre à 3 cm du tronc est plus grand ou égal à 35 mm de même que les branches de fortes dimensions dont l'angle d'insertion au tronc est plus petit que, ou égal à 45° ont été dénombrées sur 100 arbres choisis au hasard sur chaque site pour un nombre variable d'arbres par provenance parce que d'autres facteurs que la provenance influencent davantage le développement de grosses branches ; l'influence de la provenance a été évaluée à Bonaventure, l'interaction des autres facteurs étant limitée à cet endroit.

2.5 Analyse des données

L'analyse des données a été effectuée sur 12 tests de provenances. Le test établi aux Îles-de-la-Madeleine a été annulé parce que le taux de survie est passé de 98 % à l'automne de l'année de la plantation à 33 % à l'âge de 5 ans ; l'annelage des tiges par les mulots et le déracinement partiel des arbres sont les deux principales causes de mortalité. Le test planté à Duchesnay a également été annulé, la croissance de beaucoup d'arbres ayant été affectée par la verse, les lièvres et le charançon du pin blanc.

Le calcul de statistiques descriptives a été effectué pour toutes les variables étudiées. Une analyse de variance a été faite sur la hauteur des provenances à 10 ans, à chaque site, afin de déterminer s'il y a une différence significative entre les provenances pour cette variable. Sur certains sites, l'analyse a été faite

Tableau 2. Localisation, altitude et caractéristiques écologiques des sites d'expérience

Site	Latitude nord	Longitude ouest	Altitude (m)	Texture du sol ¹	Domaine et région écologique ²
Chibougamau	50°01'	74°12'	411	loam sableux	peissière noire à mousses, 12b
Labrieville	49°12'	69°33'	470	sable loameux	sapinière à bouleau blanc, 8/
Trécesson	48°35'	78°16'	335	sable loameux	sapinière à bouleau blanc, 8c
Dablon	48°21'	72°14'	303	sable loameux	sapinière à bouleau blanc, 8j
Gaspé	48°50'	64°40'	318	loam sableux	sapinière à bouleau blanc, 8a
Bonaventure	48°11'	65°21'	227	loam	érablière à bouleau jaune et sapinière à bouleau blanc, 4b
Matapédia	48°32'	67°26'	198	loam sabio-argileux	sapinière à bouleau jaune, 5c
Mastigouche	46°38'	73°13'	215	sable	érablière à bouleau jaune et hêtre, 3g
La Patrie	45°22'	71°17'	500	loam argileux	érablière à bouleau jaune et sapinière à bouleau blanc, 4a
Duchesnay [†]	46°52'	71°37'	167	..	érablière à bouleau jaune et hêtre et érablière à bouleau jaune et tilleul, 3f
Lotbinière	46°30'	71°55'	83	sable loameux	érablière à tilleul et érablière à bouleau jaune, 2c
Coulange	45°51'	76°34'	212	loam sableux	érablière à tilleul et érablière à bouleau jaune, 2a
Verchères	45°41'	73°19'	44	sable loameux	érablière à caryer et érablière à tilleul, 1b
Îles-de-la-Madeleine [†]	47°26'	61°45'	30	loam sableux	peissière blanche à sapin et sapinière à épinette blanche, 10a

[†] Tests annulés.

¹ Classe texturale déterminée à partir d'échantillons de sol pris dans les tests.

² Selon THIBAUT (1985).

Tableau 3. Données climatiques des sites d'expérience

Site	Temp. moy. ann. (° C)	Temp. moy. de juil. (° C)	Temp. moy. de janv. (° C)	Temp. minimale extrême (° C)	Temp. moy. de juin, juil. août (° C)	Longueur moyenne de la période sans gel en jours (prob. 50 %)	Degrés-jours au-dessus de 5,0 ° C	Précip. totales ann. (mm)
Chibougamau	-0,8	15,8	-20,1	-45,6	14,4	80	1 139	1 000
Labrieville	1,5	16,7	-17,5	-45,0	15,1	80 à 90	1 233	847
Trécesson	0,9	16,7	-17,6	-52,8	15,4	90	1 340	865
Dablon	1,1	16,7	-16,9	-47,0	15,3	Près de 100	1 288	975
Gaspé	3,5	16,8	-10,6	-41,7	15,4	Près de 100	1 288	968
Bonaventure	2,8	17,0	-11,0	-39,4	15,6	Près de 100	1 295	1 119
Matapédia	2,5	17,4	-13,4	-38,9	15,9	Près de 100	1 390	931
Mastigouche	2,8	17,7	-14,3	-45,1	16,6	Près de 100	1 550	1 053
La Patrie	3,7	17,4	-11,3	-41,7	16,1	Près de 100	1 545	1 035
Duchesnay*	3,6	18,3	-12,8	-40,6	17,0	110 à 120	1 585	1 199
Lotbinière	3,8	18,6	-12,4	-38,3	17,2	110 à 120	1 650	1 230
Coulange	4,3	19,0	-12,4	-33,0	17,7	Près de 120	1 769	860
Verchères	5,9	20,6	-10,6	-37,2	19,4	140 à 150	2 046	1 000
Îles-de-la-Madeleine ⁺	4,6	16,7	-5,9	-25,0	15,2	161	1 337	794

Selon SERVICE DE L'ENVIRONNEMENT ATMOSPHÉRIQUE 1982a, 1982b, 1982c.

* Tests annulés.

sur moins de dix blocs, à cause de l'interaction bloc-provenance calculée à partir du test d'additivité de Tukey ; c'est le cas notamment de Chibougamau, Bonaventure, Lotbinière, Coulonge et Verchères où le nombre de blocs utilisés dans les analyses est de 9, 5, 7, 9 et 9 respectivement. D'autres analyses de variance ont été effectuées sur l'angle d'insertion des branches au tronc et leur diamètre pour 25 provenances à Bonaventure.

Un test de comparaisons multiples de Waller-Duncan sur les données de hauteur à 10 ans a été réalisé afin de déterminer, pour chaque site, les meilleures provenances. Le test de comparaisons multiples de Waller-Duncan diffère des autres tests (Tukey, Scheffé, *LSD*, etc.) entre autres parce qu'il n'utilise pas le seuil de signification α mais fait intervenir un rapport k (*k ratio*) entre la probabilité de commettre une erreur de type I et la probabilité de commettre une erreur de type II. Les rapports k de 50 : 1, 100 : 1 et 500 : 1 correspondent sensiblement

au seuil α de 0,10, 0,05 et 0,01. Le rapport utilisé dans les présentes analyses est de 100 : 1. Les provenances sont placées dans l'ordre décroissant des hauteurs moyennes et les comparaisons entre ces dernières ne concernent que deux moyennes à la fois. L'interprétation des résultats se fait de la façon suivante : toute paire de moyennes soulignée par un même trait signifie qu'avec les données dont on dispose, on n'a pu détecter de différence significative entre ces moyennes ; toute paire de moyennes non soulignée par un même trait indique que ces moyennes sont significativement différentes (STEEL et TORRIE 1980).

Seules les provenances ayant 14 arbres et plus compris dans au moins quatre blocs ont été considérées dans les analyses. Ce nombre minimum d'observations a été fixé après un examen des données. Dans les cas où il y avait un problème de normalité des résidus, nous avons fait un test non paramétrique de Friedman.

Chapitre trois

Résultats et discussion

3.1 Taux de survie

3.1.1 Variation entre les sites

Le taux de survie à 1, 2, 5 et 10 ans a été déterminé uniquement à partir des 29 provenances communes aux 12 tests étudiés. La mortalité observée à l'automne de l'année de la plantation (1 an) est attribuable au choc de plantation. On remarque (figure 5) que la mortalité à 1 an est très faible sur tous les sites, sauf sur le site de Mastigouche où elle est de 17 % ; cette mortalité à Mastigouche est due principalement à la difficulté d'installer adéquatement les plants dans un sol très rocheux et aussi à la sécheresse qui a sévi durant et après la plantation.

Passé le choc de la plantation, la mortalité s'est accrue au fil des ans sur tous les sites et beaucoup plus sur certains, pour des intervalles de temps égaux après la plantation. Cette mortalité est due principalement à deux causes : 1) le défaut d'adaptation au site d'un nombre variable de provenances. La mortalité a augmenté, entre 5 et 10 ans, de 36 % pour Chibougamau, en moyenne de 9 % pour Labrieville à Dablon et en moyenne de 2 % pour Gaspé à Verchères sauf pour Matapédia où l'augmentation plus importante est attribuable surtout aux porcs-épics. En général, cette mortalité est liée aux conditions climatiques du lieu de plantation et se produit davantage lorsque la hauteur des arbres des provenances plus sensibles au gel dépasse celle de la couche de neige ; les arbres subissent alors une dessiccation hivernale ; 2) les dommages causés par les rongeurs. Sur le site de Gaspé, les porcs-épics ont annelé partiellement ou complètement plusieurs arbres alors qu'à Matapédia, ces dommages ont été causés par les porcs-épics et les mulots. À Gaspé, le taux de mortalité entre 1 et 5 ans a augmenté de 24 % alors que le taux de mortalité moyen sur les autres sites, durant la même période, était de 9 %. À Matapédia, le taux de mortalité entre 5

et 10 ans a augmenté de 19 % alors que le taux de mortalité moyen, sur les sites de Gaspé à Verchères et durant la même période, était de 2 %. À Dablon, le taux de mortalité entre 5 et 10 ans est attribuable en partie aussi aux dommages causés à la flèche terminale et aux branches de certains arbres par les lièvres.

3.1.2 Variation entre les provenances

Pour les quelques provenances dont le nombre de plants par test est inférieur à 40, nous avons estimé, après examen des données, à 20 le nombre minimum de plants pour quantifier le taux de survie. Les provenances comptant moins de 20 plants à la plantation n'ont pas été considérées dans le calcul du taux de survie. Le taux de survie des provenances, à 10 ans de croissance en plantation, est présenté au tableau 4. Les provenances du Québec sont regroupées ensemble pour faciliter l'interprétation des résultats.

Les dommages causés par les porcs-épics à Gaspé, par les porcs-épics et les mulots à Matapédia et les conditions de terrain difficiles pour la plantation à Mastigouche ont affecté de façon aléatoire et parfois significative le taux de survie de certaines provenances. Pour ces raisons, la comparaison du taux de survie des provenances sur ces sites avec le taux de survie sur les autres sites doit être faite avec prudence et en tenant compte de ces informations.

À Chibougamau, le taux de survie des provenances est grandement lié à leur lieu d'origine. Les provenances ayant le meilleur taux de survie (taux de survie moyen de 80 %) viennent d'Europe centrale, entre 50° et 57°20' de latitude nord et entre 10° et 40° de longitude est (figure 6). Toutes les autres provenances au sud et à l'ouest de cette zone ont un taux de survie moyen de 41 %. La provenance n° 1844 a le plus bas taux de survie, soit 20 %.

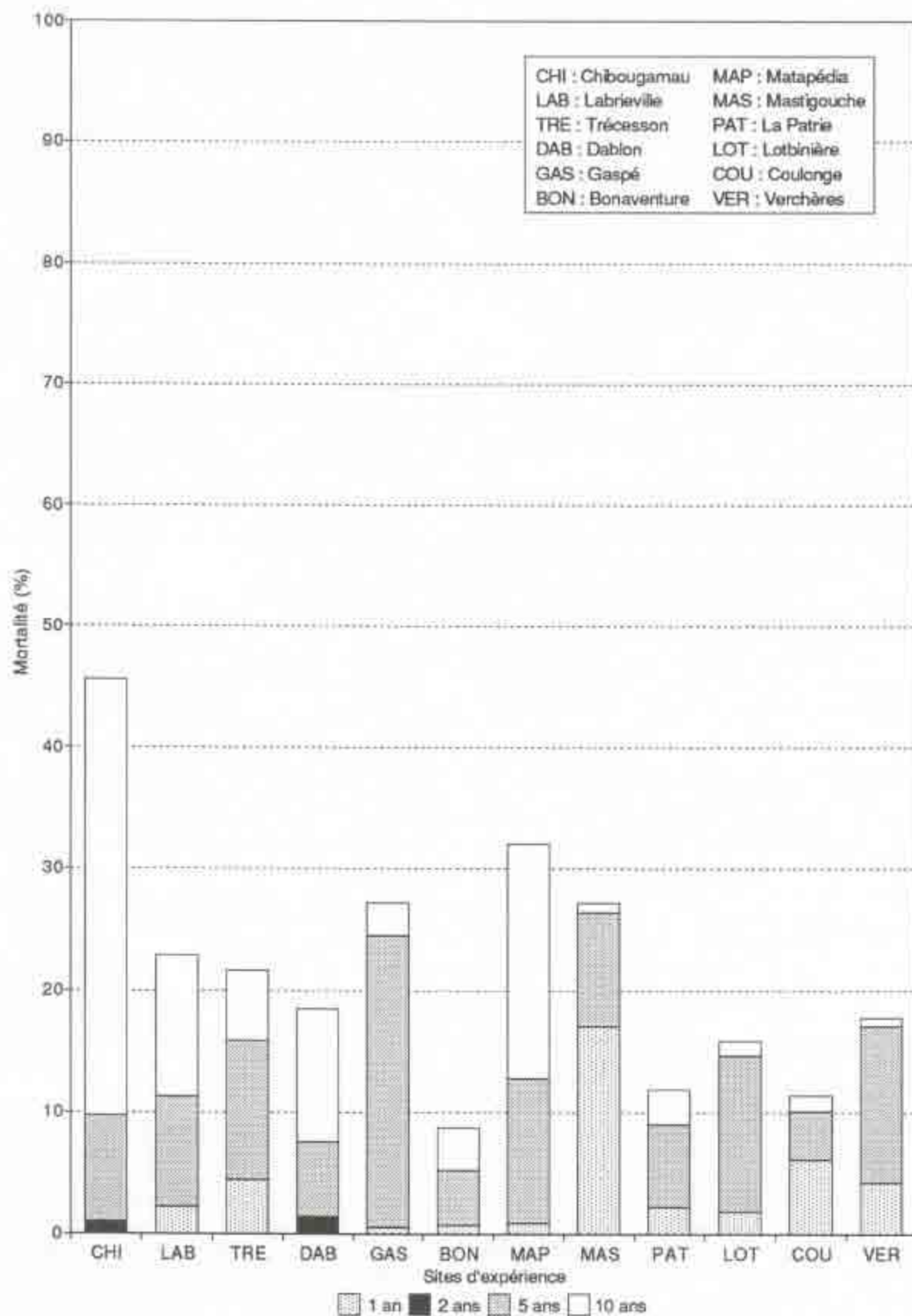


Figure 5. Mortalité sur chaque site d'expérience.

Tableau 4. Situation géographique et taux de survie des provenances à 10 ans sur chaque site d'expérience

Provenance			Taux de survie (%) et sites d'expérience ¹													
N° SR	Lieu d'origine	Lat. nord	Long. est	Alt (m)	CHI	LAB	TRE	DAB	GAS	BON	MAP	MAS	PAT	LOT	COU	VER
1789	France	48°49'	7°47'	150	75	82	87	87	77	97	62	85	92	90	92	77
1792	Pologne	53°33'	20°39'	145	30	50	80	92	60	87	67	62	52	70	90	35
1793	Hongrie	48°05'	20°46'	200*	30	50	80	92	60	87	67	62	52	70	90	35
1796	France	47°56'	1°56'	100-200*	30	50	80	92	60	87	67	62	52	70	90	35
1797	France	48°49'	7°47'	200-500*	30	50	80	92	60	87	67	62	52	70	90	35
1799	Pologne	54°00'	22°50'	100-200*	72	92	90	87	72	97	65	67	90	90	90	72
1802	Pologne	53°33'	20°39'	100-200*	72	92	90	87	72	97	65	67	90	90	90	85
1805	France	42°35'	2°08'	1500	30	50	80	92	60	87	67	62	52	70	90	35
1807	Hongrie	46°46'	17°10'	100-250*	55	47	80	75	70	87	67	82	90	80	95	85
1808	Hongrie	47°18'	19°28'	100-200*	27	75	85	82	65	75	62	82	82	75	92	82
1809	Hongrie	47°16'	17°52'	100-200*	45	47	55	90	25	90	70	85	87	85	83	82
1810	France	48°38'	7°20'	400	30	50	80	92	60	87	67	62	52	70	90	35
1814	Hongrie	47°13'	16°26'	500*	47	67	70	80	53	82	55	67	97	87	85	70
1815	France	47°48'	6°04'	500*	30	50	80	92	60	87	67	62	52	70	90	35
1818	Finlande	60°03'	23°03'	30	30	50	80	92	60	87	67	62	52	70	90	35
1821	Suisse	47°30'	9°10'	500	45	80	82	95	85	97	65	77	95	82	92	87
1822	Pologne	53°50'	17°55'	100-200*	30	50	80	92	60	87	67	62	52	70	90	35
1823	Hongrie	47°42'	21°40'	100*	40	70	70	75	65	90	62	72	95	82	92	87
1824	Pologne	53°51'	21°31'	145	80	82	82	87	60	95	62	70	85	87	77	80
1825	Pologne	53°34'	20°00'	110	80	87	90	97	77	92	67	70	87	80	87	87
1828	Danemark	56°00'	12°00'	60*	82	92	85	85	75	97	97	82	87	90	92	87
1829	Danemark	56°01'	12°31'	60*	42	80	70	67	80	97	62	67	85	77	87	87
1830	France	48°57'	1°25'	200*	42	75	80	87	72	95	72	67	87	82	92	87
1833	Hongrie	47°20'	16°12'	125*	50	67	80	82	72	95	62	52	87	77	92	70
1834	Suède	57°20'	16°12'	125*	85	92	85	90	92	94	87	95	90	90	97	87
1835	Chine	55°35'	38°15'	200-500*	75	95	82	92	90	97	72	77	97	97	90	95
1838	Russie	56°40'	24°10'	50*	90	90	82	80	80	92	80	92	95	92	92	95
1839	Lettonie	50°46'	4°29'	100*	30	50	80	92	60	87	67	62	52	70	90	35
1840	Belgique	50°46'	4°29'	100*	30	50	80	92	60	87	67	62	52	70	90	35
1841	Bulgarie	45°18'	3°41'	500-1000*	37	90	92	77	94	92	80	67	87	85	87	87
1842	France	45°18'	3°41'	1000	30	50	80	70	70	92	55	77	72	80	85	75
1843	Mélange des provenances n°s 1845 et 1849				30	50	80	92	60	87	67	62	52	70	90	35

Tableau 4 (fin). Situation géographique et taux de survie des provenances à 10 ans sur chaque site d'expérience

N° SR Lieu d'origine	Provenance			Taux de survie (%) et sites d'expérience ¹											
	Lat. nord	Long. ² est	All. (m)	CHI	LAB	TRE	DAB	GAS	BON	MAP	MAS	PAT	LOT	COU	VER
Provenances du Québec															
1791 Grandes-Piles	46°41'	72°41'	150	..	85	79*	85	100	..	82	82	92	92	90	82
1811 Grandes-Piles	46°41'	72°41'	150	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	85	87
1812 Grandes-Piles	46°41'	72°41'	150	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	92
1820 Grandes-Piles	46°41'	72°41'	150	..	..	..	..	..	..	..	62	..	..	82	90
1846 Grandes-Piles	46°40'	72°41'	152	..	..	..	..	..	..	..	66	..	..	90	82
1836 Consol-Bathurst	46°40'	72°37'	..	97	90	70	92	92	97	77	77	90	90	92	87
1826 De Salaberry	46°08'	74°35'	180	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	85
1798 Berthier	46°02'	73°12'	15	52	92	80	92	70	97	55	70	100	92	90	80
1837 Berthier	46°02'	73°12'	15	42	65	67	87	42	80	72	82	95	90	97	82
1800 Rawdon	46°05'	73°50'	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	87
1831 Ste-Philomène	46°04'	73°14'	15	42	65	67	85	75	83	62	85	77	67	92	80
1803 Petite-Nation	45°49'	74°58'	182	..	..	..	..	..	..	..	87	..	..	..	..
1816 Mulgrave	45°45'	75°20'	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
1790 Eardley	45°37'	75°59'	242	7	52	65	72	52	70	..	..	..	85	92	87
1827 Eardley	45°36'	76°01'	210	..	..	..	..	..	..	..	77	..	..	..	..

