



Forêts
Canada

Forestry
Canada

Stabilité phénotypique et délimitation de zones d'amélioration de l'épinette noire au Québec

Jean Beaulieu, Armand Corriveau et Gaétan Daoust

Rapport d'information LAU-X-85



CENTRE DE FORESTERIE DES LAURENTIDES

Le Centre de foresterie des Laurentides (CFL) est un des six établissements régionaux de Forêts Canada (ForCan). Le Centre poursuit des travaux de recherche et de développement dans le but de promouvoir un aménagement et une utilisation plus rationnels des ressources forestières du Québec. En collaboration avec divers groupes et organismes québécois, les chercheurs du CFL visent à acquérir une meilleure compréhension du fonctionnement des écosystèmes forestiers en vue de contribuer à solutionner les problèmes majeurs en foresterie au Québec et à développer des méthodes acceptables pour l'amélioration et la sauvegarde de l'environnement forestier.

Au Québec, les activités de ForCan portent sur trois éléments majeurs: la recherche dans le domaine des ressources forestières, la recherche dans le domaine de la protection et enfin, le développement forestier. La plupart des travaux sont entrepris pour répondre aux besoins des organismes intéressés à l'aménagement forestier, surtout dans le but d'améliorer la protection, la croissance et la qualité de la ressource forestière de la région. Les résultats de ces travaux sont diffusés sous forme de rapports techniques et scientifiques ou autres publications, permettant de rejoindre toutes les catégories d'utilisateurs.

LAURENTIAN FORESTRY CENTRE

The Laurentian Forestry Centre (LFC) is one of six regional establishments of Forestry Canada (ForCan). The Centre's objective is to promote, through research and development, the most efficient and rational management and use of Quebec's forest. In cooperation with several Quebec agencies, scientists at LFC seek to acquire a better understanding of how the forest ecosystem works with a view to solving major forestry problems and develop methods to improve and to protect the forest environment.

In the province of Quebec, ForCan's program consists of three major elements: forest resources research, forest protection research, and forest development. Most of the research is undertaken in response to the needs of forest management agencies, with the aim of improving the protection, growth, and quality of the region's forest resource. The results of this research are distributed to potential users through scientific and technical reports and other publications.

Stabilité phénotypique et délimitation de zones d'amélioration de l'épinette
noire au Québec

Jean Beaulieu, Armand Corriveau et Gaétan Daoust

Rapport d'information LAU-X-85

1989

Forêts Canada

Région du Québec

© Ministre des Approvisionnements et Services Canada 1989

N° de catalogue Fo46-18/85F

ISSN 0835-1589

ISBN 0-662-95350-9

Imprimé au Canada

Il est possible d'obtenir sans frais un nombre restreint d'exemplaires de cette publication auprès de:

Forêts Canada, Région du Québec
Centre de foresterie des Laurentides
1055, rue du P.E.P.S.
C.P. 3800
Sainte-Foy (Québec)
G1V 4C7

Des copies ou des microfiches de cette publication sont en vente chez:

Micromédia Ltée
Place du Portage
165, rue Hôtel-de-Ville
Hull (Québec)
J8X 3X2

This publication is also available in English under the title "Phenotypic stability and delineation of black spruce breeding zones in Quebec".

TABLE DES MATIÈRES

	Page
LISTE DES TABLEAUX.....	vi
LISTE DES FIGURES	viii
RÉSUMÉ/ABSTRACT	ix
INTRODUCTION	1
MATÉRIEL ET MÉTHODES	3
Origine des provenances	3
Choix des sites d'expérimentation	4
Plans expérimentaux	4
Relevés d'observations phénotypiques	11
Analyses statistiques	11
RÉSULTATS ET DISCUSSION	13
Variation temporelle de la croissance	13
Variation de la croissance selon l'origine géographique	15
Partition de la variation de la survie et de la hauteur totale	17
Interaction provenances-milieus forestiers et stabilité phénotypique	19
Identification des régions de provenances supérieures	25
Région de provenances Acadie [1]	25
Région de provenances Laurentides [2]	25
Région de provenances Saguenay-Lac-Saint-Jean [3]	27
Région de provenances Abitibi-Outaouais [4]	27
Région de provenances Winnipeg-Supérieur [5]	27

TABLE DES MATIÈRES (suite)

	Page
Proposition de zones d'amélioration de l'épinette noire.....	27
Zone d'amélioration Abitibi (A)	30
Zone d'amélioration Basse-Côte-Nord (B)	30
Zone d'amélioration Hauts plateaux laurentien et gaspésien (C)	31
Zone d'amélioration Outaouais-Laurentides (D)	31
Zone d'amélioration Saguenay-Appalaches (E)	32
Recommandation des provenances par zone d'amélioration	33
Zone d'amélioration Abitibi (A)	34
Région de provenances Winnipeg-Supérieur [5]	34
Région de provenances Abitibi-Outaouais [4]	34
Région de provenances Acadie [1]	34
Région de provenances Laurentides [2]	35
Région de provenances Saguenay-Lac-Saint-Jean [3]	35
Autres provenances	35
Zone d'amélioration des Hauts plateaux laurentien et gaspésien (C)	35
Région de provenances Acadie [1]	35
Région de provenances Winnipeg-Supérieur [5]	36
Région de provenances Laurentides [2]	36
Région de provenances Saguenay-Lac-Saint-Jean [3]	36
Région de provenances Abitibi-Outaouais [4]	36
Autres provenances	37

TABLE DES MATIÈRES (suite)

	Page
Zone d'amélioration Outaouais-Laurentides (D)	37
Région de provenances Abitibi-Outaouais [4]	37
Région de provenances Winnipeg-Supérieur [5]	37
Région de provenances Acadie [1]	38
Région de provenances Laurentides [2].....	38
Autres provenances	38
CONCLUSIONS	38
OUVRAGES CONSULTÉS	40

LISTE DES TABLEAUX

	Page
Tableau 1. Origine des 100 provenances d'épinette noire faisant partie de l'essai de provenances pan-dominial au Québec ..	5
Tableau 2. Caractéristiques écologiques des sites d'expérimentation	10
Tableau 3. Caractéristiques géographiques et climatiques des sites d'expérimentation	10
Tableau 4. Coefficients de corrélation de Pearson entre la croissance juvénile de l'épinette noire et son accroissement périodique en hauteur en milieux forestiers	16
Tableau 5. Coefficients de corrélation de Pearson entre la croissance juvénile en hauteur des provenances d'épinette noire et les coordonnées géographiques de leur lieu d'origine	16
Tableau 6. Régressions multiples par étapes de l'accroissement en hauteur des provenances d'épinette noire en pépinière et en milieux forestiers en fonction des coordonnées géographiques de leur lieu d'origine	18
Tableau 7. Analyses de variance de la survie ($\sin^{-1}\sqrt{p}$) de l'épinette noire, 16 ans après ensemencement sur quatre sites d'expérimentation	19

LISTE DES TABLEAUX (suite)

	Page
Tableau 8. Analyses de variance de la hauteur des provenances d'épinette noire à chacun des quatre sites d'expérimentation, 16 ans après l'ensemencement	20
Tableau 9. Analyse de variance multi-sites de la hauteur de l'épinette noire, 16 ans après ensemencement	21
Tableau 10. Écovalences de Wricke, hauteur totale et rang des provenances d'épinette noire présentes aux quatre sites d'expérimentation au Québec, 16 ans après l'ensemencement	22
Tableau 11. Matrice des corrélations génétiques estimées de la hauteur des provenances d'épinette noire aux quatre sites d'expérimentation	28

LISTE DES FIGURES

	Page
Figure 1. Aire de distribution naturelle de l'épinette noire et origine des provenances mises à l'essai	2
Figure 2. Localisation des répétitions de l'essai de provenances d'épinette noire au Québec	9
Figure 3. Régions de provenances supérieures d'épinette noire	26
Figure 4. Proposition de zones d'amélioration de l'épinette noire au Québec	29

RÉSUMÉ

L'analyse des relevés d'observations phénotypiques effectués en 1985 dans quatre répétitions d'un essai de provenances pan-domanial d'épinette noire au Québec permet de faire ressortir les quelques conclusions qui suivent.

Il existe une relation positive entre la croissance en pépinière et celle en milieu forestier, une fois le choc de transplantation passé. Le patron de la variation de l'accroissement périodique en hauteur de l'épinette noire entre 10 et 16 ans après l'ensemencement est de type clinal, bien que variable d'un site forestier à l'autre. Seize ans après l'ensemencement, la part de la variation en hauteur attribuable à l'origine des semences représente entre 5 et 17 % de la variation totale selon le site étudié. On peut espérer un gain par la sélection de provenances supérieures et leur déplacement est possible. Une sélection pour l'ensemble du territoire à reboiser basée uniquement sur ces résultats n'est toutefois pas réalisable. En effet, il existe une interaction provenances-milieus. Bien qu'il soit possible d'identifier des provenances relativement stables, il est proposé de subdiviser le territoire en zones d'amélioration plus restreintes. Cinq zones ont été délimitées sur la base

ABSTRACT

Once transplanting shock was overcome, a positive relationship existed between growth in the nursery and growth in the forest environment. The periodic height-growth variation pattern of black spruce, *Picea mariana* [Mill.] B.S.P., between 10 and 16 years from seed is clinal, although its strength varies from one forest site to another. Sixteen years from seed, height variation attributable to seed origin represents 5 to 17 percent of the total variation, depending upon the site studied. Gains may be expected from the selection of superior provenances and, after selection, these provenances may be relocated. However, due to provenance x environment interaction, selection for the entire area to be reforested cannot be based solely on those provenances having shown the best mean potential on the test sites as a whole. Although it is possible to identify relatively stable provenances, we have proposed subdividing the area into smaller breeding zones. Five zones were delineated based on provenance test results and on existing ecological regions. In addition, 5 superior provenance regions were identified. Finally, more than 20 provenances were proposed for individual breeding zones with at least one

des résultats de l'essai de provenances et sur celle des régions écologiques existantes. De plus, cinq régions de provenances supérieures ont été identifiées. Finalement, au-delà d'une vingtaine de provenances ont été proposées pour chacune des zones d'amélioration renfermant au moins une répétition de l'essai de provenances. Il en résulterait des gains de 12 à 14 % par rapport à la hauteur moyenne de toutes les provenances.

provenance test repetition. These would result in gains of 12 to 14 percent in mean provenance height.

These conclusions were drawn from the analysis of phenotypic observation surveys conducted in 1985 in four repetitions of a range-wide black spruce test in Quebec.

INTRODUCTION

La demande mondiale en produits forestiers variés poursuivant son ascension, les problèmes sérieux de régénération naturelle engendrés par les méthodes modernes de récoltes employées de même que le désir de conserver notre part du marché ont amené les gestionnaires forestiers canadiens à souscrire à de vastes programmes de reboisement. Plusieurs espèces commerciales y sont incorporées. Cependant, l'épinette noire (*Picea mariana* [Mill.] B.S.P.) est sans contredit celle qui a été privilégiée à l'est des Rocheuses surtout à cause de son utilisation dans la fabrication de la pâte à papier. Les qualités structurales de son bois, telles que la longueur de ses fibres et sa densité relative élevée, en font une des espèces les plus recherchées tant pour la construction que pour la pâte et papiers (Besley, 1959). Elle est de plus relativement peu affectée par les insectes et les maladies, ce qui devrait réduire les coûts de protection liés à tout programme de reboisement.

L'aire de distribution naturelle de l'épinette noire recouvre la majeure partie du territoire canadien et plusieurs États américains frontaliers. Elle est l'espèce prédominante de la forêt boréale de l'est du pays. Sa

distribution transcontinentale (figure 1) témoigne de sa capacité à s'adapter à des conditions climatiques et édaphiques variées (Hosie, 1972). Elle ne forme généralement de peuplements purs que sur des sols superficiels, mal drainés et froids où la compétition est faible (Linteau, 1955; Lafond, 1966). Une espèce qui colonise un aussi vaste territoire a le potentiel de démontrer une forte variabilité génétique de par ses populations qui possèdent des stabilités génotypiques ainsi que des capacités différentes à coloniser des sites variés (Khalil, 1984). La variabilité génétique découle de processus tels que la sélection naturelle, la migration, la dérive génétique aléatoire et la recombinaison génétique. Dans le cas d'espèces à grande distribution spatiale, soumises à des conditions diverses tant au niveau de la photopériode que de la durée de la saison de croissance (Morgenstern, 1975) et des écarts de température, c'est sans contredit la sélection naturelle et la migration qui sont les forces prépondérantes. Elles donnent naissance aux patrons généraux de variation d'ordre clinale de certaines caractéristiques (Morgenstern et al., 1986). Des patrons de variation clinale ont été trouvés chez l'épinette noire tant pour le taux de germination, le taux de survie et la phénologie que pour la

