

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL

MÉMOIRE
PRÉSENTÉ À
L'UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL
COMME EXIGENCE PARTIELLE
DE LA MAÎTRISE EN SCIENCES DE L'ENVIRONNEMENT

par

MARIE-CLAUDE BRISSON

CROISSANCE EN HAUTEUR DU PIN GRIS (*PINUS BANKSIANA* LAMB.)
SELON UN GRADIENT TOPOGRAPHIQUE, ABITIBI, QUÉBEC

OCTOBRE 1992





BIBLIOTHÈQUE

Cégep de l'Abitibi-Témiscamingue
Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue

Mise en garde

La bibliothèque du Cégep de l'Abitibi-Témiscamingue et de l'Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue a obtenu l'autorisation de l'auteur de ce document afin de diffuser, dans un but non lucratif, une copie de son œuvre dans Depositum, site d'archives numériques, gratuit et accessible à tous.

L'auteur conserve néanmoins ses droits de propriété intellectuelle, dont son droit d'auteur, sur cette œuvre. Il est donc interdit de reproduire ou de publier en totalité ou en partie ce document sans l'autorisation de l'auteur.

REMERCIEMENTS

Je remercie tout d'abord mon directeur de maîtrise, Yves Bergeron, pour ses nombreux conseils et sa patience, ainsi que Richard Zarnovican pour son expertise envers la méthode de l'analyse de tiges et ses conseils durant et après mon stage chez Forêts Canada.

Je remercie particulièrement ceux qui m'ont aidée sur le terrain et qui ont su agrémenter les longues journées: Jacques Dumais, Yvan Beloin, Martin Béland, François Tétreault, Sylvie Massy, Marie-Claude Rousseau, Sylvie Gauthier, Brian Harvey, Suzanne Brais et Pierre Cartier. Des remerciements vont à tous ceux qui ont transporté les galettes à la sueur de leur dos!

Merci à Danielle Charron et Alain Leduc pour leur support moral. Un merci particulier pour la disponibilité et la patience d'Alain face à la fameuse analyse des coefficients de direction.

Finalement, je remercie Daniel et tous les membres de ma famille de m'avoir encouragée, appuyée, soutenue et supportée tout au long.

Ce projet a été subventionné par le Fonds FCAR, le MENVIQ et Forêts Canada.

RÉSUMÉ

À l'échelle locale, les régimes trophique et d'humidité des sols représentent des variables déterminantes pour la productivité des peuplements forestiers. La croissance en hauteur du pin gris (*Pinus banksiana* Lamb.) dans la portion sud de la région de la ceinture d'argile a été évaluée selon un gradient topographique.

L'étude présentée comporte plusieurs aspects: (1) estimer l'effet de la position topographique, responsable de l'approvisionnement en eau et en éléments nutritifs, sur la croissance en hauteur du pin gris en Abitibi; (2) prédire la croissance en hauteur du pin gris à partir d'indicateurs abiotiques (topographie et pédologie) et biotiques (végétation) et (3) comparer la croissance de pins gris situés au Québec et en Ontario, pour ainsi évaluer l'utilisation au Québec des courbes produites en Ontario.

Au total, 41 stations d'une superficie de 400 m² (20 m X 20 m) étaient réparties sur quatre transects distincts. Des analyses de tiges ont été réalisées à partir de trois pins gris abattus et sectionnés dans chacune des stations. La hauteur des pins dominants à l'âge référentiel de 50 ans a ainsi permis d'attribuer un indice de la qualité de la station (IQS).

Une variabilité appréciable de ces indices a été observée à l'intérieur d'un même transect et entre les transects; les indices minimal et maximal étant de 7,9 mètres et 21,7 mètres. La détermination des influences primaires sur la croissance en hauteur des pins gris dominants fut dans un premier temps évaluée à partir des variables géomorphologiques, en utilisant l'analyse des coefficients de direction. La longueur de la pente arrière, le pourcentage de limon dans l'horizon B, la profondeur du solum et l'inclinaison de la pente influencent fortement l'indice de la qualité de la station.

Par la suite, une analyse de régression multiple fut utilisée dans le but de trouver les critères permettant de prédire indirectement la hauteur du pin gris à 50 ans et ce, à partir d'une combinaison de critères topographiques, édaphiques et de végétation. Les variables édaphiques et de végétation expliquant convenablement la variabilité des indices de la qualité de la station observée sont: l'épaisseur moyenne de l'horizon B et des horizons organiques, la concentration en ions H⁺ dans l'horizon B, le pH de l'horizon A ainsi que la valeur d'importance du peuplier faux-tremble (*Populus tremuloides* Michx.), du bouleau à papier (*Betula papyrifera* Marsh.), de l'érable rouge (*Acer rubrum* L.), du sorbier d'Amérique (*Sorbus americana* Marsh.) et les coordonnées des espèces de sous-bois sur le premier axe de l'ordination indirecte.

La prédiction de la croissance en hauteur de pins gris en Abitibi étant possible, les critères géomorphologiques devraient être privilégiés puisqu'ils représentent des variables facilement mesurables et identifiables sur le terrain.

Enfin, une différence de croissance a été remarquée entre les pins situés au Québec et ceux situés en Ontario. Les courbes de croissance du pin gris de l'Ontario ne semblent pas applicables au territoire étudié dans la présente étude.

TABLE DES MATIÈRES

	Page
REMERCIEMENTS	iii
RÉSUMÉ	iv
TABLE DES MATIÈRES	vi
LISTE DES TABLEAUX	x
LISTE DES FIGURES	xi
INTRODUCTION GÉNÉRALE	1
DESCRIPTION DU TERRITOIRE ÉTUDIÉ	5
Climat et végétation	5
Géomorphologie et pédologie	5
Sélection des transects et des stations	7

CHAPITRE 1

RELATIONS ENTRE LA CROISSANCE EN HAUTEUR DU PIN GRIS (*PINUS BANKSIANA* LAMB.) ET LES VARIABLES GÉOMORPHOLOGIQUES

Introduction	11
Méthodologie	14
Indice de la qualité de la station	14
Variables géomorphologiques	15
Analyses en laboratoire	16
Analyses des données	16
Résultats	21
Discussion	29
Bibliographie	33

CHAPITRE 2
PRÉDICTION DE LA CROISSANCE EN HAUTEUR DU PIN GRIS
(*PINUS BANKSIANA* LAMB.) SELON DEUX APPROCHES:
LA RELATION SOL-STATION ET LES PLANTES INDICATRICES

Introduction	38
Méthodologie	41
Indice de la qualité de la station	41
Variables géomorphologiques	42
Variables édaphiques	43
Description de la végétation	44
Relations entre les IQS, les variables abiotiques et la végétation	45
Résultats	46
Discussion	58
Bibliographie	65

CHAPITRE 3
COURBE DE CROISSANCE EN HAUTEUR DU PIN GRIS
(*PINUS BANKSIANA* LAMB.)