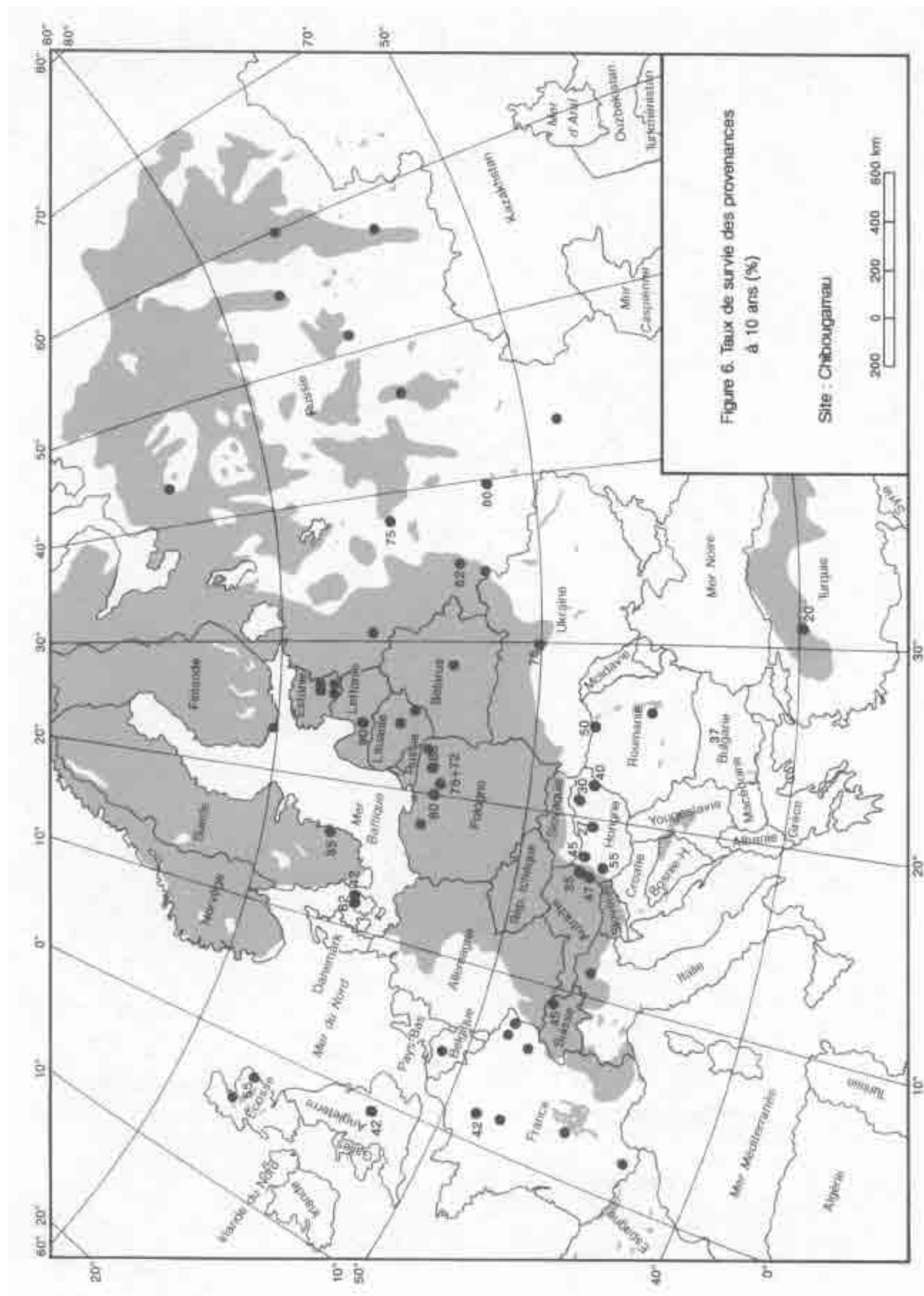
¹ Sites d'expérience : Chibougamau (CHI), Labrieville (LAB), Trécesson (TRE), Dablon (DAB), Gaspé (GAS), Bonaventure (BON), Matapédia (MAP), Mastigouche (MAS), La Pêche (PAT), Lotbinière (LOT), Coulonge (COU), Verchères (VER).

² Longitude ouest pour les provenances n° 1867, 1869, 1870 et pour toutes les provenances du Québec.

* Altitude approximative de provenances sur 20 arbres.

+ Prise de données sur 24 arbres.

+ Prise de données sur 28 arbres.



Le taux de survie des provenances les moins performantes à Chibougamau augmente de Chibougamau à Dablon. L'augmentation est plus progressive pour les provenances de Hongrie ; leur taux de survie moyen est de 41 % à Chibougamau, de 62 % à Labrieville, de 75 % à Trécesson et de 84 % à Dablon. L'augmentation se fait plus rapidement pour les provenances n^{os} 1851 et 1841, probablement à cause de l'altitude plus élevée de ces provenances (± 1000 m) comparativement à celle des provenances de Hongrie (± 200 m), leur latitude étant semblable.

De Dablon à Verchères, le taux de survie de toutes les provenances est semblable (taux de survie moyen de 86 %) sauf celui de la provenance n° 1844 qui est relativement bas sur presque tous les sites (taux de survie moyen de 61 %). Certaines provenances du Québec semblent avoir un taux de survie plus faible à Chibougamau, Labrieville et Trécesson que sur les autres sites mais il est difficile de tirer des conclusions plus précises uniquement à partir des données du tableau 4.

3.2 Hauteur

3.2.1 Variation entre les sites

Pour comparer la hauteur moyenne entre les sites, nous avons utilisé uniquement les provenances communes à l'ensemble des sites. Parmi les 25 provenances communes, il y en a quatre du Québec ; les autres font partie de 11 pays d'Europe.

La hauteur moyenne à 10 ans, entre les sites, varie de façon significative. Pour les sites de La Patrie, Lotbinière, Coulonge et Verchères, elle est de 443, 407, 487 et 434 cm ; la hauteur moyenne est plus faible à Mastigouche (326 cm), Dablon (366 cm), Bonaventure (370 cm) et Matapédia (279 cm) et beaucoup plus faible à Chibougamau (182 cm), Labrieville (199 cm), Trécesson (258 cm) et Gaspé (228 cm). À Matapédia, la croissance a été ralentie dans les blocs 3, 4, 5 et 6 à cause d'un drainage modéré. Dans son aire de distribution, le pin sylvestre peut croître sur une grande variété de sols mais la meilleure croissance a été observée sur des sols sableux ou graveleux, bien drainés, avec une mince couche d'humus (SKILLING 1990 dans BURNS et HONKALA 1990). À Bonaventure, la hauteur moyenne a été calculée à partir des données prises dans les blocs 6 à 10 seulement. La hauteur moyenne des provenances dans les blocs 1 à 5 est inférieure de 11 % à la hauteur dans les blocs 6 à 10, probablement à cause d'un moins bon drainage, puisque les blocs 1 à 5 sont situés à un niveau légèrement plus bas que les blocs 6 à 10. Les blocs 6 à 10 ont été choisis pour cette raison et aussi parce que les résultats du test d'additivité de Tukey montrent que

pour ces blocs il n'y a pas d'interaction bloc-provenance. À Gaspé, les facteurs limitatifs de la croissance sont liés au site ; la plantation a été établie presque au sommet d'une montagne ; elle est donc très exposée au vent ; la mince couche d'humus a été complètement enlevée lors de la préparation du terrain pour la plantation. À Gaspé, la hauteur moyenne de la plantation était d'environ 80 cm à 5 ans alors qu'à Bonaventure, elle était d'environ 1,30 m. À Chibougamau, Labrieville et Trécesson, c'est surtout la sévérité des conditions climatiques qui est le facteur limitatif de la croissance. De façon générale et exception faite des facteurs non liés au climat, on remarque que la hauteur moyenne des provenances à 10 ans est liée, sur chaque site, au domaine écologique présenté au tableau 2 et à la sévérité des conditions climatiques (tableau 3) ; des conditions climatiques moins sévères favorisent une meilleure croissance.

3.2.2 Choix des meilleures provenances

La hauteur moyenne des provenances, après 10 ans de croissance en plantation, est présentée au tableau 5 (annexe 1). Les provenances du Québec sont regroupées ensemble pour faciliter la comparaison de la hauteur entre les provenances. La hauteur moyenne des provenances dont le nombre d'arbres mesurés est inférieur à 14 apparaît aussi au tableau 5. La hauteur relative (%) est calculée en comparant, à chaque site, la hauteur de chaque provenance avec la hauteur moyenne des 25 provenances communes à l'ensemble des sites. La hauteur relative est de 100 % lorsque la hauteur d'une provenance est égale à la hauteur moyenne de ces 25 provenances.

Les résultats du test de Friedman (tableau 6) montrent qu'il y a une différence significative supérieure au seuil $\alpha = 0,05$ entre la hauteur moyenne des provenances à chaque site. La différence de hauteur entre la meilleure et la moins bonne provenance à chaque site, à 10 ans, varie de 83 cm pour Chibougamau à 290 cm pour Lotbinière.

Le choix des meilleures provenances sur chaque site se fait à partir des résultats du test de Waller-Duncan (figures 7 à 18, annexe II). Le nombre de provenances à conserver dans les tests après l'éclaircie génétique pour maintenir une biodiversité et une répartition adéquate des arbres résiduels dans le but de produire de la semence améliorée pour le reboisement a été pris en considération. En se basant sur les données de 10 ans, la hauteur moyenne des provenances retenues à chaque site est supérieure de 6 à 11 % (moyenne de 8 %) à la hauteur moyenne des 25 provenances communes à l'ensemble des tests. Le nombre de provenances choisies à chaque site varie de 16 à 22 (tableau 7). Ce nombre de provenances a

Tableau 5. (Voir Annexe I).

Figures 7 à 18. (Voir Annexe II).

Tableau 6. Application du test de Friedman sur la hauteur moyenne à 10 ans des provenances

Sites	Nombre de provenances	Hauteur moyenne maximale (cm)	Hauteur moyenne minimale (cm)	Valeur de <i>F</i>	Probabilité ⁺ > <i>F</i>
Chibougamau	28	227	144	2,94	0,0001
Labrieville	34	237	143	3,38	0,0001
Trécesson	31	316	144	6,54	0,0001
Dablon	37	431	257	8,62	0,0001
Gaspé	32	258	173	2,40	0,0001
Bonaventure	32	435	305	4,53	0,0001
Matapédia	34	323	159	3,40	0,0001
Mastigouche	46	391	153	10,98	0,0001
La Patrie	35	528	326	11,39	0,0001
Lotbinière	43	494	204	9,33	0,0001
Coulonge	49	557	361	11,63	0,0001
Verchères	63	508	366	9,96	0,0001

⁺ Probabilité de *F* significative au seuil $\alpha = 0,05$.

Tableau 7. Meilleures provenances retenues sur chaque site

Sites	Meilleures provenances		Autres groupes
	Nombre	Groupes ¹ retenus	
Chibougamau	16	A, B et C	J
Labrieville	16	A, B, C et D	J, K, L, M et N
Trécesson	17	A, B, C, D, E, F et G	K, L et M
Dablon	16	A, B, C, D et E	L, M, N, O, P, Q et R
Gaspé	17	A et B	I, J et K
Bonaventure	16	A et B	G, H et I
Matapédia	17	A	J, K et L
Mastigouche	19	A, B et C	H, I, J, K, L, M, N, O, P et Q
La Patrie	19	A, B, C, D, E, F et G	M, N, O, P, Q, R et S
Lotbinière	18	A, B, C et D	K, L, M, N, O, P, Q, R, S et T
Coulonge	22	A, B, C, D, E et F	L, M, N, O, P, Q, R, S, T et U
Verchères	20	A, B et C	N, O, P, Q, R, S, T, U, V, W, X, Y et Z

¹ Groupes retenus significativement supérieurs ($p \geq 0,05$) aux autres groupes dans le test de Waller-Duncan.

permis de garder de beaux phénotypes parmi les provenances un peu moins performantes. Au gain réalisé par le choix des provenances, il faudra ajouter celui obtenu par la sélection individuelle qui a été plus sévère à mesure que la performance des provenances diminuait.

Les sites ont été subdivisés de façon arbitraire, après un examen de la hauteur relative des provenances et de leur taux de survie, en deux groupes. Un premier, formé des sites de Chibougamau, Labrieville et Trécesson ; un second, formé des sites de Dablon à Verchères. Les meilleures provenances sur les sites de Chibougamau à Trécesson font partie exclusivement de la zone de climat tempéré continental tandis qu'aux sites de Dablon à Verchères, elles sont réparties dans les zones de climat tempéré continental et tempéré océanique. Les provenances de Hongrie, situées au sud du 50^e degré de latitude, dans la zone de climat tempéré continental, sont exclues du premier groupe à cause de leur moins bonne performance (survie moyenne de 59 % et hauteur relative moyenne de 93 %). La croissance des provenances de climat tempéré océanique (provenances n^{os} 1830, 1821, 1868 et 1869) est plus élevée sur les sites de Dablon à Verchères (hauteur relative moyenne de 101 %) que sur les sites de Chibougamau à Trécesson (hauteur relative moyenne de 91 %).

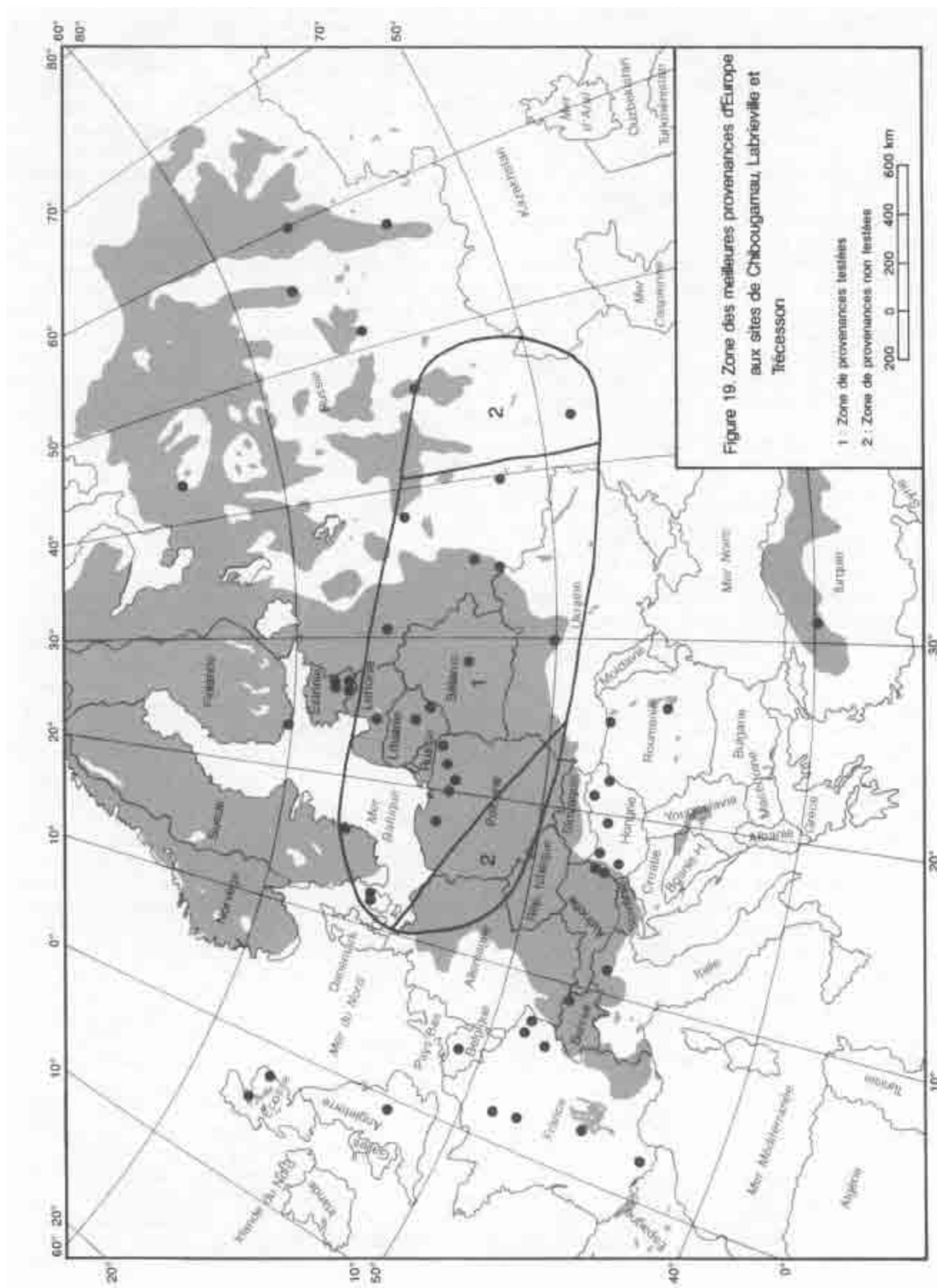
Sur les sites de Chibougamau à Trécesson, les meilleures provenances testées sont d'Europe centrale et du Québec. Ces provenances d'Europe sont situées entre 50° et 57° de latitude nord et entre 12° et 40° de longitude est (figure 19). Certaines provenances de Hongrie et de Roumanie ont été retenues, à l'occasion, dans les analyses de comparaisons multiples mais leur taux de survie est, dans l'ensemble de ces sites, plus faible. Les limites est et ouest de la zone des meilleures provenances ont été tracées de façon approximative puisque les provenances d'Allemagne, du sud et de l'ouest de la Pologne et celles d'une partie de la Russie n'ont pas été testées dans cette étude. Parmi les provenances du Québec, celle de Berthier (provenance n° 1798) fait partie du groupe des meilleures provenances surtout à Labrieville et Trécesson et sa hauteur relative moyenne est de 106 %.

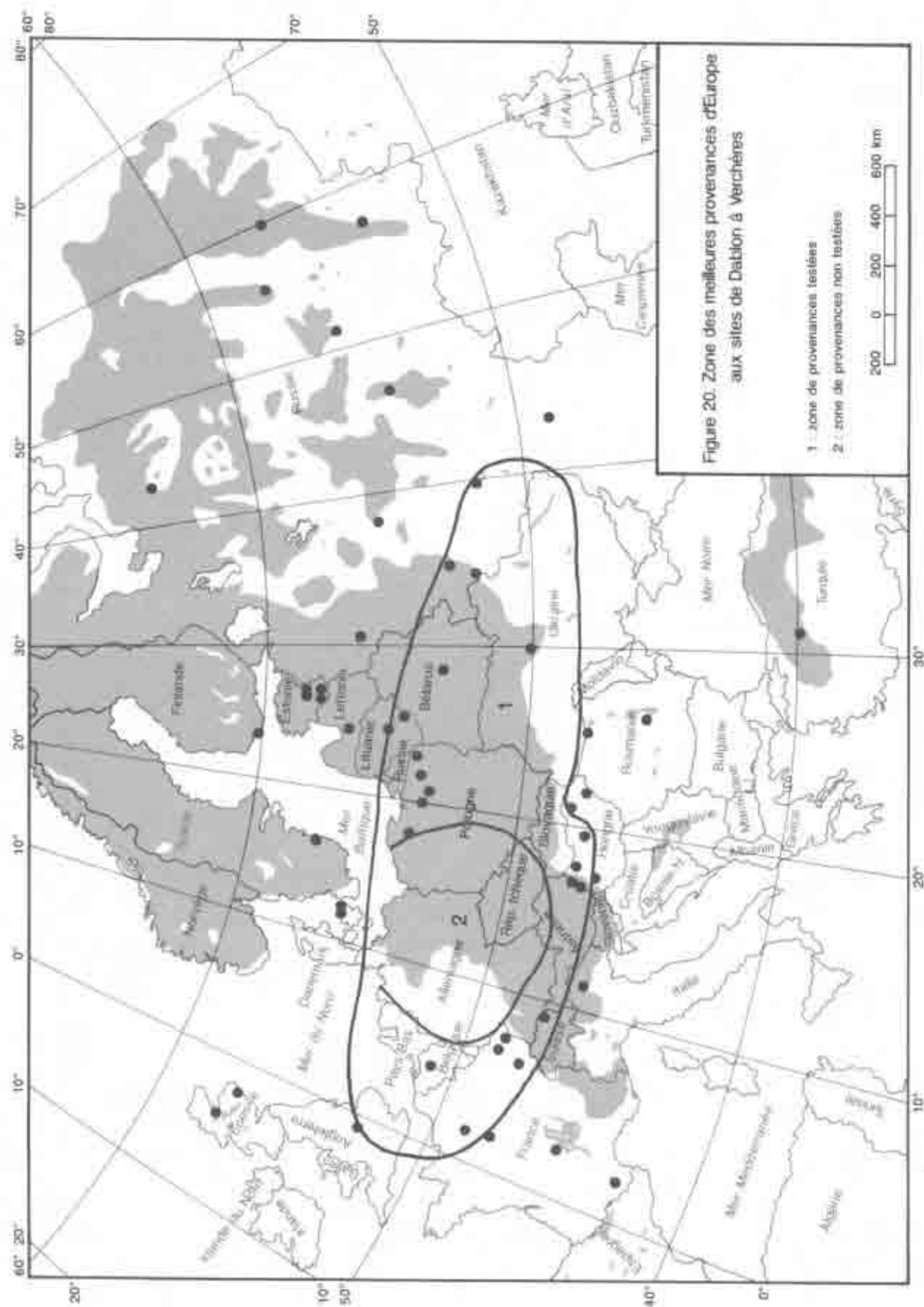
Sur les sites de Dablon à Verchères, les meilleures provenances sont d'Europe centrale et du Québec. La zone des meilleures provenances d'Europe se situe entre 47°13' et 55° de latitude nord et entre 0°45' de longitude ouest et 40° de longitude est (figure 20). Les

provenances d'Allemagne et de l'ouest et du sud de la Pologne sont comprises dans la zone des meilleures provenances mais elles n'ont pas été testées dans cette étude. Certaines provenances (n^{os} 1852, 1839, 1838, 1829, 1851, 1834 et 1857) situées à l'extérieur de la zone des meilleures provenances ont été retenues, à l'occasion, comme faisant partie des meilleures provenances dans les analyses de comparaisons multiples. Toutefois, sur l'ensemble des sites de Dablon à Verchères, leur hauteur relative moyenne (97 %) est plus faible que celle des provenances comprises dans la zone des meilleures provenances (106 %). Une partie seulement des provenances de Hongrie, celles du nord-ouest et surtout les provenances n^{os} 1808 et 1814, sont comprises dans la zone des meilleures provenances parce qu'elles sont en moyenne plus performantes. Parmi les provenances du Québec, celles de Berthier (provenances n^{os} 1798 et 1837) et de Sainte-Philomène ont une bonne croissance et font partie du groupe des meilleures provenances.

