

Note de recherche forestière n° 79

Performance de quelques provenances de pin ponderosa en plantation sur trois sites au Québec

ROGER BEAUDOIN¹

F.D.C. 232 1/(047 3)/(714)
L.C. SD 399 5

Résumé

Ce rapport présente les résultats de trois tests, comprenant de trois à six provenances de pin ponderosa, après 12 ans de croissance en plantation. Les provenances de Californie et du Colorado ont un taux de mortalité élevé et une croissance faible sur tous les sites. Les meilleures provenances sont situées dans la partie est de l'Oregon et de Washington et dans la partie ouest du Montana. À 12 ans, sur le meilleur site (Verchères), la hauteur moyenne des meilleures provenances varie entre 464 et 487 cm et la pousse annuelle moyenne est de 56 cm. Sur le site de Lotbinière, où les conditions climatiques sont plus sévères qu'à Verchères, les caractéristiques morphologiques des meilleures provenances sont moins intéressantes ; ces provenances furent affectées de la même façon par la perte de dominance du bourgeon apical, généralement durant les premières années après la plantation. Cette perte de dominance due au gel est la cause principale de la formation de fourches, de grosses branches, de branches dont l'angle d'insertion au tronc est plus aigu et de la flexuosité des tiges. À Lotbinière, la hauteur moyenne des meilleures provenances varie entre 408 et 425 cm à 12 ans. Pour pallier au faible nombre de provenances testées dans le choix des meilleures provenances pour le reboisement au Québec, on a utilisé les résultats de 10 et 15 ans après la plantation de tests de provenances de pin lodgepole et de douglas taxifolié sur plusieurs sites au Québec, qui permettent de croire que les meilleures provenances de pin ponderosa seraient situées en Colombie-Britannique, au nord du 49° degré de latitude et à une altitude variant entre 600 et 1 200 m. Le territoire d'utilisation de l'espèce pour le reboisement est limité à la partie sud du Québec.

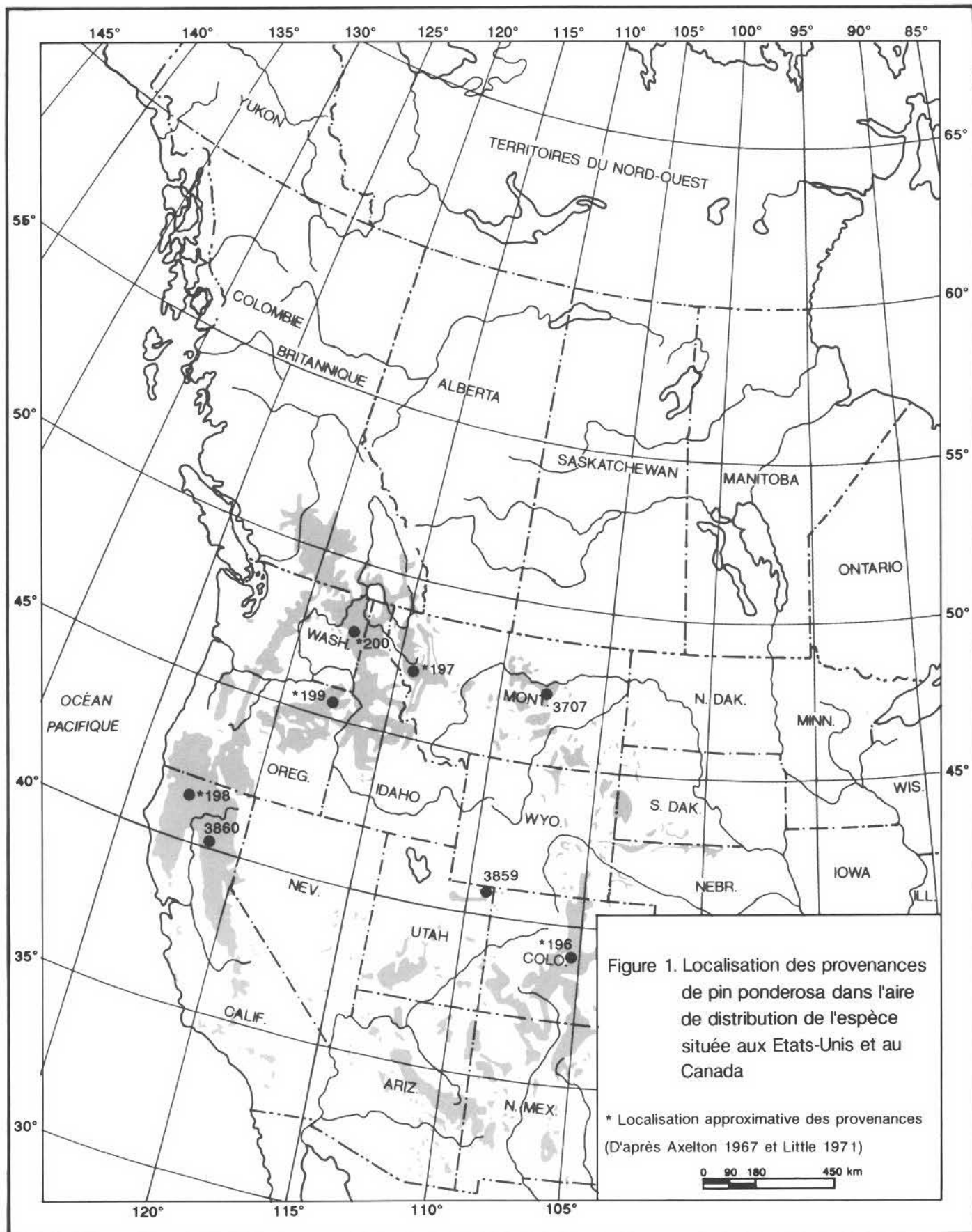
Mots-clés : pin ponderosa, *Pinus ponderosa*, tests de provenances, survie, hauteur, perte de dominance, fourches, diamètre des branches.

Abstract

Performance of some ponderosa pine provenances planted on three Québec sites. Field testing three to six provenances of *Pinus ponderosa* was conducted in each of three locations and evaluated 12 years after planting. Provenances from California and Colorado showed high mortality and poor growth on all sites. The best provenances are from eastern Oregon, Washington and western Montana. Mean height of the best provenances on the best site (Verchères) at 12 years range from 464 to 487 cm and show a 56 cm annual increment. On the Lotbinière site, morphological characteristics of the best provenances were less good than at Verchères because climatic conditions were more severe; all provenances were generally affected similarly by lack of apical dominance during the first years after planting. Forks, large branches, a more acute branch angle and stem flexuosity were mainly the result of apical bud mortality caused by frost. Mean height at 12 years of the best provenances at Lotbinière ranged from 408 to 425 cm. To counter the small number of tested provenances in order to choose the best provenances for Québec reforestation, the use of 10 and 15 year after planting results from douglas fir and lodgepole pine provenance tests on several Québec sites suggests that the best ponderosa pine provenances should come from British Columbia, north of 49° of latitude and at elevations ranging from 600 to 1200m. Use of this species for reforestation is limited to the southern part of Québec.