Introduction	71
Méthodologie	74
Indice de la qualité de la station	74
Correction des courbes de croissance	75
Caractérisation des stations	76

	Page
Résultats	77
Variabilité des IQS	77
Comparaison avec d'autres courbes déjà publiées	77
Discussion	81
Bibliographie	84
CONCLUSION GÉNÉRALE	88
BIBLIOGRAPHIE GÉNÉRALE	90
APPENDICES	
Appendice A: Matrice des variables géomorphologiques.	94
Appendice B: Étapes de la prédiction de l'IQS moyen à partir des variables géomorphologiques selon l'analyse des coefficients de direction.	97
Appendice C: Étapes de la prédiction de l'IQS maximal à partir des variables géomorphologiques selon l'analyse des coefficients de direction.	100
Appendice D: Matrice des variables édaphiques.	103
Appendice E: Matrice des fréquences d'apparition de la végétation de sous-bois.	107
Appendice F: Matrice des coordonnées des stations sur les deux premiers axes et les valeurs d'importance des essences arborescentes.	118
Appendice G: Corrélations entre les IQS, les variables édaphiques et de végétation.	121
Appendice H: Matrice des hauteurs non corrigées.	123
Appendice I: Matrice des hauteurs moyennes brutes.	129
Appendice J: Matrice des hauteurs corrigées.	133
Appendice K: Matrice des hauteurs moyennes corrigées.	139

Appendice L: Variables géomorphologiques.	145
Appendice M: Variables édaphiques.	147
Appendice N: Végétation de sous-bois.	149
Appendice O: Variables biotiques.	152

LISTE DES TABLEAUX

	Page
Tableau I: Description sommaire des quatre transects échantillonnés.	8
Tableau II: Variations des indices de la qualité de la station pour les quatre transects échantillonnés.	22
Tableau III: Amplitude des indices de la qualité de la station et des variables géomorphologiques.	23
Tableau IV: Corrélations calculées entre les indices de la qualité de la station et les variables écologiques du milieu.	26
Tableau V: Modèle final de prédiction des IQS moyen et maximal à partir des variables géomorphologiques selon l'analyse des coefficients de direction.	28
Tableau VI: Amplitude des variables édaphiques.	47
Tableau VII: Coordonnées des espèces de sous-bois sur les deux premiers axes de l'ordination indirecte.	48
Tableau VIII: Analyse de régression multiple pas à pas exprimant l'IQS moyen du pin gris à partir des variables géomorphologiques, édaphiques et de végétation.	52
Tableau IX: Analyse de régression multiple pas à pas exprimant l'IQS maximal du pin gris à partir des variables géomorphologiques, édaphiques et de végétation.	54
Tableau X: Comparaison de l'étendue des IQS regroupés en cinq classes avec ceux de Plonski, regroupés en trois classes.	78

LISTE DES FIGURES

	Page
Figure 1: Localisation des quatre transects échantillonnés dans le canton d'Hébécourt en Abitibi, Québec.	6
Figure 2: Modèle de départ utilisé pour l'analyse des coefficients de direction.	19
Figure 3a: Toposéquence du transect 1.	24
Figure 3b: Toposéquence du transect 2.	24
Figure 3c: Toposéquence du transect 3.	25
Figure 3d: Toposéquence du transect 4.	25
Figure 4: Ordination (ACD) des stations à partir de la matrice de végétation de sous-bois.	51
Figure 5: Courbes de croissance du pin gris de l'Ontario et du Québec.	79

INTRODUCTION GÉNÉRALE

De tous les temps, la forêt a été associée à la progression de l'humanité. Au début, le milieu forestier permettait la chasse et la cueillette de fruits, fournissait le combustible, le matériau de construction de même que l'abri. Par la suite, l'agriculture et l'élevage ont en partie relayé la forêt. La production de la matière ligneuse se voit maintenant confrontée à des objectifs de conservation de la faune, de récréation, de protection intégrale de parcelles, de réserves écologiques, d'esthétique, etc. Ainsi, l'expansion toujours croissante de la population et de l'industrie, de pair avec la multiplication des autres besoins amènent maintenant l'aménagiste forestier à faire face au défi de produire des récoltes toujours plus élevées sur des superficies de plus en plus restreintes.

Les aménagistes ont besoin de plus en plus d'outils leur permettant d'estimer la croissance des peuplements forestiers et la qualité de la station correspondante. Cette croissance est fonction d'une multitude de facteurs comme le temps, l'essence végétale et les facteurs inhérents à la station tels, la topographie, le drainage, l'ensoleillement, la qualité du sol, etc.

Plusieurs méthodes dendrométriques existent pour déterminer la qualité d'une station. Les méthodes dites directes s'appliquent à des peuplements complets et équiennes dont l'espèce considérée est en nombre suffisant. La mesure des internoeuds (Alban

1972; Carmean 1975), la comparaison des indices de la qualité de la station d'espèces différentes (Carmean 1975; Carmean et Vasilevski 1971) et les courbes des indices de la qualité de la station (Carmean 1975; Curtis 1964; Gyer et Lynch 1987; Plonski 1956) représentent des exemples de méthodes directes. Bien qu'elle soit destructive et complexe dans sa réalisation, l'analyse de tiges est la méthode directe la plus souvent utilisée et la mieux connue en foresterie. Cette méthode permet de calculer un indice de la qualité de la station (IQS), qui se définit comme étant la hauteur de la portion dominante d'un peuplement forestier à un âge référentiel, souvent fixé à 50 ans. La hauteur est utilisée préférentiellement aux autres critères dendrométriques puisqu'elle représente le facteur le plus étroitement relié à la capacité de la station à produire de la matière ligneuse et aussi parce qu'elle est très peu dépendante de la densité des peuplements et des interventions sylvicoles (Carmean 1975; Spurr et Barnes 1980). L'utilisation d'autres critères dendrométriques: volume, diamètre et surface terrière, exigent de très longues périodes d'observation et n'est possible qu'avec des parcelles permanentes.