La provenance n° 1840, du verger à graines de Groenendaal en Belgique, est testée seulement aux sites de Mastigouche et Lotbinière et, à ces deux endroits, elle se classe au premier rang pour la croissance en hauteur à 10 ans, surpassant de 5 et 3 % respectivement les provenances de second rang. Les résultats obtenus à Lotbinière et Mastigouche confirment la bonne réputation des provenances belges pour la croissance dans de multiples expériences comparatives réalisées dans divers pays d'Europe et d'Amérique du Nord (NANSON 1970, GENYS 1970, GIERTYCH 1979, 1991). Les sources de graines utilisées dans les tests de provenances proviennent de peuplements situés dans les Ardennes à une altitude qui peut varier entre 500 et 1000 m. La provenance n° 1840 est une variété multiclonale et les clones proviennent d'arbres sélectionnés dans ces peuplements de type « noble » (NANSON 1969). D'après GIERTYCH (1979), les provenances belges ont probablement été introduites d'Allemagne au XIX^e siècle.

Les provenances du nord-est de la Pologne et la provenance n° 1865 (Ukraine) sont caractérisées par une plasticité intéressante. Ces provenances ont un bon taux de survie (taux de survie moyen de 83 et 82 % respectivement) et une bonne croissance sur presque tous les sites (hauteur relative moyenne de 108 et 112 % respectivement). La bonne plasticité des provenances du nord-est de la Pologne a été remarquée dans plusieurs plantations comparatives réalisées à travers le monde. D'après GIERTYCH (1973, 1991), les provenances du nord-est de la Pologne sont parmi





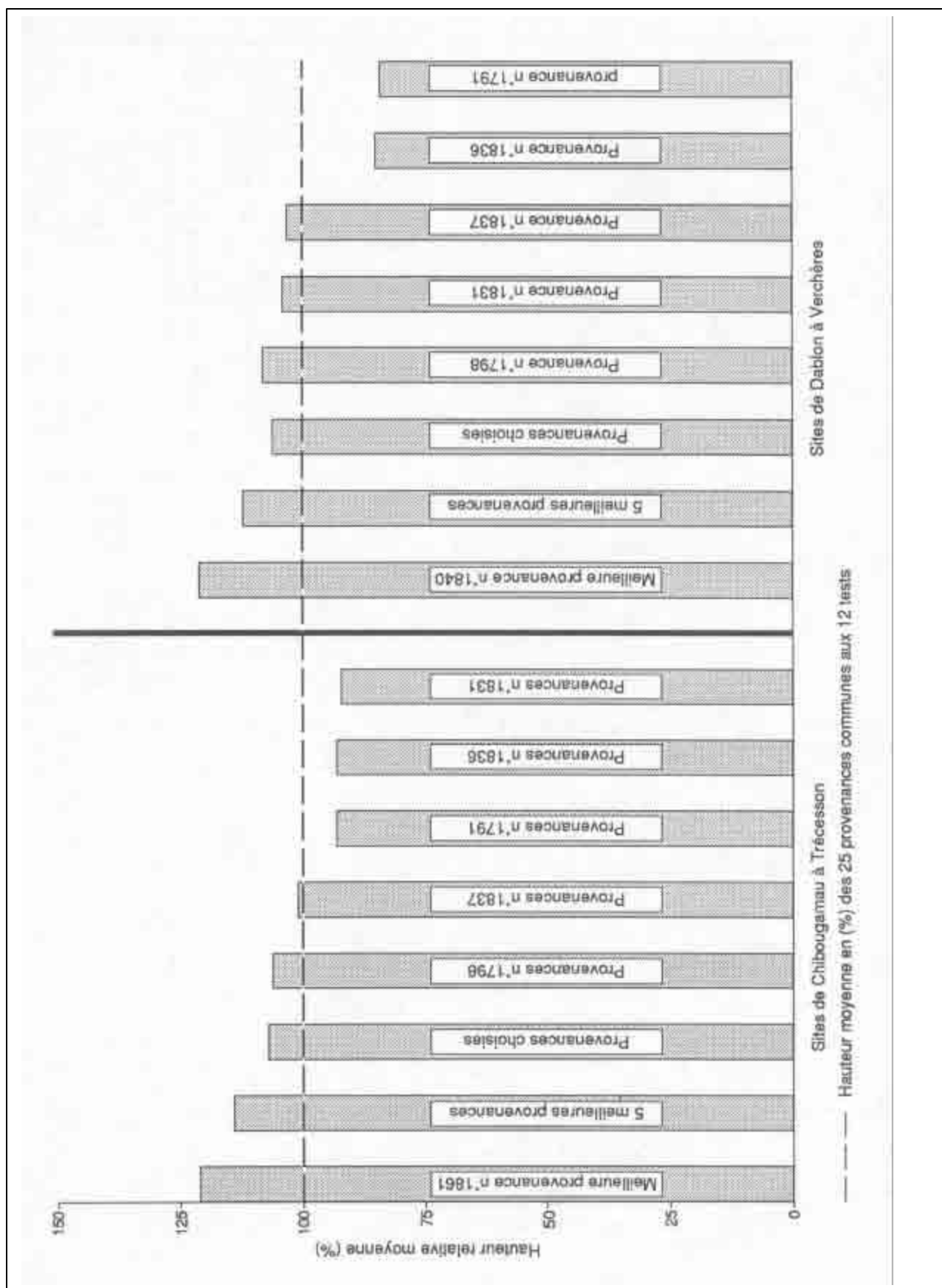


Figure 21. Croissance en hauteur des meilleures provenances d'Europe comparée avec celle de provenances témoins du Québec.

celles qui ont la meilleure croissance sur pratiquement tous les sites de la Scandinavie à la Turquie, de l'Europe de l'Est ainsi qu'au Michigan (É.-U.). La provenance n° 1865 fait partie d'un groupe de provenances dont les caractéristiques de croissance sont semblables à celles des provenances du nord-est de la Pologne (GIERTYCH 1973).

La provenance n° 1865 (Ukraine) et les provenances n° 1855 et 1861 (Russie) ont déjà été testées à plusieurs endroits au Canada et d'après TEICH et HOLST (1970) et KLEIN (1980), la survie et la croissance de ces trois provenances sont très intéressantes. Ces trois provenances ont d'ailleurs été recommandées comme sources de graines pour le reboisement dans les régions canadiennes à climat continental (TEICH et HOLST 1970). Les résultats que nous avons obtenus montrent qu'effectivement ces trois provenances ont un bon taux de survie et une bonne croissance (hauteur relative moyenne de 116 %) dans les plantations effectuées sur les sites de Chibougamau à Trécesson mais qu'en général, sur les sites de Dablon à Verchères, la croissance des provenances n° 1855 et 1861 est plus faible (hauteur relative moyenne de 104 %) que celle de la provenance n° 1865 (hauteur relative moyenne de 111 %). La localisation de la provenance n° 1865 est plus méridionale.

Les provenances n° 1982 et 1983 situées dans la région de l'Oural et la provenance n° 1984 située dans la partie ouest de la Sibérie ont une faible croissance à Verchères, seul site où elles ont été plantées. La hauteur relative de ces provenances est de 78, 75 et 89 % respectivement. Ces résultats sont semblables à ceux obtenus par TEICH et HOLST (1970), KLEIN (1971), (1980), GIERTYCH et OLEKSYN (1981), SHUTYAEV (1983).

La provenance n° 1844 (Turquie) a une croissance faible sur tous les sites. Sa hauteur relative moyenne est de 71 %. Cette provenance a démontré une faible croissance sur son lieu d'origine et dans des tests effectués à une latitude plus élevée (GIERTYCH 1979, OLEKSYN et GIERTYCH 1984). Cette population se trouve isolée et à la limite sud de son aire de distribution. Ce manque de vigueur pourrait être attribué à une faible diversité génétique (WRIGHT 1976).

Les provenances du centre et du sud de la France ont une croissance relativement faible si on la compare à celle des provenances de la partie nord. Ces provenances de haute altitude sont situées dans le Massif Central (provenance n° 1842) et dans les Pyrénées (provenance n° 1805) et leur hauteur relative moyenne sur les sites en cause est de 81 et 51 % respectivement. La provenance n° 1805 est celle qui a la plus

faible croissance parmi toutes les provenances testées. Ces résultats confirment ceux d'autres tests (GIERTYCH 1979).

Les provenances d'Écosse (provenances n° 1867 et 1870) ont une croissance faible. Leur hauteur relative moyenne est de 89 et 76 % respectivement. Ces résultats sont en accord avec ceux d'autres tests (GIERTYCH 1979). Il est probable que la croissance de ces provenances soit affectée légèrement par le photopériodisme.

Les provenances de haute altitude situées dans les Balkans (provenance n° 1841) et dans les Alpes (provenance n° 1848) ont une croissance faible sur presque tous les sites. Leur hauteur relative moyenne est de 87 et 84 % respectivement. D'autres provenances de haute altitude et situées dans les Carpates (provenances n° 1851 et 1852) ont, en général, une croissance inférieure à celle des meilleures provenances mais leur croissance est supérieure à celle des provenances n° 1841 et 1848. La hauteur relative moyenne des provenances n° 1851 et 1852 est de 96 et 103 % respectivement.

Les provenances situées au nord de la latitude de 56°30' (provenances n° 1839, 1834, 1854, 1857, 1858, 1860, 1818 et 1966) ont une croissance faible à Verchères (hauteur relative moyenne de 90 %), seul site où l'ensemble de ces provenances ont été testées. Leur croissance est affectée par le photopériodisme. OLEKSYN *et al.* (1992) ont démontré clairement que la période de croissance est plus courte et que la hauteur est plus faible lorsque ces populations nordiques de pin sylvestre poussent sous une photopériode semblable à celle que l'on retrouve à 50° de latitude nord au lieu de 60°. La hauteur relative moyenne des provenances n° 1839 et 1834, plantées sur tous les sites, est plus élevée sur les sites de Chibougamau à Trécesson (103 %) que sur ceux de Dablon à Verchères (96 %). La croissance de ces huit provenances nordiques était plus faible en pépinière (plants 2+2). Leur hauteur moyenne était de 40 cm alors que celle des meilleures provenances était de 56 cm. La provenance la plus nordique (provenance n° 1966) avait une hauteur moyenne de 15 cm seulement.

*

3.2.3 Croissance en hauteur des meilleures provenances d'Europe comparée avec celle de provenances témoins du Québec

Nous avons choisi les provenances n^{os} 1798, 1837, 1831, 1836 et 1791 comme provenances témoins parce qu'elles sont testées sur la majorité des sites et aussi parce qu'elles ont été ou sont encore les principales sources de graines pour le reboisement.

Les sites ont été divisés en deux groupes (Chibougamau à Trécesson et Dablon à Verchères) comme on l'a fait pour le choix des meilleures provenances. Vingt-cinq provenances sont communes à tous les sites. Les provenances sont évaluées dans chaque groupe par rapport à la hauteur moyenne des provenances communes du groupe. Une hauteur relative moyenne de 100 % d'une provenance s'obtient dans chaque groupe lorsque la hauteur de cette provenance est égale à la hauteur moyenne des 25 provenances communes du groupe.

Sur les sites de Chibougamau à Trécesson (figure 21), la meilleure provenance (n^o 1861) a une hauteur relative moyenne de 21 % supérieure à la hauteur moyenne des provenances communes et de 15 % à la hauteur moyenne de la meilleure provenance témoin (provenance n^o 1798). Les cinq meilleures provenances sont : de Russie (n^{os} 1861 et 1855), d'Ukraine (n^o 1865) et de Pologne (n^{os} 1824 et 1825). Les 14 meilleures provenances choisies sont localisées à la figure 19 et elles ont une hauteur relative moyenne de 107 %, soit 1 % de plus que la hauteur relative moyenne de la provenance n^o 1798. Parmi les provenances témoins, ce sont les provenances de Berthier qui ont la meilleure croissance, surtout la provenance n^o 1798. Les provenances n^{os} 1791, 1836 et 1831 sont les moins performantes et leur hauteur relative moyenne est de 13 % inférieure à celle de la provenance n^o 1798 et de 14 % à la hauteur relative des provenances choisies.

Sur les sites de Dablon à Verchères (figure 21), la meilleure provenance (n^o 1840) a une hauteur relative moyenne de 21 % supérieure à la hauteur moyenne des provenances communes et de 13 % à la hauteur relative moyenne de la meilleure provenance témoin (provenance n^o 1798). Même si la provenance n^o 1840 n'a été testée que sur deux sites seulement (Mastigouche et Lotbinière), nous l'avons quand même choisie comme meilleure provenance à cause de la stabilité de son classement sur ces sites (hauteur relative de 120 et 121 % respectivement, tableau 5). Les cinq meilleures provenances sont : de Belgique (n^o 1840), d'Ukraine (n^o 1865), de Pologne (n^{os} 1825 et 1824) et de France (n^o 1815). Les provenances choisies sont localisées à la figure 20 et leur hauteur relative

moyenne est de 106 %. Parmi les provenances témoins, ce sont les deux provenances de Berthier et celle de Sainte-Philomène qui ont la meilleure croissance. Les provenances n^{os} 1791 et 1836 sont les moins performantes et leur hauteur relative moyenne est de 23 % inférieure à celle de la provenance n^o 1798.

Parmi les provenances témoins, c'est la provenance n^o 1798 de Berthier qui a la meilleure croissance dans les deux groupes de sites. Cette provenance a été récoltée en 1970 dans la plantation située dans la partie nord de la pépinière forestière de Berthier. L'autre provenance de Berthier (n^o 1837), récoltée en 1974, à plusieurs endroits dans des plantations situées dans cette pépinière ou près de celle-ci, semble un peu moins performante ; sa hauteur relative moyenne est de 5 % inférieure à celle de la provenance n^o 1798. La provenance de Sainte-Philomène (n^o 1831) est située à environ cinq kilomètres des provenances de Berthier et sa croissance, sur les sites de Dablon à Verchères, est comparable à celle de la provenance n^o 1837. Les provenances n^{os} 1791 et 1836 ont la plus faible croissance dans les deux groupes de sites et c'est sur les sites de Dablon à Verchères qu'elles semblent les moins performantes. Leur hauteur relative moyenne est de 8 % inférieure à celle obtenue dans l'autre groupe. Les provenances n^{os} 1791 et 1836 proviennent toutes deux de plantations situées dans le canton de Radnor.

3.3 Caractéristiques de forme et de branchaison

3.3.1 Fourches, flèches et tiges multiples

La formation de fourches, flèches et tiges multiples est attribuable à plusieurs facteurs dont les principaux sont : la perte de dominance du bourgeon apical avec formation ou non d'une pousse d'août, les dommages causés par les rongeurs (porcs-épics, lièvres) et les chevreuils, les dégâts causés par le charançon du pin blanc (*Pissodes strobi*) et le défaut d'adaptation de certaines provenances.

Le pourcentage d'arbres avec fourches, flèches et tiges multiples varie de façon significative entre les sites (tableau 8). À La Patrie, Lotbinière et Verchères, le pourcentage d'arbres avec flèches multiples et fourches, à 10 ans, est particulièrement élevé par rapport aux autres sites. La cause principale de l'apparition en plus grand nombre de ces caractéristiques morphologiques indésirables est la perte de dominance du bourgeon apical avec présence ou non d'une pousse d'août. Tous les cas observés en plantation ont été reproduits de façon schématique à la

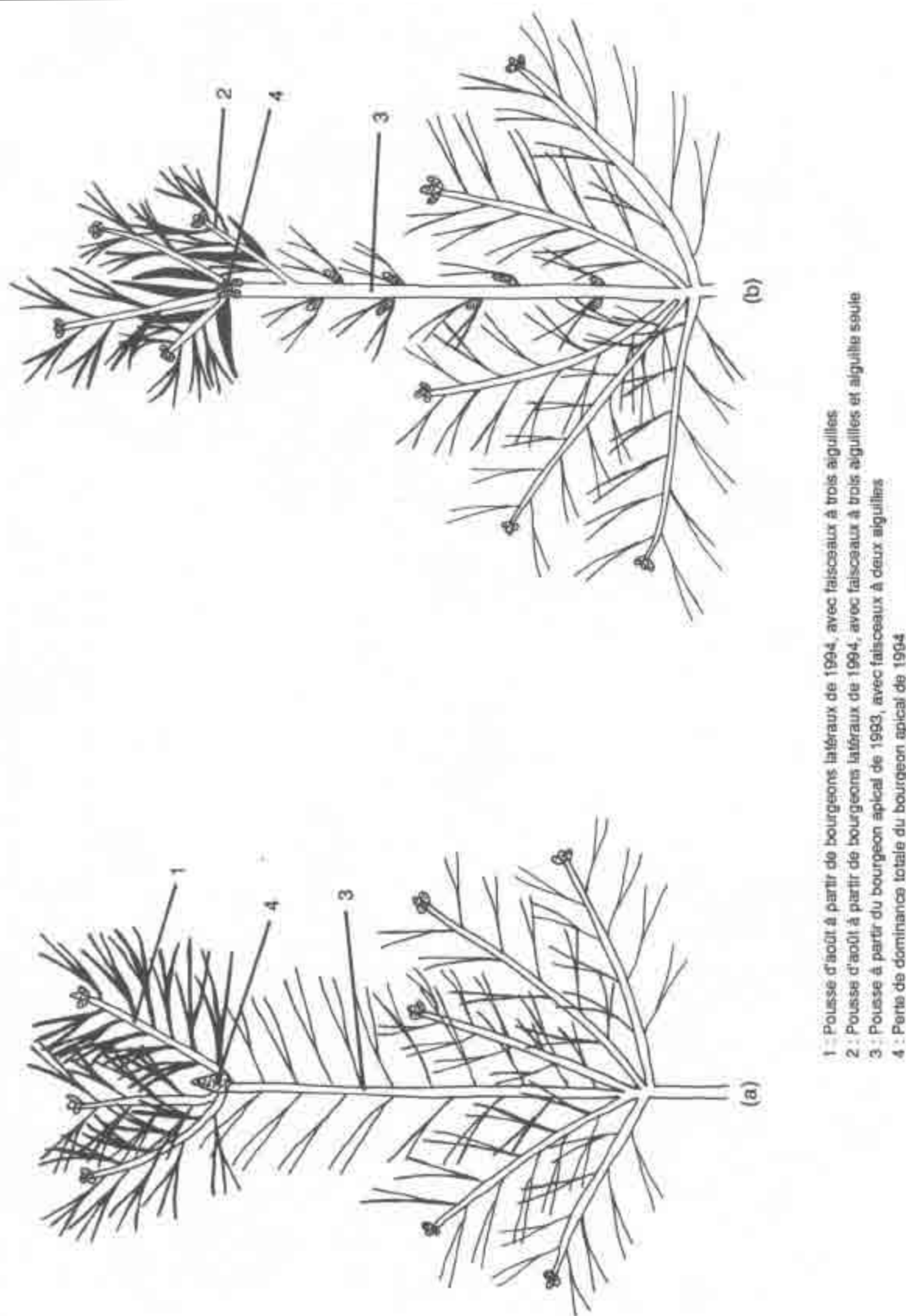


Figure 22. Perte de dominance du bourgeon apical.

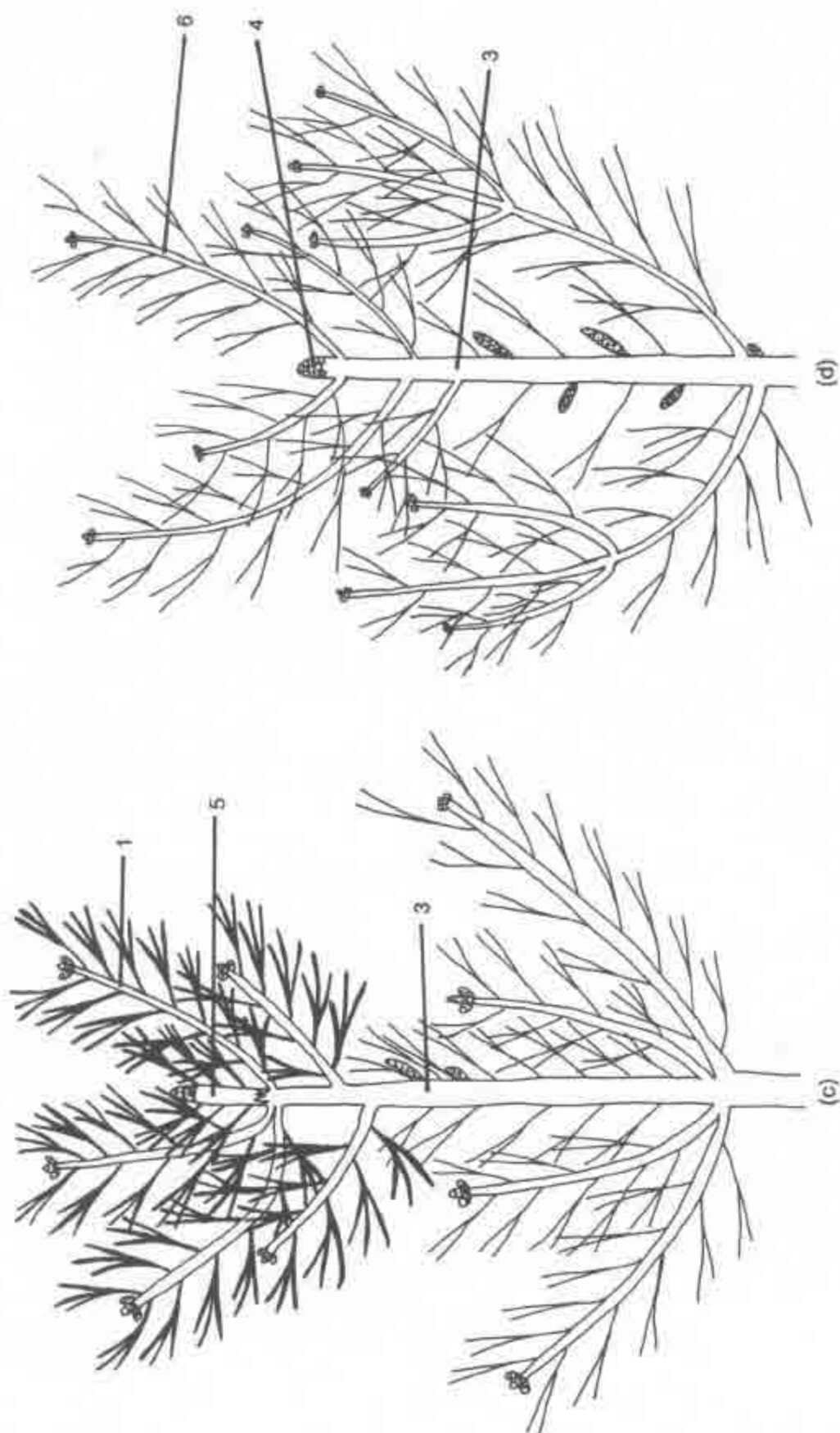


Figure 22 (suite). Perte de dominance du bourgeon apical.