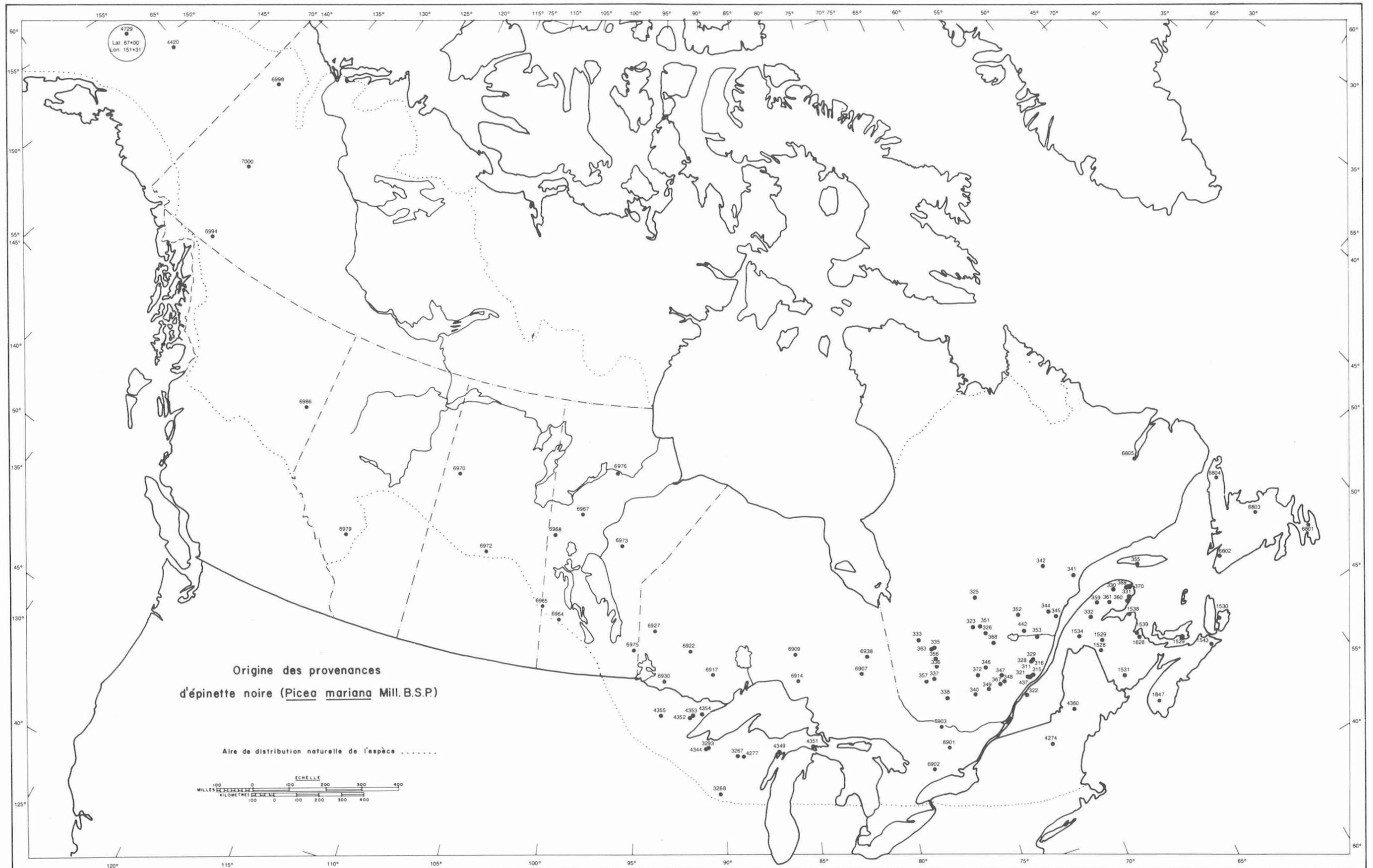


Figure 1. Aire de distribution naturelle de l'épinette noire et origine des provenances mises à l'essai.

croissance juvénile et la rusticité de l'espèce (Morgenstern, 1969b; Dietrichson, 1969; Corriveau, 1981, Fowler et Park, 1982). De plus, les forces génétiques, telles que la dérive génétique aléatoire, la consanguinité et l'introggression interspécifique peuvent être plus actives dans certaines conditions climatiques et édaphiques particulières et réussir à briser les patrons de variation clinale pour en créer d'autres de type écotypique (Khalil, 1981; Morgenstern, 1978). Le développement de stratégies efficaces d'amélioration, corollaire aux programmes de reboisement, ne peut découler que de la connaissance des patrons de la variabilité génétique (Fowler et Park, 1982). Les patrons de variation divergents indiquent que des études pan-domaniales sont nécessaires pour sélectionner les meilleures provenances à être incluses dans un programme d'amélioration des arbres puisque les études régionales limitées sont insuffisantes pour obtenir une image globale de la variabilité de l'espèce (Morgenstern et Kokocinski, 1976). Il semblerait toutefois que ces patrons s'atténuent avec les années dans les milieux forestiers (Boyle, 1985) et peuvent même être complètement modifiés suite à des chocs de transplantation (Corriveau, 1981). La présente étude s'attachera donc à identifier pour le territoire du Québec les

patrons de variation de la croissance en hauteur de l'épinette noire, à déterminer si ces patrons se maintiennent dans le temps, à vérifier si une interaction provenances-milieus forestiers se concrétise dans le temps et le cas échéant, à établir des zones d'amélioration distinctes et à identifier pour celles-ci les provenances ou régions de provenances génétiquement supérieures.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Origine des provenances

Un essai de provenances pan-domanial d'épinette noire a été initié en 1967 sous la coordination de l'Institut forestier national de Petawawa. Compte tenu de l'immensité du travail à accomplir, nombre de compagnies forestières et d'organisations de recherche forestière du Canada et des États des Grands-Lacs ont collaboré à la récolte des semences, à la mise sur pied des répétitions de l'essai dans différentes localités, à leur suivi, à la collecte des données ainsi qu'à leur analyse et interprétation. Ainsi, de 1967 à 1970 au-delà de 200 populations, dont une soixantaine du Québec (Selkirk, 1974), ont été échantillonnées sur l'ensemble de l'aire de distribution naturelle de l'espèce. Des sous-échantillons de semences ont été

distribués aux organismes coopérants sur une base de provenances. Chaque provenance était constituée des semences récoltées sur 7 à 10 arbres d'un même peuplement. Elles ont été ensemencées dans les pépinières régionales et les semis plantés à partir de 1973 dans une trentaine de sites d'expérimentation disséminés sur le territoire susceptible d'être reboisé en épinette noire. C'est au printemps 1970, que les 100 provenances destinées à l'essai québécois ont été ensemencées à la pépinière de la station forestière de Valcartier. De celles-ci, 45 étaient originaires du Québec, 11 de l'Ontario, 15 des Maritimes, 13 des États du nord des États-Unis et 16 des provinces centrales, de la Colombie-Britannique et de l'Alaska (figure 1, tableau 1). Elles ont été mises en terre selon un plan expérimental à blocs aléatoires complets de 6 répétitions, subdivisions faites pour les besoins d'observations précoces et dans le but d'un transfert éventuel des semis dans autant de sites forestiers d'expérimentation.

Choix des sites d'expérimentation

Six sites forestiers ou agroforestiers représentatifs de l'aire de reboisement de l'épinette noire au Québec ont été sélectionnés pour l'établissement de l'essai de provenances (figure 2).

L'emplacement de ces sites a été choisi de manière à couvrir un ensemble de conditions pédoclimatiques susceptibles d'être rencontrées sur les territoires de reboisement (tableaux 2 et 3). Les sites d'expérimentation ont été traités au cours de la saison estivale 1973 de façons différentes selon les conditions prévalentes. Les sites forestiers furent débarrassés des déchets de coupe soit par brûlage ou par la mise en andain à l'aide d'un tracteur sur chenille muni d'un peigne alors que les sites abandonnés par l'agriculture ont été hersés à l'aide d'une herse forestière.

Plans expérimentaux

Les provenances ont été implantées sur chaque site selon un plan expérimental à 6 blocs aléatoires complets. Chaque parcelle y est constituée de 16 arbres disposés en damier. La plantation a été réalisée en 1974 à Mont-Laurier, Lac Saint-Ignace et Chibougamau avec un espacement de 3,05 m x 2,45 m entre les arbres. Les trois autres répétitions, soit celles de Valcartier, Labrieville et Trécesson, ont été établies en 1975 avec une distance entre les arbres de 2,45 m x 2,45 m. Ces espacements exagérés ont été motivés par le souci d'un entretien mécanique des sites.

Tableau 1. Origine des 100 provenances d'épinette noire faisant partie de l'essai de provenances pan-dominial au Québec

N°	Provenance dénomination	Lat. N.	Long. O.	Alt.	Section
		(° ')	(° ')	(m)	(Rowe, 1972)
S.311	Valcartier I, Québec	45 56	71 31	245	L.4a
S.315	Rivière-aux-Pins, Québec	46 57	71 35	200	L.4a
S.316	Valcartier II, Québec	46 55	71 31	185	L.4a
S.321	Perthuis, Portneuf	46 56	72 06	275	L.3
S.322	Blandford, Arthabaska	46 16	72 02	90	L.3
S.323	Parc Chibougamau, Roberval	49 33	74 10	410	B.1b
S.325	Parc Mistassini, Abitibi-Est	50 27	73 38	365	B.1b
S.326	Parc Chibougamau, Lac-Saint-Jean	49 02	73 27	380	B.1b
S.328	Parc des Laurentides, Montmorency	47 30	71 19	765	B.1a
S.329	Parc des Laurentides, Charlevoix	47 52	71 12	810	B.1a
S.330	Murdochville, Gaspé-Nord	48 55	65 25	610	B.2
S.331	Chandler, Gaspé-Est	48 24	64 53	120	B.2
S.332	Causapscal, Matapédia	48 30	67 07	245	L.6
S.333	Matagami, Abitibi-Est	49 37	77 45	270	B.4
S.335	Lebel-sur-Quévillon, Abitibi-Est	49 07	76 57	305	B.4
S.336	Senneterre, Abitibi-Est	48 22	76 57	365	B.3
S.337	Louvicourt, Abitibi-Est	47 55	77 21	355	B.7
S.338	Parc de la Vérendrye, Pontiac	47 05	76 33	360	B.7
S.340	Mont Saint-Michel, Labelle	46 52	75 11	335	L.4b
S.341	Port-Cartier, Saguenay	50 08	67 09	145	B.1a
S.342	Manicouagan 5, Saguenay	50 40	68 46	430	B.1b
S.344	Labrieville, Saguenay	49 09	69 23	505	B.1a
S.345	Forestville, Saguenay	48 56	69 08	120	B.1a
S.346	Manouane, Laviolette	47 48	74 07	460	B.7
S.347	Rivière-aux-Rats, Laviolette	47 18	73 06	360	B.7
S.348	Lower Mattawin, Saint-Maurice	46 55	73 26	300	B.7
S.349	Saint-Michel-des-Saints, Berthier	46 50	74 25	520	B.7

Tableau 1. (suite)

N°	Provenance dénomination	Lat. N.	Long. O.	Alt.	Section
		(° ')	(° ')	(m)	(Rowe, 1972)
S.351	Normandin (Nicauba), Roberbal	49 26	73 59	410	B.1b
S.352	Péribonka, Roberval	49 36	71 18	185	B.1b
S.353	Mars Ha! Ha!, Chicoutimi	48 12	70 56	245	L.7
S.355	Ile d'Anticosti	49 38	63 22	185	B.28c
S.356	Lac Parent, Augier, Abitibi-Est	48 36	76 41	440	B.3
S.357	Lac Decelles, Pelissier, Abitibi-Est	47 47	77 45	335	B.7
S.359	Gravier, Gravier, Bonaventure	48 34	66 26	275	B.2
S.360	Port Daniel, Daniel, Bonaventure	48 15	64 55	170	L.6
S.361	Cascapédia, Marcil, Bonaventure	48 29	65 51	185	B.2
S.363	Fraser, Fraser, Abitibi-Est	49 10	77 14	295	B.4
S.367	Lac Pimbina, Saint-Maurice	46 55	76 30	305	B.7
S.368	Lac Élane, Roberval	48 30	73 20	550	B.1a
S.369	Water Creek, Gaspé-Sud	48 53	64 39	185	B.2
S.370	Cap-des-Rosiers, Gaspé-Sud	48 51	64 15	15	B.2
S.372	Lac Doré, Maskinongé	47 30	74 45	490	B.7
S.437	Duchesnay, Portneuf	46 52	71 39	185	L.3
S.442	Chôte-aux-Galets, Chicoutimi	48 37	71 04	185	L.7
S.1329	Garfield, Queens, Ile-du-Prince-Édouard	46 03	62 51	30	A.8
S.1528	Stuart Plains Rd., Victoria, N.-B.	46 50	67 10	170	A.10
S.1529	William's Brook, Restigouche, N.-B.	47 29	66 52	440	A.3
S.1530	Bengal Rd., Cap Breton, N.-É.	45 56	60 10	60	A.7
S.1531	Base Gagetown, Sunbury, N.-B.	45 35	66 29	90	A.3
S.1534	N. First Lake, Madawaska, Green R., N.-B.	47 42	68 19	245	B.2
S.1538	N. Rivière Caraquet, Gloucester, N.-B.	47 45	65 07	15	A.3
S.1539	R. Tweedie, Northumberland, N.-B.	46 49	65 09	60	A.3
S.1543	Guysborough Shore, N.-É.	45 23	61 22	45	A.7
S.1628	Br. Nord Rivière Noire, Kent, N.-B.	46 53	65 05	30	A.9
S.1847	Southwestern, N.-É.	44 10	65 45	105	A.52

Tableau 1. (suite)

N°	Provenance dénomination	Lat.N. (° ')	Long.O. (° ')	Section	
				Alt. (m)	forestière (Rowe, 1972)
S.3267	Forest Co. II, Wisconsin	45 44	89 03	460	
S.3268	Mather, Jackson Co., Wisconsin	44 13	90 22	305	
S.3293	Ashland Co., Wisconsin	46 09	90 47	610	
S.4274	Grafton Co., Grafton, New Hampshire	44 15	71 38	405	
S.4277	Forest Co. I, Wisconsin	45 44	88 59	305	
S.4344	Hayward, Sawyer Co., Wisconsin	46 07	90 56	460	
S.4349	Delta Co., Michigan	45 59	86 51	155	
S.4351	Mackinac Co., Michigan	46 03	84 47	155	
S.4352	St. Louis Co., Minnesota	47 31	91 58	305	
S.4353	Isabella, Lake Co., Minnesota	47 42	91 18	305	
S.4354	Tofte, Cook Co., Minnesota	47 37	90 52	155	
S.4355	Itaska Co., Minnesota	47 32	93 43	490	
S.4360	Penobscot County, Maine	45 10	70 00	245	
S.4420	Ruisseau Bonanza I, Alaska	64 44	148 19	340	
S.4729	Bettles Field, Alaska	67 00	151 31	275	
S.6801	Holyrood, Terre-Neuve	47 20	53 07	90	B.30
S.6802	Jeffrey's, Terre-Neuve	48 13	58 55	60	B.28b
S.6803	Bishops Falls, Terre-Neuve	49 01	55 26	60	B.28a
S.6804	Roddickton, Terre-Neuve	50 54	56 06	55	B.28b
S.6805	Goose Bay, Labrador, Terre-Neuve	53 25	60 23	5	B.12
S.6901	Bancroft, Hastings, Ontario	45 10	77 10	350	L.4c
S.6902	Apsley, Haliburton, Ontario	44 50	78 05	340	L.4d
S.6903	Chalk River, Renfrew, Ontario	45 58	77 25	160	L.4b
S.6907	Timmins, Ogden, Ontario	48 32	81 25	305	B.4
S.6909	R. Otasawian, Kihlir, Ontario	49 45	85 05	215	B.8
S.6914	White River, Hunt, Ontario	48 38	85 20	375	B.8
S.6917	Ipsala, Ontario	49 00	90 27	475	B.11
S.6922	Tour, Sioux, Ontario	50 15	91 40	400	B.11