Toutefois, lorsqu'il y a absence de placettes-échantillons permanentes, de courbes d'indices de la qualité de la station ou lorsque les analyses de tiges sont difficilement réalisables, les méthodes indirectes sont à privilégier. Ces méthodes s'appliquent également lorsque les peuplements sont inéquiennes, incomplets ou ne comptent pas assez de tiges de l'espèce désirée. Dans de tels cas, des critères édaphiques,

topographiques, climatiques et biotiques peuvent être utilisés pour estimer indirectement et assez rapidement la qualité de la station. Les méthodes de mensuration, la classification physiographique de la station, les types synécologiques, les inventaires pédologiques, les plantes indicatrices et l'évaluation de la relation sol-station sont des exemples de méthodes dites indirectes (Beck 1971; Bégin *et al.* 1990; Burger 1972; Corns et Pluth 1984; Pawluk et Arneman 1961; Pluth et Corns 1983; Schmidt 1986; Schmidt et Carmean 1988).

L'évaluation de la qualité de la station des pins gris se prête tout autant aux méthodes directes qu'indirectes. Le pin gris (*Pinus banksiana* Lamb.) représente la troisième espèce arborescente la plus utilisée pour le reboisement des terres publiques et privées du Québec, après l'épinette noire (*Picea mariana* [Mill.] BSP) et l'épinette blanche (*Picea glauca* [Moench] Voss) (Parent 1988). Le pin gris, principalement exploité par l'industrie du sciage et occasionnellement par celle des pâtes et papier, possède plusieurs avantages pour la production de bois (croissance rapide, tolérance à diverses situations écologiques, etc.) et pour le renouvellement de la forêt boréale canadienne. Il est donc important de pouvoir mesurer adéquatement sa croissance potentielle selon les différentes qualités stationnelles.

Le pin gris croît généralement après un feu en formant des peuplements équiennes et purs, mais il se rencontre aussi en mélange avec le bouleau à papier (*Betula papyrifera* Marsh.), le peuplier faux-

tremble (*Populus tremuloides* Michx.) et l'épinette noire. Son système racinaire développé lui permet d'exploiter un grand volume de sol afin de s'y procurer eau et éléments nutritifs nécessaires à sa croissance. Ce pin peut occuper des stations sèches et pauvres plus efficacement que d'autres espèces d'arbres. Il atteint son développement maximal dans des sables fins, loameux ou dans des loams sableux bien drainés (Cauboue et Malenfant 1988; Fowells 1965; Lafond 1966).

Le premier chapitre de la présente étude explore les critères influençant la croissance en hauteur du pin gris. Pour ce faire, l'effet de la position topographique, responsable de l'approvisionnement en eau et en éléments nutritifs, sur la croissance en hauteur du pin gris sera évalué. Une attention particulière a été apportée à l'évaluation de l'effet du drainage oblique sur l'apport en éléments nutritifs et sur la croissance en hauteur du pin gris. Le deuxième chapitre juge l'utilisation de deux approches indirectes. Les relations entre la croissance en hauteur du pin gris le long d'un gradient topographique et les indicateurs abiotiques (topographie et pédologie) et biotiques (végétation) seront étudiées. De plus, l'efficacité de prédiction de l'indice de la qualité de la station sera considérée en fonction de l'énergie nécessaire pour mesurer les différentes variables. Enfin, le troisième chapitre regarde l'utilisation au Québec des courbes de croissance de pins gris provenant de l'Ontario. La croissance des pins gris situés dans ces deux provinces sera comparée.

DESCRIPTION DU TERRITOIRE ÉTUDIÉ

Climat et végétation

Les quatre transects, échantillonnés aux étés 1988 et 1989, sont situés dans le canton d'Hébécourt en Abitibi, Québec (**figure 1**). La forêt étudiée est composée de peuplements de pins gris équiennes. Le climat régional, enregistré à la station météorologique de La Sarre, se caractérise par une température moyenne annuelle de 0,6°C et une pluviométrie annuelle totale entre 822 et 827 mm répartie surtout durant la saison de croissance (Wilson 1973). Avec 77,6 % des précipitations annuelles sous forme de pluie, l'été abitibien est humide. La période annuelle moyenne sans gel ne dépasse pas 64 jours consécutifs (Anonyme 1982).

Cette région située dans la ceinture d'argile ("clay belt") (Vincent et Hardy 1977) se retrouve à l'extrémité sud de la forêt boréale (Rowe 1972), à l'intérieur du domaine climacique de la sapinière à bouleau blanc (Grandtner 1966; Richard 1978; Thibault 1985). Le secteur étudié a été ravagé par un feu de forte intensité en 1923 sur une superficie de 3 282 ha (Dansereau 1990).

Géomorphologie et pédologie

Le substrat rocheux se compose de roches volcaniques de type keewatin, principalement des andésites avec quelques roches intrusives,