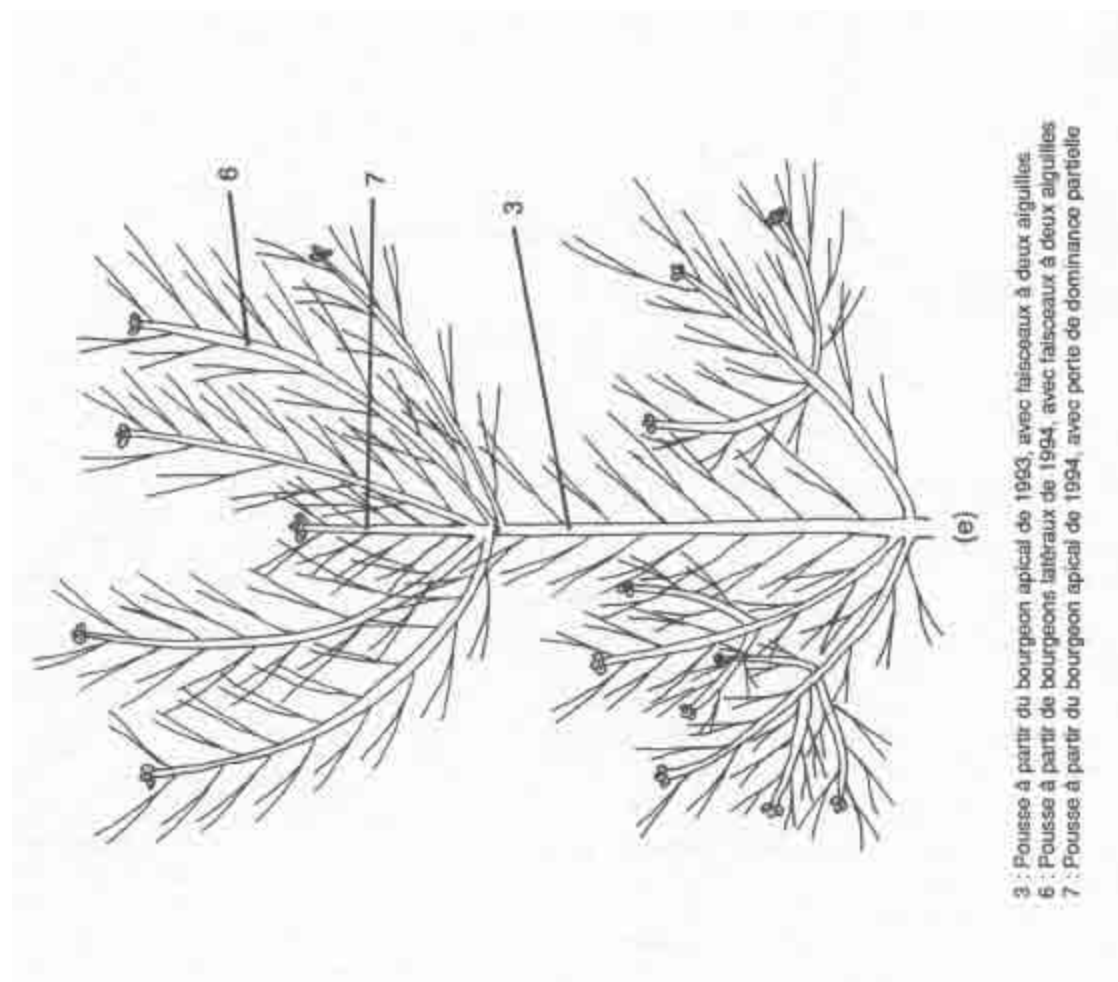


Figure 22 (fin). Perte de dominance du bourgeon apical.

Tableau 8. Perte de dominance et pourcentage d'arbres avec fourches, flèches et tiges multiples sur chaque site d'expérience

Site d'expérience	Perte de dominance ¹		Pourcentage d'arbres affectés ²		
	Arbres atteints (%)	Pousses atteintes sur 7 ans (%)	Fourches	Flèches multiples	Tiges multiples
Chibougamau	38	7	7	6	7
Labrieville	72	12	6	6	14
Trécesson	16	3	9	6	11
Dablon	42	8	14	6	1
Gaspé	74	13	25	39	15
Bonaventure	55	8	15	3	8
Matapédia	45	11	13	4	26
Mastigouche	50	9	11	14	5
La Patrie	88	19	76	59	3
Lotbinière	96	32	78	..	1
Coulonge	74	12	16	15	1
Verchères	99	22	73	59	3

¹ Données prises à 12 ans

² Données prises à 10 ans.

figure 22 et conduisent éventuellement à la formation de fourches, de flèches et tiges multiples. On peut décrire sommairement chacun des cas de la façon suivante :

- a) le bourgeon apical ne débourre pas et la formation d'une pousse d'août, caractérisée par la présence de faisceaux à trois aiguilles, se fait à partir des bourgeons latéraux. La flèche terminale formée durant la saison de croissance porte des faisceaux à deux aiguilles ;
- b) le bourgeon apical ne débourre pas et il y a formation d'une pousse d'août avec faisceaux à trois aiguilles et aiguilles seules. Les aiguilles seules sont longues et larges comme des aiguilles primaires. La pousse d'août se fait à partir des bourgeons latéraux ;
- c) le bourgeon apical et les bourgeons latéraux débourrent et forment une pousse d'août avec faisceaux à trois aiguilles. Cependant, la pousse d'août formée à partir du bourgeon apical est plus courte que celle formée à partir des bourgeons latéraux ;
- d) il y a absence de pousse d'août. Les bourgeons latéraux débourrent normalement au printemps et forment une pousse annuelle. Le bourgeon apical ne débourre pas ;

e) il y a absence de pousse d'août. Le bourgeon apical et les bourgeons latéraux débourrent au printemps. La pousse formée à partir du bourgeon apical est plus courte que celle formée à partir des bourgeons latéraux. Les cas décrits que l'on observe le plus souvent sont ceux mentionnés en a, d et e.

La perte de dominance du bourgeon apical affecte généralement la flèche terminale de la tige principale, mais le même phénomène peut se produire aussi sur la flèche terminale des fourches et sur celle de branches fastigiées d'un diamètre plus important et toutes situées dans le tiers supérieur de l'arbre. Les symptômes du phénomène restent apparents même après plusieurs années de croissance en plantation et se manifestent par la formation de fourches, par la déviation plus ou moins prononcée de la tige et aussi par la formation de grosses branches. Souvent, la flèche terminale encore vivante ou desséchée, qui a été dépassée au fil des ans par les pousses successives formées à partir des bourgeons latéraux, est encore présente sur l'arbre.

Des observations menées sur des arbres âgés de 12 ans montrent que la perte de dominance du bourgeon apical est présente sur tous les sites (tableau 8) mais que les sites de La Patrie, Lotbinière et Verchères sont plus affectés que les autres. Le pourcentage d'arbres ne présentant aucun symptôme

est de 84 % à Trécesson, en moyenne de 55 % à Mastigouche, Dablon, Matapédia, Bonaventure et Chibougamau et en moyenne de 6 % à La Patrie, Lotbinière et Verchères. La majorité des pertes de dominance se sont produites au cours des sept dernières années et, sur certains arbres, plusieurs fois durant cette période. La fréquence de perte de dominance exprimée en pourcentage, c'est-à-dire le quotient du nombre de pousses atteintes sur le nombre de pousses totales réalisées au cours des sept dernières années sur l'ensemble des arbres observés à chaque site, varie de 19 à 32 % pour La Patrie, Lotbinière et Verchères alors que ce pourcentage varie de 3 à 13 % sur les autres sites (tableau 8).

La régie de la dominance apicale est très complexe. D'après ALDÉN (1971), la formation d'une pousse d'août à partir de bourgeons latéraux cause une forte inhibition de la dominance du bourgeon apical. Selon KOZLOWSKI (1964), ALDÉN (1971), KRAMER et KOZLOWSKI (1979), les conditions climatiques durant les années (n-1) et (n) ont une influence sur le nombre d'arbres avec pousse d'août durant l'année (n).

Les résultats obtenus à Mastigouche et sur les autres sites montrent qu'il n'y a pas de différence entre les provenances quant au nombre d'arbres affectés par la perte de dominance du bourgeon apical. D'autre part, la perte de dominance ne se manifeste pas uniquement sur les arbres avec pousse d'août et d'après KOZLOWSKI (1971), elle serait plutôt liée à des facteurs hormonaux et nutritionnels qui influencent le développement, le débourrement, le taux et la durée de croissance des pousses. Il semble que la dominance apicale soit l'expression finale de plusieurs événements physiologiques séquentiels qui ont lieu pendant la croissance des pousses et que des changements hormonaux agiraient sur la nutrition et le métabolisme des arbres (KRAMER et KOZLOWSKI 1979). Pour mieux comprendre la perte de dominance du bourgeon apical, il serait nécessaire de mener une recherche plus spécifique car les données de texture du sol et de conditions climatiques prises à chaque site ne sont pas suffisantes pour expliquer le phénomène, ce qui n'était pas d'ailleurs le but visé par cette étude.

Il n'y a pas de différence entre les provenances quant au nombre de tiges multiples à 10 ans, excepté pour les sites de Chibougamau à Trécesson où, à ces endroits, le pourcentage d'arbres avec tiges multiples est plus élevé, en moyenne, pour les provenances de Hongrie, Suisse, France, Angleterre, Écosse, Bulgarie et Turquie (moyenne de 16 %) et pour les provenances du Québec (moyenne de 12 %) que pour les provenances de Pologne, Russie, Ukraine, Lettonie,

Danemark et Suède (moyenne 6 %). Le défaut d'adaptation de ces provenances (survie plus faible) et leur croissance relativement lente sur ces sites expliquent en partie ce résultat.

À Gaspé, la formation de tiges multiples (15 % des arbres) et de fourches (25 % des arbres) est causée à la fois par la perte de dominance et par l'annellation complète par les porcs-épics, à une distance variable du sol, de 16 % des tiges. À Matapédia, le pourcentage élevé de tiges multiples (26 % des arbres) a été causé en partie par l'annelage complet, par les porcs-épics et les mulots, de 33 % des tiges. L'annelage de 16 % des arbres à Bonaventure a été observé à 12 ans. Les lièvres ont sectionné une partie de la flèche terminale et des branches latérales sur 16 % des arbres à Trécesson vers l'âge de 7 ans et sur 11 % des arbres à Dablon à 10 ans. La formation de fourches et de tiges multiples est beaucoup moins importante lorsque les dégâts sont causés par les lièvres plutôt que par les porcs-épics et les mulots.

Le charançon du pin blanc (*Pissodes strobi* Peck) est présent dans la plupart des tests mais cet insecte cause peu de dégâts ; le pourcentage d'arbres avec mortalité de la flèche terminale varie de 0 à 4 % (tableau 9). Selon PARADIS (1994), l'insecte se trouve dans 20 % des plantations de pin sylvestre observées à travers le Québec. Le niveau d'activité annuelle varie de trace à léger et le pourcentage d'arbres atteints varie de 2 à 10 %. Ces résultats sont en accord avec ceux que nous avons obtenus. D'autres observations effectuées à l'âge de 5 ans montrent que le charançon était déjà présents dans plusieurs tests et que le pourcentage d'arbres avec mortalité de la flèche terminale variait de 0 et 3 %.

Le charançon du pin blanc semble attiré davantage par d'autres espèces que le pin sylvestre pour se nourrir et se reproduire. À Verchères et Lotbinière, la mortalité de la flèche terminale dans les plantations d'épinette de Norvège, de pin gris et de pin de Murray varie, vers l'âge de 10 ans, de 20 à 30 % (BEAUDOIN 1995) tandis que dans les tests de pin sylvestre situés à proximité de celles-ci, elle varie de 1 à 2 %.

Le nodulier du pin gris (*Petrova albicapitana* Busck) est présent dans la plupart des tests mais cet insecte cause très peu de dégâts ; sa chenille annelle partiellement ou totalement un certain nombre de pousses latérales de l'année sur 0 % à 9 % des arbres selon le cas mais cause rarement la mortalité de la flèche terminale et la formation de fourches et de tiges multiples. Chez certaines espèces comme le pin gris et le pin de Murray, plantées à proximité des tests de pin sylvestre à Lotbinière, Bonaventure, Dablon et

Tableau 9. Pourcentage d'arbres affectés par les insectes, les maladies et les rongeurs sur chaque site à 10 ans

Rongeurs, insectes, maladies et hôtes responsables

Site d'expérience	Charançon du pin blanc	Nodulier du pin gris	Charançon du collet du pin	Chancres sclérodermien	Rouille-tumeur autonome	Pourridié-agarc	Rouge des aiguilles	Rongeurs (pors-épics, mulots, lièvres)
	<i>Pissodes strobi</i>	<i>Petrova albicapitana</i>	<i>Hyobius radialis</i>	<i>Gremmeniella abietina</i>	<i>Endocronartium harknessii</i>	<i>Armillaria mellea</i>	<i>Lophodermium spp.</i>	
Chibougamau	0	5	0	57	1	0	0	0
Labrieville	0	3	1	56	6	0	0	2
Trécesson	1	1	0	5	3	6	0	16
Dablon	2	6	1	7	3	0	0	11
Gaspé	1	0	0	36	0	0	0	16
Bonaventure	0	3	0	13	2	0	0	16
Matapédia	0	2	0	0	0	0	0	33
Mastigouche	1	9	0	0	8	0	1	0
La Patrie	4	7	0	0	1	1	0	4
Lotbinière	2	0	0	0	5	1	0	0
Coulonge	4	0	0	0	1	2	0	0
Verchères	1	0	0	0	1	0	0	0

* Observations effectuées à 12 ans

Tableau 10. Perte de dominance et flexuosité des tiges sur chaque site d'expérience

Site d'expérience	Perte de dominance		Flexuosité de la tige (% d'arbres)		
	Arbres atteints (%)	Pousses atteintes sur 7 ans (%)	Droit	Légèrement flexueux	Flexueux
Chibougamau	38	7	60	12	6
Labrieville	72	12	26	40	21
Trécesson	16	3	78	12	8
Dablon	42	8	62	14	15
Gaspé	74	13	34	24	31
Bonaventure	55	8	50	24	20
Matapédia	45	11	21	31	17
Mastigouche	50	9	77	9	10
La Patrie	88	19	8	31	35
Lotbinière	96	32	9	30	26
Coulonge	74	12	28	44	22
Verchères	99	22	11	30	23
					36

Chibougamau, les dégâts ont été beaucoup plus importants (30 à 79 % des arbres atteints) que ceux observés sur le pin sylvestre (0 à 6 % des arbres atteints) (BEAUDOIN 1995).

D'autres agents déprédateurs (tableau 9) qui affectent surtout la croissance et la survie des arbres ont été inventoriés dans les tests. Des conditions favorables au développement du chancre scléroderrien du pin (*Gremmeniella abietina* [Lagerb.] Modelet) se retrouvent surtout sur les sites de Chibougamau, Labrieville, Gaspé et Bonaventure. Ces conditions favorables seraient une période d'une cinquantaine de jours, pas nécessairement successifs, où la température serait autour de 0 °C (± 5) (LAFLAMME 1991). Le pourcentage d'arbres atteints, c'est-à-dire qui présentent un symptôme actif de la maladie, c'est-à-dire un feuillage rouge ou un chancre sur le tronc, à Chibougamau, Labrieville, Gaspé et Bonaventure, est de 57, 56, 36 et 13 % respectivement. L'échelle d'évaluation de l'importance de la maladie que nous avons utilisée (BOULET *et al.* 1994) montre que 40, 21, 5 et 3 % des arbres atteints à ces endroits présentent un chancre sur le tronc ou ont plus de 25 % de leurs branches primaires affectées. À Chibougamau et Labrieville, le pourcentage d'arbres qui présentent un symptôme actif de la maladie est lié à la provenance. À Chibougamau, les provenances de Pologne, Russie, Danemark, Lettonie, Ukraine, Suède sont moins affectées que les provenances de Hongrie, Suisse, Roumanie, Turquie, Bulgarie, Angleterre et Écosse et que les provenances du Québec. Le pourcentage d'arbres atteints par rapport au nombre d'arbres vivants à 10 ans de ces trois groupes de provenances est de 10, 48 et 43 % respectivement. Le même comportement semble se répéter à Labrieville. Les provenances des deux derniers groupes montrent un défaut d'adaptation surtout à Chibougamau et à Labrieville où l'on observe une défoliation prononcée de la cime. Les arbres affaiblis sont plus sensibles au chancre scléroderrien.

3.3.2 Flexuosité de la tige

Beaucoup de plantations de pin sylvestre établies depuis plusieurs années sont dépréciées à cause de la flexuosité de la tige. Divers facteurs peuvent avoir un effet sur le pourcentage d'arbres avec tiges flexueuses. Les principaux sont la perte de dominance du bourgeon apical, les conditions climatiques et de site (sol) de la plantation, la provenance, les dégâts causés à la tige et à la flèche terminale par les insectes et les rongeurs.

La flexuosité des arbres varie beaucoup entre les sites (tableau 10) et c'est à Mastigouche et Trécesson que le pourcentage d'arbres droits est le plus élevé (77 et 78 %) et que le pourcentage d'arbres très flexueux est le plus bas (4 et 2 %). Par contre, c'est à La Patrie, Lotbinière et Verchères que le pourcentage d'arbres droits est le plus faible (8, 9 et 11 %) et le pourcentage d'arbres très flexueux, le plus élevé (26, 35 et 36 %). Si l'on considère qu'au fil des ans les arbres qui sont légèrement flexueux deviendront droits avec l'accroissement de leur diamètre, on peut regrouper les sites en trois groupes quant à la flexuosité des tiges. Le premier comprend les arbres les moins flexueux et est formé des sites de Trécesson, Mastigouche, Dablon, Bonaventure, Coulange, Chibougamau et Labrieville avec un pourcentage total d'arbres droits de 90, 86, 76, 74, 72, 72 et 66 % respectivement. Un second, qui comprend les arbres les plus flexueux, est formé des sites de Verchères, Lotbinière et La Patrie avec un pourcentage total d'arbres droits de 41, 39 et 39 % respectivement. Un troisième groupe est formé des sites de Gaspé et Matapédia avec un pourcentage total d'arbres droits de 58 et 52 % respectivement. La flexuosité des tiges du dernier groupe a été affectée par la verse due à la neige (9 et 23 % des arbres) et aussi par les dégâts causés par les rongeurs (16 et 33 % des arbres). La perte de dominance du bourgeon apical a une incidence négative sur la rectitude des tiges sur tous les sites et surtout sur ceux de La Patrie, Lotbinière et Verchères.

Les données sur la perte de dominance du bourgeon apical et la flexuosité des tiges ont été prises sur un plus grand nombre d'arbres par provenance à Mastigouche, Lotbinière et Dablon et les résultats montrent que la perte de dominance affecte toutes les provenances de la même façon et que la flexuosité des tiges qui en résulte vient confondre l'effet de la provenance. Même les huit provenances de la variété *rigensis*, qui sont reconnues pour la rectitude de leur tige (GIERTYCH 1973, RUBY et WRIGHT 1976) ne montrent pas de différence par rapport aux autres provenances pour ce qui est de la flexuosité. Certaines provenances de Hongrie, Suisse, France, Angleterre, Écosse, Bulgarie, Turquie et du Québec, moins bien adaptées aux conditions climatiques de Labrieville et surtout de Chibougamau, sont plus affectées par le chancre scléroderrien et font augmenter le pourcentage d'arbres très flexueux sur ces sites.