Tableau 1. (suite)

N°	Provenance dénomination	Lat. N.	Long. O.	Alt.	Section
		(° ')	(° ')	(m)	forestière (Rowe, 1972)
S.6927	Minaki, Ontario	50 50	94 17	335	L.11
S.6930	Lac Rainy, Ontario	48 48	93 40	365	L.11
S.6938	Cochrane, Ontario	49 21	80 45	275	B.4
S.6964	Pulp River, Manitoba	51 48	100 12	275	B.16
S.6965	Hart Mountain, Manitoba	52 29	101 26	795	B.15
S.6967	Lac Point, Manitoba	55 30	94 40	210	B.21
S.6968	Portage Cranberry, Manitoba	54 35	101 00	315	B.15
S.6970	Lac Peter Pond, Saskatchewan	56 03	108 42	435	B.20
S.6972	Nisbet Prov. Forest, Saskatchewan	53 14	105 46	460	B.17
S.6973	N.W. Angle Forest Reserve, Manitoba	49 17	96 18	350	L.12
S.6975	Whiteshell Prov. Park, Manitoba	50 04	95 27	335	B.14
S.6976	Lac Gawer, Manitoba	57 00	97 52	259	B.27
S.6979	Rocky Mtn, House II, Alberta	52 22	115 15	1070	B.19a
S.6986	Fort St-John III, C.-B.	56 37	121 28	855	B.19a
S.6994	Lac Marsh, Territoire du Yukon	60 32	134 27	670	B.26b
S.6998	Ruisseau Johnson, Territoire du Yukon	67 15	138 20	765	B.33
S.7000	Mayo, Territoire du Yukon	64 34	135 55	505	B.26c

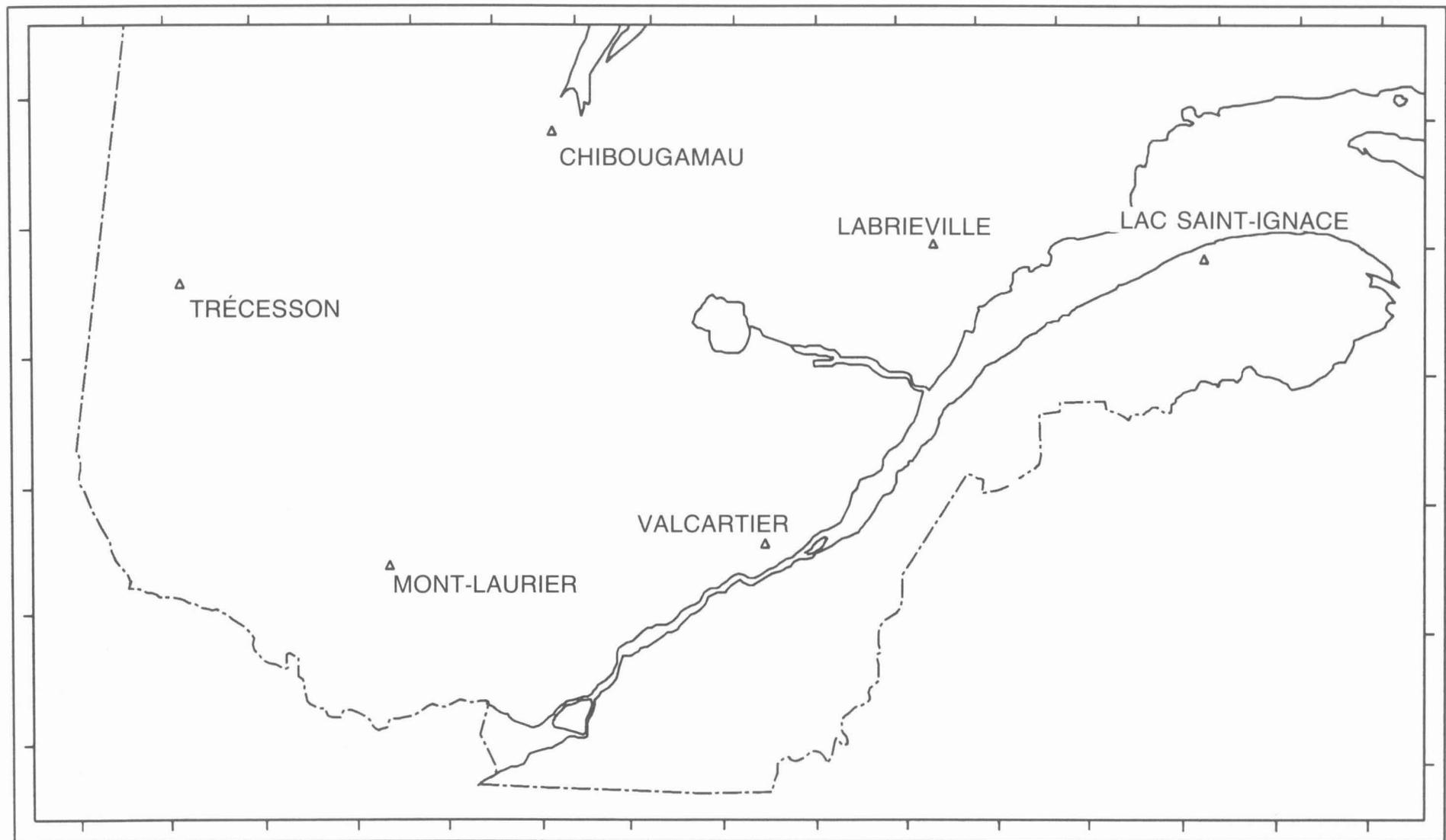


Figure 2. Localisation des répétitions de l'essai de provenances d'épinette noire au Québec.

Tableau 2. Caractéristiques écologiques des sites d'expérimentation

Lieux	Région écologique (Thibault et Hotte, 1985)	Bioclimax	Vocation	Dépôt de surface
Mont-Laurier Comté de Gatineau, Canton de Sicotte	Érablière à bouleau jaune et tilleul	Frais, continental	Forestière	Sable fluvio- glaciaire et till granitique sableux
Lac Saint-Ignace Comté de Matane, Canton de Tourelle	Sapinière à bouleau blanc	Froid, humide	Forestière	Till schisteux limo- neux avec blocs erratiques
Chibougamau Comté d'Abitibi-Est Canton de Richardson	Pessièrre noire à mousse	Très froid, continental, sec	Forestière	Till mince granitique et sable
Valcartier, Comté de Portneuf	Érablière à bouleau jaune	Frais, continental, humide	Agro-fores- tière	Sable alluvionnaire
Labrieville Comté de Saguenay Canton de Virot	Pessièrre noire à mousse	Très froid, continental, humide	Forestière	Till granitique sableux
Trécesson Comté Abitibi-Est Canton de Villemontel	Sapinière à bouleau blanc	Très froid, continental, sec	Forestière	Argile et sable lacustre

Tableau 3. Caractéristiques géographiques et climatiques des sites d'expérimentation

Lieux	Altitude (m)	Latitude Nord (0')	Longitude Ouest (0')	Température		Précipitation totale annuelle (cm)	Longueur de la saison sans gel (jours)
				Moyenne juin juillet août (°C)	Minimum absolu (°C)		
Mont-Laurier	244-351	46 36	75 48	17,0	-44,4	91	80-100
Lac Saint-Ignace	457-655	49 00	66 20	14,9	-42,2	99	100-120
Chibougamau	411	50 03	74 10	14,4	-49,3	81	80
Valcartier	152	46 52	71 32	15,4	-41,7	117	120-140
Labrieville	457-533	49 12	69 33	13,2	-43,8	97	80-90
Trécesson	305-366	48 40	78 30	15,0	-48,9	99	80-100

Relevés d'observations phénotypiques

À la fin de la première saison de croissance, 10 semis par provenance et par répétition ont été choisis au hasard et identifiés en permanence. Ils ont par la suite été mesurés annuellement jusqu'à leur transfert en milieux forestiers. Les données ont été recueillies dans le but d'évaluer à postériori l'efficacité des sélections précoces chez cette espèce. Une première interprétation a déjà été faite en relation avec un premier mesurage effectué 5 ans après la plantation (Corriveau, 1981). En effet, des observations de survie, de croissance en hauteur, de dommages et de déformations par les insectes et autres facteurs environnementaux ont été effectués à l'automne 1979, afin de vérifier si les patrons de variation observés quelques années plus tôt en pépinière se maintenaient et pour mesurer l'impact d'une implantation en milieux forestiers sur ces mêmes patrons. De nouveaux relevés phénotypiques ont été réalisés dans quatre des six sites en 1985, soit 16 ans après l'ensemencement. Cela a été fait dans le but de poursuivre le même genre d'étude, mais à un âge plus avancé et pour vérifier l'existence d'interactions provenances-milieux au niveau de la croissance des arbres, qui pourrait conduire à la délimitation de zones d'amélioration et au

choix des provenances les plus performantes dans chacune d'entre elles.

Analyses statistiques

La mortalité ayant été très sévère aux sites de Labrieville et de Trécesson par suite de conditions pédoclimatiques défavorables et de sécheresse lors de la plantation, nos analyses ne porteront donc que sur quatre sites et non sur six. Des analyses de corrélation de Pearson et de régression multiple par étape ont été utilisées pour étudier les patrons de la variation génétique de l'accroissement périodique en hauteur en pépinière et en milieux forestiers. De plus, des analyses de variance de la survie et de la hauteur moyenne, 16 ans après l'ensemencement, ont été effectuées pour chaque site selon les modèles suivants:

$$Y_{ij} = \mu + p_i + R_j + e_{ij} \quad (1)$$

où

- Y_{ij} = $\sin^{-1} \sqrt{p_{ij}}$ (Steel et Torrie, 1980)
 p_{ij} = proportion des arbres vivants, 16 ans après l'ensemencement, de la provenance i dans le bloc j
 μ = moyenne générale
 p_i = effet de la provenance i
 R_j = effet du bloc j
 e_{ij} = erreur résiduelle entre les parcelles

$$Y_{ijk} = \mu + P_i + R_j + PR_{ij} + e_{k(ij)} \quad (2)$$

où

Y_{ijk} = hauteur de l'arbre k de la provenance i dans le bloc j

μ = hauteur moyenne

P_i = effet de la provenance i

R_j = effet du bloc j

PR_{ij} = effet de l'interaction de la provenance i avec le bloc j

$e_{k(ij)}$ = erreur intra-parcelle

Une analyse de variance multi-sites de la hauteur, 16 ans après l'ensemencement, a été effectuée selon le modèle suivant:

$$Y_{ijkm} = \mu + S_i + P_j + R_{k(i)} + SP_{ij} + PR_{jk(i)} + e_{m(ijk)} \quad (3)$$

où

Y_{ijkm} = hauteur de l'arbre m de la provenance j dans le bloc k dans le site i

μ = hauteur moyenne

S_i = effet du site i

P_j = effet de la provenance j

$R_{k(i)}$ = effet du bloc k dans le site i

SP_{ij} = effet de l'interaction du site i et de la provenance j

$PR_{jk(i)}$ = effet de l'interaction de la provenance j avec le bloc k dans le site i

$e_{m(ijk)}$ = erreur intra-parcelle

L'analyse de variance multi-sites a porté sur 4 blocs par site de manière à améliorer la comparaison des provenances et des sites (deux blocs présentant des taux de mortalité élevés à Valcartier et à Lac Saint-Ignace).

Des écovalences (Wricke, 1962; Morgenstern et Teich, 1969) ont été calculées de façon à déterminer la part de chaque provenance à la création d'une interaction provenances-milieus et à évaluer leur stabilité phénotypique. Une provenance qui contribue peu à l'interaction avec les milieux en démontrant une performance sensiblement égale à la moyenne de l'ensemble des provenances est considérée comme pouvant s'adapter à une vaste gamme de régions écologiques. On dit qu'elle possède une écovalence élevée. Le généticien forestier peut, s'il ne juge pas à propos de diviser le territoire à reboiser en zones d'amélioration restreintes, utiliser un groupe de provenances démontrant de fortes écovalences comme base génique pour le développement de variétés synthétiques tout en acceptant un gain moindre.

Des corrélations génétiques de type II, c'est-à-dire entre les caractéristiques des provenances de sites différents, ont été utilisées pour délimiter des

zones d'amélioration (Burdon, 1977). Cette méthode d'abord appliquée à des tests de familles (Fox et Rosielle, 1982) a été étendue aux essais de provenances en assimilant le rendement de ces dernières à celui d'un géotype synthétique ou populationnel (Wellendorf et al., 1986).

Les coefficients de corrélation génétique sont obtenus de la façon suivante:

$$R_{gxy} = r_{xy} / h_x \cdot h_y$$

où

r_{xy} = coefficient de corrélation de Pearson entre les moyennes des groupes aux sites x et y

h_x = racine carrée de l'héritabilité de la moyenne des provenances au site x

h_y = racine carrée de l'héritabilité de la moyenne des provenances au site y

et

$h_x^2 = V_G / V_G + V_E$ = héritabilité de la moyenne des provenances au site x

où

V_G = variance génétique entre les moyennes des provenances

V_E = variance environnementale entre les moyennes des provenances

Une analyse d'amalgamation (SAS-Varclus, 1985) a été appliquée sur la matrice de corrélations génétiques ainsi obtenue, de façon à regrouper les sites d'expérimentation et créer des zones d'amélioration.