Key words : ponderosa pine, *Pinus ponderosa*, provenance tests, survival, height, lack of apical dominance, forks, branch diameter.

¹ Ing.f., chargé de recherches en amélioration génétique des pins et responsable du réseau d'arboretums et des secteurs spéciaux de R-D en amélioration génétique.



Introduction

Le pin ponderosa (*Pinus ponderosa* Laws.) a une valeur économique importante dans plusieurs États de l'ouest des États-Unis et au Canada (partie sud de la Colombie-Britannique) (KOPP *et al.* 1987, OLIVER et RYKER 1990 dans BURNS et HONKALA 1990). Sa valeur économique est due surtout à l'étendue de son aire de distribution, aux dimensions des tiges récoltées et à la qualité de son bois. Dans de bonnes conditions de croissance, il peut atteindre, à 100 ans, une hauteur de 45 m et un diamètre de 150 cm. Son bois homogène, moyennement fort et dur, assez résistant à la carie, à aubier très large et presque blanc à jaune pâle (FARRAR 1996) est utilisé avantageusement en ébénisterie et dans la construction en général (MULLINS et McKNIGHT 1981). On utilise également le pin ponderosa comme arbre d'ornement puisqu'il développe une cime dense et un port intéressant (KOPP *et al.* 1987), mais aussi comme brise-vent surtout dans les régions semi-arides du Montana, du Dakota du Nord, de l'Oklahoma et du Nouveau-Mexique (READ 1980, SCHAEFER et BAER 1992) ; c'est une espèce qui est bien adaptée aux stations sèches, peu fertiles et venteuses (READ 1980) à cause de ses racines très étalées et avec souvent la présence d'un pivot massif et profond atteignant parfois deux mètres de longueur (FARRAR 1996).

Puisque l'aire de distribution du pin ponderosa est très vaste, il pousse sur des sols et dans des conditions climatiques très variées. Deux variétés et cinq races géographiques ont été reconnues (CRITCHFIELD 1984, CONKLE et CRITCHFIELD 1988). La variation génétique de plusieurs caractères, selon les races et selon les provenances est importante. Les conditions climatiques de croissance varient selon la latitude et l'altitude. Sur les hauts plateaux du Colorado et du Nouveau-Mexique on peut le retrouver à une altitude variant entre 3 000 et 4 000 m tandis que dans les basses terres de l'Idaho, il pousse à une altitude de 400 à 1 000 m (FULLARD *et al.* 1983). L'étude de la différenciation des populations suivant les changements d'altitude montre qu'à une latitude semblable les populations de pin ponderosa séparées par un écart d'altitude de 400 m sont génétiquement différentes et que leur potentiel de croissance à un lieu de plantation donné tend à être différent (REHFELDT 1991). Dans la présente étude, les caractères qui nous intéressent particulièrement, sont le taux de survie et la croissance en hauteur des provenances parce qu'ils indiquent assez bien l'adaptation, par la sélection naturelle, des provenances à un habitat.

Cette espèce a été plantée en dehors de son aire de distribution naturelle et la performance de ces plantations est très variée (WELLS 1963). Au Québec, il existerait quelques plantations de pin ponderosa qui ont été réalisées entre 1948 et 1972 dans le canton d'Eardley situé dans le parc de la Gatineau (45°37'N et 75°59'O, L. Ménard, communication personnelle). Nous n'avons pas vérifié cette information et nous n'avons aucune donnée sur les provenances utilisées et leur croissance.

Ce test de quelques provenances de pin ponderosa fait partie du projet d'introduction d'espèces exotiques de la Direction de la recherche forestière, projet qui vise à améliorer la diversité des espèces qui poussent au Québec tout en répondant aux besoins de l'industrie. L'évaluation de la performance des provenances de cette espèce sur trois stations relativement pauvres, sablonneuses et bien drainées appartenant à des régions écologiques différentes nous permettra de tirer des renseignements importants sur la croissance de cette espèce au Québec. Étant donné que le nombre de provenances de pin ponderosa dans cette étude est assez restreint et ne couvre qu'une partie de l'aire de distribution de l'espèce, les recommandations sur le choix des meilleures provenances à introduire au Québec vont s'appuyer sur les résultats d'études réalisées sur le douglas taxifolié (*Pseudotsuga menziesii* [Mirb.] Franco) (STIPANICIC 1996) et le pin lodgepole (*Pinus contorta* Dougl. ex Loud. var. *latifolia* Engelm.) (BEAUDOIN 1995). Ces deux espèces poussent souvent en association avec le pin ponderosa et les provenances testées dans les deux études citées étaient réparties sur l'ensemble de leur aire de distribution.

Matériel et méthodes

Les lots de graines des provenances n^{os} 196, 197, 198, 199 et 200 (figure 1) ont été obtenus en 1970 de M. F.W. Schumacher, fournisseur de graines d'espèces forestières (Massachusetts) ; ceux des provenances n^{os} 3707 et 3859, de l'IUFRO (*International Union of Forest Research Organizations*) en 1976 et celui de la provenance n^o 3860, du *United States Tree Seed Center* de Macon, Georgie, en 1975.

Les provenances n^{os} 197, 199 et 200 font partie d'un climat tempéré chaud et humide à été sec ; la température moyenne du mois le plus chaud y est inférieure à 22 °C alors que la température moyenne du mois le plus froid y est inférieure à 0 °C ; les précipitations annuelles sont de 500 à 1 000 mm et se produisent principalement à l'automne, durant l'hiver et au printemps. La provenance n^o 198 fait partie d'un climat tempéré océanique ; la température moyenne du mois le plus chaud y est inférieure à 22 °C alors que la température moyenne du mois le plus froid y est supérieure à 0 °C ; les précipitations sont abondantes (1 000 à 1 500 mm) et se produisent surtout en saison froide. La provenance n^o 3860 est située à une altitude de 1 350 m, dans la partie nord de la Californie ; l'altitude de cette provenance est probablement plus élevée que celle de la provenance n^o 198 ; la température moyenne du mois le plus chaud y est supérieure à 22 °C ; la température moyenne du mois le plus froid varie entre 5 °C et -3 °C ; les précipitations se produisent surtout en saison froide. Les provenances n^{os} 196, 3707 et 3859 font partie d'un climat sec ; la température moyenne du mois le plus chaud y est supérieure à 20 °C alors que la température du mois le plus froid est inférieure à 0 °C ; les précipitations sont de 250 à 500 mm par année et se produisent surtout en saison chaude ; dans cette région au climat semi-aride, la végétation se compose d'arbres isolés ou en bouquets et de plantes désertiques ou de prairie (BAKER 1944, GOUROU *et al.* 1967, BAILEY 1980, HAMMOND INCORPORATED 1993).