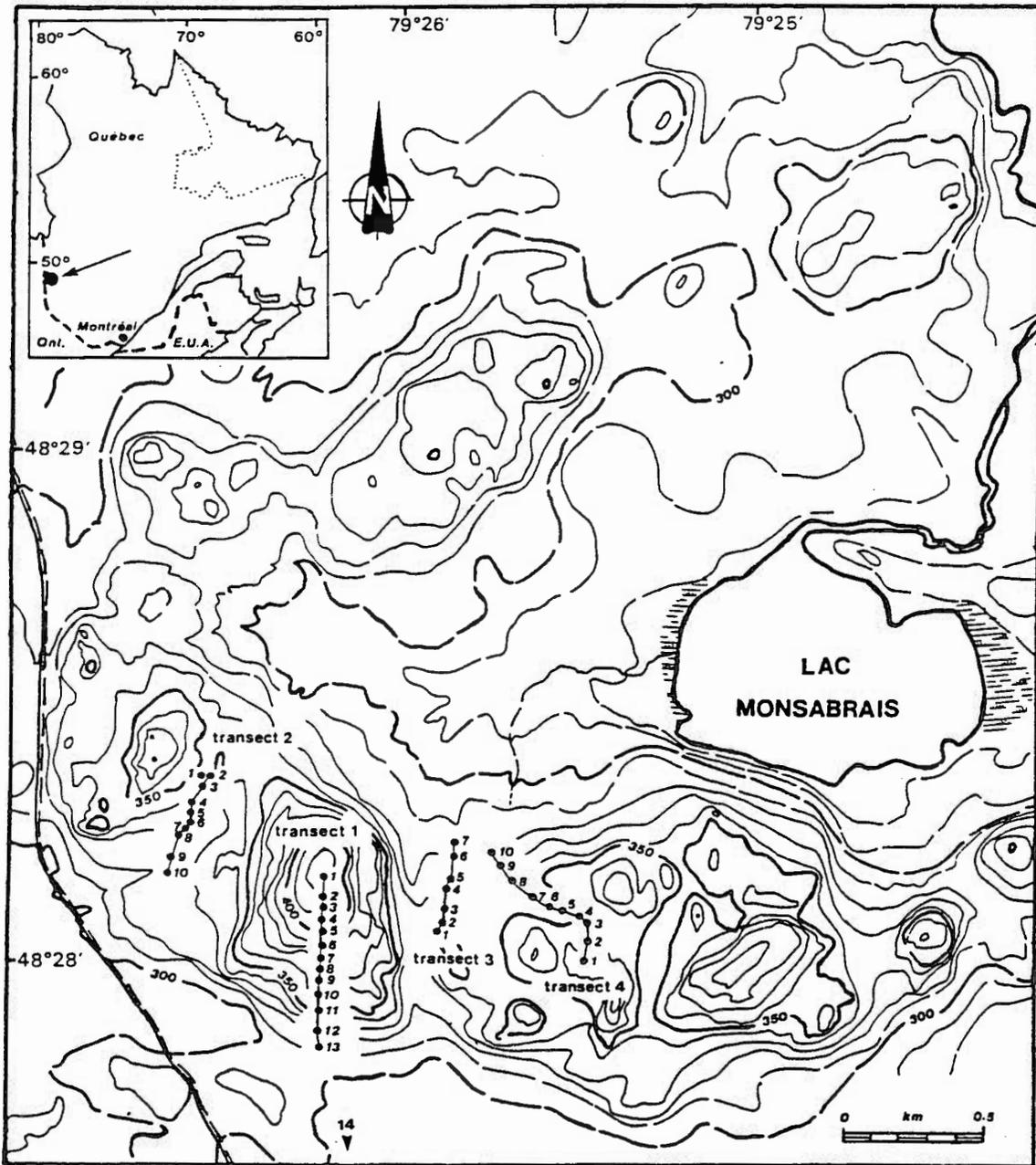


FIGURE 1: Localisation des quatre transects échantillonnés dans le canton d'Hébecourt en Abitibi, Québec.

surtout des granites (Bergeron *et al.* 1983). Les dépôts quaternaires masquent le socle. Les tills et les sédiments fluvio-glaciaires ont été mis en place par les glaciers. Par la suite, ils ont été plus ou moins remaniés par les eaux du lac Ojibway sur les pentes et ont été remplacé en dépôts argileux ou sableux dans la plaine (Tremblay 1974). Quelques sommets seulement sont recouverts du till originel où ils devaient former les îles du lac Ojibway au moment de la déglaciation (Bergeron *et al.* 1982; Bergeron *et al.* 1985; Richard 1980). Les plus hauts sommets se situent à plus de 400 mètres d'altitude (Bergeron *et al.* 1985).

Les sols de l'Abitibi sont représentés par des podzols humo-ferriques et ferro-humiques, des luvisols gris, des gleysols et des sols organiques (Clayton *et al.* 1977; Rowe 1972). Les podzols humo-ferriques et ferro-humiques, principalement échantillonnés dans la présente étude, se retrouvent sur des dépôts morainiques, des plages et des sédiments fluvio-glaciaires (Bergeron *et al.* 1982).

Sélection des transects et des stations

Le **tableau I** résume sommairement les caractéristiques des quatre transects échantillonnés et établis selon les critères d'homogénéité topographiques et biotiques suivants: nombre suffisant de pins gris; pente douce permettant un libre écoulement hydrique du haut vers le bas de la pente; longueur de pente arrière totale d'environ 400 m; dépôts de surface homogènes (loam, loam-sableux, sable-loameux) et profondeur

TABLEAU I: Description sommaire des quatre transects échantillonnés.

Transect	Altitude (m)	Longueur (m)	Stations (nombre)
Transect 1	393 à 417	220	14
Transect 2	325 à 345	367	10
Transect 3	315 à 350	362	7
Transect 4	320 à 365	578	10

du dépôt de surface d'au moins 50 cm. Les mesures relatives à la topographie furent imposées pour le choix de l'emplacement des transects de façon à observer l'effet potentiel de l'enrichissement de l'eau le long de la pente sur la croissance du pin gris (Ducruc et Gerardin 1988; Gerardin et Ducruc 1987). La restriction d'échantillonner des dépôts de surface homogènes d'une certaine épaisseur avait pour but de faciliter l'interprétation de la croissance en hauteur du pin gris en fonction de la topographie, en limitant l'effet des caractéristiques du dépôt sur la croissance.

Les stations furent par la suite établies sur les transects, à l'intérieur de peuplements de pins gris complets, équiennes et selon l'homogénéité du site, c'est-à-dire selon l'inclinaison de la pente, le type de dépôt de surface, la profondeur du dépôt de surface et la végétation caractéristiques du site. En tout, 41 stations furent échantillonnées. Un losange de 400 m² (20 m X 20 m) dont l'une des diagonales (28,28 m) suivait le sens de l'écoulement de l'eau sur la pente (du haut vers le bas) délimitait chaque station.

Parmi ces 41 stations échantillonnées, 32 furent utilisées dans les analyses statistiques des deux premiers chapitres. L'exclusion des neuf stations (6 à 14) dans ces deux chapitres s'explique par une cassure de relief observée à partir de la station 5 sur le transect 1.