Sauf en ce qui a trait à la partition de la variation sur chacun des sites, seules les 67 provenances présentes dans les quatre blocs des quatre sites retenus ont servi aux fins d'analyses.

RÉSULTATS ET DISCUSSION

Variation temporelle de la croissance

Lors d'une étude antérieure, Corriveau (1981) indiquait que les provenances d'épinette noire ayant démontré de forts taux de croissance dans les conditions favorables de climat et de sol de la pépinière étaient déclassées au cours des premières années après la plantation par les sources à la croissance plus lente. De plus, il soulignait que cette relation négative était plus marquée sur les sites aux conditions les plus adverses. Il attribuait ce phénomène à un choc de transplantation plus sévère subit par des provenances de plus forte taille. Pollard et Logan (1974) pour leur part ont montré que certains semis ont la capacité d'initier de nouveaux primordiums

foliaires au cours de la saison de croissance. Ceci permettrait à certaines provenances de démontrer au jeune âge une certaine supériorité. Cet avantage tendrait toutefois à disparaître après quelques années de croissance (Jablanczy, 1971), alors que seule la croissance prédéterminée s'exprimerait. Les provenances supérieures au très jeune âge seraient alors déclassées par des provenances au développement plus lent.

Ainsi, une combinaison d'un matériel plus âgé, d'un choc de transplantation et de difficultés subséquentes d'implantation dans des sites aux conditions pédo-climatiques plus sévères que celles de la pépinière amenait Corriveau (1981) à conclure que la relation entre la croissance en pépinière et l'accroissement périodique 5-10 ans en milieu forestier était trop faible pour que soit effectuée en pépinière une sélection efficace des meilleures provenances. Cependant, il recommandait d'attendre les résultats d'observations subséquentes avant de rejeter définitivement l'idée d'une sélection précoce. La même conclusion était avancée par Nienstaedt (1984) en regard des provenances plantées dans les États américains des Grands-Lacs. D'un autre côté, Fowler et Park (1982) indiquaient que dans les conditions des Maritimes, il existait une forte relation

entre la performance des provenances en pépinière et leur hauteur à 5 ans après la plantation. Le relevé d'observations phénotypiques effectué en 1985, soit 16 ans après l'ensemencement, nous permet de vérifier si les conclusions tirées d'observations effectuées 5 ans après la plantation se confirment ou non.

Les coefficients de corrélation de Pearson existant entre les croissances annuelles des provenances d'épinette noire en pépinière et leur accroissement périodique 10-16 ans en hauteur sur chaque site d'expérimentation sont présentés au tableau 4. Ces coefficients de corrélation sont faibles à modérés, tous positifs et statistiquement significatifs ($r=0,25$ à $r=0,57$). Ceci indique que les provenances ont recommencé à exprimer le potentiel relatif qu'elles démontraient en pépinière. On note également que les relations entre les croissances en hauteur en pépinière et celles mesurées dans les sites forestiers diminuent au fur et à mesure que les conditions environnementales de ceux-ci deviennent plus difficiles. Cette relation n'est pas étrangère aux plus grands bouleversements observés dans les rangs des provenances sur ces sites plus difficiles (Corriveau, 1981). Ces résultats confirment également l'assertion de Corriveau (1981) selon laquelle plus le climat et les sols

des sites de reboisement sont sévères, moins la sélection précoce effectuée en fonction d'une croissance rapide en pépinière hors région risque d'être efficace et plus il est nécessaire de tester les sources dans des conditions environnementales comparables à celles des sites de reboisement. Lorsque tous les sites sont considérés collectivement, le coefficient de corrélation de Pearson entre la croissance de la dernière année en pépinière et de la 10^{ième} et 16^{ième} année en milieu forestier est de 0,71. Cette valeur indique que de façon générale une sélection précoce aurait été envisageable. Les coefficients de corrélation au niveau de chaque site d'expérimentation sont cependant plus faibles. La sélection des 20 meilleures provenances en pépinière aurait fourni, 16 ans après ensemencement, des gains s'élevant entre 5 et 8 % en hauteur selon le site d'expérimentation par rapport à la moyenne générale.

Variation de la croissance selon l'origine géographique

Les caractéristiques de croissance en hauteur observées en pépinière et l'accroissement périodique 10-16 ans moyen sur l'ensemble des quatre sites d'expérimentation sont liés aux coordonnées géographiques du lieu d'origine des

provenances d'épinette noire (tableau 5). Les accroissements en hauteur des provenances sont liés négativement à la latitude de leur lieu d'origine alors qu'ils sont positivement liés à la longitude. Une relation significative entre les coordonnées géographiques du lieu d'origine des provenances d'épinette noire et l'accroissement périodique 10-16 ans en hauteur a été trouvée à Mont-Laurier et à Chibougamau. Ces liens ne s'expriment toutefois pas sur les deux autres sites d'expérimentation. Ainsi, elle est inexistante à Valcartier bien que ce site présente une corrélation élevée entre les croissances en pépinière et celles obtenues au cours de la période s'étendant de la cinquième à la onzième année après la plantation. C'est à Valcartier qu'a été observé le plus fort taux de mortalité et l'absence de relation entre la croissance des provenances et les coordonnées géographiques de leur lieu d'origine n'est pas surprenante. En effet, bien que la mortalité ait été élevée chez toutes les provenances, elle n'a pas nécessairement affecté chaque provenance de la même manière, ce qui est suffisant en soit pour masquer l'existence d'une relation significative. La même situation se présente à Lac Saint-Ignace. Ce site est le second en ordre d'importance à avoir subi un taux élevé de mortalité et aucune relation n'y a également été trouvée.

L'utilisation de l'analyse de régression permet d'examiner les mêmes relations, en incorporant les coordonnées géographiques d'origine des provenances dans un même modèle mathématique. Les régressions obtenues renforcent les conclusions tirées à l'aide des corrélations simples (tableau 6). Les plans de régression démontrent qu'une variation clinale de la croissance juvénile de l'épINETTE noire existe à travers son domaine. Cette variation est observée aussi bien en pépinière qu'au niveau de l'accroissement périodique moyen sur les sites d'expérimentation. Les coordonnées géographiques du lieu d'origine des provenances expliquent environ 20 % de la variation totale des accroissements en milieux forestiers alors qu'elles en expliquent plus de 40 % en pépinière. Ces résultats sont en accord avec ceux trouvés antérieurement par d'autres auteurs (Morgenstern, 1969a; Corriveau, 1981; Fowler et Park, 1982; Boyle, 1985; Morgenstern et al., 1986). Ainsi, de façon générale, l'accroissement en hauteur augmente selon l'origine des provenances du nord vers le sud, de l'est à l'ouest et des régions de forte altitude à celles à basse altitude. En pépinière comme sur l'ensemble des sites, l'accroissement périodique en hauteur est supérieur chez les provenances du sud-ouest et inférieur chez celles originai-

res du nord-est du domaine. Ce patron de variation n'est toutefois pas révélé de la même manière sur chacun des sites. Tout comme dans le cas des corrélations simples, des plans de régression significatifs n'ont pas été trouvés à Lac Saint-Ignace et à Valcartier, alors que la latitude et la longitude du lieu d'origine des provenances jouent un rôle important aux deux autres sites. Il est également à remarquer que la variation clinale a tendance à s'atténuer avec le temps (c'est-à-dire à mesure que les arbres gagnent en âge) comme l'indique un coefficient de détermination s'amenuisant ($R^2=0,44$ à $R^2=0,22$). Cette tendance a également été notée pour les sites de l'Ontario (Boyle, 1985).

Partition de la variation de la survie et de la hauteur totale

Lorsque la part de la variation expliquée par l'origine des provenances est importante et significative, elle indique qu'une sélection de provenances peut conduire à un gain substantiel. Comme on peut le constater au tableau 7, la part de la variation de la survie des provenances attribuable à leur origine n'est pas significative. Le site de Lac Saint-Ignace fait cependant exception. Ceci indique que le facteur survie n'influera pas, de façon générale et

Tableau 6. Régressions multiples par étapes de l'accroissement en hauteur des provenances d'épinette noire en pépinière et en milieux forestiers en fonction des coordonnées géographiques de leur lieu d'origine

	R ²	S _e
Pépinière 3-4 ans		
Y = 61,10 - 0,96 X ₁ + 0,010 X ₂ - 0,0049 X ₃	0,44	2,38
Mont-Laurier 10-16 ans		
Y = 370,54 - 4,39 X ₁ + 0,9211 X ₂	0,22	25,03
Lac Saint-Ignace 10-16 ans		
Aucune relation		
Chibougamau 10-16 ans		
Y = 247,27 - 3,07 X ₁ + 0,66 X ₂	0,17	20,45
Valcartier 10-16 ans		
Aucune relation		
Tous sites 10-16 ans		
Y = 295,75 - 3,34 X ₁ + 0,80 X ₂ - 0,023 X ₃	0,22	18,89

où

Y = accroissement en hauteur (cm)

X₁ = latitude nord (degrés)

X₂ = longitude ouest (degrés)

X₃ = altitude (m)

Tableau 7. Analyses de variance de la survie ($\sin^{-1}\sqrt{p}$) de l'épinette noire, 16 ans après ensemencement sur quatre sites d'expérimentation

Source de variation	Mont-Laurier				Lac Saint-Ignace				Chibougamau				Valcartier			
	D.L.	C.M.	F	Pr>F	D.L.	C.M.	F	Pr>F	D.L.	C.M.	F	Pr>F	D.L.	C.M.	F	Pr>F
Blocs	5	0,0089	8,68	0,0001	5	0,3752	40,41	0,0001	5	0,1254	26,45	0,0001	5	0,4070	34,09	0,0001
Provenances	84	0,0012	1,16	0,1765	67	0,0139	1,50	0,0140	88	0,0056	1,18	0,1455	88	0,0135	1,13	0,2305
Erreur	420	0,0010			335	0,0093			440	0,0047			264	0,0119		

significative, sur le rendement obtenu suite à la sélection de provenances sur la base d'autres caractéristiques: la croissance ou la productivité par exemple. Comme la corrélation entre l'accroissement périodique 10-16 ans et la hauteur à 16 ans est très élevée ($r=0,922^{**}$), cette dernière a été utilisée dans les analyses subséquentes. Ainsi, comme on peut le constater à l'examen du tableau 8, la part de la variation de la hauteur des arbres, 16 ans après l'ensemencement, expliquée par leur origine géographique est de 5 à 17% selon le site. Cette source de variation est suffisamment importante pour qu'une sélection des meilleures provenances soit effectuée. On remarque également que la fraction principale de la variation totale, incluant les effets des micro-sites sur la croissance de chaque arbre, provient

du niveau intra-provenance, soit de 50 à 75%. Ceci implique qu'une sélection massive ne pourrait contribuer à hausser les gains génétiques espérés d'une première sélection effectuée au niveau des provenances. L'analyse de la variance révèle également qu'il existe une interaction provenances-blocs importante, indiquant que le rendement des provenances est affecté par les effets de micro-sites. Toute sélection éventuelle des meilleures provenances devra donc être effectuée avec minutie afin de minimiser l'impact de cette interaction.

Interaction provenances-milieux forestiers et stabilité phénotypique

Il arrive parfois que la variabilité et/ou le classement des provenances ne soient pas les mêmes d'un milieu

Tableau 8. Analyses de variance de la hauteur des provenances d'épinette noire à chacun des quatre sites d'expérimentation, 16 ans après l'ensemencement

Source de variation	Somme des carrés	Degrés de liberté	Carrés moyens	F	Pr>F	Composantes de la variance	Composantes de la variance (%)
<u>VALCARTIER</u>							
Provenances	220,10	88	2,50	4,00	0,001	0,090	10
Blocs	63,77	3	21,26	34,00	0,001	0,050	5
Prov.x Blocs	357,41	264	1,35	2,17	0,001	0,140	15
Intra-parc. 1	458,08	2 332	0,63			0,630	70
Total		2 687				0,910	
<u>MONT-LAURIER</u>							
Provenances	777,41	84	9,25	19,69	0,001	0,104	17
Blocs	43,20	5	8,64	18,38	0,001	0,007	1
Prov.x Blocs	493,98	420	1,18	2,50	0,001	0,050	8
Intra-parc. 3	344,90	7 116	0,47			0,470	74
Total		7 625				0,631	
<u>LAC SAINT-IGNACE</u>							
Provenances	173,56	67	2,59	5,16	0,001	0,045	5
Blocs	452,39	5	90,48	180,24	0,001	0,169	20
Prov.x Blocs	518,69	335	1,55	3,08	0,001	0,134	16
Intra-parc. 2	139,47	4 262	0,50			0,502	59
Total		4 669				0,850	
<u>CHIBOUGAMAU</u>							
Provenances	305,97	88	3,48	12,56	0,001	0,050	9
Blocs	819,04	5	163,81	591,20	0,001	0,150	27
Prov.x Blocs	484,28	444	1,09	3,93	0,001	0,070	13
Intra-parc. 1	883,04	6 796	0,28			0,280	51
Total		7 333				0,550	

forestier à un autre. Lorsque cette situation se présente, il se crée ce qui est convenu d'appeler une interaction provenances-milieus. Ce phénomène empêche le généticien forestier de choisir, pour tout le territoire de reboisement, les provenances ayant démontré le meilleur potentiel moyen sur l'ensemble des sites d'expérimentation parce qu'il affecte l'efficacité de sa sélection et les gains génétiques espérés (Kremer, 1986). Nous constatons à l'examen du tableau 9 qu'il existe chez l'épinette noire une interaction provenances-milieus significative. Nous avons calculé les écovalences (Wricke, 1962) de manière à connaître la contribution de chaque provenance à la somme des carrés de l'interaction provenances-milieus. Les écovalences nous permettent donc d'apprécier la stabilité relative de chaque provenance (tableau

10). On y remarque que les écovalences varient de 0,27 en ce qui a trait à la provenance S.340 Mont Saint-Michel, Labelle Qc, qui démontre une bonne stabilité relative, à 16,17 en ce qui a trait à la provenance de la plus instable, S.367 Lac Pimbina, Saint-Maurice Qc. Cette dernière contribue donc le plus à l'interaction provenances-milieus et est très sensible aux différences entre les sites. Ces chiffres indiquent donc qu'il faudra être prudent lors du choix des provenances pour le reboisement de territoires qui présentent des caractéristiques pédoclimatiques différentes de celles des sites d'expérimentation si l'on désire obtenir un rendement optimum des plantations.