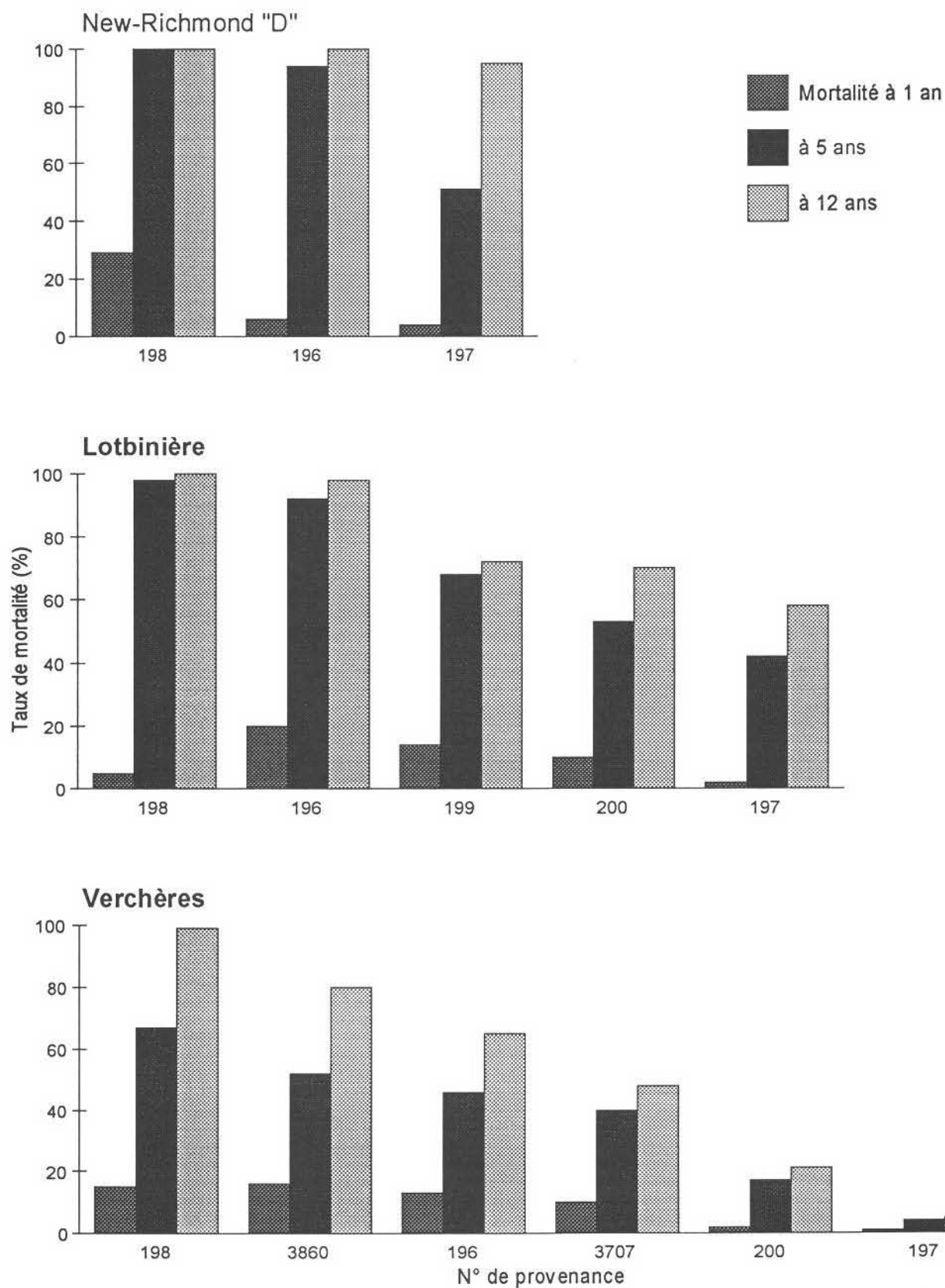


Figure 2. Taux de mortalité des provenances après 1, 5 et 12 ans de croissance en plantation sur chaque site.

Les graines de toutes les provenances ont été semées, à l'automne de 1980, à la pépinière de Duchesnay située à environ 40 kilomètres au nord-ouest de Québec (46°52'N et 71°39'O). Le dénombrement et le repiquage des semis ont été faits au printemps de 1983.

Quatre tests de provenances ont été installés au printemps de 1985 dans les arboretums de Verchères, de Lotbinière et des Îles-de-la-Madeleine et dans la forêt d'expérimentation de New-Richmond « D ». La localisation et les caractéristiques écologiques et climatiques de ces sites d'expérience sont présentées aux tableaux 1 et 2. Les provenances n° 196, 197 et 198 sont présentes sur tous les sites, la provenance n° 200 est absente de New-Richmond « D », la provenance n° 199 a été testée uniquement à Lotbinière alors que les provenances n° 3707 et 3860 l'ont été seulement à Verchères. La provenance n° 3859 n'a été installée sur aucun des quatre sites à cause de la piètre qualité des plants, très affectés par le chancre sclérodérien (*Gremmeniella abietina* [Lagerb.] Morelet) en pépinière. Au moment de la plantation (semis 2+2), la hauteur moyenne des provenances variait de 17,0 cm pour la provenance n° 196 à 43,1 cm pour la provenance n° 199. La hauteur moyenne en pépinière des sept provenances installées sur le terrain est de 26,6 cm.

Le dispositif de Verchères est constitué de parcelles carrées de 25 plants, répétées six fois ; celui de Lotbinière, de parcelles linéaires de 15 plants, répétées dix fois ; celui des Îles-de-la-Madeleine, de parcelles linéaires de dix plants, répétées dix fois et celui de New-Richmond « D », de parcelles carrées de 49 plants, répétées trois fois. L'espacement entre les plants est de 2,0 x 2,0 m sur tous les sites.

La hauteur des arbres et la pousse annuelle ont été mesurées après 1, 5 et 12 ans de croissance en plantation et le DHP, après 12 ans. Le test des Îles-de-la-Madeleine a été annulé au printemps de 1986 ; un feu d'herbe y a causé la mort de tous les arbres.