*

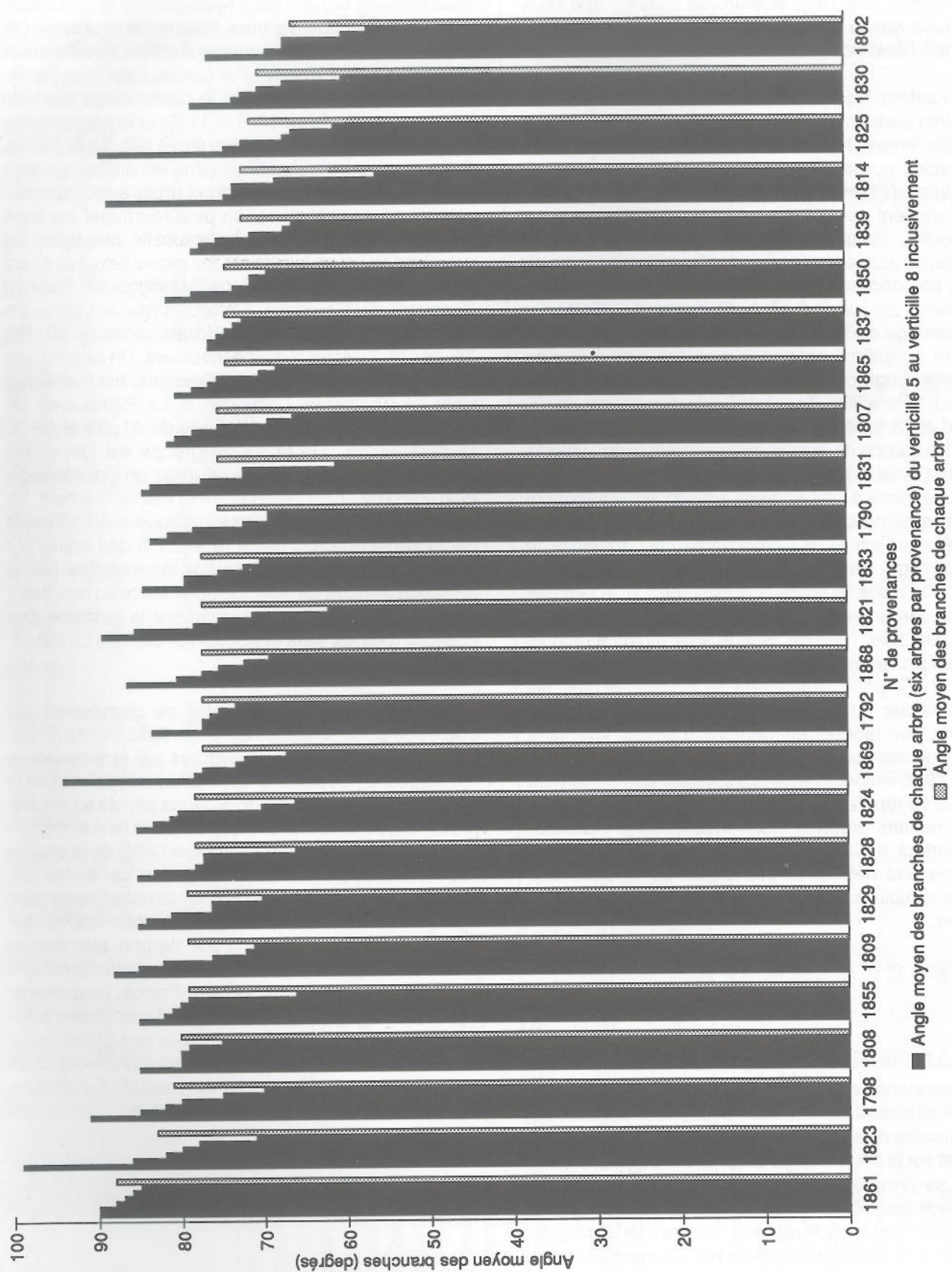


Figure 23. Répartition de l'angle moyen des branches en fonction des arbres de 25 provenances à Bonaventure.

3.3.3 Angle des branches

L'étude d'arbres réalisée à Bonaventure montre qu'il y a une différence significative (au seuil $\alpha = 0,05$) entre les 25 provenances choisies pour l'angle d'insertion des branches au tronc des verticilles formés à 5, 6, 7 et 8 ans après la plantation. Les provenances choisies sont celles qui sont comprises dans la zone des meilleures provenances déterminée pour les sites de Dablon à Verchères (figure 20). L'angle moyen des branches varie entre les provenances de 88° pour la provenance n° 1861 à 66° pour la provenance n° 1802 (figure 23). L'angle moyen des branches de toutes les provenances est de 76° .

L'angle des branches peut varier de façon plus importante entre les arbres d'une provenance qu'entre les provenances. L'angle moyen des branches entre les arbres de la provenance n° 1814 varie de 88° à 56° . Pour d'autres provenances (provenance n° 1861), l'angle moyen des branches entre les arbres varie très peu (de 90° à 85°). Le coefficient de variation de l'angle moyen des branches, entre les provenances, est de 5,7 % et celui entre les arbres de toutes les provenances, de 9,8 %.

À Lotbinière, La Patrie et Verchères, la perte de dominance du bourgeon apical occasionne le développement d'un plus grand nombre de branches dont l'angle d'insertion au tronc est plus aigu. Lorsque le phénomène se produit, une des pousses issues des bourgeons latéraux du premier verticille peut se dresser plus rapidement que les autres et assurer la dominance, ce qui minimise la formation de branches fastigiées. Cependant, il arrive fréquemment que les branches formées à partir des bourgeons latéraux, surtout celles du premier verticille, sont en compétition pour la dominance pendant une ou plusieurs années, ce qui aboutit à la formation de fourches ou de grosses branches dont l'angle d'insertion au tronc est plus aigu que celui des branches des verticilles non affectés. À Lotbinière, dans 33 % des cas où il y a perte de dominance, on observe la formation, dans le verticille affecté, de une à trois branches dont l'angle d'insertion au tronc varie entre 45° et 55° , soit 20° à 30° de moins que l'angle d'insertion moyen.

Les branches adventives ont aussi un angle d'insertion au tronc qui est plus aigu que la moyenne. Au moins une branche adventive est présente sur 8 à 13 % des arbres à La Patrie, Lotbinière, Verchères et Coulonge tandis que sur les autres sites, on les trouve sur 0 à 3 % des arbres.

3.3.4 Diamètre des branches

Il n'y a pas de différence significative (au seuil $\alpha = 0,05$) entre les 25 provenances pour le diamètre moyen des branches, pour les années de croissance 5, 6, 7 et 8 après la plantation. Le diamètre moyen des branches varie, entre les provenances, de 14 mm pour la provenance n° 1861 à 22 mm pour la provenance n° 1802 (figure 24). Le diamètre moyen des branches de toutes les provenances est de 18 mm.

Le diamètre moyen des branches varie de façon plus importante entre les arbres qu'entre les provenances. Le plus petit diamètre moyen des branches d'un arbre (provenances n°s 1790, 1798, 1821 et 1861) est de 12 mm alors que le plus élevé est de 28 mm (provenance n° 1814). Le coefficient de variation du diamètre moyen des branches entre les provenances est de 8,7 % alors qu'il est de 18,6 % entre les arbres de l'ensemble des provenances. Le diamètre moyen des branches des arbres d'une même provenance varie du simple au double dans certains cas (provenance n° 1814) alors que la hauteur des arbres comparés est semblable.

La qualité du bois de sciage, c'est-à-dire son apparence et sa résistance, est dépréciée par la présence de gros noeuds (GIERTYCH et MATYAS 1991). Il existe beaucoup de variation entre les sites quant au pourcentage d'arbres dont les branches ont un diamètre plus grand que, ou égal à 35 mm et pour le nombre de branches de ce diamètre par arbre (tableau 11). Par observation, nous considérons que pour le pin sylvestre et pour des arbres âgés de 12 ans et dont l'espacement en plantation est de 2,0 x 2,0 m, le diamètre maximum des branches ne devrait pas dépasser 35 mm.

La perte de dominance du bourgeon apical et la localisation géographique du site jouent un rôle important dans la formation de grosses branches. C'est à Bonaventure, Chibougamau, Trécesson, Mastigouche et Labrieville que le nombre de grosses branches est le moins élevé; il varie de une à onze branches par 100 arbres. À Matapédia, Dablon et Coulonge, ce nombre varie de 34 à 77 et à Matapédia et Gaspé, les dégâts causés par les porcs-épics ont probablement contribué à le faire augmenter. À Lotbinière, Verchères et La Patrie, le nombre de grosses branches est considérable; il varie de 417 à 728 par 100 arbres et leur diamètre varie de 35 à 50 mm.

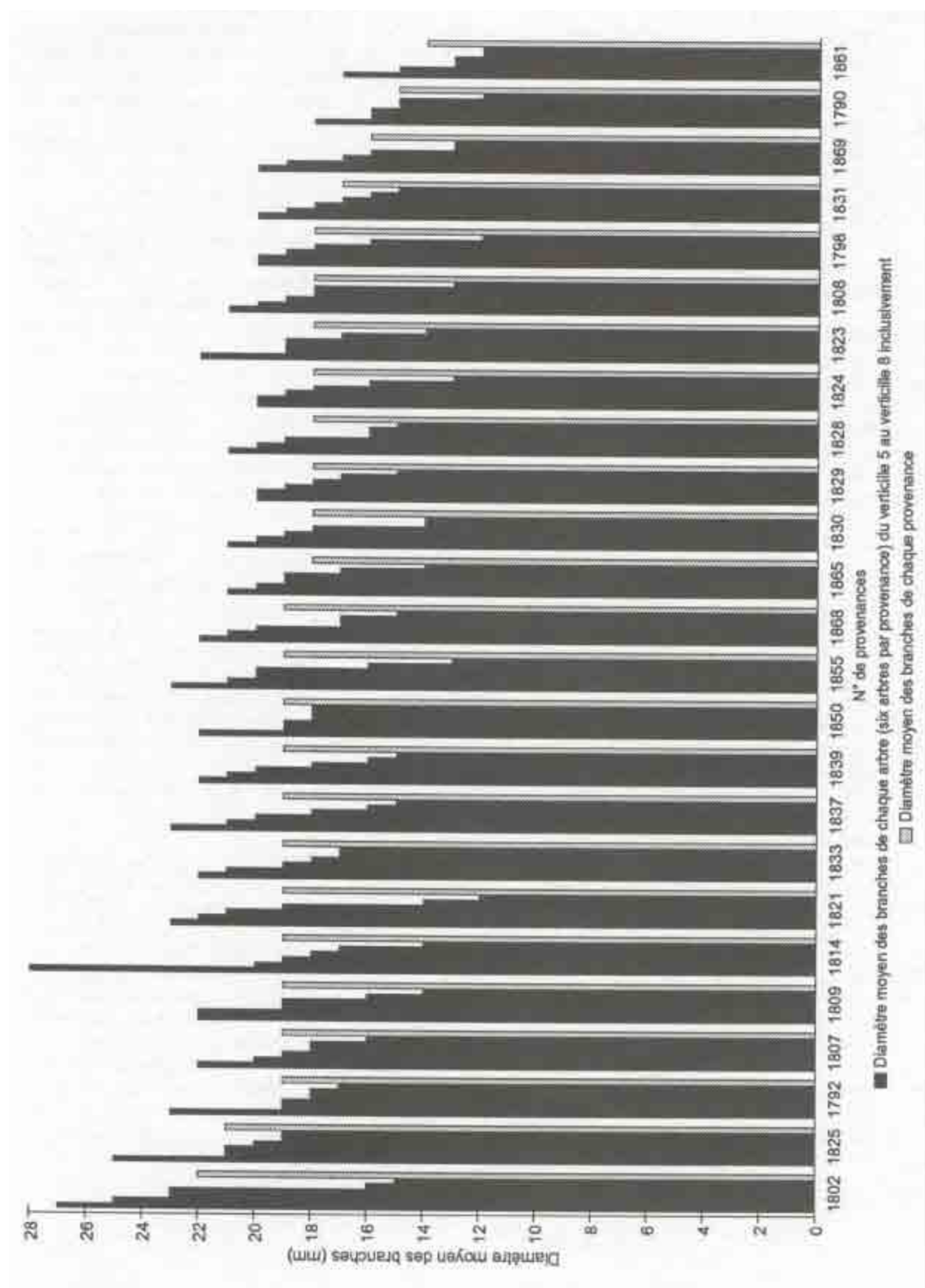


Figure 24. Répartition du diamètre moyen des branches en fonction des arbres de 25 provenances à Bonaventure.

3.4 Coloration des aiguilles

Les observations réalisées à Mastigouche, à la mi-novembre 1994, montrent que la coloration des aiguilles varie, entre les provenances, de jaunâtre à bleuâtre (figure 25). Parmi les provenances observées à Mastigouche, celles dont la coloration des aiguilles est la plus jaunâtre sont situées dans la partie est (Russie et Ukraine) de leur aire et ce sont des provenances de la variété *balcanica*. Parmi toutes les provenances observées en pépinière, celles de la variété *uralensis* et les provenances situées dans la partie ouest de la Sibérie ont la coloration la plus jaunâtre. D'autres provenances, celles de Pologne, sont dans l'ensemble légèrement moins jaunâtres que celles de Russie et d'Ukraine.

Les provenances dont la coloration des aiguilles est la plus bleuâtre sont les suivantes : provenances n^{os} 1805 et 1842 (sud et centre de la France), n^{os} 1868 et 1869 (Angleterre) et la provenance n^o 1844 (Turquie). Même si la coloration des aiguilles se ressemble pour ces provenances, il n'en va pas de même pour leur croissance en hauteur qui varie du simple au double, les provenances d'Angleterre étant les plus hautes. Les observations menées en pépinière, à l'automne de 1982, nous indiquent que, parmi toutes les provenances, ce sont les provenances n^{os} 1805, 1842, 1869 et 1840 qui ont les aiguilles les plus bleuâtres. Les résultats de 10 ans, à Mastigouche, montrent que la coloration des aiguilles de la provenance n^o 1840 (Belgique) est moins bleuâtre que les trois autres et ressemble davantage à celle de la provenance n^o 1830 (France) et à celle des provenances n^{os} 1867 et 1870 (Écosse). La provenance n^o 1842 est localisée dans la région d'Auvergne qui est déjà

reconnue pour la coloration bleuâtre des aiguilles de ses provenances de pin sylvestre. Cette provenance a d'ailleurs été introduite massivement pour la production d'arbres de Noël surtout au cours des années 1971 à 1980. Par la suite, la production d'arbres de Noël de pin sylvestre a baissé rapidement et cette production se fait maintenant à partir du sapin baumier et du sapin de Fraser.

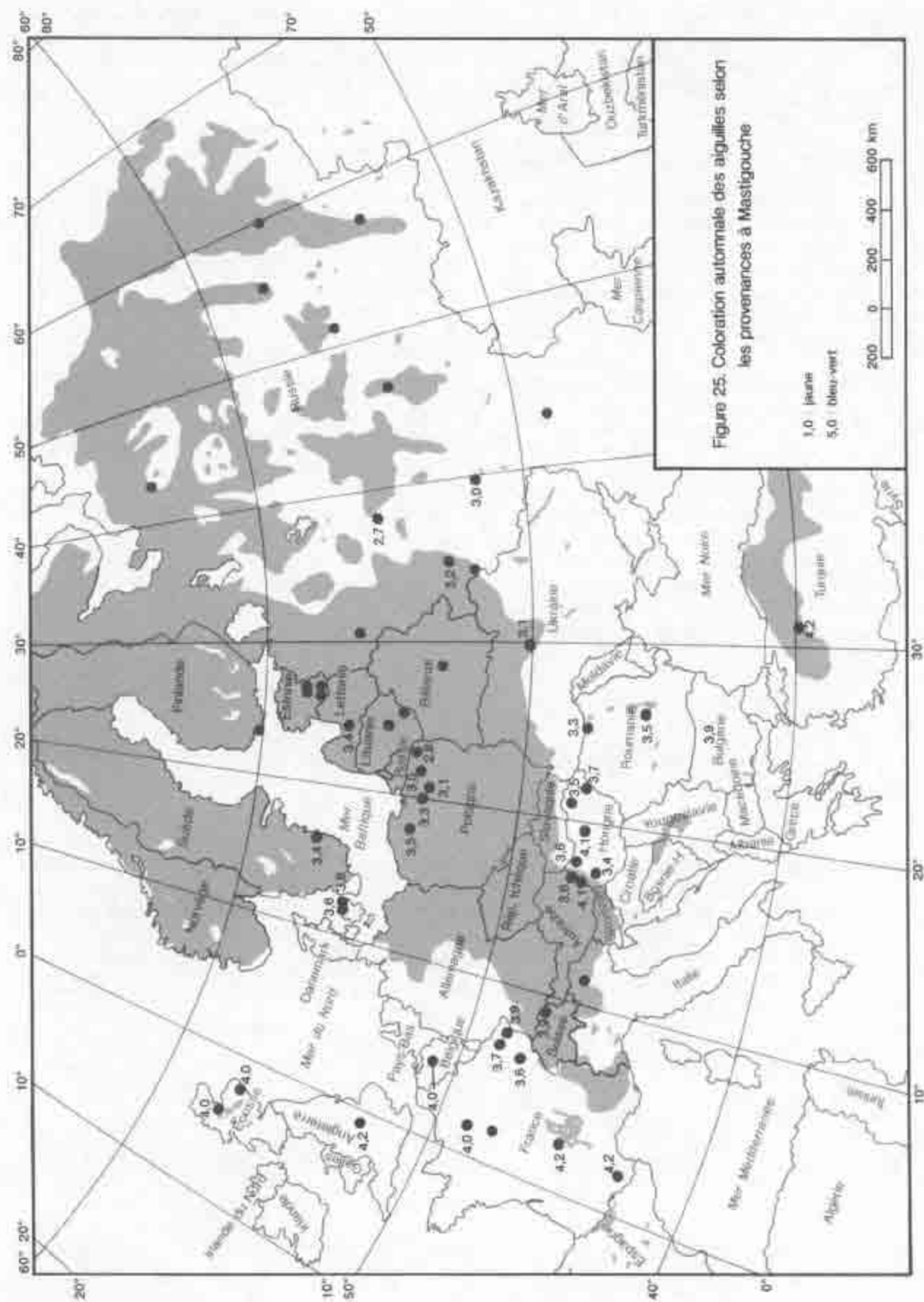
Les provenances situées au nord de la Pologne (provenances n^{os} 1828, 1829, 1834 et 1839) et celles situées au sud (provenances de Hongrie, Roumanie et Bulgarie) ont, en général, une coloration des aiguilles plus bleuâtre que celle des provenances de Pologne. Il existe une variation appréciable pour la coloration des aiguilles entre les provenances de Hongrie. En général, la coloration de ces provenances varie entre 3,4 et 3,7 mais les provenances n^{os} 1814 et 1808 ont une coloration bleuâtre beaucoup plus prononcée (4,1) et certains sujets de la provenance n^o 1808 ont des aiguilles courtes.

À Mastigouche, la coloration des aiguilles des provenances du Québec varie de 3,2 pour les provenances n^{os} 1791 et 1836, à 3,8 pour les provenances n^{os} 1846, 1798, 1803 et 1827 ; la coloration des provenances n^{os} 1831 et 1837 est de 3,6.

Les résultats obtenus en pépinière et à Mastigouche sur la coloration des aiguilles des provenances d'Europe et d'Asie confirment ceux obtenus par WRIGHT et BULL (1962), SCHOENIKE (1973), RUBY et WRIGHT (1976), CUNNINGHAM et VAN HAVERBEKE (1991).

Tableau 11. Perte de dominance et formation de grosses branches à 12 ans sur chaque site d'expérience

Site d'expérience	Perte de dominance		Branches avec diamètre plus grand que ou égal à 35 mm		
	Arbres atteints (%)	Pousses atteintes sur 7 ans (%)	Arbres atteints (%)	Nombre maximum par arbre	Nombre moyen par arbre atteint
Chibougamau	38	7	4	1	1
Labrieville	72	12	8	3	1,4
Trécesson	16	3	4	1	1
Dablon	42	8	17	9	2,6
Gaspé	74	13	24	4	1,7
Bonaventure	55	8	1	2	1,3
Matapédia	45	11	16	4	2,1
Mastigouche	50	9	8	1	1,1
La Patrie	88	19	87	17	6,3
Lotbinière	96	32	85	15	4,9
Coulonge	74	12	35	6	2,2
Verchères	99	22	91	23	8,0



Conclusion

Le taux de survie et la hauteur moyenne des provenances sont les variables qui servent à mesurer l'adaptation des provenances à un site donné. Les résultats de notre étude sur 12 sites nous permettent de regrouper les sites dont la performance (survie, hauteur) des provenances est semblable, en deux groupes : un premier, formé des sites de Chibougamau, Labrieville et Trécesson, un second formé des sites de Dablon, Gaspé, Bonaventure, Matapédia, Mastigouche, La Patrie, Lotbinière, Coulonge et Verchères. On a choisi les meilleures provenances appartenant à chaque groupe. Un noyau de provenances d'Europe, surtout du nord-est de la Pologne, et la provenance d'Ukraine performant bien sur tous les sites ; ces provenances ont une bonne plasticité. Pour les sites à climat plus rigoureux, ceux de Chibougamau, Labrieville et Trécesson, les provenances de Hongrie et les provenances de climat tempéré océanique, c'est-à-dire d'Angleterre, de France, de Belgique et de Suisse, ont dans l'ensemble un taux de survie et une hauteur plus faibles que lorsqu'elles sont plantées sur les sites du second groupe. D'autres provenances plus nordiques, du Danemark, de Suède, de Lituanie, de Lettonie et de Russie performant mieux sur les sites de Chibougamau, Labrieville et Trécesson.

La provenance n° 1840, du verger à graines de Groenendaal en Belgique, demeure un bon choix comme source de graines pour le reboisement des sites de Dablon à Verchères. Même si cette provenance n'a été testée que sur deux sites seulement, elle s'est classée la meilleure pour la hauteur aux deux endroits. Cette provenance jouit d'une bonne réputation ailleurs ; la certification et la disponibilité de ses graines sont assurées, contrairement à d'autres provenances qui se classent bien également. Jusqu'à présent, la flexuosité de la tige de cette provenance est semblable à celle des autres provenances et d'autres observations pourraient se faire au fil des ans sur la flexuosité de la tige et la croissance pour confirmer davantage les résultats obtenus ici.