Cependant, si des difficultés importantes de gestion du matériel biologique

Tableau 9. Analyse de variance multi-sites de la hauteur de l'épinette noire, 16 ans après ensemencement

Source de variation	Somme des carrés	Degrés de liberté	Carrés moyens	F	P>F
Sites	1 495,41	3	498,47	268,7	0,0001
Provenances	570,38	66	8,64	4,7	0,0001
Blocs (Sites)	229,87	12	19,16	13,4	0,0001
Prov.x Blocs (Sites)	1 130,17	792	1,43	3,1	0,0001
Prov.x Sites	367,38	198	1,86	1,3	0,0001
Intra-parcelle	5 731,65	12 253	0,47		

Tableau 10. Écovalences de Wricke, hauteur totale et rang des provenances d'épinette noire présentes aux quatre sites d'expérimentation au Québec, 16 ans après l'ensemencement

No.	Dénomination	Contribution à la somme des carrés	Mont-Laurier		Lac Saint-Ignace		Chibougamau		Valcartier	
			Hauteur (m)	Rang	Hauteur (m)	Rang	Hauteur (m)	Rang	Hauteur (m)	Rang
S.6922	Tour, Sioux, Ontario	0,83	3,52	1	2,84	2	2,38	5	3,32	10
S.4360	Penobscot County, Maine	4,97	3,50	2	2,57	23	2,17	24	2,65	75
S.367	Lac Pimbina, Saint-Maurice	16,17	3,49	3	2,36	46	1,89	58	2,85	50
S.6903	Chalk River, Renfrew, Ontario	12,71	3,48	4	2,65	16	2,10	31	3,57	2
S.6927	Minaki, Ontario		3,44	5	2,61	20	2,52	1	3,34	8
S.356	Lac Parent, Augier, Abitibi-Est	6,03	3,43	6	2,57	24	2,08	35	3,54	3
S.1528	Stuart Plains Rd., Victoria, N.B.	4,99	3,38	7	2,28	56	2,40	4	3,39	5
S.4353	Isabella, Lake Co., Minnesota	3,82	3,38	8	2,46	34	2,26	11	3,18	25
S.3267	Forest Co. II, Wisconsin		3,37	9					2,78	60
S.6902	Apsley, Haliburton, Ontario	5,96	3,34	10	2,44	39	1,93	54	3,33	9
S.6930	Lac Rainy, Ontario	4,83	3,31	11	2,24	62	2,27	9	3,24	15
S.357	Lac Decelles, Pelissier, Abitibi-Est	10,30	3,31	12	2,34	50	2,10	33	3,59	1
S.6901	Bancroft, Hastings, Ontario		3,30	13	2,53	27	2,26	13	3,22	20
S.323	Parc Chibougamau, Roberval	12,95	3,30	14	2,54	26	2,16	26	2,47	84
S.333	Matagami, Abitibi-Est	4,33	3,29	15	2,74	8	1,95	51	3,29	12
S.340	Mont Saint-Michel, Labelle	0,27	3,29	16	2,44	38	2,27	10	3,20	22
S.4352	St. Louis Co., Minnesota	11,34	3,29	17	2,03	77	2,04	41	2,85	51
S.6917	Ipsala, Ontario	1,88	3,28	18	2,68	14	2,24	16	3,19	24
S.6907	Timmins, Ogden, Ontario		3,28	19	2,76	6	2,47	2	3,09	33
S.346	Manouane, Laviolette		3,27	20	2,35	48	2,04	43	3,42	4
S.4344	Hayward, Sawyer Co., Wisconsin		3,27	21	2,15	67	2,12	29	2,84	52
S.363	Fraser, Fraser, Abitibi-Est	2,87	3,24	22	2,42	40	2,06	39	2,78	59
S.315	Rivière-aux-Pins, Québec	7,95	3,23	23	2,25	59	1,87	63	3,16	27
S.6973	N.W. Angle Forest Reserve, Manitoba		3,16	24			2,21	20	2,73	69
S.1538	N. de Rivière Caraquet, Gloucester, N.-B.	7,94	3,15	25	2,85	1	1,96	47	3,36	7
S.326	Parc Chibougamau, Lac-Saint-Jean	11,52	3,15	26	2,68	15	2,04	42	2,70	71
S.348	Lower Mattawin, Saint-Maurice		3,13	27	2,64	18	2,26	14	2,82	54
S.316	Valcartier II, Québec	9,90	3,12	28	1,94	81	1,92	56	3,22	19
S.337	Louvicourt, Abitibi-Est	1,74	3,11	29	2,47	33	2,10	34	3,31	11
S.1628	Br. Nord Rivière Noire, Kent, N.-B.	0,91	3,11	30	2,36	47	2,19	22	2,89	44
S.1531	Base Gagetown, Sunbury, N.-B.	6,01	3,11	31	2,70	13	2,21	18	2,59	78
S.338	Parc de la Vérendrye, Pontiac	3,23	3,10	32	2,46	36	2,30	7	2,90	42
S.442	Chutes-aux-Galets, Chicoutimi	1,98	3,10	33	2,74	7	2,13	28	3,14	28
S.4351	Mackinac Co., Michigan	3,05	3,08	34	2,33	51	2,10	32	3,23	18

Tableau 10. (suite)

No.	Dénomination	Contribution à la somme des carrés	Mont-Laurier		Lac Saint-Ignace		Chibougamau		Valcartier	
			Hauteur (m)	Rang	Hauteur (m)	Rang	Hauteur (m)	Rang	Hauteur (m)	Rang
S.4355	Itaska Co., Minnesota	1,74	3,07	35	2,41	43	2,15	27	2,78	61
S.6938	Cochrane, Ontario	14,24	3,04	36	1,90	83	1,92	55	2,19	97
S.361	Cascapédia, Marcil, Bonaventure	4,30	3,04	37	2,52	32	1,75	73	3,01	36
S.1539	R. Tweedie, Northumberland, N.-B.	12,07	3,04	38	2,73	10	1,87	62	3,39	6
S.349	Saint-Michel-des-Saints, Berthier	0,48	3,04	39	2,52	29	2,12	30	2,76	64
S.6914	White River, Hunt, Ontario	5,16	3,02	40	2,16	66	1,85	65	3,03	35
S.1534	N. de First Lake, Madawaska, Green R., N.-B.	5,54	3,01	41	2,77	4	1,70	79	2,92	41
S.372	Lac Doré, Maskinongé	7,97	3,01	42	2,62	19	2,16	25	2,54	80
S.352	Péribonka, Roberval	2,41	3,00	43	2,73	9	2,07	38	2,86	48
S.347	Rivière-aux-Rats, Laviolette	2,55	2,99	44	2,77	5	2,26	12	3,26	14
S.353	Mars Ha! Ha!, Chicoutimi	1,38	2,98	45	2,60	21	2,01	45	3,04	34
S.1329	Garfield, Queens, Île-du-Prince-Édouard		2,98	46	2,09	73	2,08	37	3,09	32
S.321	Perthuis, Portneuf	2,27	2,97	47	2,81	3	2,30	8	3,12	30
S.335	Lebel-sur-Quévillon, Abitibi-Est		2,97	48	2,39	45	1,95	49	2,79	57
S.359	Gravier, Gravier, Bonaventure		2,96	49	2,12	70	2,23	17	2,90	43
S.6909	R. Otasawian, Kihlir, Ontario	1,87	2,96	50	2,60	22	1,95	50	2,86	49
S.336	Senneterre, Abitibi-Est		2,96	51	2,07	74	1,95	48	3,16	26
S.322	Blandford, Arthabaska	4,02	2,93	52	2,39	44	1,80	70	2,47	87
S.4354	Tofte, Cook Co., Minnesota	8,44	2,92	53	2,14	68	2,25	15	2,87	47
S.4277	Forest Co. I, Wisconsin	6,65	2,92	54	2,31	55	2,40	3	2,98	37
S.370	Cap des Rosiers, Gaspé-Sud	5,82	2,90	55	2,25	61	1,89	59	3,21	21
S.368	Lac Elaine, Roberval		2,90	56	2,34	49	2,03	44	2,93	40
S.328	Parc des Laurentides, Montmorency		2,84	57	2,32	53	1,86	64	2,78	62
S.360	Port Daniel, Daniel, Bonaventure	1,37	2,83	58	2,19	64	2,05	40	2,74	67
S.369	Water Creek, Gaspé-Sud	1,52	2,83	59	2,14	69	1,67	82	2,66	74
S.1530	Bengal Rd., Cape Breton, N.-É.	3,26	2,81	60	2,04	76	1,77	71	2,79	56
S.3293	Ashland Co., Wisconsin	6,71	2,80	61	2,11	71	2,18	23	2,95	38
S.4349	Delta Co., Michigan	4,92	2,79	62	2,70	12	1,99	46	3,14	29
S.6803	Bishops Falls, Terre-Neuve	6,18	2,75	63	2,65	17	1,74	75	2,94	39
S.3268	Mather, Jackson Co., Wisconsin	7,76	2,75	64	1,98	79	2,08	36	2,87	46
S.332	Causapscal, Matapédia	6,30	2,73	65	2,52	28	2,20	21	2,69	73
S.6801	Holyrood, Terre-Neuve	3,64	2,68	66	2,31	54	1,49	87	2,81	55
S.6979	Rocky Mtn, House II, Alberta	0,79	2,64	67	1,97	80	1,64	85	2,63	76

Tableau 10. (suite)

No.	Dénomination	Contribution à la somme des carrés	Mont-Laurier		Lac Saint-Ignace		Chibougamau		Valcartier	
			Hauteur (m)	Rang	Hauteur (m)	Rang	Hauteur (m)	Rang	Hauteur (m)	Rang
S.355	Île d'Anticosti	7,62	2,62	68	2,32	52	1,74	74	2,14	98
S.6965	Hart Mountain, Manitoba		2,62	69			1,90	57	2,76	65
S.325	Parc Mistassini, Abitibi-Est	7,00	2,61	70	2,27	57	1,94	52	2,32	94
S.341	Port-Cartier, Saguenay	2,16	2,60	71	2,26	58	1,81	69	2,49	82
S.1847	Southwestern, N.-É.		2,59	72	2,41	41			3,11	31
S.342	Manicouagan 5, Saguenay	1,80	2,58	73	2,25	60	1,84	66	2,36	92
S.345	Forestville, Saguenay	6,48	2,57	74	2,52	31	1,71	77	2,72	70
S.1529	William's Brook, Restigouche, N.-B.	8,14	2,57	75	2,41	42	2,21	19	2,89	45
S.344	Labrieville, Saguenay	0,96	2,55	76	1,99	78	1,76	72	2,79	58
S.329	Parc des Laurentides, Charlevoix	2,68	2,55	77	2,18	65	1,38	88	2,48	83
S.6968	Portage Cranberry, Manitoba		2,53	78					2,84	53
S.331	Chandler, Gaspé-Est	6,53	2,52	79	2,46	35	1,88	60	2,46	90
S.330	Murdochville, Gaspé-Nord	2,13	2,51	80	2,06	75	1,67	83	2,47	85
S.6802	Jeffrey's, Terre-Neuve	5,53	2,50	81	2,44	37	1,83	67	2,74	68
S.6967	Lac Point, Manitoba		2,47	82	1,93	82	1,71	76	2,56	79
S.6805	Goose Bay, Labrador, Terre-Neuve	7,13	2,41	83	2,23	63	1,68	81	2,75	66
S.6804	Roddickton, Terre-Neuve	12,87	1,98	84	2,09	72	1,69	80	2,33	93
S.437	Duchesnay, Portneuf	8,52	1,97	85	1,62	84	1,01	89	2,36	91
S.1543	Guysborough Shore, N.-É.						1,70	78	2,47	86
S.311	Valcartier I, Québec									
S.351	Normandin (Nicauba), Roberval				2,56	25	2,31	6	2,46	89
S.4274	Grafton Co., Grafton, New Hampshire								3,23	17
S.4420	Ruisseau Bonanza I, Alaska								1,67	99
S.4729	Bettles Field, Alaska								2,77	63
S.6964	Pulp River, Manitoba				2,52	30	1,93	53	2,61	77
S.6970	Lac Peter Pond, Saskatchewan								3,19	23
S.6972	Nisbet Prov. Forest, Saskatchewan								2,50	81
S.6975	Whiteshell Prov. Park, Manitoba				2,71	11	1,88	61	3,27	13
S.6976	Lac Gawer, Manitoba								2,47	88
S.6986	Fort St-John III, C.-B.								2,69	72
S.6994	Lac Marsh, Territoire du Yukon								2,32	95
S.6998	Ruisseau Johnson, Territoire du Yukon								3,24	16
S.7000	Mayo, Territoire du Yukon				1,52	85	1,83	68	2,23	96
	Hauteur moyenne du site		2,97		2,38		1,99		2,90	

de reboisement se présentent et que le gestionnaire forestier est prêt à sacrifier quelque peu le rendement de ses plantations, il lui sera possible de privilégier l'utilisation des provenances de stabilité phénotypique relative et de productivité supérieure à l'ensemble sur une gamme variée de sites. La plasticité et la rusticité de l'espèce semblent le permettre. L'utilisation des quinze provenances les plus productives sur l'ensemble des sites résulterait en une amélioration de quelque 11 % de la croissance par rapport à la moyenne des provenances testées. Comme il pourrait s'avérer difficile d'obtenir les sources situées hors Québec, le gestionnaire pourrait décider d'utiliser uniquement les meilleures sources québécoises. Dans ce cas, son gain serait de quelque 9 %. Le gestionnaire forestier devrait être conscient de l'impact négatif que pourrait avoir sa décision sur la productivité de certains sites.