Des données sur les caractères morphologiques des arbres comme le nombre de tiges et de fourches, la flexuosité des tiges, le nombre et le diamètre des branches dont l'angle d'insertion au tronc est plus aigu (environ 45°) et le nombre de grosses branches (diamètre plus grand que, ou égal à 35 mm) ont été recueillies à 12 ans de même que sur les dégâts liés à un manque de rusticité de l'arbre ou causés par les insectes et les maladies. Le diamètre des branches a été mesuré à l'aide d'un compas forestier à 3 cm du tronc et leur angle d'insertion, à l'aide d'un rapporteur d'angle. La méthode utilisée pour la prise des données est celle décrite par GAGNON et NUMAINVILLE (1991).

À Lotbinière, les données sur le taux de survie et l'accroissement en hauteur à 1, 5 et 12 ans ont été recueillies sur les blocs 1 à 4 seulement. La végétation concurrente (verge d'or et graminées) très dense dans les blocs 5 à 10 a fait augmenter de façon anormale le taux de mortalité des provenances (95 %) et a influencé négativement leur croissance.

Une analyse de la variance a été effectuée pour chacun des deux sites (Lotbinière et Verchères) en utilisant les sommes des carrés de type IV de la procédure GLM du logiciel SAS. Les hypothèses sous-jacentes à l'analyse de la variance, c'est-à-dire la normalité et l'homogénéité des variances des résidus, ont été vérifiées.

Résultats et discussion

Le taux de mortalité observé à l'automne de l'année de la plantation, attribuable au choc de plantation, varie entre les provenances sur chaque site et il est en moyenne de 10 % sur l'ensemble des sites. Le taux de mortalité des provenances de pin ponderosa après 1, 5 et 12 ans de croissance en plantation est présenté à la figure 2 et chaque site y est placé dans un ordre décroissant de haut en bas pour la sévérité des conditions climatiques.

Parmi toutes les provenances testées, c'est la provenance n° 198 qui est la moins bien adaptée aux trois sites d'expérience. Même à Verchères, où les conditions climatiques favorisent en général un meilleur taux de survie des provenances de cette espèce, le taux de mortalité de cette provenance est de 99 % à 12 ans. La provenance n° 196 n'est pas du tout adaptée aux sites de New-Richmond « D » et de Lotbinière ; son taux de mortalité à 12 ans de 100 et 98 %, à ces deux endroits était déjà très élevé à cinq ans (94 et 92 % respectivement). Le taux de mortalité de la provenance n° 196 est plus faible à Verchères (65 % à 12 ans) mais sa croissance en hauteur, comparée à celles des meilleures provenances, est relativement lente. La provenance n° 197 est celle qui, parmi toutes les provenances testées, a le meilleur taux de survie à 1, 5 et 12 ans sur chaque site. Le taux de mortalité le plus faible à 5 et 12 ans (4 et 5 % respectivement) est sur le site de Verchères. Au fil des ans, la sélection naturelle des arbres de cette provenance a été plus forte à Lotbinière (taux de mortalité à 5 et 12 ans de 42 et 58 % respectivement) qu'à Verchères et encore plus forte à New-Richmond « D » (taux de mortalité à 5 et 12 ans de 51 et 95 % respectivement). Il semble à première vue que les taux de mortalité à 12 ans des provenances n° 197 et surtout 199 et 200 soient semblables à Lotbinière (58, 72 et 70 %) et différents à Verchères entre les provenances n° 196, 197, 200 et 3707 (taux de mortalité à 12 ans de 65, 5, 21 et 48 % respectivement). Il faut cependant être prudent dans les conclusions tirées puisque aucune analyse statistique n'a été effectuée sur le taux de mortalité entre les provenances à Lotbinière et Verchères ; les données ne permettent pas de réaliser ces analyses.

La hauteur moyenne à 12 ans varie de façon significative (au seuil $\alpha = 0,05$) entre les provenances sur chaque site et entre les sites (figure 3). Il n'y a pas d'interaction entre les provenances et les sites. En se basant sur les résultats des tests de comparaison multiple de Waller-Duncan sur la hauteur à 12 ans, les provenances n° 196, 197, 199, 200 et 3707 ont été réparties en trois groupes. Les provenances n° 198 et 3860 ne sont pas comprises dans les analyses à cause d'un nombre restreint de données :

Tableau 1. Localisation, altitude et caractéristiques écologiques des sites d'expérience

Site	Latitude nord	Longitude ouest	Altitude (m)	Texture du sol ²	Domaine et région écologique ³
New-Richmond « D »	48 12'	65 41'	303	sable loameux	érablière à bouleau jaune et sapinière à bouleau blanc, 4b
Lotbinière	46 30'	71 55'	83	sable loameux	érablière à tilleul et érablière à bouleau jaune, 2c
Verchères	45 41'	73 19'	44	sable loameux	érablière à caryer et érablière à tilleul, 1b
Îles-de-la-Madeleine ¹	47 26'	61 45'	30	loam sableux	pessière blanche à sapin et sapinière à épinette blanche, 10a

¹ Test annulé² Classe texturale déterminée à partir d'échantillons de sol pris dans les tests.³ Selon THIBAUT (1985).

9

Tableau 2. Données climatiques des sites d'expérience

Site	Température moyenne annuelle (°C)	Température moyenne de juillet (°C)	Température moyenne de janvier (°C)	Température minimale extrême (°C)	Température moyenne de juin-juil.-août (°C)	Longueur moyenne de la période sans gel en jours (prob. 50 %)	Degrés-jours au-dessus de 5,0 °C	Précipitations totales annuelles (mm)
New-Richmond « D »	2,8	17,0	-11,0	-39,4	15,6	Près de 100	1 295	1 119
Lotbinière	3,8	18,6	-12,4	-38,3	17,2	110 à 120	1 650	1 230
Verchères	5,9	20,6	-10,6	-37,2	19,4	140 à 150	2 046	1 000
Îles-de-la-Madeleine ¹	4,6	16,7	-5,9	-25,0	15,2	161	1 337	794

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

¹ Test annulé.