CHAPITRE 1

RELATIONS ENTRE LA CROISSANCE EN HAUTEUR DU PIN GRIS
(*PINUS BANKSIANA* LAMB.) ET LES VARIABLES
GÉOMORPHOLOGIQUES

INTRODUCTION

Le pin gris (*Pinus banksiana* Lamb.) est l'une des espèces forestières les plus répandues et les plus importantes en Amérique du Nord. Mis à part le mélèze, il représente le conifère dont la croissance est la plus rapide durant les 20 premières années (Fowells 1965). Il possède plusieurs avantages pour la production de bois et pour le renouvellement de la forêt boréale au Canada (Yeatman 1984).

Cette essence pionnière croît généralement après un incendie de forêt et forme des peuplements purs et équiennes. Elle colonise une large gamme de dépôts de surface allant des dépôts de tills aux dépôts argileux d'origine glacio-lacustre et parfois même aux dépôts organiques (Cauboue et Malenfant 1988). Le pin gris peut se maintenir sur des sols très sablonneux et secs ainsi que sur des sols graveleux où d'autres espèces ne survivent pas. Il pousse mal dans des sols dont la surface est alcaline, mais se maintient bien dans des sols calcaires, où il est associé aux mycorhizes (Fowells 1965).

Le développement du pin gris est optimal dans des sables fins, des sables loameux et dans des loams sableux bien drainés (Cauboue et Malenfant 1988; Fowells 1965; Lafond 1966), avec une nappe phréatique entre un et deux mètres sous la surface du sol, un pH plutôt acide (entre 4,5 et 6,5) et une inclinaison de pente généralement inférieure à dix pour

cent (Cauboue et Malenfant 1988; Fowells 1965; Rudolph et Yeatman 1982; Wiltshire 1982).

La situation topographique affecte la profondeur du sol, le développement du profil du sol, sa texture et sa structure, tant en surface qu'en profondeur. Les facteurs abiotiques et édaphiques combinés aux facteurs biotiques et climatiques constituent la qualité d'une station et influencent la composition, le développement et la productivité des peuplements forestiers (Carmean 1982; Spurr et Barnes 1980). Un paramètre permettant d'évaluer directement la productivité forestière est l'indice de la qualité de la station ("site index"), qui représente la hauteur moyenne d'arbres dominants ou codominants à un âge référentiel, fixé souvent à 50 ans.

Plusieurs études ont mis en évidence des liens étroits entre l'indice de la qualité de la station et les variables de l'environnement pour le pin gris (Pawluk et Arneman 1961; Schmidt 1986; Schmidt et Carmean 1988; Shetron 1972). Dans la région de la ceinture d'argile ontarienne, une étude portant sur quatre grands types de dépôts glaciaires (tills minces et épais, sables fluvio-glaciaires et sols lacustres) a montré que malgré une importante variabilité des indices de la qualité stationnelle à l'intérieur de chaque type de dépôt, une corrélation significative entre l'indice de la qualité de la station et certaines propriétés topographiques et pédologiques existe (Schmidt 1986; Schmidt et Carmean 1988).

Cependant, l'influence des différentes variables contrôlant la croissance en hauteur du pin gris le long d'un gradient topographique est peu connue. L'objectif de cette étude était d'évaluer l'effet de la position topographique sur la croissance en hauteur du pin gris. Une attention particulière a été portée à l'évaluation de l'effet du drainage oblique, correspondant à l'écoulement d'une partie de l'eau du sol le long de la pente (Ducruc et Gerardin 1988), sur l'apport en éléments nutritifs et sur la croissance en hauteur du pin gris.

MÉTHODOLOGIE

Indice de la qualité de la station

L'indice de la qualité de la station fut déterminé par la méthode de l'analyse de tiges (Carmean 1975; Jones 1969; Schmidt et Carmean 1988; Spurr et Barnes 1980; Zarnovican 1985). Cet indice représente la hauteur moyenne d'arbres dominants ou codominants dans un peuplement à un âge référentiel. Cet âge correspond le plus près possible au temps de révolution potentielle de l'espèce étudiée. Pour le pin gris, l'âge référentiel est habituellement assigné à 50 ans.

Un inventaire des diamètres à hauteur de poitrine (dhp) des pins gris présents dans chacune des 32 stations fut effectué. Les trois arbres dont le dhp était le plus près du 95 pour cent sur la courbe cumulative du nombre de pins dans la station furent choisis pour l'analyse de tiges. Ces arbres étaient dominants ou codominants, bien formés et sans blessure. Les pins ainsi choisis furent sectionnés à la base (10 cm), à 0,75 m, à 1,3 m et à tous les mètres subséquents jusqu'à un diamètre avec écorce d'au moins deux centimètres.

L'âge de chaque disque récolté fut déterminé par le dénombrement des cernes. Le logiciel de l'analyse de tiges utilisé calculait la hauteur à chaque année quinquennale, obtenue par interpolation linéaire (Zarnovican, Ouellet et Gendron 1988). Cette interpolation de la croissance en hauteur fut par la suite utilisée pour déterminer l'indice de

la qualité de la station (IQS). L'IQS ainsi calculé représente l'âge à la souche et non l'âge à hauteur de poitrine (Carmean 1975). Les deux indices de la qualité de la station retenus sont: l'indice de la qualité de la station moyen, c'est-à-dire la hauteur moyenne à 50 ans des trois pins et l'indice de la qualité de la station maximal, c'est-à-dire la hauteur maximale atteinte à 50 ans par l'un des trois pins dans la station.

Variables géomorphologiques

Afin de caractériser spatialement les 32 stations échantillonnées, des informations concernant la topographie furent recueillies soient: l'inclinaison moyenne de la pente (%), la longueur de la pente arrière (m), l'altitude moyenne (m), l'orientation de la station (°), la forme de la pente (concave, convexe ou régulière) et la situation sur la pente (haut de pente, mi-pente, replat ou bas de pente).

Un pèdon fut creusé près des trois pins abattus jusqu'à une profondeur d'un mètre ou jusqu'à la roche mère. La description du profil des sols fut effectuée selon les méthodes employées par Robert et Saucier (1987) et Walmsley *et al.* (1980). Le drainage, la classe granulométrique, la profondeur de la roche mère, de la nappe phréatique et du solum (profondeur inférieure de l'horizon B, excluant les horizons BC et C) furent notés pour chaque pèdon, ainsi que la profondeur et l'abondance des mouchetures et de la pierrosité. Ces variables constituent la matrice des variables géomorphologiques (appendice A).