Identification des régions de provenances supérieures

Il a été possible de délimiter 5 régions de provenances supérieures à l'aide des 25 provenances les plus performantes et ce, dans chacune des répétitions de l'essai (figure 3). Les régions de provenances supérieures sont définies ainsi:

Région de provenances Acadie

[1]

La région de provenances Acadie [1] comprise entre 65° et 70° de longitude ouest et entre 45° et 48° de latitude nord englobe le territoire du Nouveau-Brunswick, une partie de l'État du Maine et de la région du Bas-Saint-Laurent. Elle est caractérisée par la présence de l'épinette rouge (*Picea rubens* Sarg.) trouvée en association avec le sapin baumier (*Abies balsamea* [L.] Mill.), l'érable à sucre (*Acer saccharum* Marsh.), le bouleau jaune (*Betula alleghaniensis* Britton), quelques pins rouges (*Pinus resinosa* Ait.), pins blancs (*Pinus strobus* L.) et pruches de l'Est (*Tsuga canadensis* [L.] Carr.). L'épinette noire, l'épinette rouge et le mélèze laricin (*Larix laricina* [Du Roi] K. Koch), en peuplements purs et mixtes (Rowe, 1972), sont également abondants dans les zones planes à drainage difficile.

Région de provenances Laurentides

[2]

La région de provenances Laurentides [2] correspond grossièrement à la section forestière laurentienne L.4a, dans sa partie sud (Rowe, 1972). Elle forme une étroite bande comprise entre les méridiens 71° et 75°30' O et les parallèles 46°30' et 47°30' N. Comme la précédente,

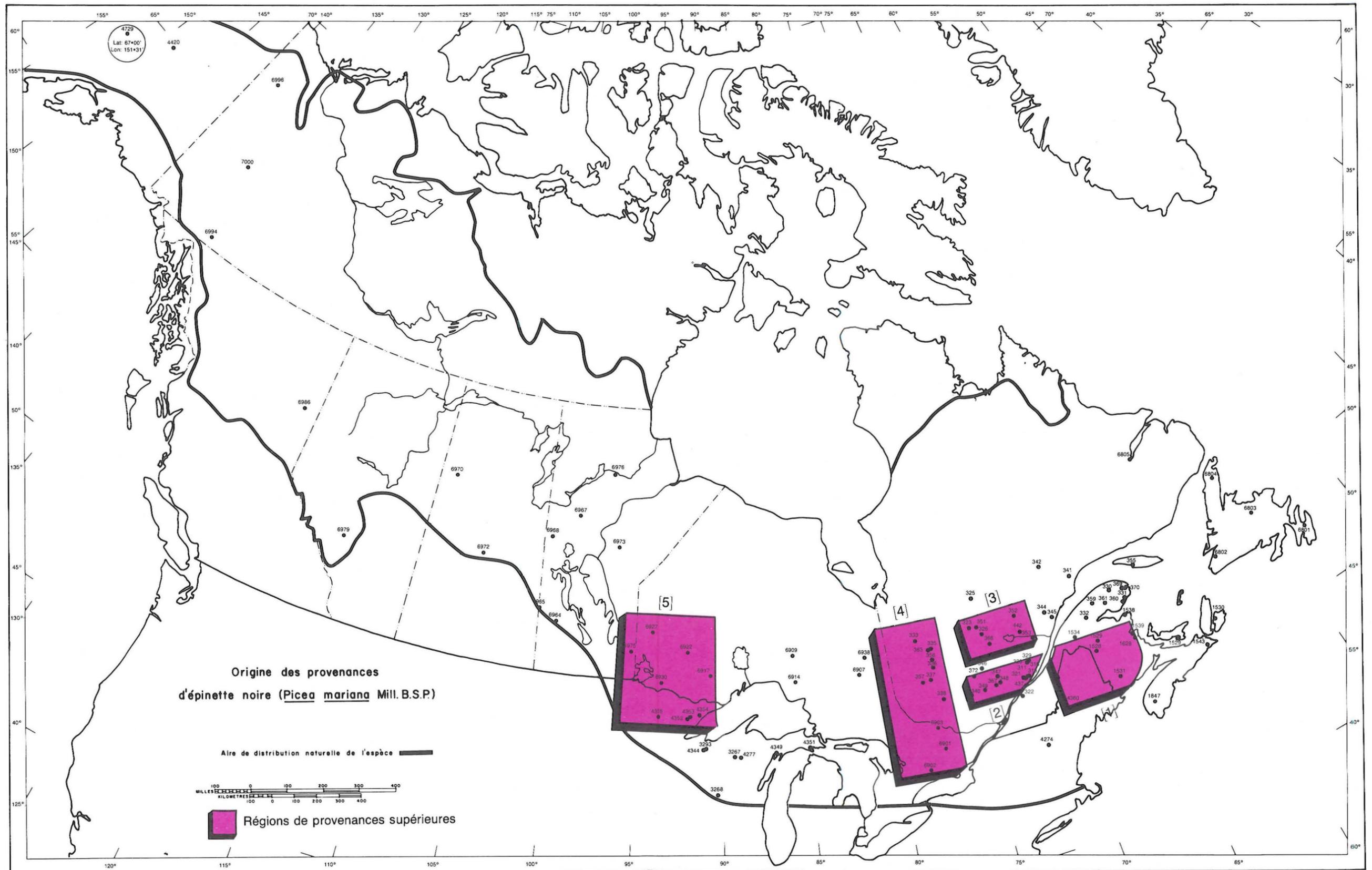


Figure 3. Régions de provenances supérieures d'épinette noire: [1] Région Acadie; [2] Région Laurentides; [3] Région Saguenay-Lac-Saint-Jean; [4] Région Abitibi-Outaouais; [5] Région Winnipeg-Supérieur.

elle est caractérisée par la présence de l'épinette rouge et des populations introgressées avec l'épinette noire (Morgenstern et al., 1981; Brulotte, 1984; Morgenstern et Farrar, 1964).

Région de provenances Saguenay-Lac-Saint-Jean [3]

La région Saguenay-Lac-Saint-Jean [3] tel que son nom l'indique englobe, en les entourant, le Saguenay-Lac-Saint-Jean ainsi que les parcs Haute-Mauricie, Chibougamau et Chicoutimi. Elle est comprise entre les parallèles 48° et 49°30' N et les méridiens 70° et 75° O et recoupe les domaines de la sapinière à bouleau blanc et de la pessière noire à mousse (Thibault et Hotte, 1985).

Région de provenances Abitibi-Outaouais [4]

La région de provenances Abitibi-Outaouais [4] couvre un territoire de grande amplitude latitudinale. En effet, elle s'étend du Lac Ontario (44° N) au sud, jusqu'au Lac Matagami (50° N) au nord. D'est en ouest, elle s'étend du méridien 76° O au méridien 80° O. Elle est caractérisée par la variabilité de domaines climatiques qu'elle recoupe, allant de l'érablière à tilleul au sud à la pessière noire à mousse au nord. Cette région présente des provenances particulièrement intéressantes pour le sud du Québec.

Région de provenances Winnipeg-Supérieur [5]

La région de provenances Winnipeg-Supérieur [5] couvre un vaste territoire compris entre le 90^{ième} et le 96^{ième} méridien ouest et entre 47° et 51° de latitude nord. Elle comprend les domaines de la sapinière à épinette noire et de la sapinière à bouleau blanc dans sa partie nord et de la sapinière à pin blanc dans sa partie sud. Environ 50% des provenances de cette région ont des performances supérieures dans chacune des répétitions de l'essai de provenances. Ce sont les provenances de la partie nord de cette région que l'on retrouve le plus souvent dans le quartile de tête.

Proposition de zones d'amélioration de l'épinette noire

Compte tenu de l'immensité du territoire susceptible d'être reboisé en épinette noire, nous tenterons de le subdiviser en zones d'amélioration plus restreintes sur la base des résultats obtenus des provenances à l'essai dans chacun des sites d'expérimentation et de données écologiques. La zone d'amélioration se définit donc comme un territoire présentant des caractéristiques pédoclimatiques suffisamment homogènes pour permettre l'utilisation d'un stock génétique particulier. Celui-ci origine

d'abord de la sélection des provenances les plus performantes tout en étant bien adaptées, suivi de la sélection et de l'hybridation des meilleurs géniteurs. La délimitation de zones d'amélioration devrait donc conduire à une optimisation du rendement des superficies artificiellement régénérées.

Pour ce faire, nous calculons d'abord les corrélations génétiques entre les hauteurs totales des provenances à chacun des sites d'expérimentation (tableau 11). Puis, nous appliquons à la matrice ainsi obtenue une analyse d'amalgamation (SAS-Varclus, 1985). Cette analyse nous permet de distinguer trois grappes. Une première formée des sites de Mont-Laurier et de Valcartier, une seconde formée du site de Chibougamau puis une troisième du site de Lac Saint-Ignace. Nous constatons que les deux sites représentatifs du domaine climacique de l'érablière à bouleau jaune se

retrouvent dans le même groupe et que le site représentatif du domaine de la sapinière à bouleau blanc (Lac Saint-Ignace) se distingue de celui de Chibougamau, représentatif du domaine climacique de la pessière noire à mousse (Grandtner, 1966; Thibault et Hotte, 1985). L'existence de répétitions additionnelles de l'essai de provenances aurait peut-être permis de proposer de plus nombreuses grappes et de subdiviser le territoire propice à la plantation de l'épinette noire en zones d'amélioration plus restreintes. Nous subdiviserons donc, comme première approximation, le territoire de reboisement en cinq zones d'amélioration. Ceci à la lumière des résultats obtenus de l'essai de provenances, mais également à la lumière des données pédo-climatiques et des associations forestières (Rowe, 1972, Grandtner, 1966), qui ont permis la description et la cartographie des régions écologiques du Québec méridional (Thibault et Hotte, 1985) (figure 4).

Tableau 11. Matrice des corrélations génétiques estimées de la hauteur des provenances d'épinette noire aux quatre sites d'expérimentation

	Mont-Laurier	Lac Saint-Ignace	Chibougamau	Valcartier
Mont-Laurier	1,0000	0,4667	0,8784	1,0000
Lac Saint-Ignace	0,4667	1,0000	0,7624	0,9115
Chibougamau	0,8784	0,7624	1,0000	0,8414
Valcartier	1,0000	0,9115	0,8414	1,0000

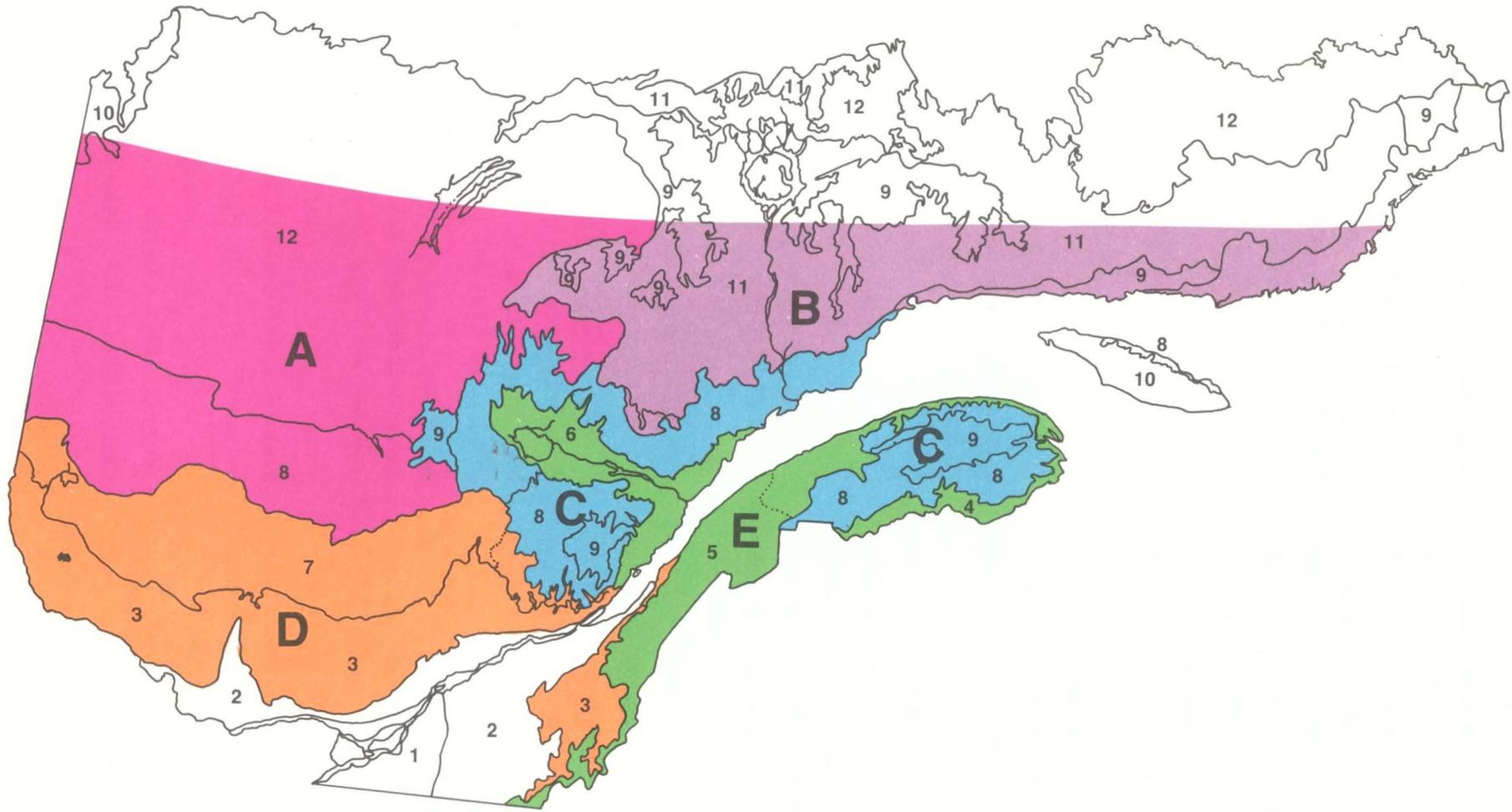


Figure 4. Proposition de zones d'amélioration de l'épinette noire au Québec: A à E, zones d'amélioration de l'épinette noire; 1 à 12, régions écologiques (Thibault et Hotte, 1985).