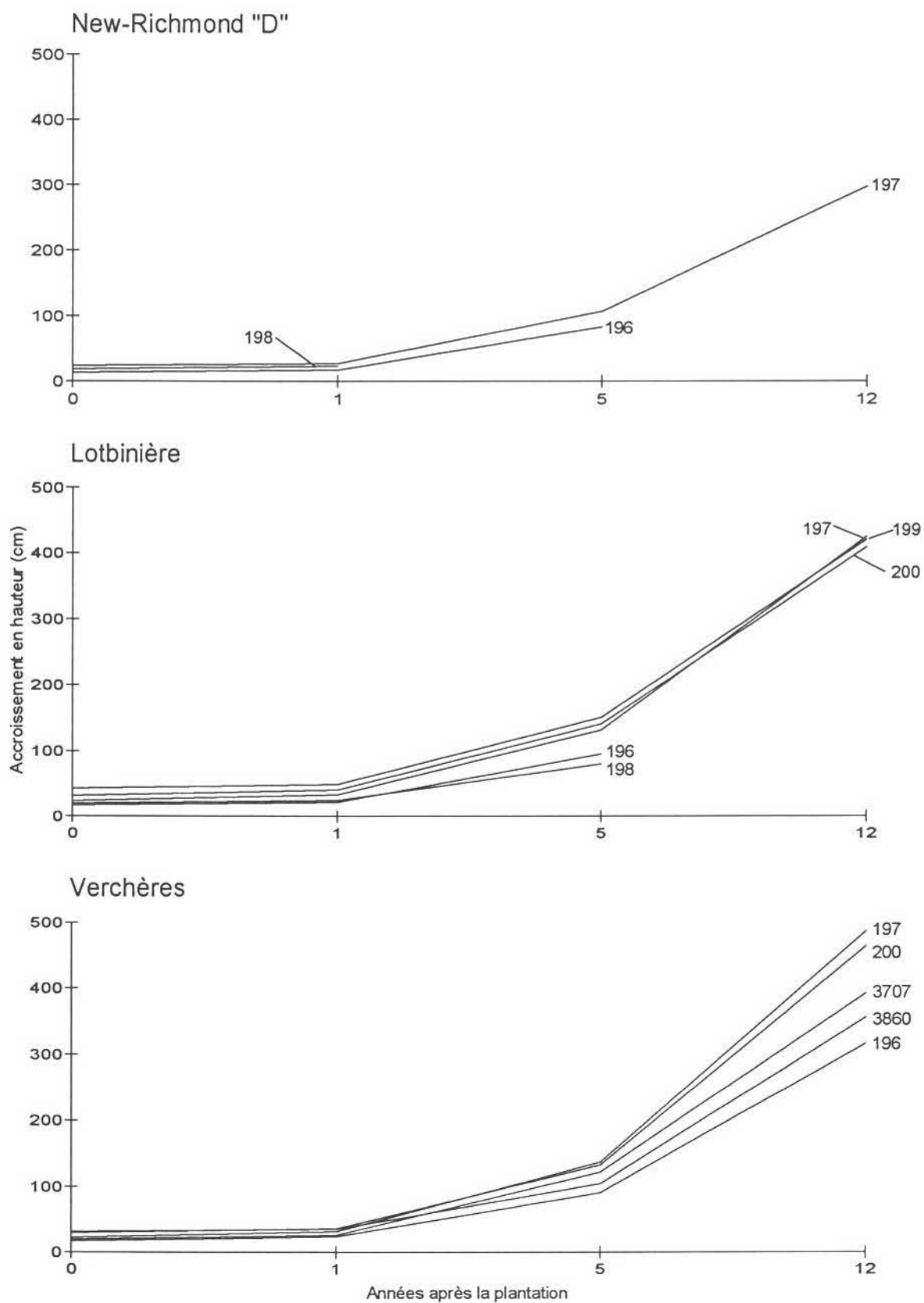
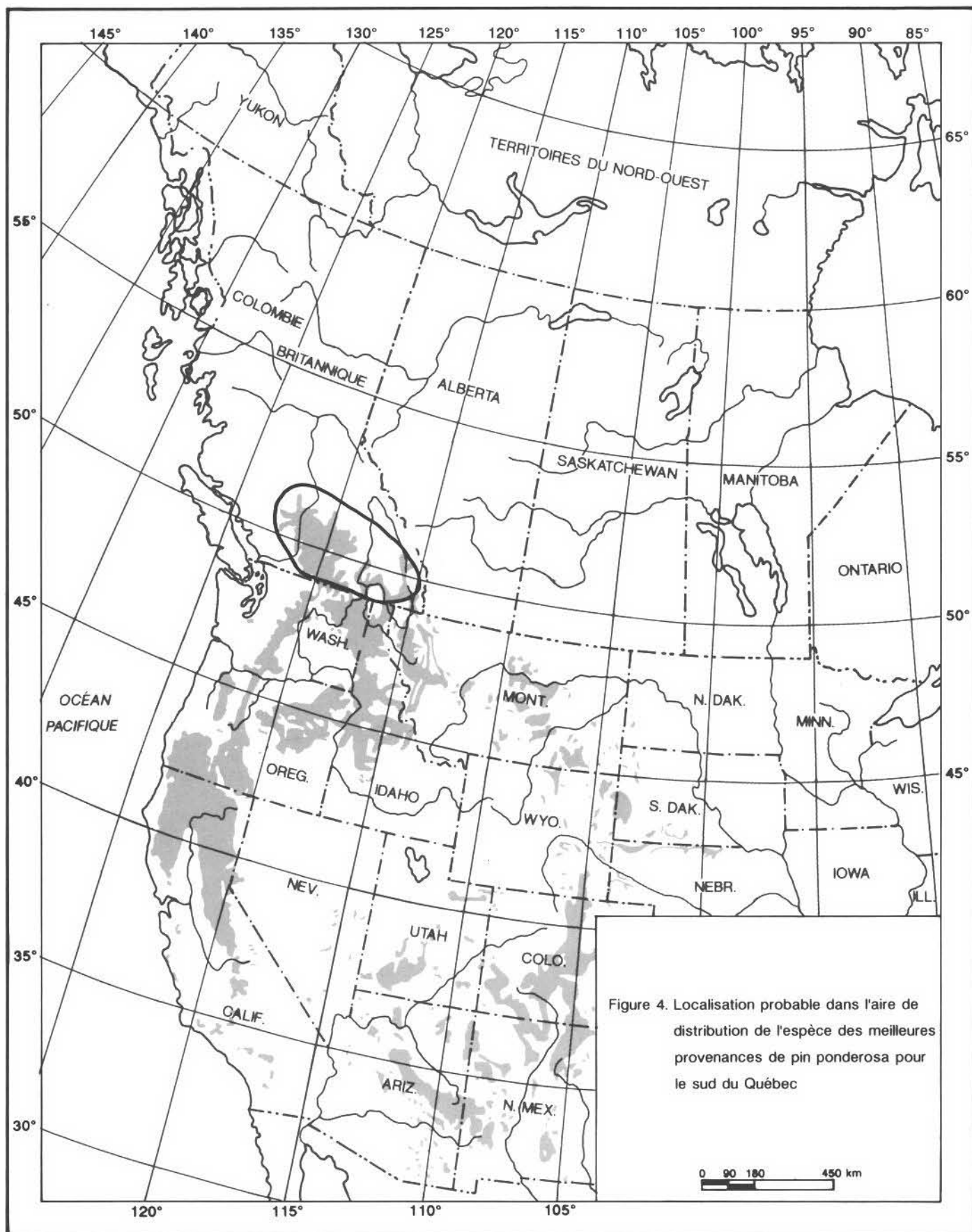


Figure 3. Accroissement en hauteur des provenances sur chaque site.