Les arbres de toutes les provenances sont affectés de façon semblable par la perte de dominance du bourgeon apical ; ce phénomène n'est donc pas relié à la provenance des graines. Cette perte de dominance est la cause principale de la formation de fourches, de grosses branches et de branches adventives et de la flexuosité de la tige. La perte de dominance est présente sur tous les sites et c'est sur ceux de La Patrie, Lotbinière et Verchères que la branchaison et la forme des arbres sont les plus affectées. Même si la croissance en hauteur des meilleurs provenances est relativement bonne (environ 5 m à 10 ans) dans la plaine du Sainte-Laurent et la région des Cantons de l'Est, il n'est pas recommandable d'y planter du pin sylvestre puisqu'en moyenne 61 % des arbres sont de flexueux à très flexueux, que 76 % sont fourchus et que 88 % développent des grosses branches. La forme des arbres est meilleure dans les autres régions étudiées ; la hauteur moyenne à 10 ans des meilleures provenances y varie de 5,5 m à Coulonge à 2 m pour Chibougamau.

Parmi les provenances du Québec testées dans cette étude, la provenance n° 1798 (plantation située dans la partie nord de la pépinière forestière de Berthier) est la meilleure sur l'ensemble des sites et elle a une hauteur moyenne supérieure de 24 % à celle de la provenance n° 1791 de Grandes-Piles qui est également utilisée comme source de graines dans le reboisement. En tenant compte de ces résultats et du fait que le verger à graines clonal de Cleveland est constitué à près de 50 % de clones provenant de la plantation de Grandes-Piles, il serait pertinent de comparer la croissance des plants issus du verger avec celle d'autres sources comme, entre autres, la provenance de Berthier, celle de Belgique et celle provenant des tests déjà éclaircis.

La coloration automnale des aiguilles varie entre les provenances de jaunâtre à bleuâtre. Même si le pin sylvestre ne sert presque plus à la production d'arbres de Noël, la coloration bleuâtre des aiguilles des

provenances du sud et du centre de la France, d'Angleterre, de Turquie et de certaines provenances de Hongrie demeure intéressante pour les pépiniéristes qui se livrent à la production d'arbres ornementaux. La variation importante de la croissance en hauteur de ces provenances et celle de la longueur des aiguilles (provenance n° 1808 avec sujets à aiguilles courtes) peuvent aussi être exploitées à cette fin.

Pour une meilleure compréhension du phénomène de la perte de dominance du bourgeon apical chez le pin sylvestre, d'autres recherches seraient nécessaires. Les conditions pédoclimatiques du site y jouent probablement un rôle mais le mécanisme d'action est peu connu et fait intervenir vraisemblablement des hormones de croissance qui dérèglent la dominance normalement acquise du bourgeon apical. Cette perte de dominance apparaît après l'aoûtement des bourgeons et se manifeste assez tôt puisque les pousses d'août se forment souvent à partir de bourgeons latéraux.

Bibliographie

- ALDÉN, T., 1971. *Influence of CO₂, moisture and nutrients on the formation of Lammas growth and prolepsis in seedlings of Pinus sylvestris L.* Stud. For. Succ. 93 : 1-20.
- BEAUDOIN, R., 1995. *Variation et choix des provenances de Pinus contorta en plantation sur plusieurs sites au Québec.* MRN du Québec. Direction de la recherche forestière. Mémoire de recherche forestière n° 119. 94 p.
- BERTRAND, V. et H. BOLGHARI. *Fiches de collecte de données de 1977 et 1978 sur les plantations de pin sylvestre.* Min. des Terres et Forêts du Québec, Service de la recherche.
- BOULET, B., C. PARADIS et G. RHÉAUME, 1994. *Échantillonnage des insectes et des maladies associés aux arbres en milieu forestier.* Édition provisoire. Gouv. du Québec, min. des Ressources naturelles, Dir. de la conservation des forêts, Division des relevés. 195 p.
- BURNS, R.M. et B.H. HONKALA, 1990. *Silvics of North America. Volume 1, Conifers.* U.S.D.A. for. Serv., Washington DC, Agric. Hand. No. 654. 675 p.
- CUNNINGHAM, G.C., 1957. *Croissance et développement des plantations de conifères de Grand-Mère (P.Q.).* Ministère du Nord canadien et des Ressources nationales. Mémoire de recherches sylvicoles n° 103. 29 p.
- CUNNINGHAM, R.A. et D.F. VAN HAVERBEKE, 1991. *Twenty-two year results of a scots pine provenance test in North Dakota.* USDA For. Serv., Fort Collins, Colorado. Res. Pap. RM-298. 9 p.

- GAGNON, H. et G. NUMAINVILLE, 1991. *Instructions pour la collecte informatisée des données dans les dispositifs*. Min. des Forêts, Serv. de l'amélioration des arbres. Révisé. 26 p.
- GENYS, J.B., 1970. *Intraspecific diversities among scotch pines of different origin studied in Maryland*. Chesapeake Sci. 11 : 1-15.
- GIERTYCH, M., 1973. *Racial variation in scots pine. Litterature review*. Dans : Genetics of scots pine. International Symp. Proceedings of the IUFRO Working Party 5.2.03.5. Institute of Dendrology and Kórnik Arboretum, Kórnik nr. Poznan, Pologne. 9 p.
- GIERTYCH, M., 1979. *Summary of results on scots pine height growth in IUFRO provenance experiments*. Silvae Genet. 28(4) : 136-152.
- GIERTYCH, M. et C. MATYAS, 1991. *Provenance variation in growth and phenology*. Dans : Maciej Gier-tych, éd. et Csaba Mátyás, co-éd. Akadémiai Kisdó és Nyomata, Budapest. 280 p.
- GIERTYCH, M. et J. OLEKSYN, 1981. *Summary of results on scots pine volume production in Ogievskij's prerevolutionary Russian provenance experiments*. Silvae Genet. 30 : 56-74.
- GOUROU, P., F. GRENIER et L.-E. HAMELIN, 1967. *Atlas du monde contemporain*. Montréal, Éditions du Renouveau pédagogique. 107 p.
- HAMMOND INCORPORATED, 1993. *The Oxford Hammond Atlas of the world*. Oxford University Press, Oxford. 303 p.
- KLEIN, J.I., 1971. *Performance of Russian scots pine populations in Manitoba and Ontario*. Serv. can. for., Rap. d'info. NOR-X-2. 12 p.
- KLEIN, J.I., 1980. *Croissance en hauteur de certaines provenances russes de pin sylvestre en Saskatchewan et au Manitoba 15 années après leur plantation*. Revue bimestrielle de recherche 36(1) : 3-4.
- KOZLOWSKI, T.T., 1964. *Shoot growth in woody plants*. Bot. Rev. 30 : 335-392.
- KOZLOWSKI, T.T., 1971. *Growth and development of trees*. Vol. 1. Academic Press, New York. 443 p.
- KRAMER, P.J. et T.T. KOZLOWSKI, 1979. *Physiology of woody plants*. Academic Press, New York. 811 p.
- LAFLAMME, G., 1991. *Le chancre scléroderrien des pins*. Service canadien des forêts, Centre de foresterie des Laurentides, Feuillet d'information CFL3, révisé. 14 p.
- NANSON, A., 1969. *Tests de descendance de pin sylvestre*. Station de recherches des eaux et forêts, Groenendaal-Haeilaart, Belgique. Série E, n° 3. 52 p.
- NANSON, A., 1970. *Recherches sur des descendance de pin sylvestre belge*. Bulletin de la société royale forestière de Belgique 2 : 89-96.
- OLEKSYN, F. et M. GIERTYCH, 1984. *Results of a 70 years old scots pine provenance experiment in Pulawy, Poland*. Silvae Genet. 33 : 22-27.
- OLEKSYN, J., M.G. TJOELKER et B.B. REICH, 1992. *Growth and biomass partitioning of populations of European Pinus sylvestris under simulated 50 and 60° N daylengths : evidence for photoperiodic ecotypes*. New Phytol. 119 : 561-574.
- PARADIS, C., 1994. *Évaluation des dégâts causés par le charançon du pin blanc Pissodes strobi (Peck) dans les plantations - relevé de 1993*. Compte rendu du colloque sur le charançon du pin blanc, Direction de la conservation des forêts, MRN du Québec : 1-10.
- RUBY, J.L. et J.W. WRIGHT, 1976. *A revised classification of geographic varieties in Scots Pine*. Silvae Genet. 25 : 169-175.
- SCHOENIKE, R.E., 1973. *Five-year performance of scotch pine seed sources for Christmas trees in a South Carolina sandhills plantation*. Dept. For., Clemson University, For. Bull. 9 : 1-7.
- SERVICE DE L'ENVIRONNEMENT ATMOSPHÉRIQUE, 1982a. *Normales climatiques au Canada : gel 1951-1980*. Environnement Canada, vol. 6, Ottawa. 276 p.
- SERVICE DE L'ENVIRONNEMENT ATMOSPHÉRIQUE, 1982b. *Normales climatiques au Canada : degrés-jours 1951-1980*. Environnement Canada, Vol. 4, Ottawa. 280 p.
- SERVICE DE L'ENVIRONNEMENT ATMOSPHÉRIQUE, 1982c. *Normales climatiques au Canada : températures et précipitations 1951-1980*. Environnement Canada, Ottawa, 216 p.

-
- STEEL, R.G.D. et J.H. TORRIE, 1980. *Principles and procedures of statistics. A biometrical approach*. Second edition. McGraw-Hill. 633 p.
- TEICH, A.H. et M.J. HOLST, 1970. *Early survival and growth of russian Pinus sylvestris L. in Canada*. For. Chron. 46(4) : 325-328.
- THIBAUT, M., 1985. *Les régions écologiques du Québec méridional. Deuxième approximation*. Gouv. du Québec, min. de l'Énergie et des Ressources, Serv. de la rech. et Serv. de la carto. Carte au 1 : 1 250 000.
- WRIGHT, J.W., 1976. *Introduction to forest genetics*. Academic Press, New York, San Francisco, Londres. 463 p.
- WRIGHT, J.W. et W.I. BULL, 1962. *Geographic variation in Scotch pine. Results of a 3-year Michigan study*. Silvae Genet. 12(1) : 1-25.

Annexes I

**Tableau 5. Situation géographique des provenances
et hauteur à 10 ans sur chaque site d'expérience**

Tableau 5. Situation géographique des provenances et hauteur à 10 ans sur chaque site d'expérience

Provenance					Sites d'expérience ¹ et hauteurs											
N° SR	Lieu d'origine	Lat. nord	Long. ² est	All. (m)	CHI		LAB		TRE		DAB		GAS		BON	
					h ³ (cm)	h ⁴ (%)	h ³ (cm)	h ⁴ (%)	h ³ (cm)	h ⁴ (%)	h ³ (cm)	h ⁴ (%)	h ³ (cm)	h ⁴ (%)	h ³ (cm)	h ⁴ (%)
1789	France	48°49'	7°47'	150	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
1792	Pologne	53°33'	20°39'	145	201	106	205	103	285	111	389	106	231	101	362	98
1793	Hongrie	48°05'	20°46'	200*	186*	102	205	103	242	94	352	96	234	103	349	94
1796	France	47°56'	1°56'	100-200*	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
1797	France	48°49'	7°47'	200-500*	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
1799	Pologne	54°00'	22°50'	100-200*	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
1802	Pologne	53°33'	20°39'	100-200*	200	110	201	101	288	118	410	112	225	99	357	96
1805	France	42°35'	2°08'	1500	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
1807	Hongrie	46°46'	17°10'	100-250*	168	92	190	96	253	98	356	97	202	89	352	95
1808	Hongrie	47°18'	19°28'	100-200*	169*	93	191	96	247	96	388	106	239	105	392	106
1809	Hongrie	47°16'	17°52'	100-200*	172	95	178	89	225	87	354	97	206*	91	391	106
1810	France	48°38'	7°20'	400	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
1814	Hongrie	47°13'	16°26'	500*	199	110	208	105	242	94	343	94	210	92	409	111
1815	France	47°48'	6°04'	500*	..	..	..	..	..	..	419	115	..	..	..	..
1818	Finlande	60°03'	23°03'	30	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
1821	Suisse	47°30'	9°10'	500	158	87	188	95	257	100	340	93	230	101	383	104
1822	Pologne	53°50'	17°55'	100-200*	..	..	..	..	..	..	376	103	..	..	..	..
1823	Hongrie	47°42'	21°40'	100*	146*	80	169	85	236	92	355	97	213	94	382	103
1824	Pologne	53°51'	21°31'	145	209	115	236	119	279	108	405	111	237	104	392	106
1825	Pologne	53°34'	20°00'	110	178	98	237	119	279	108	410	112	228	100	415	112

Tableau 5 (suite). Situation géographique des provenances et hauteur à 10 ans sur chaque site d'expérience

N° SR	Lieu d'origine	Lat. nord	Long. est	Alt. (m)	Provenance		Sites d'expérience ¹ et hauteurs			
					MAP	MAS	PAT	LOT	COU	VER
					h ³ (cm)	h ⁴ (%)	h ³ (cm)	h ⁴ (%)	h ³ (cm)	h ⁴ (%)
1789	France	48°49'	7°47'	150	..	..	..	444 109	..	..
1792	Pologne	53°33'	20°39'	145	314 113	352 108	448 101	421 103	557 114	464 107
1793	Hongrie	48°05'	20°46'	200*	292 104	315 96	451 102	386 95	516 106	395* 91
1796	France	47°56'	1°56'	100-200*	..	..	..	412 101	..	..
1797	France	48°49'	7°47'	200-500*	..	335 103	..	..	537 110	..
1799	Pologne	54°00'	22°50'	100-200*	..	368 113	..	..	541 111	448 103
1802	Pologne	53°33'	20°39'	100-200*	297 107	335 103	433 98	450 110	519 106	452 104
1805	France	42°35'	2°08'	1500	..	153 47	..	204 50	168* 34	242 56
1807	Hongrie	46°46'	17°10'	100-250*	267 96	348 107	478 108	426 105	490 101	444 102
1808	Hongrie	47°18'	19°28'	100-200*	279 100	377 115	515 116	410 101	547 112	467 108
1809	Hongrie	47°16'	17°52'	100-200*	240 86	358 110	459 104	417 102	529 109	441 102
1810	France	48°38'	7°20'	400	..	349 107	..	467 115	481 99	478 110
1814	Hongrie	47°13'	16°26'	500*	227 82	347 106	528 119	482 118	496 102	493 113
1815	France	47°48'	6°04'	500*	..	355 109	..	451 111	532 109	455 105
1818	Finlande	60°03'	23°03'	30	..	..	..	..	..	335 77
1821	Suisse	47°30'	9°10'	500	245 88	324 99	482 109	460 113	527 108	508 117
1822	Pologne	53°50'	17°55'	100-200*	318* 114	354 108	424 96	467 115	542 111	488 112
1823	Hongrie	47°42'	21°40'	100*	249 89	351 108	468 106	371 91	491 101	460 106
1824	Pologne	53°51'	21°31'	145	301 106	356 109	472 107	453 111	554 114	474 109
1825	Pologne	53°34'	20°00'	110	323 116	359 110	461 104	454 111	528 108	497 114

Tableau 5 (suite). Situation géographique des provenances et hauteur à 10 ans sur chaque site d'expérience

Provenance				Sites d'expérience ¹ et hauteurs												
N° SR	Lieu d'origine	Lat. nord	Long. est	Alt. (m)	CHI		LAB		TRE		DAB		GAS		BON	
					h ³ (cm)	h ⁴ (%)	h ³ (cm)	h ⁴ (%)	h ³ (cm)	h ⁴ (%)	h ³ (cm)	h ⁴ (%)	h ³ (cm)	h ⁴ (%)	h ³ (cm)	h ⁴ (%)
1828	Danemark	56°00'	12°00'	60*	187	103	193	97	240	93	360	98	227	100	342	92
1829	Danemark	56°01'	12°31'	60*	174	96	210	106	261	101	352	96	258	113	394	106
1830	France	48°57'	1°25'	200*	172	96	180	90	...	...	376	103	...	...	410	111
1833	Hongrie	...	...	...	183	101	164	82	244	95	356	97	232	102	345	93
1834	Suède	57°20'	16°12'	125*	189	104	211	106	247	96	345	94	227	100	363	96
1835	Chine	...	...	...	...	...	...	...	...	...	386*	105	...	...	...	...
1838	Russie	55°35'	38°15'	200-500*	189	104	206	104	256	99	363	99	210	92	369	100
1839	Lettonie	56°40'	24°10'	50*	206	113	204	103	255	99	368	101	231	101	378	102
1840	Belgique	50°46'	4°29'	100*	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
1841	Bulgarie	...	...	500-1000*	152	84	155	78	223	87	316	86	233	102	335	91
1842	France	45°18'	3°41'	1000	...	...	...	...	...	...	257	70	...	...	...	...
1843	Mélange des provenances n° 1845 et 1849				...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
1844	Turquie	39°58'	31°05'	1450	115*	63	143	72	144	56	283*	77	173	76	303*	82
1848	Italie	46°13'	11°12'	900	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
1850	Hongrie	47°40'	16°37'	500*	150*	83	166	83	223	87	371	101	223	98	374	101
1851	Roumanie	47°38'	25°20'	1130	189	104	202	102	225	87	350	96	256	112	351	95
1852	Roumanie	45°40'	26°00'	900	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
1853	Lituanie	55°15'	24°20'	110	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
1854	Estonie	57°45'	26°00'	50*	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
1855	Russie	53°	35°	500*	198	109	230	116	308	120	388	106	257	113	404	109

Tableau 5 (suite). Situation géographique des provenances et hauteur à 10 ans sur chaque site d'expérience

Provenance				Sites d'expérience ¹ et hauteurs												
N° SR	Lieu d'origine	Lat. nord	Long. ² est	AIL (m)	MAP		MAS		PAT		LOT		COU		VER	
					h ³ (cm)	h ⁴ (%)	h ³ (cm)	h ⁴ (%)	h ³ (cm)	h ⁴ (%)	h ³ (cm)	h ⁴ (%)	h ³ (cm)	h ⁴ (%)	h ³ (cm)	h ⁴ (%)
1828	Danemark	56°00'	12°00'	60*	274	98	316	97	408	92	351	86	467	96	362	83
1829	Danemark	56°01'	12°31'	60*	260	93	334	102	441	100	399	98	471	97	452	104
1830	France	48°57'	1°25'	200*	263	94	..	..	514	116	383	94	535	110	..	..
1833	Hongrie	..	..	..	245	88	358	110	495	112	430	106	492	101	464	107
1834	Suède	57°20'	16°12'	125*	293	105	288	88	376	85	358	88	451	93	362	83
1835	Chine	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	279	64
1838	Russie	55°35'	38°15'	200-500*	298	107	296	91	409	92	382	94	442	91	411	95
1839	Lettonie	56°40'	24°10'	50*	290	104	308	94	415	94	393	96	472	97	419	96
1840	Belgique	50°46'	4°29'	100*	..	..	391	120	..	..	494	121	..	..	..	..
1841	Bulgarie	..	..	500-1000*	238	85	301	92	406	92	342	84	401	82	366	84
1842	France	45°18'	3°41'	1000	227	82	256	78	404	91	341	84	390	80	348	80
1843	Mélange des provenances n°s 1845 et 1849	..	..	..	249	89	287	88	..	..	..	..	445	91	452	104
1844	Turquie	39°58'	31°05'	1450	159	57	240*	74	365	82	284	70	380	78	331	76
1848	Italie	46°13'	11°12'	900	..	..	..	..	..	..	..	..	406	83	371	85
1850	Hongrie	47°40'	16°37'	500*	261	94	323	99	473	107	418	103	496	102	451	104
1851	Roumanie	47°38'	25°20'	1130	296	106	305	93	428	97	363	89	446	92	336	77
1852	Roumanie	45°40'	26°00'	900	..	..	..	..	..	..	..	..	509	104	439	101
1853	Lituanie	55°15'	24°20'	110	..	..	..	..	..	..	..	..	528	108	429	99
1854	Estonie	57°45'	26°00'	50*	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	399	92
1855	Russie	53°	35°	500*	283	102	335	103	448	101	407	100	518	106	427	98

Tableau 5 (suite). Situation géographique des provenances et hauteur à 10 ans sur chaque site d'expérience

[illegible]

Tableau 5 (suite). Situation géographique des provenances et hauteur à 10 ans sur chaque site d'expérience

Provenance			Sites d'expérience ¹ et hauteurs															
N° SR	Lieu d'origine	Lat. nord	Long. ² est	All. (m)	MAP		MAS		PAT		LOT		COU		VER			
					h ³ (cm)	h ⁴ (%)	h ³ (cm)	h ⁴ (%)	h ³ (cm)	h ⁴ (%)	h ³ (cm)	h ⁴ (%)	h ³ (cm)	h ⁴ (%)	h ³ (cm)	h ⁴ (%)		
1857	Estonie	57°50'	27°00'	50*	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	468	108	
1858	Estonie	58°20'	26°20'	50*	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	383	88	
1860	Estonie	58°22'	26°40'	60	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	388	89	
1861	Russie	52°	40°	200-500*	300	108	329	101	430	97	400	98	500	103	..	462	106	
1862	Lituanie	54°38'	25°28'	100	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	446	103	
1865	Ukraine	50°	30°	100-200*	309	111	354	108	491	111	466	114	535	110	..	466	107	
1867	Écosse	57°40'	4°00'	100*	..	..	272	83	..	..	369	91	417	86	..	411	95	
1868	Angleterre	..	..	..	257	92	301	92	457	103	362	89	449	92	..	458	105	
1869	Angleterre	52°30'	0°45'	100*	280	101	316	97	473	107	452	111	469	96	..	465	107	
1870	Écosse	57°20'	2°08'	100*	236	85	234	72	326	74	293	72	361	55	..	322	74	
1866	Russie	65°45'	43°14'	100-200*	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	130*	30	
1869	Russie	56°23'	30°30'	500*	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	450*	104	
1970	Russie	53°18'	28°40'	300*	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	203*	47	
1972	Russie	52°01'	34°00'	500*	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	450*	104	
1974	Russie	55°40'	51°26'	500*	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	352*	81	
1975	Russie	54°22'	46°46'	500*	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	453*	104	
1978	Russie	48°38'	44°37'	200-500*	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	447	103	
1980	Russie	57°38'	55°30'	500*	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	380*	87	
1982	Russie	53°25'	57°40'	1000*	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	340	78	
1983	Russie	56°50'	59°58'	1000*	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	327	75	