Analyses en laboratoire

L'analyse granulométrique de Bouyoucos (Bouyoucos 1962; McKeague 1978) fut utilisée pour déterminer les pourcentages de sable, de limon et d'argile contenus dans les horizons B des pédons, séchés à l'air. À partir des quatre échantillons d'horizons B supplémentaires récoltés, les bases (Ca^{++} , Mg^{++} , K^+ , Na^+ , en méq/100 g) furent dosées par spectrophotométrie d'absorption atomique au laboratoire de sol de l'Université Laval. La concentration en ions H^+ (en méq/100 g) fut dosée par titrage avec NH_4OH , jusqu'à pH 7,0 (Stuanes, Ognier et Opem 1984). Des moyennes furent par la suite calculées pour la station. Le taux de saturation en bases (TSB, en pourcentage) fut par la suite calculé, en utilisant la formule suivante:

$$\text{TSB} = (\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++} + \text{K}^+ + \text{Na}^+ / \text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++} + \text{K}^+ + \text{Na}^+ + \text{H}^+) \times 100$$

Le taux de saturation en bases fut ajouté aux variables géomorphologiques dans l'analyse statistique afin d'évaluer l'effet direct de la disponibilité des éléments nutritifs sur la croissance du pin gris.

Analyses des données

Les analyses statistiques furent effectuées concurremment avec les indices de la qualité de la station moyen et maximal. Dans un premier temps, les corrélations de rang de Spearman calculées entre les variables géomorphologiques et les IQS moyen et maximal ont permis une

transformation des données permettant de linéariser les relations (Legendre et Legendre 1984; SAS 1985 *a*; Scherrer 1984).

Par la suite, la structure des corrélations entre les variables géomorphologiques et l'indice de la qualité de la station fut analysée à l'aide d'une analyse des coefficients de direction ("path analysis") (Wright 1960). Cette analyse est un modèle de prévision où l'estimation des coefficients de direction se ramène à un problème de régression linéaire entre les variables indépendantes et les IQS inclus dans le modèle théorique. Elle permet de mesurer l'effet direct des variables explicatives dans un contexte de colinéarité; une situation souvent observée dans les études sur le terrain, mais où il n'est généralement pas possible d'expérimenter les effets des variables. Le coefficient de régression partiel standardisé, nommé coefficient de direction et symbolisé par la lettre "P", mesure l'intensité de la relation entre la cause ou la variable indépendante "X" et l'effet ou la variable dépendante "Y" (Sokal et Rohlf 1981; Wright 1960).

Les relations peuvent être sous-divisées en effets direct et indirect (Legendre et Legendre 1984; Troussellier *et al.* 1986). La corrélation entre deux variables (X et Y) est la somme de la contribution directe de X à Y et aussi de la cause commune entre X et toute autre variable qui possède un effet direct sur Y. Ces diverses contributions peuvent augmenter ou diminuer la corrélation entre les deux variables.

Enfin, pour employer l'analyse des coefficients de direction, l'utilisateur doit pouvoir établir (1) la connaissance de l'ordre d'incidence parmi les variables et (2) une causalité fermée entre les relations des descripteurs inclus dans le modèle testé (De Leeuw 1987; Kim et Kohout 1975; Legendre et Legendre 1984; Sokal et Rohlf 1981; Turner et Stevens 1959; Wright 1960).

Les variables retenues au départ pour construire le modèle de l'analyse des coefficients de direction furent: l'inclinaison moyenne de la pente, la longueur moyenne de la pente arrière, le taux de saturation en bases moyen (TSB) pour l'horizon B, le drainage de la station, l'épaisseur moyenne du solum et le pourcentage moyen en limon dans l'horizon B. Étant donné la faible abondance des argiles et la fluctuation plus importante du pourcentage de limon de concert avec sa corrélation élevée avec l'IQS, le pourcentage de limon fut retenu comme étant la meilleure appréciation de la texture. Le modèle testé permettait d'identifier les effets de l'eau (via le drainage), des éléments nutritifs (via le TSB), de la texture (via le limon), de la longueur de la pente arrière, de l'inclinaison de la pente et de l'épaisseur du solum sur la croissance en hauteur du pin gris (**figure 2**). La variable altitude fut soustraite du modèle, compte tenu du faible gradient altitudinal échantillonné. La profondeur de la roche mère fut éliminée du modèle puisqu'elle ne fut atteinte que cinq fois sur 32.