- un premier groupe, formé des provenances n°s 197, 199 et 200. Il n'y a pas de différence significative (au seuil $\alpha = 0,05$) entre les provenances n°s 197, 199 et 200 à Lotbinière et entre les provenances n°s 197 et 200 à Verchères. Ces provenances ont la meilleure croissance en hauteur à 12 ans à Lotbinière (hauteur moyenne de 425, 420 et 408 cm respectivement) et à Verchères (hauteur moyenne de 487 et 464 cm respectivement). La pousse annuelle à 12 ans est en moyenne de 56 cm sur chacun de ces deux sites pour toutes ces provenances. À New-Richmond « D », les conditions climatiques plus sévères limitent la croissance des quelques arbres restants de la provenance n° 197 ; à 12 ans, la hauteur moyenne y est de 297 cm et la pousse annuelle moyenne, de 27 cm.
- un second, formé de la seule provenance n° 3707. Cette provenance est présente à Verchères seulement. À 12 ans, sa hauteur moyenne est de 393 cm et sa pousse annuelle moyenne est de 41 cm.
- un troisième, formé de la seule provenance n° 196. L'analyse a été effectuée avec les seules données de Verchères, la mortalité étant trop élevée sur les autres sites. À 12 ans, sa hauteur moyenne est de 317 cm et sa pousse annuelle moyenne est de 30 cm.

La formation de fourches, de branches dont l'angle d'insertion au tronc est plus aigu et de grosses branches est attribuable principalement à la perte de dominance du bourgeon apical. À Lotbinière, sur les arbres des provenances n°s 197, 199 et 200, on retrouve encore, après 12 ans de croissance, des flèches terminales desséchées dont le bourgeon apical n'a pas débourré au printemps. À la base du bourgeon apical desséché, on remarque la formation de branches issues de bourgeons latéraux. Une branche formée à partir d'un bourgeon latéral ou une branche provenant d'un verticille inférieur assure, avec le temps, la croissance en hauteur de l'arbre. Lorsque cette branche est vigoureuse et se redresse rapidement, les caractéristiques morphologiques indésirables sont peu apparentes. Par contre, lorsque la dominance se fait plus lentement, on remarque davantage la formation de fourches, de branches dont l'angle d'insertion au tronc est plus aigu, de grosses branches et d'une déviation plus ou moins prononcée de la tige. Dans 88 % des cas, ce phénomène se situe à une hauteur inférieure ou égale à 220 cm à partir du sol. Une fois cette hauteur critique dépassée, les arbres présentent généralement une forme et une branchaison normales. Le phénomène de mortalité ou de la perte de dominance du bourgeon apical est complexe ; l'hypothèse la plus plausible pour l'expliquer est qu'à ce niveau, la réflexion de la lumière du soleil sur la neige au printemps provoque un réchauffement suffisant et d'une durée assez longue du bourgeon apical pour que celui-ci entre en activité de façon précoce, les bourgeons latéraux demeurant généralement inactifs. Le bourgeon apical atteint alors un stade de débourrement assez avancé pour que le gel, encore présent à cette période de l'année, cause sa mortalité ou retarde grandement son élévation par la suite. Un phénomène

semblable a été observé à Lotbinière dans une plantation de douglas taxifolié située à proximité de la plantation de pin ponderosa. À Lotbinière et principalement à une hauteur plus petite que, ou égale à 220 cm à partir du sol, il y a, pour le pin ponderosa, 77 % des arbres qui ont en moyenne deux branches dont l'angle d'insertion au tronc est plus aigu et leur diamètre varie entre 20 et 53 mm, leur diamètre moyen étant de 31 mm ; 9 % des arbres ont en moyenne deux grosses branches dont le diamètre varie entre 35 et 45 mm, leur diamètre moyen étant de 39 mm ; 17 % des arbres ont une fourche ; 13 % des arbres présentent une blessure d'insolation située du côté sud-ouest à la base du tronc ; 17 % des arbres sont affectés par la rouille-tumeur autonome (*Endocronartium harknessii*) (J.P. Moore, Y. Hiratsuka) sur les branches basses seulement.

Les caractéristiques morphologiques des arbres sont beaucoup plus intéressantes à Verchères qu'à Lotbinière. À Verchères, 15 % des arbres ont en moyenne deux branches dont l'angle d'insertion au tronc est plus aigu et leur diamètre varie entre 18 à 50 mm, leur diamètre moyen étant de 30 mm ; 3 % des arbres ont en moyenne 2,6 grosses branches dont le diamètre varie entre 35 à 70 mm, leur diamètre moyen étant de 41 mm ; 6 % des arbres ont une fourche et 1 % des arbres montrent une blessure d'insolation située à la base du tronc. À Lotbinière comme à Verchères, il n'y a pas de différence significative entre les provenances n°s 197, 199 et 200 en ce qui concerne le pourcentage d'arbres affectés par la formation de fourches, de branches dont l'angle d'insertion au tronc est plus aigu et de grosses branches. Sur l'ensemble des sites et pour les provenances ayant un défaut d'adaptation plus prononcé, beaucoup d'arbres morts avaient une blessure d'insolation à la base du tronc. À Verchères, les arbres sont pour la grande majorité très droits tandis qu'à Lotbinière, environ 9 % des arbres sont flexueux.