Tableau 5 (suite). Situation géographique des provenances et hauteur à 10 ans sur chaque site d'expérience

[illegible]

Tableau 5 (fin). Situation géographique des provenances et hauteur à 10 ans sur chaque site d'expérience

Provenance				Sites d'expérience ¹ et hauteurs													
N° SR	Lieu d'origine	Lat. nord	Long. ² est	Alt. (m)	MAP		MAS		PAT		LOT		COU		VER		
					h ³ (cm)	h ⁴ (%)	h ³ (cm)	h ⁴ (%)	h ³ (cm)	h ⁴ (%)	h ³ (cm)	h ⁴ (%)	h ³ (cm)	h ⁴ (%)	h ³ (cm)	h ⁴ (%)	
1984	Mélange des provenances 1981 et 1987				..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	386	89
Provenances du Québec																	
1791	Grandes-Piles	46°41'	72°41'	150	248	89	..	255	78	382	86	362	89	412	85	350	81
1811	Grandes-Piles	46°41'	72°41'	150	..	..	..	..	..	..	..	..	..	501	103	413	95
1812	Grandes-Piles	46°41'	72°41'	150	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	437	101
1820	Grandes-Piles	46°41'	72°41'	150	..	..	..	309	95	..	..	..	..	487	100	442	102
1846	Grandes-Piles	46°41'	72°41'	152	..	..	..	295	90	..	..	..	..	451	93	431	99
1836	Consol-Bathurst	46°40'	72°37'	..	291	104	..	259	79	360	81	346	85	424	87	355	82
1826	De Salaberry	46°08'	74°35'	180	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	504	116
1798	Berthier	46°02'	73°12'	15	284	102	..	360	110	477	108	428	105	549	113	477	110
1837	Berthier	46°02'	73°12'	15	311	112	..	345	106	443	100	455	112	484	99	484	107
1800	Rawdon	46°05'	73°50'	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	427	98
1831	Ste-Philomane	46°04'	73°14'	15	271	97	..	357	109	480	108	436	107	513	105	471	108
1803	Petite-Nation	45°49'	74°58'	182	..	..	..	370	113	..	..	..	..	420	86	..	..
1816	Mulgrava	45°45'	75°20'	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	554	114	481	111
1790	Eardley	45°37'	75°59'	242	254*	91	..	..	..	..	..	416	102	..	..	437	101
1827	Eardley	45°36'	76°01'	210	..	..	..	327	100	..	..	..	..	483	99	424	98

¹ Sites d'expérience : Chibougamau (CHI), Lahrierville (LAB), Trécesson (TRE), Dabion (DAB), Gaspé (GAS), Bonaventure (BON), Matapédia (MAP).

² Longitude ouest pour les provenances n°s 1867, 1869, 1870 et pour toutes les provenances du Québec.

³ Hauteur moyenne de chaque provenance.

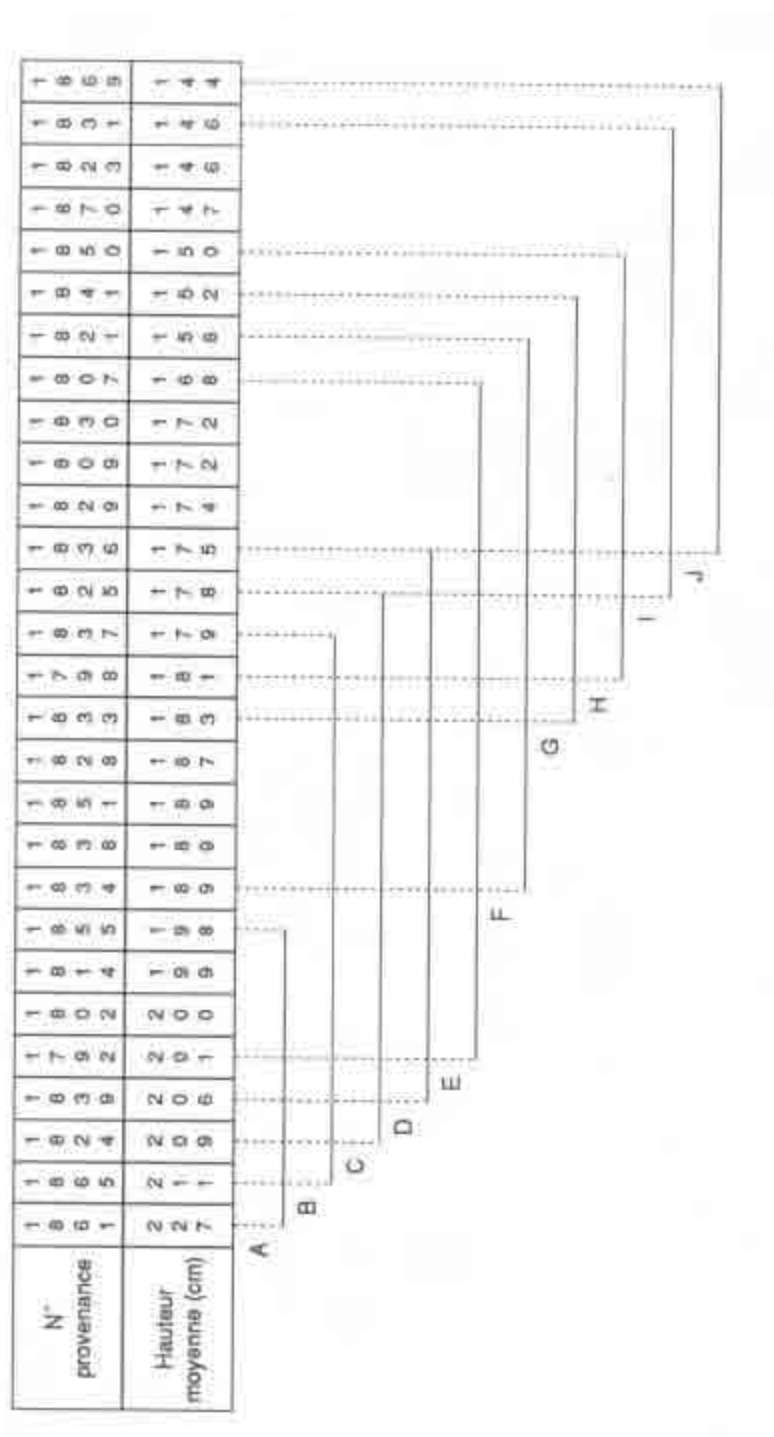
⁴ Hauteur relative (%) de chaque provenance calculée par rapport à la hauteur moyenne dans chaque test des 25 provenances communes aux 12 tests.

Altitude approximative des provenances dans HAMMOND INCORPORATED (1993).

* Hauteur moyenne calculée à partir d'un nombre de données inférieur à 14.

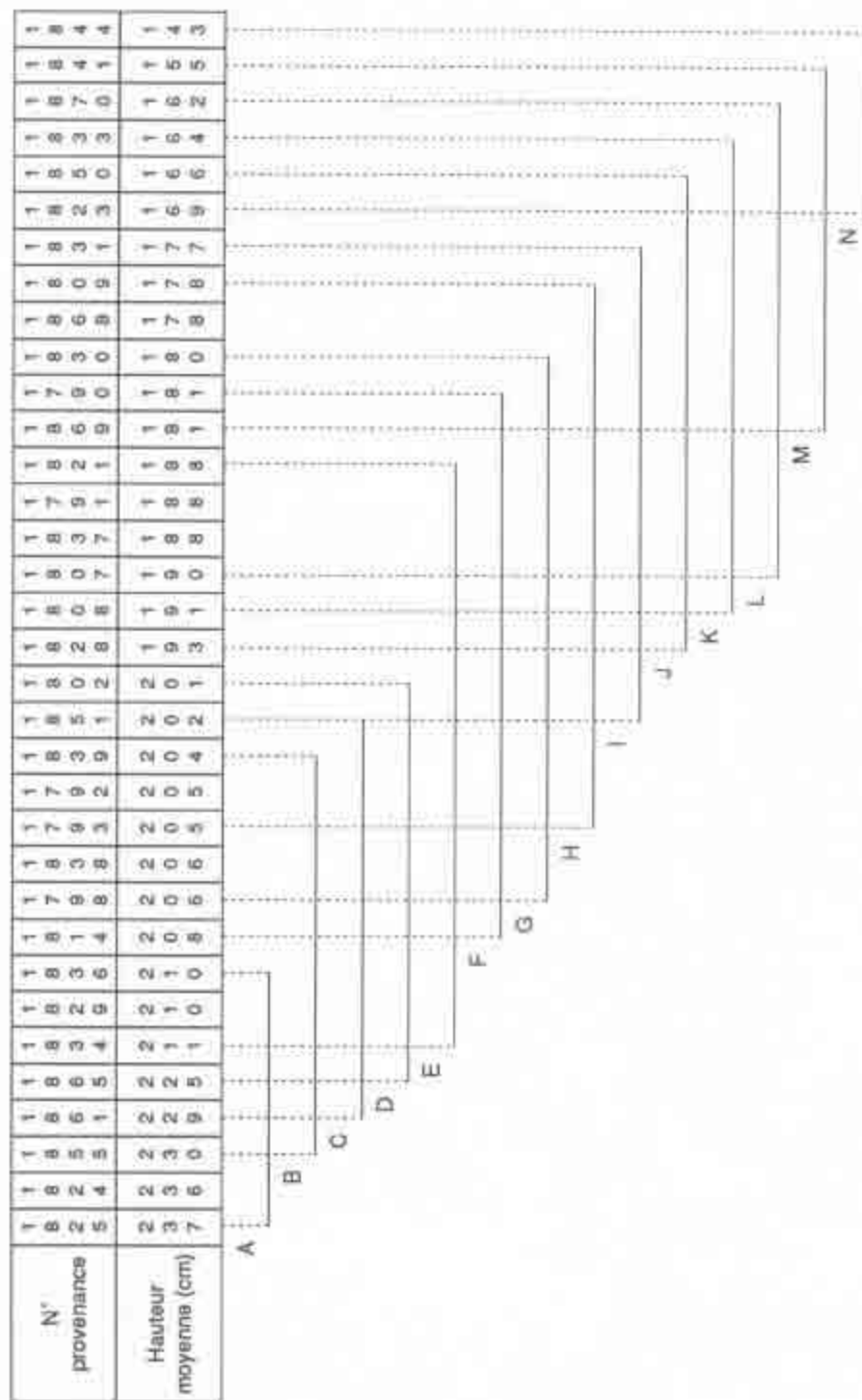
Annexe II

**Figures 7 à 18. Test de Waller-Duncan
sur la hauteur moyenne des provenances à 10 ans
sur chaque site d'expérience**



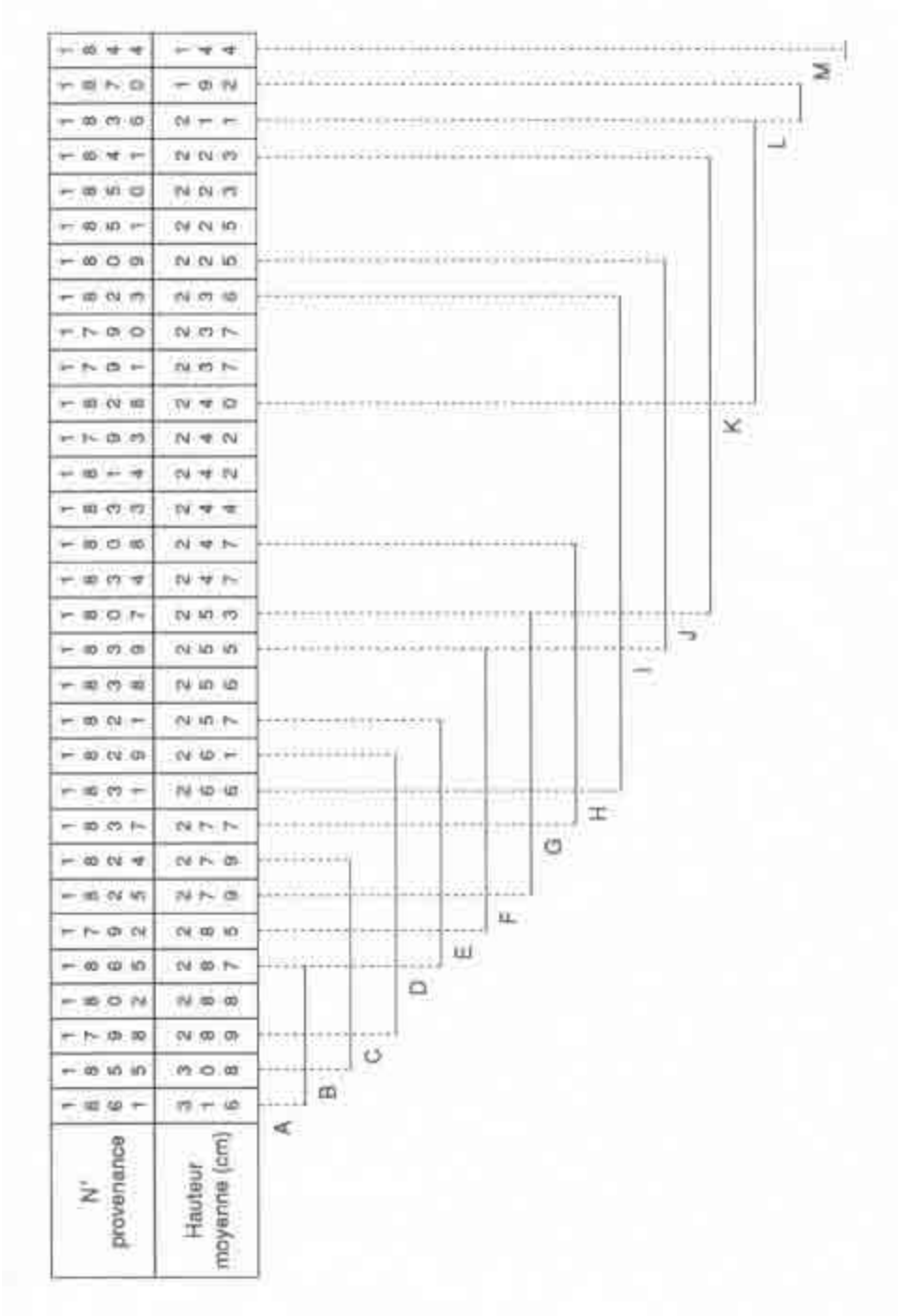
La valeur de la plus petite différence significative est égale à 32 cm

Figure 7. Test de Waller-Duncan sur la hauteur moyenne des provenances à 10 ans à Chibougamau.



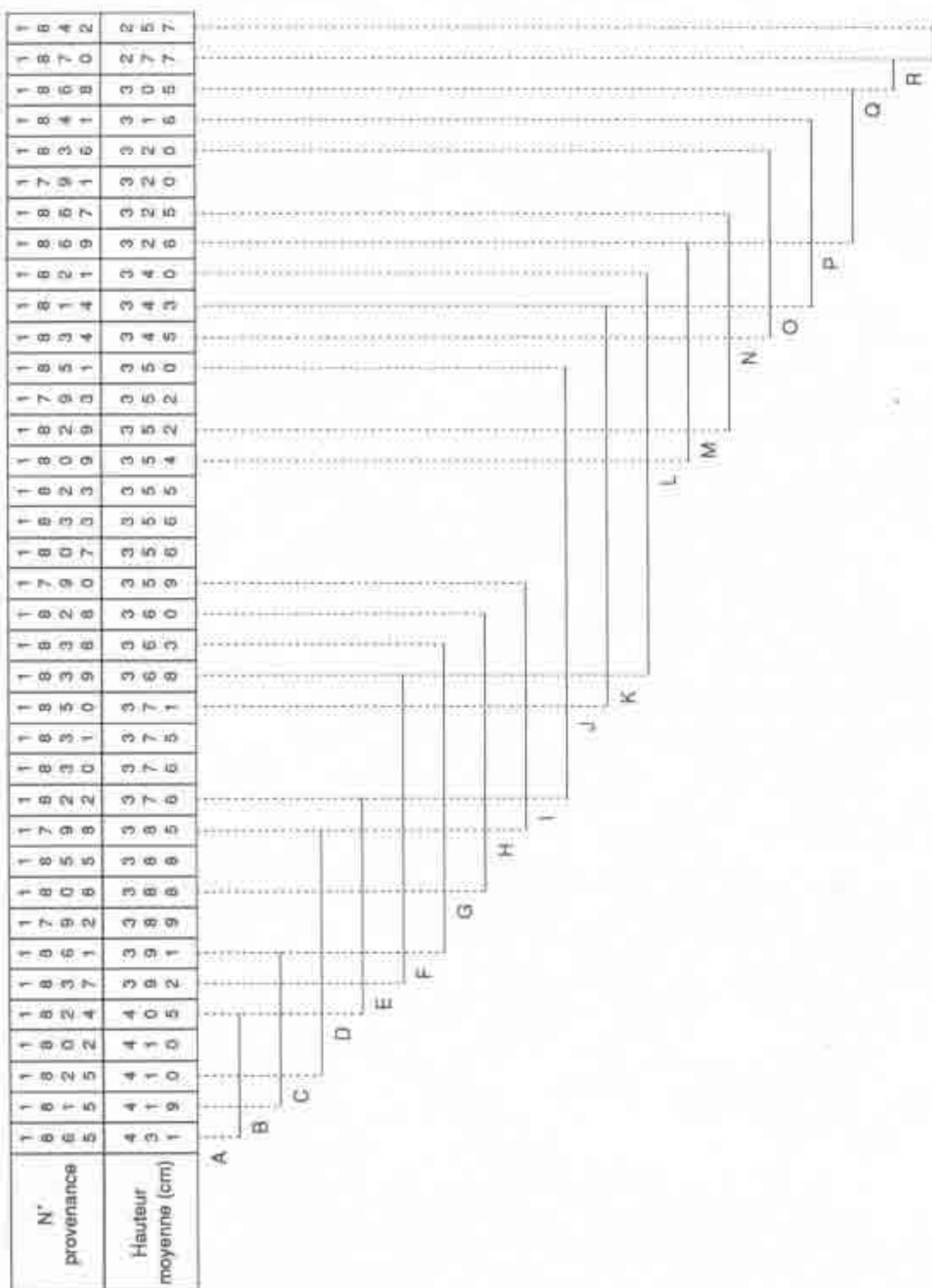
La valeur de la plus petite différence significative est égale à 27 cm

Figure 8. Test de Waller-Duncan sur la hauteur moyenne des provenances à 10 ans à Labrieville.



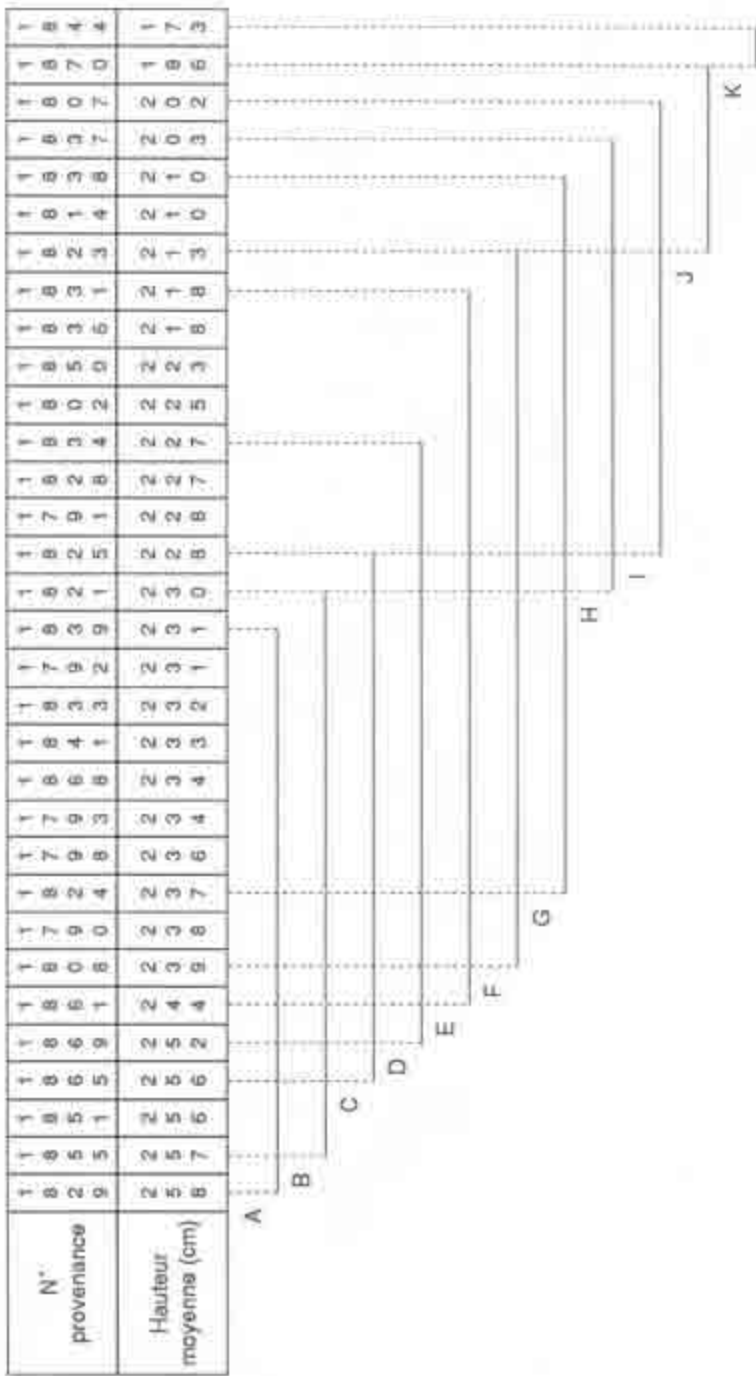
La valeur de la plus petite différence significative est égale à 30 cm

Figure 9. Test de Waller-Duncan sur la hauteur moyenne des provenances à 10 ans à Trécesson.