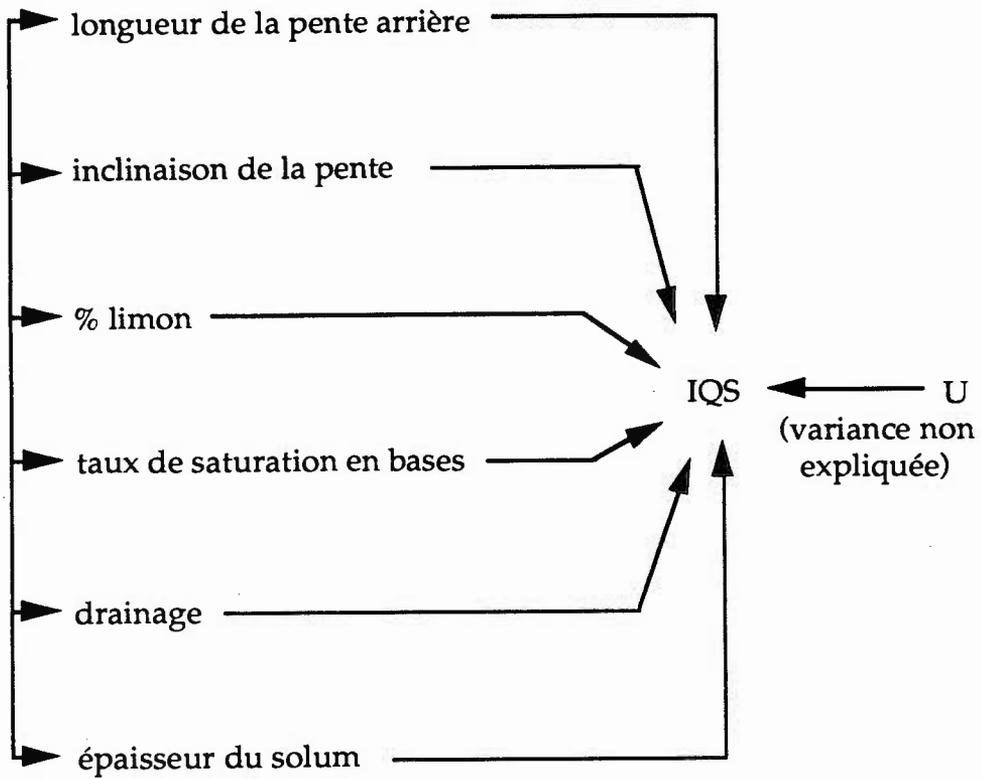


FIGURE 2: Modèle de départ utilisé pour l'analyse des coefficients de direction.

Afin de déterminer le modèle prédisant adéquatement et parcimonieusement les IQS, une analyse de régression multiple par élimination successive ou par sélection régressive fut utilisée, au seuil de $p \leq 0,05$ (Legendre et Legendre 1984; SAS 1985 b).

Le modèle saturé testé avec l'analyse des coefficients de direction (**figure 2**), incluant les six variables pouvant prédire les IQS moyen et maximal, est présenté dans la première colonne des **appendices B et C**, au **bloc A**. Ces modèles incluent toutefois des variables dont le pouvoir explicatif est non significatif ($p > 0,05$). Des modèles comportant tour à tour $n-1$ variables furent donc élaborés (colonnes subséquentes et **bloc B**), afin de déterminer l'effet direct simple des variables incluses dans chacun des modèles (**bloc C**, calculé en soustrayant B de A). La sélection régressive des variables fut effectuée à partir des résultats obtenus du **bloc C**. La variable comportant la plus faible valeur au **bloc C**, fut éliminée du modèle (colonnes subséquentes), tant que le seuil de signification fut supérieur ou égal à 0,05. Les R^2 des modèles combinant les variables deux à deux furent calculés au **bloc D**. À partir de ces informations, il fut possible de calculer le total des effets directs (**bloc E**, somme des effets directs simples) et indirects (**bloc F**, soustraction du total des effets directs du modèle saturé) des variables dans le modèle. Finalement, les effets indirects doubles (**bloc G**, sommation des corrélations mises au carré des deux variables, moins le R^2 du modèle ne comportant que ces deux critères) et la somme des effets, directs simples et indirects doubles, (**bloc H**) de chacune des variables furent par la suite calculés.

RÉSULTATS

Les IQS calculés varient beaucoup à l'intérieur d'un même transect et entre les transects: les extrêmes allant de 14,0 mètres à 21,7 mètres (**tableau II**) et ce, malgré la faible amplitude des variables géomorphologiques (**tableau III**).

Deux ensembles se dégagent des figures schématisant la toposéquence des transects (**figure 3**). Le premier est associé aux hauts de pentes. À ces situations topographiques sont associées des pentes de forte inclinaison, des dépôts minces, une roche mère et une pierrosité près de la surface, des pourcentages en limon plus élevés et de faibles croissances en hauteur du pin gris. Tandis qu'aux positions de bas ou de mi-pentes sont associées des pentes faibles ou nulles, des dépôts épais, des profondeurs de roche mère et de pierrosité plus élevées, des pourcentages en sable plus élevés et de bonnes croissances en hauteur du pin gris. Entre ces deux extrêmes, on remarque une augmentation de la croissance en hauteur à mesure que l'on passe du haut vers le bas des pentes.

Les variables corrélées le plus significativement avec les IQS moyen et maximal sont, respectivement (**tableau IV**): la longueur de la pente arrière ($r_s=0,55$ et $0,61$), le taux de saturation en bases ($r_s=0,48$ et $0,55$), l'inclinaison de la pente ($r_s=0,47$ et $0,43$), le % en limon ($r_s=-0,54$ et $-0,38$),

TABLEAU II: Variations des indices de la qualité de la station pour les quatre transects échantillonnés (N=94).

	N	Étendue (min.-max.) (m)	Écart-type (m)	Moyenne (m)
Transect 1	15	14,0-18,0	1,0	15,7
Transect 2	28	15,3-19,1	0,9	17,5
Transect 3	21	16,6-21,7	1,6	18,5
Transect 4	30	14,5-19,8	1,4	17,9
Total	94	14,0-21,7	1,5	17,6

TABLEAU III: Amplitude des indices de la qualité de la station et des variables géomorphologiques (N=32).

	Moyenne	Écart-type	Médiane	Min.	Max.
IQS moyent†	17,6	1,4	17,5	14,2	20,6
IQS max.	18,3	1,4	18,3	15,5	21,7
pentp	7,0	4,3	6,5	2,0	23,0
lpent	192,8	159,0	167,5	1,0	610,0
% limon	11,4	7,3	11,4	1,7	34,0
tsb	36,7	24,5	24,9	11,0	90,6
drain	3,2	1,0	3,0	2,0	5,0
solum	60,1	23,6	58,5	15,0	109,0
alt.	348,0	26,0	341,6	322,0	416,0
orient.	186,5	109,6	187,5	7,0	358,0
prof. roc.	93,3	17,1	100,0	33,0	100,0
prof. nap.	82,2	23,1	95,5	37,0	100,0
% sable	84,2	10,0	85,0	57,1	96,6
% argile	4,5	4,2	3,4	1,0	21,7
prof. mou.	88,4	35,1	98,0	17,0	125,0
% mou.	12,8	18,8	11,0	0,0	60,0
prof. pier.	79,7	24,6	83,0	25,0	124,0
% pier.	37,0	26,7	60,0	1,0	60,0

† Voir la liste des abréviations (appendice L).