À plusieurs endroits en Colombie-Britannique, dans les États de Washington, de l'Idaho, du Montana, de l'Orégon, de la Californie, de l'Utah et du Colorado, le pin ponderosa pousse en association avec le douglas taxifolié et le pin lodgepole ou les côtoie (LITTLE 1971, GALE RESEARCH 1975, ANONYME 1988). Des tests comprenant plus de 100 provenances, obtenues en majorité de l'IUFRO et couvrant l'aire de distribution de chacune de ces deux espèces, ont été réalisés sur plusieurs sites au Québec. Des résultats de 10 et 15 ans après la plantation pour le douglas taxifolié (Stipanovic 1996) et de 10 ans pour le pin lodgepole (Beaudoin 1995) ont été obtenus pour l'ensemble des provenances. Plusieurs provenances de douglas taxifolié et de pin lodgepole faisant partie d'un climat tempéré océanique, c'est-à-dire situées en bordure de l'Océan Pacifique, et les provenances de Californie montraient une dessiccation hivernale sévère des aiguilles après quelques années de croissance en plantation. On observait également sur ces arbres des dégâts de gel des bourgeons et de gel des pousses ; la croissance et le taux de survie de ces provenances en étaient très affectés. Les provenances de pin ponderosa du nord de la Californie (n°s 198 et 3860) objets de la présente étude ont un

comportement semblable pour les mêmes variables. D'autres provenances de pin lodgepole et de douglas taxifolié du Colorado, de l'Utah, du Wyoming, du Montana, de l'Idaho, de l'Orégon et de Washington présentaient une dessiccation hivernale partielle des aiguilles qui pouvaient être plus ou moins prononcée selon la latitude et l'altitude des provenances. En ce qui concerne la rusticité et la croissance, le comportement de ces provenances sur certains sites du sud du Québec ressemble à celui des provenances n^{os} 196, 3859, 3707, 197, 199 et 200 objets de la présente étude. Par contre, les provenances de pin lodgepole de l'intérieur, c'est-à-dire situées en Colombie-Britannique et en Alberta, au nord du 49^e degré de latitude, n'ont pas été affectées par la dessiccation hivernale des aiguilles même durant les années de dessiccation sévère sur les autres provenances. Sur les sites d'expérience les plus méridionaux, les meilleures provenances de douglas taxifolié et de pin lodgepole proviennent d'une aire commune aux deux espèces. Cette aire est située en Colombie-Britannique, dans la région physiographique du plateau intérieur, et elle est limitée au sud par le 49^e degré de latitude nord. La figure 4 montre que la partie de l'aire de distribution du pin ponderosa située en Colombie-Britannique coïncide avec la partie sud de la zone des meilleures provenances de douglas taxifolié et de pin lodgepole. Par déduction, il est probable que la zone de provenances de pin ponderosa illustrée à la figure 4 soit la zone des meilleures provenances pour le sud du Québec. Ces provenances et les provenances testées n^{os} 197, 199 et 200 font partie de la variété ponderosa et d'une des cinq races décrites par CRITCHFIELD (1984) et CONKLE et CRITCHFIELD (1988), soit celle du plateau du nord.

Dans la zone probable des meilleures provenances de pin ponderosa (figure 4) on retrouve différentes conditions de croissance. À faible altitude (environ 400 m) dans la vallée de la rivière Thompson et celle du lac Okanagan, le pin ponderosa pousse avec le douglas taxifolié pour former des groupes d'arbres très espacés ou des peuplements très ouverts. Les précipitations annuelles y sont très peu abondantes (moins de 300 mm). La température moyenne de juillet est plus élevée que 20 °C et la température moyenne de janvier est généralement de -5 °C. La longueur de la période sans gel y est de 140 à 220 jours (SERVICE DE L'ENVIRONNEMENT ATMOSPHÉRIQUE 1982a, 1982c, ANONYME 1988). À une altitude plus élevée (600 à 1 200 m), le douglas taxifolié est l'espèce dominante mais on y trouve aussi des peuplements de pin lodgepole et de pin ponderosa. La majeure partie de l'aire délimitée à la figure 4 se situe à cette altitude (FULLARD *et al.* 1983). Les précipitations annuelles y sont de 300 à 500 mm. La température moyenne de juillet est de 16 à 20 °C et la température moyenne de janvier est généralement de -10 °C. La longueur de la période sans gel varie entre 60 et 140 jours. Dans la partie est de l'aire délimitée à la figure 4, et de même altitude (600 à 1 200 m), les précipitations annuelles sont plus abondantes, c'est-à-dire de 500 à 1 000 mm (SERVICE DE L'ENVIRONNEMENT ATMOSPHÉRIQUE 1982a, ANONYME 1988). Le reste de l'aire délimitée à la figure 4 se trouve à une altitude plus élevée (1 300 à 2 000 m) (FULLARD *et al.* 1983). Le pin ponderosa y est beaucoup plus rare ; on y rencontre surtout le douglas taxifolié et le pin lodgepole.

L'épinette d'Engelmann (*Picea engelmannii* Parry) et le sapin subalpin (*Abies lasiocarpa* [Hook.] Nutt.) occupent la partie supérieure de cette zone. Les précipitations annuelles y sont de 500 à 1 000 mm. La température moyenne de juillet est inférieure à 16 °C et les hivers sont froids. La longueur de la période sans gel est de moins de 60 jours (SERVICE DE L'ENVIRONNEMENT ATMOSPHÉRIQUE 1982a, 1982c, ANONYME 1988).

Les conditions climatiques au lieu d'origine des provenances sont liées surtout à la latitude et l'altitude de celui-ci et influencent fortement leur croissance au lieu de plantation. La croissance des espèces introduites sera meilleure si les conditions climatiques au lieu d'origine des provenances et au lieu de plantations sont semblables. Dans la zone délimitée à la figure 4, les provenances de pin ponderosa situées à une altitude qui varie entre 600 et 1 200 m sont celles dont les conditions climatiques se rapprochent le plus des conditions rencontrées sur le territoire d'utilisation visé pour cette espèce introduite. Dans cette zone, les meilleures provenances de pin lodgepole et de douglas taxifolié proviennent d'une altitude semblable (BEAUDOIN 1995, STIPANICIC 1996). Le territoire d'utilisation au Québec comprendrait les domaines écologiques 1, 2 et 3 et peut-être les domaines écologiques 4 et 5 (THIBAUT 1985) si certaines provenances introduites de la zone probable des meilleures provenances démontrent une bonne rusticité et une croissance intéressante. La longueur de la période sans gel pour le territoire d'utilisation prévu (sud du Québec) varie entre 100 et 140 à 150 jours ; la température moyenne de juillet varie entre 17,0 et 20,6 °C ; la température moyenne de janvier varie entre -10,6 et -13,8 °C ; les précipitations annuelles varient entre 930 et 1 230 mm (SERVICE DE L'ENVIRONNEMENT ATMOSPHÉRIQUE 1982a, 1982b).

Conclusion

Le taux de survie et la hauteur moyenne des provenances sont les variables qui servent à évaluer l'adaptation des provenances sur un site donné. Dans l'aire de distribution de l'espèce, il existe une variation génétique importante entre les populations de pin ponderosa pour ces variables. Le déplacement géographique des provenances étudiées est considérable et la sélection naturelle a été sévère pour les provenances ayant un défaut d'adaptation aux sites de plantation ; aucun ou très peu d'arbres de ces provenances ont survécu après 12 ans de croissance en plantation sur chaque site.