Zone d'amélioration Abitibi (A)

La zone d'amélioration Abitibi (A) (figure 3) couvre un vaste territoire situé au nord de la zone Outaouais-Laurentides (D) et à l'ouest des zones Hauts plateaux laurentien et gaspésien (C) et Saguenay-Appalaches (E). C'est le royaume de l'épinette noire et du pin gris (*Pinus banksiana* Lamb.) qui abondent en mélange dans les plaines sablonneuses où leur établissement est favorisé par des feux de forêt fréquents. Les peuplements purs d'épinettes noires dominent sur les argiles lourdes laissées par le lac glaciaire Objibway, alors que le pin gris prospère sur les stations sèches. Le sapin baumier, en association avec l'épinette blanche (*Picea glauca* [Moench] Voss) et le bouleau à papier (*Betula papyrifera* Marsh.) est surtout abondant dans la partie sud de cette zone. Les peuplements mélangés de peupliers faux-trembles (*Populus tremuloides* Michx.), de peupliers baumiers (*Populus balsamifera* L.), de bouleaux à papier, d'épinettes blanches et de sapins baumiers occupent les tills des hautes terres et les alluvions qui bordent lacs et rivières. La zone repose sur des roches volcaniques et granitiques précambriennes, sur des gneiss et sur des sédiments recouverts en partie par des dépôts glaciaires et fluvio-glaciaires qui ont été transformés par le dépôt de matériaux d'origine lacustre. Sur les tills, ter-

rares fluviales et plaines alluviales se sont formés des podzols humo-ferriques. Les luvisols gris présents se sont quant à eux développés sur les argiles calcaires et sur les tills modifiés. Les gleysols sont communs aux terrains plats et mal drainés (Rowe, 1972). La zone d'amélioration A recouvre les domaines climatiques de la sapinière à bouleau blanc (8) et de la pessière noire à mousse (12), caractérisés par des indices d'aridité variant de 50 à 150 et une saison de croissance de 1 000 à 1 200 degrés-jours (Thibault et Hotte, 1985).

Zone d'amélioration Basse-Côte-Nord (B)

La zone d'amélioration B est bordée par le golfe du Saint-Laurent et par les zones D et C à l'ouest et au sud-ouest respectivement. La présence de l'épinette noire sur les basses terres tourbeuses et sur les hautes terres bien drainées et recouvertes de dépôts glaciaires caractérise cette zone. Le sapin baumier et l'épinette blanche y sont rares. L'épinette noire se rencontre sur des sites caractérisés par des podzols humoferriques et dans les endroits périodiquement inondés dont le sol est constitué de gleysol. Sur les tills plus riches généralement colonisés par le sapin baumier se forment des podzols ferrohumi-ques (Rowe, 1972). Cette zone recouvre principalement le domaine climacique

de la pessière noire à sapin et à mousse (11) ainsi que quelques régions écologiques de la sapinière à épinette noire. Le climat y est froid et humide et les indices d'aridité y sont inférieurs à 100 alors que la saison de croissance compte moins de 1 000 degrés-jours (Thibault et Hotte, 1985).

Zone d'amélioration Hauts plateaux laurentien et gaspésien (C)

La zone d'amélioration C regroupe les hautes terres de la péninsule gaspésienne et des Laurentides qui ceignent la plaine du Lac-Saint-Jean et les basses terres et montagnes du Saguenay. Le sapin baumier prédomine sur les flancs des collines laurentiennes et sur les stations écologiques humides et bien drainées tandis que l'épinette noire prédomine sur les plateaux au sol mince et sur les terres à mauvais drainage. Toute la portion laurentienne de cette zone repose sur des roches cristallines d'âge précambrien. Sur les dépôts glaciaires de surface se forment des sols des sous-groupes podzols ferro-humiques et humo-ferriques. Des tourbières minces et épaisses caractérisent respectivement les hautes et les basses terres (Rowe, 1972). Outre la sapinière et la pessière noire pures, les peuplements mixtes de sapins baumiers et d'épinettes noires accompagnés de thuyas de l'Est (*Thuja occidentalis* L.) et de bouleaux à papier constituent les

principales associations forestières du plateau gaspésien formé de roches sédimentaires. Dans les terrains bien drainés, on retrouve de minces profils de podzols humo-ferriques tandis que des tourbes acides se sont formées dans les endroits à drainage médiocre. Cette zone est caractérisée par un climat humide et froid, un indice d'aridité entre 50 et 100 et un nombre de degrés-jours qui se situe entre 890 et 1 220 selon les régions écologiques. Elle recouvre les domaines climatiques de la sapinière à bouleau blanc (8) et de la sapinière à épinette noire (9) (Thibault et Hotte, 1985). Les conditions climatiques de cette zone sont plus favorables à la croissance de la forêt que celles de la zone Basse-Côte-Nord (B), à cause d'une moins grande intensité du froid et d'une saison de croissance plus étendue. Compte tenu que cette zone repose sur deux types de roches-mères, on pourrait envisager de la scinder en deux et leur destiner des stocks génétiques distincts identifiés à l'aide d'études supplémentaires.

Zone d'amélioration Outaouais-Laurentides (D)

La zone d'amélioration D s'étend de la rivière des Outaouais aux hautes terres bordant le Parc des Laurentides à l'est et grossièrement du 46° au 48° de latitude nord. De plus elle comprend la

région montagneuse de l'Estrie caractérisée par la présence de l'épinette rouge associée aux feuillus intolérants, de l'épinette blanche, du sapin baumier, du pin blanc et de la pruche de l'Est. La partie nord de cette zone est caractérisée par la forêt mixte, constituée d'associations de sapins baumiers, d'épinettes noires et de bouleaux à papier. Elle est parsemée d'épinettes blanches et de peupliers faux-trembles. Les sommets rocheux sont colonisés par les pins blancs et les pins rouges, tandis que le pin gris domine sur les terrasses sablonneuses. L'épinette noire et le mélèze laricin recouvrent également de vastes superficies de sols organiques humides. L'assise rocheuse est faite de roches granitiques, volcaniques et sédimentaires précambriennes. Les sols les plus fréquents sont des podzols humo-ferriques. La partie sud est à prédominance feuillue et est caractérisée par la présence du pin blanc, du pin rouge et de l'épinette rouge. L'érable à sucre, le bouleau jaune et l'érable rouge (*Acer rubrum* L.) y sont les principales espèces. L'épinette blanche est dispersée partout tandis que l'épinette noire occupe les hautes terres mal drainées et les tourbières. L'assise rocheuse constituée de gneiss, de granite et de schistes précambrien est recouverte de till mince et de dépôts fluvio-glaciaires. On y

retrouve également des terrasses de sable, des plaines lacustres et de vastes marécages. Des brunisols dystriques et des podzols humo-ferriques se sont formés à partir des matériaux de surface (Rowe, 1972). Cette zone d'amélioration couvre les domaines climatiques de la sapinière à bouleau jaune (5), de l'érablière à bouleau jaune (3) et de la bétulaie jaune à sapin (7). Elle est caractérisée par des indices d'aridité variant de 75 à 255 et par une saison de croissance de 1 220 à 1 330 degrés-jours dans sa partie nord et de 1 220 à 1 660 dans sa partie sud (Thibault et Hotte, 1985).

Zone d'amélioration Saguenay-Appalaches (E)

La zone d'amélioration E comprend des régions aussi différentes que les Appalaches, le Bas-Saint-Laurent, le littoral de la péninsule gaspésienne, la plaine du Lac-Saint-Jean, les basses terres du Saguenay et l'étroite bande sur la rive nord du Saint-Laurent entre Baie-Saint-Paul et Forestville. Tout près de la rive sud du Saint-Laurent, l'épinette blanche domine une forêt résineuse, où l'on retrouve le bouleau à papier, le thuya de l'Est, le mélèze laricin et le peuplier faux-tremble. L'épinette blanche se retrouve aussi en compagnie du sapin baumier dans les vallées situées à l'intérieur des terres. L'érable à

sucre, le hêtre américain (*Fagus grandifolia* Ehrh.) et le bouleau jaune colonisent les sommets. On n'y retrouve l'épinette noire et le mélèze laricin que dans les bas-fonds et les endroits tourbeux. Bien que les feuillus soient présents aux endroits abrités, la forêt du bassin du Saguenay-Lac-Saint-Jean offre essentiellement un aspect boréal; les peuplements de pins gris prédominent sur les dépôts sableux tandis que l'épinette noire, l'épinette blanche et le sapin baumier accompagnés du bouleau à papier et du peuplier faux-tremble sont communs sur les autres stations. La roche-mère de cette région est formée principalement de gneiss granitique. Les basses terres sont recouvertes de couches d'argile et de sables marins tandis que les autres endroits montrent des dépôts glaciaires et des alluvions. L'assise rocheuse des Appalaches est formée de strates anciennes métamorphosées par endroits. Les sols dérivés de matériaux glaciaires sont formés de podzols humo-ferrriques à texture grossière. Les podzols humo-ferrriques et les gleysols humiques sont communs (Rowe, 1972). La zone d'amélioration E englobe les domaines climatiques de la sapinière à bouleau blanc (6), de la sapinière à bouleau jaune (5) et de l'érablière à bouleau jaune. Elle est bien pourvue en précipitations. Les indices d'aridité se situent entre 50 et 175 alors que la saison de croissance

compte de 1 000 à 1 390 degrés-jours selon la région écologique (Thibault et Hotte, 1985). Tout comme dans le cas de la zone d'amélioration Hauts plateaux laurentien et gaspésien, cette zone pourrait être subdivisée en zones plus restreintes suite à des études supplémentaires, considérant les types variés de roche-mère qu'on y rencontre.

Recommandation des provenances supérieures par zone d'amélioration

Nous nous permettrons de recommander des régions de provenances et des provenances supérieures uniquement pour les zones d'amélioration desquelles nous avons obtenu des résultats fiables de l'essai de provenances d'épinette noire. Ainsi, aucune recommandation ne sera faite pour la zone d'amélioration Saguenay-Appalaches (E) puisqu'elle ne compte pas de répétition de l'essai et qu'elle fut délimitée sur des bases écologiques seulement. De même, nous ne ferons pas de recommandations de provenances pour la zone Basse-Côte-Nord (B) dont l'essai situé à Labrieville n'a pas donné de résultats suffisamment fiables pour permettre une discrimination satisfaisante des provenances. Toutes les provenances issues de régions de provenances supérieures seront considérées prioritairement et sélectionnées à la condition qu'elles fassent partie du groupe dominant. Les

provenances isolées ne seront retenues que si le gain attendu est au minimum de l'ordre de celui espéré des régions de provenances supérieures.

Zone d'amélioration Abitibi (A)

La sélection des provenances pour cette zone est effectuée à partir de la

répétition de l'essai situé à Chibougamau. Les régions de provenances les plus intéressantes sont Winnipeg-Supérieur [5] et Abitibi-Outaouais [4]. De plus, deux provenances isolées ont un rendement exceptionnel. Les provenances sélectionnées et dont la liste suit ont une moyenne de 14% supérieure à la moyenne des provenances testées.

Région de provenances Winnipeg-Supérieur [5]

Moyenne	Gain
(m)	(%)
2,30	16

S.4353 Isabella, Lake Co., Min.

S.4354 Tofte, Cook Co., Min.

S.4355 Itaska Co., Min.

S.6917 Ipsala Ont.

S.6922 Tour Sioux, Ont.

S.6927 Minaki, Ont.

S.6930 Lac Rainy, Ont.

Région de provenances Abitibi-Outaouais [4]

2,28	15
------	----

S.338 Parc de la Vérendrye, Pontiac, Qc

S.6901 Bancroft, Hastings, Ont.

Région de provenances Acadie [1]

2,23	12
------	----

S.332 Causapscal, Matapédia, Qc

S.1528 Stuart Plains Rd. Victoria, N.-B.

S.1529 William's Brook, Restigouche, N.-B.

S.1531 Base Gagetown, Sunbury, N.-B.

S.1628 Br. Nord Rivière Noire, Kent, N.-B.

S.4360 Penobscot Co., Maine

Région de provenances Laurentides [2]	Moyenne	Gain
	(m)	(%)
	2,23	12
S.321 Perthuis, Portneuf, Qc		
S.340 Mont Saint-Michel, Labelle, Qc		
S.347 Rivière-aux-Rats, Laviolette, Qc		
S.348 Lower Mattawin, Saint-Maurice, Qc		
S.349 Saint-Michel-des-Saints, Berthier, Qc		
S.372 Lac Doré, Maskinongé, Qc		
Région de provenances Saguenay-Lac-Saint-Jean [3]		
S.323 Parc Chibougamau, Roberval, Qc		
S.351 Normandin, Roberval, Qc		
S.442 Châte-aux-Galets, Chicoutimi, Qc		
Autres provenances	2,44	23
S.4277 Forest Co. I, Wis.		
S.6907 Timmins, Ogden, Ont.		

Zone d'amélioration des Hauts plateaux laurentien et gaspésien (C)

La répétition de l'essai de provenances d'épinette noire située à Lac Saint-Ignace a servi à la sélection des provenances recommandées pour cette zone d'amélioration. Ici également, on

distingue deux régions de provenances à forte supériorité. Il s'agit des régions Acadie [1] et Winnipeg-Supérieur [5]. La provenance S. 6907 Timmins, Odgen Ont. offre une productivité de 16 % plus élevée que la moyenne. La liste des provenances supérieures est la suivante:

Région de provenances Acadie [1]	Moyenne	Gain
	(m)	(%)
	2,72	14
S.1531 Base Gagetown, Sunbury, N.-B.		
S.1534 N. First Lake, Madawaska, N.-B.		