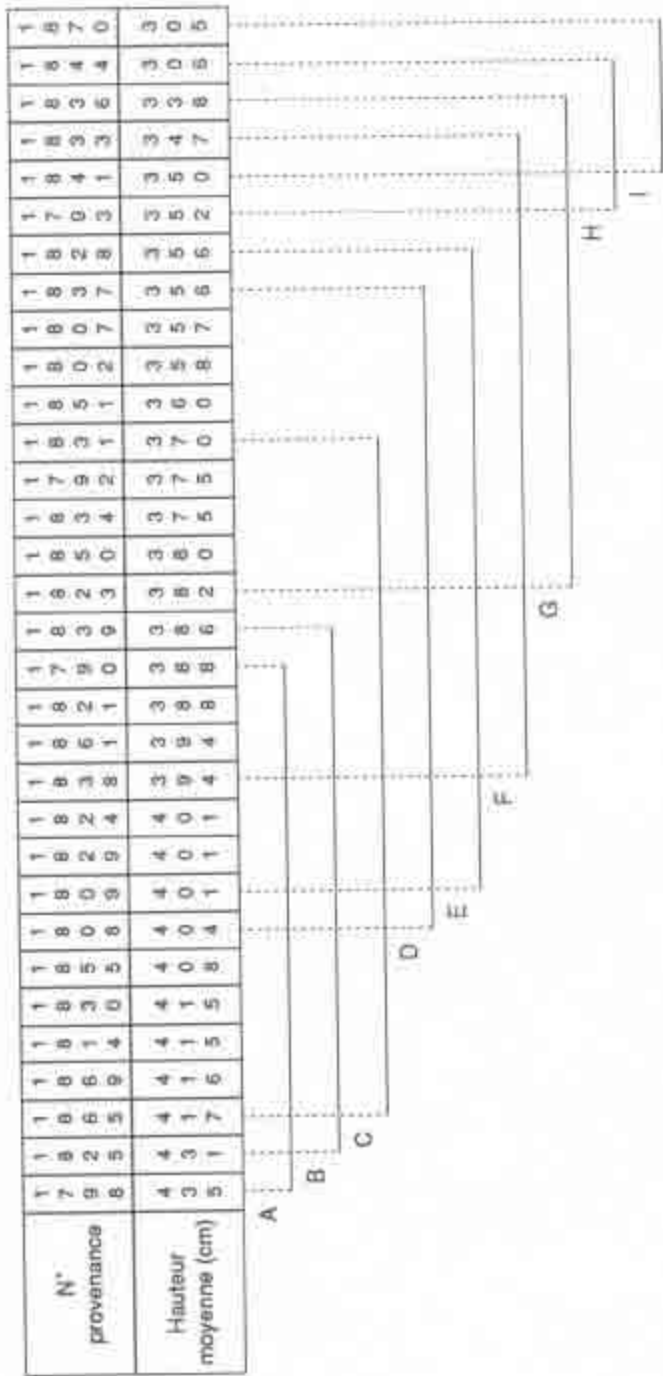
La valeur de la plus petite différence significative est égale à 29 cm

Figure 10. Test de Waller-Duncan sur la hauteur moyenne des provenances à 10 ans à Dablon.



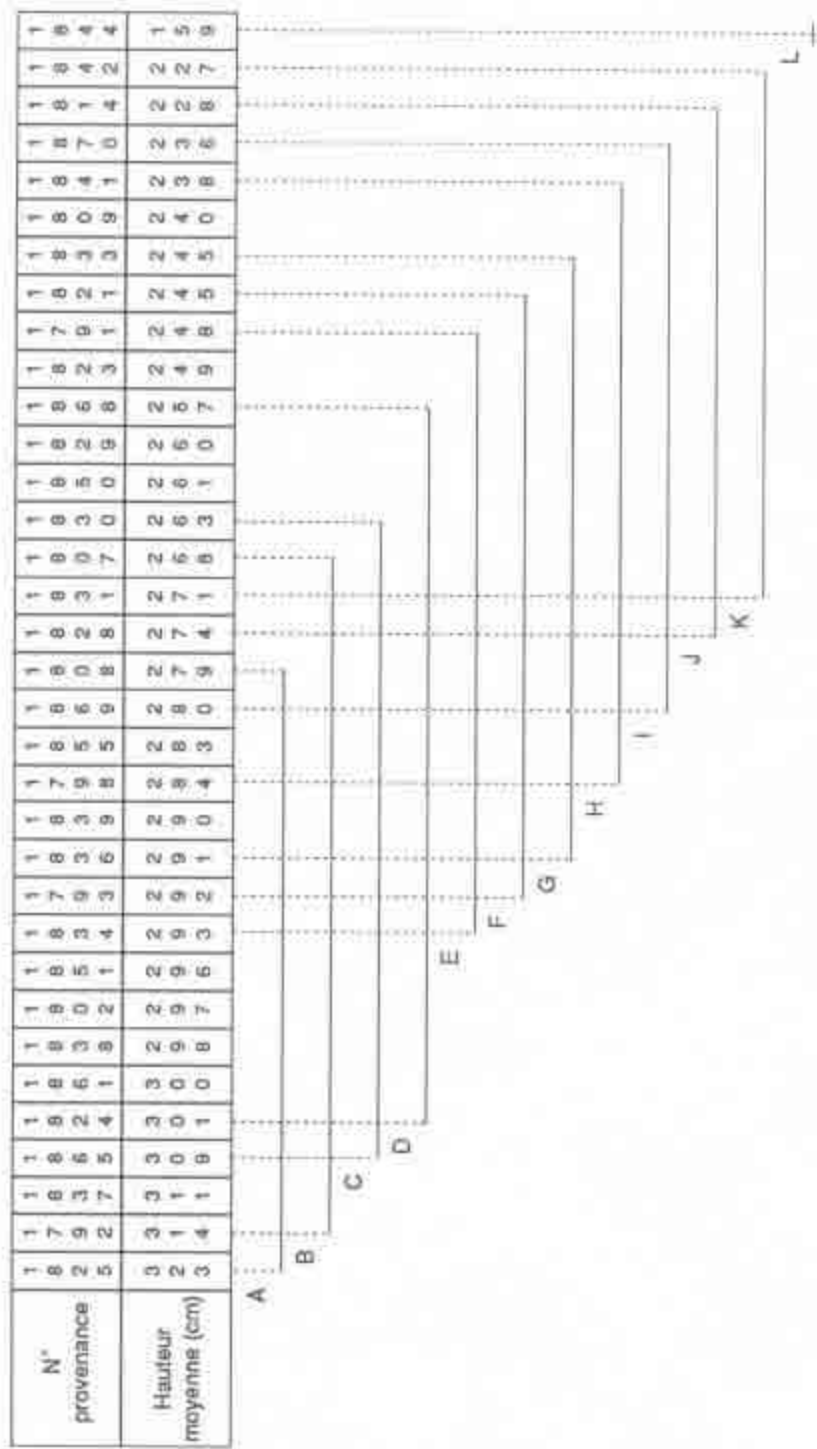
La valeur de la plus petite différence significative est égale à 27 cm

Figure 11. Test de Waller-Duncan sur la hauteur moyenne des provenances à 10 ans à Gaspé.



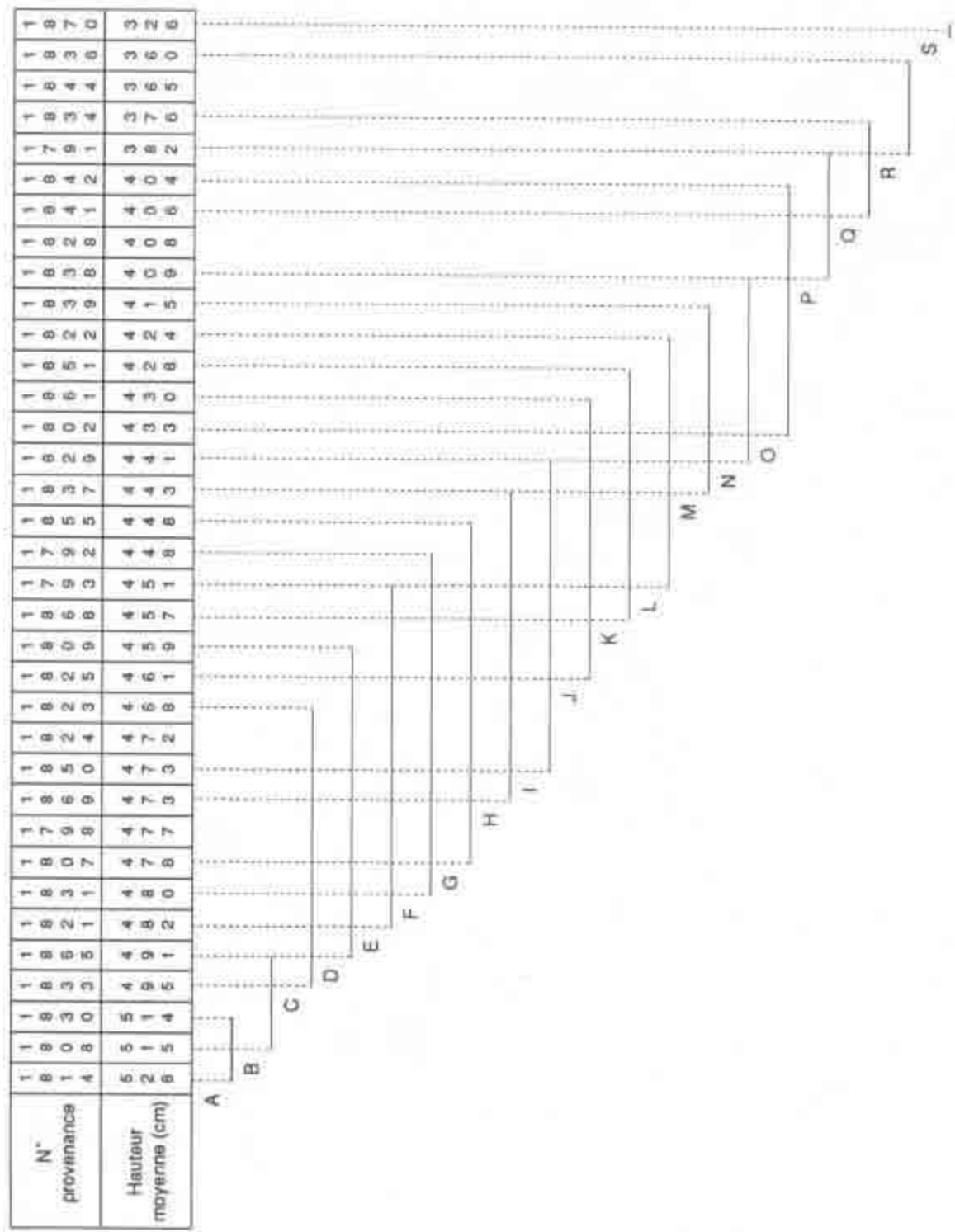
La valeur de la plus petite différence significative est égale à 48 cm

Figure 12. Test de Waller-Duncan sur la hauteur moyenne des provenances à 10 ans à Bonaventure.



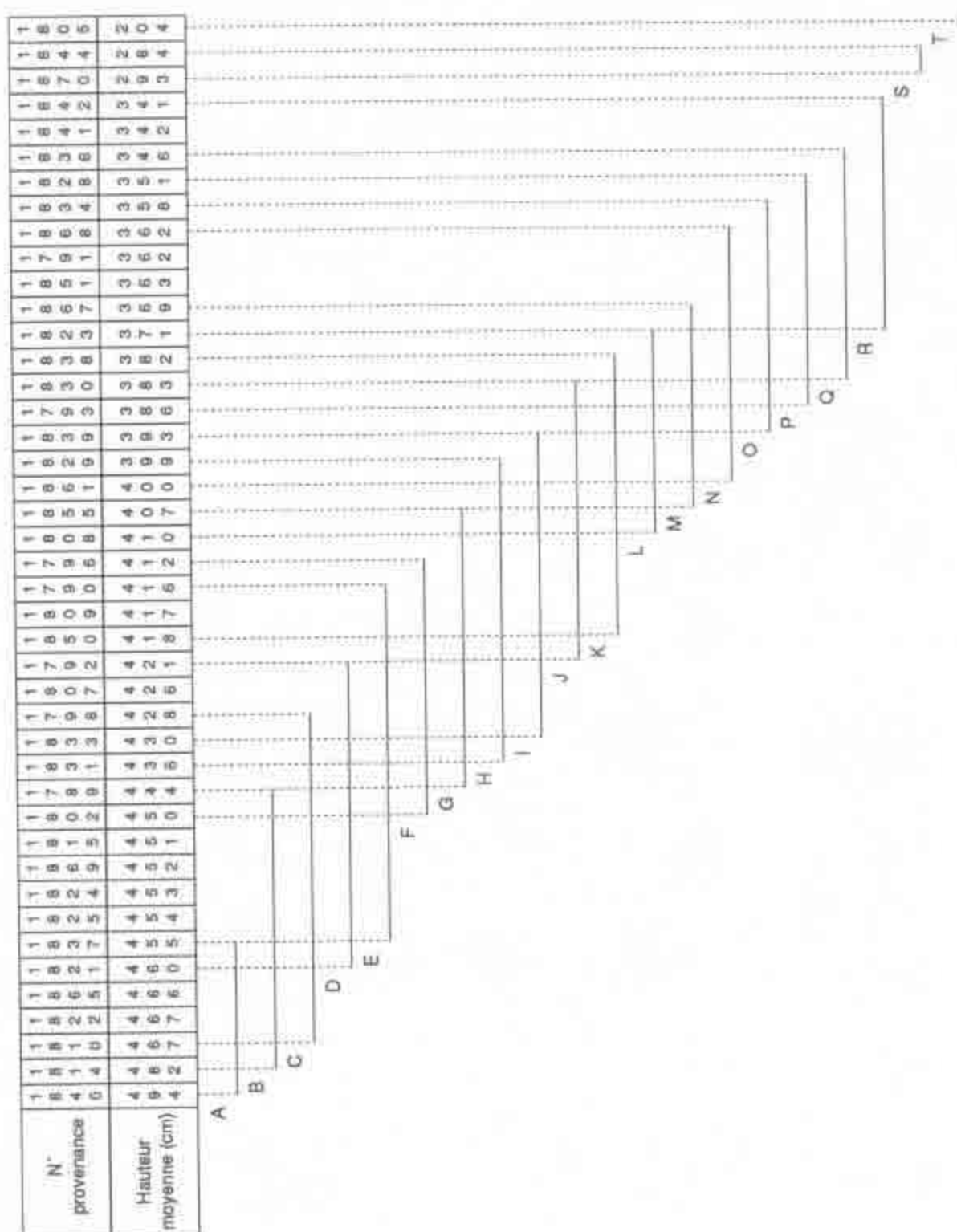
La valeur de la plus petite différence significative est égale à 47 cm

Figure 13. Test de Waller-Duncan sur la hauteur moyenne des provenances à 10 ans à Matapédia.



La valeur de la plus petite différence significative est égale à 32 cm

Figure 15. Test de Waller-Duncan sur la hauteur moyenne des provenances à 10 ans à La Patrie.



La valeur de la plus petite différence significative est égale à 39 cm

Figure 16. Test de Waller-Duncan sur la hauteur moyenne des provenances à 10 ans à Lotbinière.

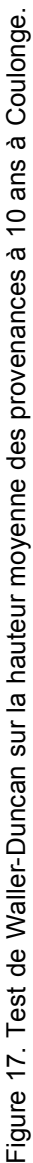
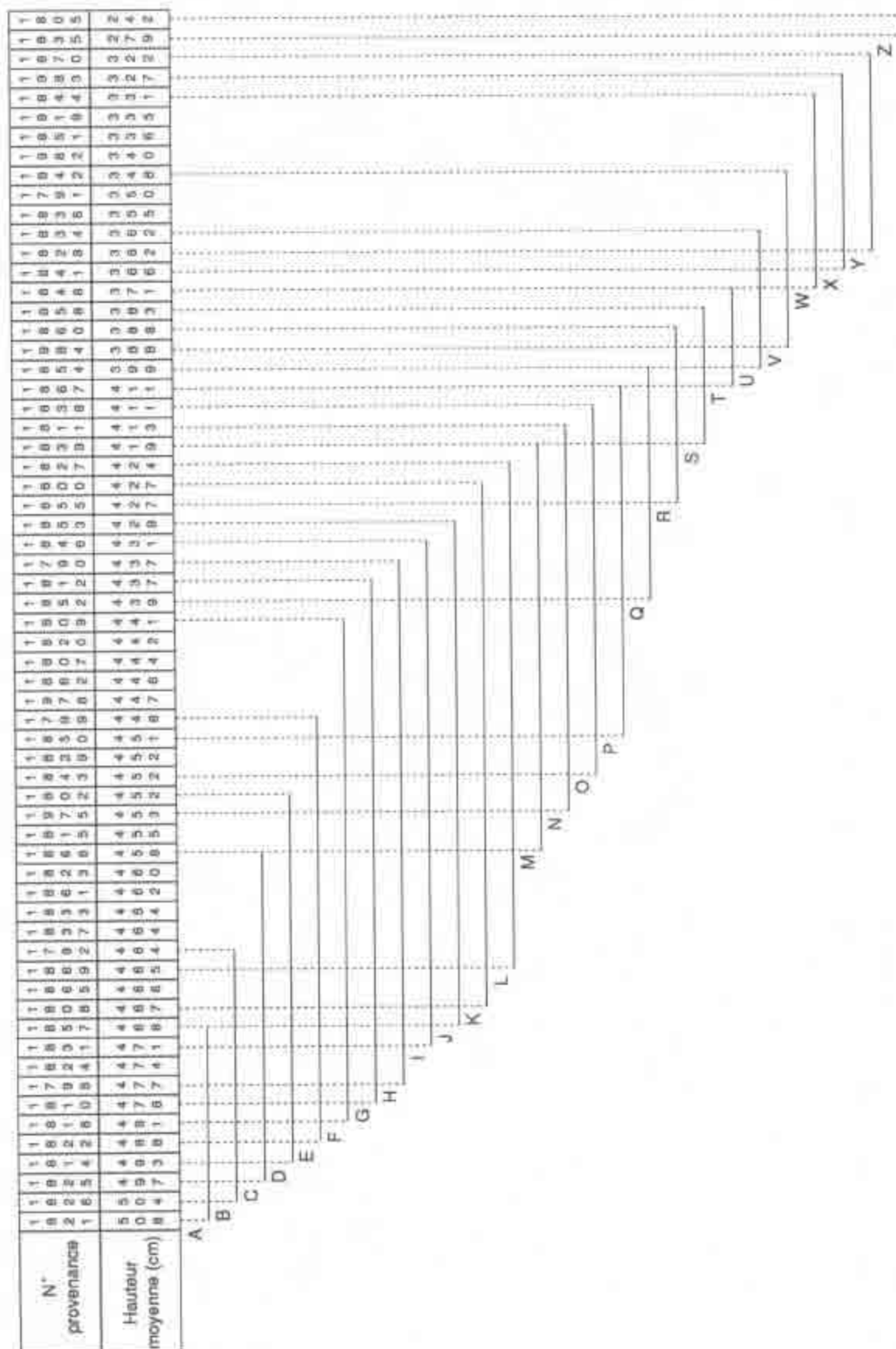


Figure 17. Test de Waller-Duncan sur la hauteur moyenne des provenances à 10 ans à Coulonge.



La valeur de la plus petite différence significative est égale à 41 cm

Figure 18. Test de Waller-Duncan sur la hauteur moyenne des provenances à 10 ans à Verchères.

La qualité du matériel de reboisement est une des responsabilités du secteur Forêts du ministère des Ressources naturelles. Le reboisement au moyen d'une espèce exotique comme le pin sylvestre exige, pour bien remplir ce rôle, une évaluation des différentes sources de graines afin de choisir celles qui sont les mieux adaptées et les plus productives. La Direction de la recherche forestière a donc mis en place des tests de provenances multistationnels afin d'identifier les meilleures provenances pour différentes régions écologiques du Québec.



Gouvernement du Québec
Ministère des Ressources
naturelles

ISBN 2-550-30418-7
ISSN 1183-3912
F.D.C. 232.1(047.3)(714)
L.C. SD 399.5 .P614

RN96-3075