Deux des trois meilleures provenances de cette étude (n^{os} 197, 199 et 200) ont un taux de mortalité faible et une croissance intéressante à Verchères. À Lotbinière, le taux de mortalité de ces provenances est plus élevé qu'à Verchères et la formation de fourches, de branches dont l'angle d'insertion au tronc est plus aigu, de grosses branches et la flexuosité plus ou moins prononcée de la tige de certains arbres sont dues à la mortalité ou à la perte de dominance du bourgeon apical. Ce phénomène est causé par un gel tardif et se produit généralement au cours des premières années après la plantation. Ces caractéristiques indésirables limitent donc l'utilisation de l'espèce sur les sites dont

les conditions écologiques sont semblables à celles représentées par l'arboretum de Lotbinière, à moins de faire une sélection individuelle sévère des meilleures sujets et de constituer, par greffage, une variété multiclonale mieux adaptée qui sera mise en vergers à graines pour la production de semences.

Les conditions climatiques varient selon la latitude et l'altitude au lieu d'origine des provenances et elles exercent une influence prépondérante sur la performance de ces provenances au lieu de plantation. Des résultats d'études réalisées au Québec sur le douglas taxifolié et le pin lodgepole, espèces qui côtoient le pin ponderosa ou qui poussent en association avec lui, nous permettent de croire que les meilleures provenances de pin ponderosa seraient situées dans la partie nord de l'aire de distribution de l'espèce plus précisément en Colombie-Britannique, au nord du 49° degré de latitude et à une altitude variant entre 600 et 1 200 m. Ces provenances seraient mieux adaptées aux conditions climatiques du Québec et présenteraient donc une meilleure performance en ce qui concerne la survie, la croissance et la forme des arbres. Selon les résultats de la présente étude, le territoire d'utilisation de l'espèce est limité aux domaines écologiques 1, 2 et 3 mais pourrait peut-être s'étendre aux domaines écologiques 4 et 5, une fois identifiées par un test les meilleures provenances de Colombie-Britannique.

Remerciements

L'auteur remercie monsieur Gilles Vallée qui a planifié le dispositif ; les techniciens forestiers du Service de l'amélioration des arbres MM. Serge Morin, François Caron, Simon Barrette et Gaston Lapointe qui ont implanté les tests de provenances et recueilli les données ; le technicien en arts graphiques M. Lévis Beaulieu pour la préparation des figures ; Mme Josianne Deblois, statisticienne de la Direction de la recherche forestière, qui a traité les données et participé à l'interprétation des résultats ; MM. Fabien Caron, Gilles Vallée, Stéphan Mercier et Ante Stipanovic de la Direction de la recherche forestière, et M. Gaétan Daoust du Service canadien des forêts, qui ont révisé le texte (M. Caron a aussi réalisé l'édition et la publication de cette note de recherche) ; M. Denis Ferland, auxiliaire en informatique, qui nous a assisté dans l'établissement des statistiques descriptives, et Mme Nicole Durand pour la dactylographie.

*

Références

- ANONYME, 1988. *Biogeoclimatic zones of British Columbia*, Ministry of Forests, Research Branch, Victoria, British Columbia. Carte au 1 : 2 000 000.
- AXELTON, E.A., 1967. *Intermountain forest and range experiment station*. USDA For. Serv., Res. Paper INT-40. 150 p.
- BAILEY, R.G., 1980. *Description of the ecoregions of the United States*. USDA for. Serv., Miscellaneous Publication No. 1391. 77 p.
- BAKER, F.S., 1944. *Mountain climates of the western United States*. Ecol. Monogr. 14 : 223-254.
- 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.
- BURNS, R.M. et B.H. HONKALA, 1990. *Silvics of North America*. Volume 1, Conifers. USDA For. Serv., Washington, Agric. Hand. No. 654. 675 p.
- CONKLE, M.T. et W.B. CRITCHFIELD, 1988. *Genetic variation and hybridization of ponderosa pine*. Dans Symp. Proc. : Ponderosa pine - The species and its management, Spokane, WA, Sept. 29 - Oct. 1, 1987. Édité par D.M. Baumgartner et J.E. Lotan. Wash. State University, Pullman, WA : 27-43.
- CRITCHFIELD, W.B., 1984. *Crossability and relationships of washoe pine*. Madroño, 31 : 144-170.
- FARRAR, J.L., 1996. *Les arbres du Canada*. Publié par Fides et le Service canadien des forêts de Ressources naturelles Canada. 502 p.
- FULLARD, H., B.M. Willet et M. Saint-Yves, 1983. *Grand Atlas du Canada et du monde*. Boucherville, Les Éditions françaises inc. 90 p.
- GAGNON, H. et G. NUMAINVILLE, 1991. *Instructions pour la collecte informatisée des données dans les dispositifs*. Min. des Ressources naturelles, Serv. de l'amélioration des arbres. Révisé. 26 p.
- GALE RESEARCH, 1975. *Climatic atlas of the US*. Environmental Data Service. 262 p.
- 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.
- KOPP, R.F., W.A. GEYER, R.M. ARGENT et K.D. LYNCH, 1987. *Evaluation of ponderosa pine seed sources for the eastern great plains*. J. Arbor. 13(5) : 139-144.

- LITTLE, E.L., 1971. *Atlas of United States trees. Volume 1. Conifers and important hardwoods*. USDA For. Serv. Misc. Pub. 1146. 320 p.
- MULLINS, E.J. et T.S. MCKNIGHT, 1981. *Les bois du Canada, leurs propriétés et leurs usages*. Éditions du Pélican (Québec). 509 p.
- READ, R.A., 1980. *Genetic variation in seedling progeny of ponderosa pine provenances*. For. Sci. Monogr. : 23-50.
- REHFELDT, G.E., 1991. *A model of genetic variation for Pinus ponderosa in the inland northwest (USA) : applications in gene resource management*. Can. J. For. Res. 21(10) : 1491-1500.
- SCHAEFER, P.R. et N.W. BAER, 1992. *Stability of ponderosa pine provenance performance. Results after 21 years in eastern South Dakota*. North. J. Appl. For. 9(3) : 102-107.
- 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.
- STIPANICIC, A., 1996. *Tests de provenances sur le douglas taxifolié*. MRN du Québec, Direction de la recherche forestière. Rapports d'étape des projets de recherche et de développement (non publié). 8 p.
- 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.
- WELLS, O.O., 1963. *Geographic variation in ponderosa pine. I. The ecotypes and their distribution*. Silvae genet. 13(4) : 89-103.

RN97-3078

ISBN 2-550-32145-6

ISSN 0834-4833

Dépôt légal 1997

Bibliothèque nationale du Québec

Bibliothèque nationale du Canada

© 1997 Gouvernement du Québec



Gouvernement du Québec
Ministère des
Ressources naturelles