S.1538 N. Rivière Caraquet, Gloucester, N.-B.
 S.1539 Ruisseau Tweedie, Northumberland, N.-B.
 S.4360 Penobscot Co., Maine

Région de provenances Winnipeg-Supérieur [5]

Moyenne	Gain
(m)	(%)
2,71	14

S.6917 Ipsala, Ont.
 S.6922 Tour Sioux, Ont.
 S.6927 Minaki, Ont.
 S.6975 Whiteshell Prov. Park, Man.

Région de provenances Laurentides [2]

2,67	12
------	----

S.321 Perthuis, Portneuf, Qc
 S.347 Rivière-aux-Rats, Laviolette, Qc
 S.348 Lower Mattawin, Saint-Maurice, Qc
 S.349 Saint-Michel-des-Saints, Berthier, Qc
 S.372 Lac Doré, Maskinongé, Qc

Région de provenances Saguenay-Lac-Saint-Jean [3]

2,64	11
------	----

S.323 Parc Chibougamau, Roberval, Qc
 S.326 Parc Chibougamau, Lac-Saint-Jean, Qc
 S.351 Normandin, Roberval, Qc
 S.352 Péribonka, Roberval, Qc
 S.353 Mars Ha! Ha!, Chicoutimi, Qc
 S.442 Châte-aux-Galets, Chicoutimi, Qc

Région de provenances Abitibi-Outaouais [4]

2,62	10
------	----

S.333 Matagami, Abitibi-Est, Qc
 S.356 Lac Parent, Abitibi-Est, Qc
 S.6901 Bancroft, Hastings, Ont.
 S.6903 Chalk River, Renfrew, Ont.

Autres provenances

Moyenne	Gain
(m)	(%)
2,76	16

S.6907 Timmins, Ogden, Ont.

Ces provenances démontrent en moyenne une supériorité de 12 % par rapport à l'ensemble des provenances testées à Lac Saint-Ignace.

Zone d'amélioration Outaouais-Laurentides (D)

À la suite de l'analyse d'amalgamation effectuée sur la matrice de corrélations génétiques inter-sites, les répétitions de Valcartier et de Mont-Laurier ont été classées dans la même zone d'amélioration. Nous nous sommes donc servi de la performance moyenne des

provenances à ces deux endroits comme base de leur sélection. Trois des cinq régions de provenances supérieures présentent des provenances dont le rendement dépasse celui de l'ensemble des provenances sélectionnées. La région de provenances Saguenay-Lac-Saint-Jean [4] n'offre aucune provenance intéressante pour la zone d'amélioration Outaouais-Laurentides (D). Voici la liste des provenances retenues et démontrant une supériorité de 13 % sur la moyenne de toutes les provenances:

Région de provenances Abitibi-Outaouais [4]

Moyenne	Gain
(m)	(%)
3,36	16

S.333 Matagami, Abitibi-Est, Qc
 S.337 Louvicourt, Abitibi-Est, Qc
 S.356 Lac Parent, Abitibi-Est, Qc
 S.357 Lac Decelles, Abitibi-Est, Qc
 S.6901 Bancroft, Hastings, Ont.
 S.6902 Apsley, Haliberton, Ont.
 S.6903 Chalk River, Renfrew, Ont.

Région de provenances Winnipeg-Supérieur [5]

3,31	14
------	----

S.4353 Isabella, Lake Co., Min.
 S.6917 Ipsala, Ont.

S.6922 Tour Sioux, Ont.
 S.6927 Minaki, Ont.
 S.6930 Lac Rainy, Ont.
 S.6975 Whiteshell Prov. Park, Man.

Région de provenances Acadie [1]

Moyenne	Gain
(m)	(%)
3,29	13

S.1528 Stuart Plains Rd., Victoria, N.-B.
 S.1538 N. Rivière Caraquet, Gloucester, N.-B.
 S.1539 Ruisseau Tweedie, Northumberland, N.-B.

Région de provenances Laurentides [2]

3,21	13
------	----

S.315 Rivière-aux-Pins, Québec, Qc
 S.316 Valcartier II, Québec, Qc
 S.340 Mont Saint-Michel, Labelle, Qc
 S.346 Manouane, Laviolette, Qc
 S.347 Rivière-aux-Rats, Laviolette, Qc
 S.367 Lac Pimbina, Saint-Maurice, Qc

Autres provenances

3,19	10
------	----

S.6907 Timmins, Ogden, Ont.

CONCLUSIONS

Nous avons démontré au cours de cette étude qu'une relation positive et significative existait entre la croissance annuelle en pépinière et l'accroissement périodique 10-16 ans en hauteur des provenances d'épinette noire en milieu forestier. Ceci indique que les prove-

nances ayant démontré une supériorité relative en pépinière poursuivent dans le même sens sur les sites d'expérimentation. Cette relation positive indique qu'une sélection précoce aurait pu être effectuée. Toutefois, elle n'est pas suffisamment forte pour prétendre qu'une sélection précoce aurait été efficace et aurait permis d'accélérer un programme

d'amélioration de cette espèce, compte tenu des faibles gains qui en auraient résultés. Il faudra donc attendre encore quelques années pour voir si cette relation s'accroît. Ce n'est que dans ce cas qu'on pourrait envisager une sélection à très jeune âge. Il a de plus été démontré qu'il existe un patron de variation clinale faible de l'accroissement périodique 10-16 ans en fonction de l'origine géographique des provenances. Celles qui originent du sud-ouest de l'aire de distribution de l'épinette noire ont tendance à mieux performer que celles provenant du nord-est. L'existence de ce patron de variation clinale implique que les semences peuvent être déplacées suivant la même orientation et que leur rendement peut être prédit avec une certaine assurance. On doit cependant remarquer que la force du patron s'atténue avec le temps.

La partition de la variation de la survie sur chaque site d'expérimentation en fonction des sources révélées par le plan expérimental utilisé indique que la part attribuable aux provenances est non significative, à l'exception du site du Lac Saint-Ignace. Cette constatation n'est pas surprenante si l'on considère le vaste territoire colonisé par l'épinette noire. Ceci se traduit fatalement par une certaine adaptabilité à diverses

conditions pédo-climatiques. D'autre part, l'origine des provenances explique entre 5 et 17 % de la variation de la hauteur totale, 16 ans après l'ensemencement, selon le site d'expérimentation choisi. Ceci implique que des gains génétiques intéressants résulteraient d'une sélection de provenances. Il est également à remarquer qu'une sélection massale faite à l'intérieur des provenances choisies devrait être effectuée afin d'optimiser le gain. En regroupant les données des quatre sites, on a pu démontrer qu'il existait une interaction provenances-milieus. Celle-ci a une influence importante sur les gains génétiques espérés d'une sélection. Bien que certaines provenances démontrent une stabilité phénotypique relativement intéressante, on a préféré subdiviser le territoire québécois en zones d'amélioration plus restreintes à cause de l'immensité de l'aire à reboiser. Cinq zones ont été définies à l'aide des données écologiques et des résultats de l'essai de provenances d'épinette noire. Elles couvrent des territoires aux superficies variées et ont été nommées en fonction des régions administratives qu'elles recourent. Ce sont les zones d'amélioration: Abitibi, Basse-Côte-Nord, Hauts plateaux laurentien et gaspésien, Outaouais-Laurentides et Saguenay-Appalaches.

De plus, cinq régions de provenances supérieures ont été identifiées: les régions Acadie, Laurentides, Saguenay-Lac-Saint-Jean, Abitibi-Outaouais et Winnipeg-Supérieur. Au-delà de vingt provenances supérieures ont été recommandées en vue du développement d'un programme d'amélioration pour chacune des zones à l'intérieur desquelles sont situées au moins une répétition de l'essai de provenances. Ces provenances démontrent en moyenne une supériorité de 14, 12 et 13 % par rapport à l'ensemble des provenances testées dans les zones d'amélioration Abitibi (A), Hauts plateaux laurentien et gaspésien (C) et Outaouais-Laurentides (D).

OUVRAGES CONSULTÉS

- Besley, L. 1959. Relationship between wood fibre properties and paper quality. Pulp Paper Res. Inst. Can. Tech. Rep. 156.
- Boyle, T.J.B. 1985. Range wide provenance tests of black spruce in Ontario. Can. For. Serv. Petawawa Nat. For. Inst., Ontario, Inf. Rep. PI-X-57.
- Brulotte, F. 1984. Étude du complexe *Picea rubens* Sarg. et *Picea mariana* B.S.P. au Québec. Thèse de maîtrise. Université Laval, Québec. Non-publié, 120 p.
- Burdon, R.D. 1977. Genetic correlation as a concept for studying genotype-environment interaction in forest tree breeding. *Silvae Genet.* 26:60-66.
- Corriveau, A.G. 1981. Variabilité spatiale et temporelle de la croissance juvénile des provenances d'épinette noire au Québec. Pages 181-187 in Proc. 18th mtg. Can. Tree Improv. Assoc., Duncan, B.-C.
- Dietrichson, J. 1969. Genetic variation of cold damage, growth rythm and height growth in 4-year-old black spruce (*Picea mariana* [Mill.] B.S.P.) Medd. Nor. Skogforssoeksves. 97:112-128.
- Fox, P.N.; Rosielle, A.A. 1982. Reducing the influence of environmental main-effects on pattern analysis of plant breeding environments. *Euphytica* 31:645-565.
- Fowler, D.P.; Park, Y.S. 1982. Range-wide black spruce provenance trials in the Maritimes. Can. For. Serv. Maritimes For. Res. Centre, Fredericton, N.-B. Inf. Rep. M-X-137.
- Grandtner, M.M. 1966. La végétation forestière du Québec méridional. Presses de l'Université Laval, Sainte-Foy, Québec.
- Hosie, R.C. 1972. Arbres indigènes du Canada. Env. Can. Serv. can. forêts, Ottawa, Ontario.

- Jablanczy, A. 1971. Changes due to age in apical development in spruce and fir. Can. For. Ser., Ottawa, Ontario, Bi-Mon. Res. Notes 27:10
- Khalil, M.A.K. 1981. Ten-year results of regional black spruce provenance study in Newfoundland. Can. For. Serv. Newfoundland For. Res. Centre, St. John's, Nfld, Inf. Rep. N-X-200.
- Khalil, M.A.K. 1984. All-range black spruce provenance study in Newfoundland: performance and genotypic stability of provenances. *Silvae Genet.* 33:63-71.
- Kremer, A. 1986. Les variations d'expression du génotype (corrélacion juvénile-adulte et interaction génotype x milieu). Approche quantitative et explicative. *Revue for. française* XXXVIII n° sp.: 40-47.
- Lafond, A. 1966. Notes sur l'écologie de quatre conifères du Québec. *Nat. can.* 93:823-842.
- Linteau, A. 1955. Forest site classification of the north-eastern coniferous section, Boreal Forest Region, Quebec, Can. Dep. North Affairs, Nat. Res., For. Branch Bull. 118.
- Morgenstern, E.K. 1969a. Genetic variation in seedlings of *Picea mariana* (Mill.) B.S.P. I. Correlation with ecological factors. *Silvae Genet.* 18:151-161.
- Morgenstern, E.K. 1969b. Genetic variation in seedlings of *Picea mariana* (Mill.) B.S.P. II. Variation patterns. *Silvae Genet.* 18:161-167.
- Morgenstern, E.K. 1975. Open pollinated progeny testing in a black spruce breeding program. Pages 1-8 in Reprint From Proc. 22nd Northeastern Forest Tree Improv. Conf., Syracuse, NY, August 1974.
- Morgenstern, E.K. 1978. Range-wide genetic variation of black spruce. *Can. J. For. Res.* 8:463-473.
- Morgenstern, E.K.; J.L. Farrar. 1964. Introgressive hybridization in red spruce and black spruce. Univ. of Toronto, Fac. For., Tech. Rep. 4.
- Morgenstern, E.K.; Teich, A.H. 1969. Phenotypic stability of height growth of jack pine provenances. *Can. J. Genet. Cytol.* 11:110-117.
- Morgenstern, E.K.; Kokocinski, G.H. 1976. The range-wide co-operative black spruce provenance study. I. Establishment of field experiments in Ontario. Can. For. Serv., Ont. Min. Nat. Resour. Special Joint Rep. 2.
- Morgenstern, E.K.; A.G. Corriveau; D.P. Fowler. 1981. A provenance test of red spruce in nine environments in eastern Canada. *Can. J. For. Res.* 11:124-131

- Morgenstern, E.K.; Villeneuve, M.; LeBlanc, R.B. 1986. The range-wide black spruce study: results from 12 experiments in the northeast. Pages 188-196 in Proc. 13th North-eastern For. Tree Improv. Conf. Orono, ME, July 22-24.
- Nienstaedt, H. 1984. Breeding implications of juvenile selection in a range wide black spruce provenance test. Can. J. For. Res. 14:933-939.
- Pollard, D.F.W.; Logan, K.T. 1974. The role of free growth in the differentiation of provenances of black spruce (*Picea mariana* [Mill.] B.S.P.). Can. J. For. Res. 4:308-311.
- Rowe, J.S. 1972. Forest regions of Canada. Can. For. Serv. Ottawa, Ontario, Bull. 123.
- SAS Institute Inc. 1985. SAS User's Guide: Statistics. 5th ed. SAS Institute Inc. Cary, North Carolina.
- Selkirk, W.H. 1974. Origin of provenances in the co-operative range-wide black spruce study. Can. For. Serv., Petawawa For. Exp. Stn., Ontario, Special Rep.
- Steel, R.G.D.; Torrie, J.H. 1980. Principles and procedures of statistics. A biometrical approach. 2nd Ed. McGraw-Hill Book Co. New York.
- Thibault, M.; Hotte, D. 1985. Les régions écologiques du Québec méridional. Deuxième approx. Serv. Cart. Minist. Éner. Res. Qué.
- Wellendorf, H.; Werner, M.; Roulund, H. 1986. Delineation of breeding zones and efficiency of late and early selection within and between zones. For. Tree Improv. 19. D.S.R. Forlag, Copenhagen.
- Wricke, G. 1962. Über eine Methode zur Erfassung der ökologischen Streubreite in Feldversuchen. A. Pflanz. 47:92-96.

Canada