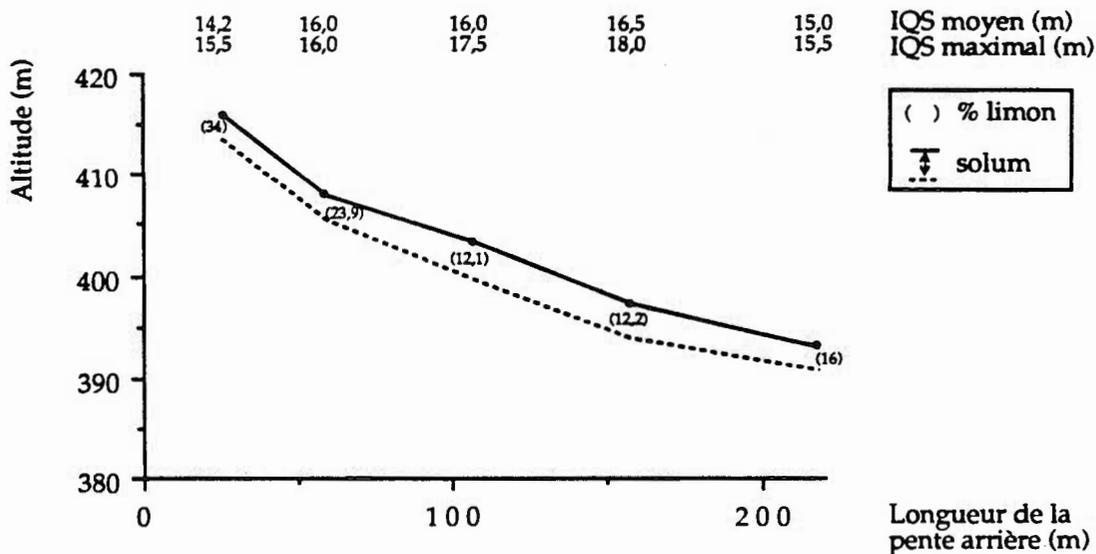


Figure 3a: Toposéquence du transect 1.

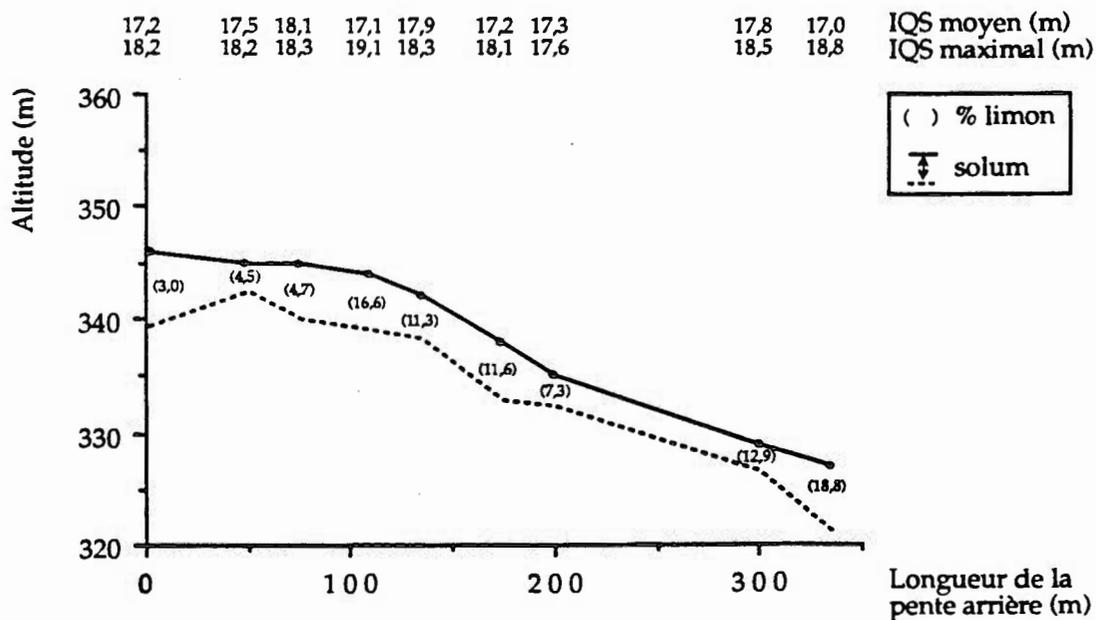


Figure 3b: Toposéquence du transect 2.

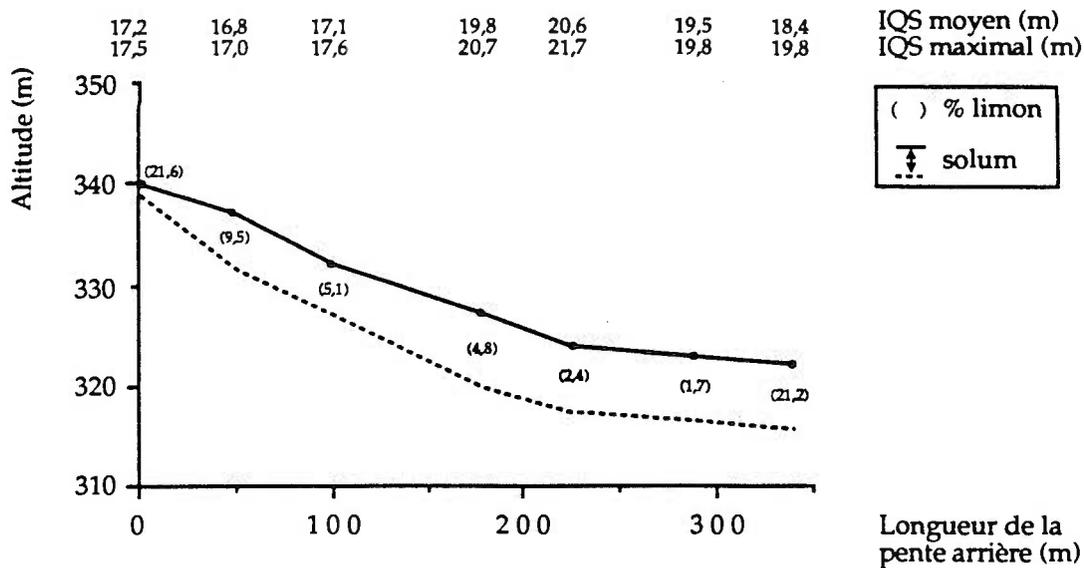


Figure 3c: Toposéquence du transect 3.

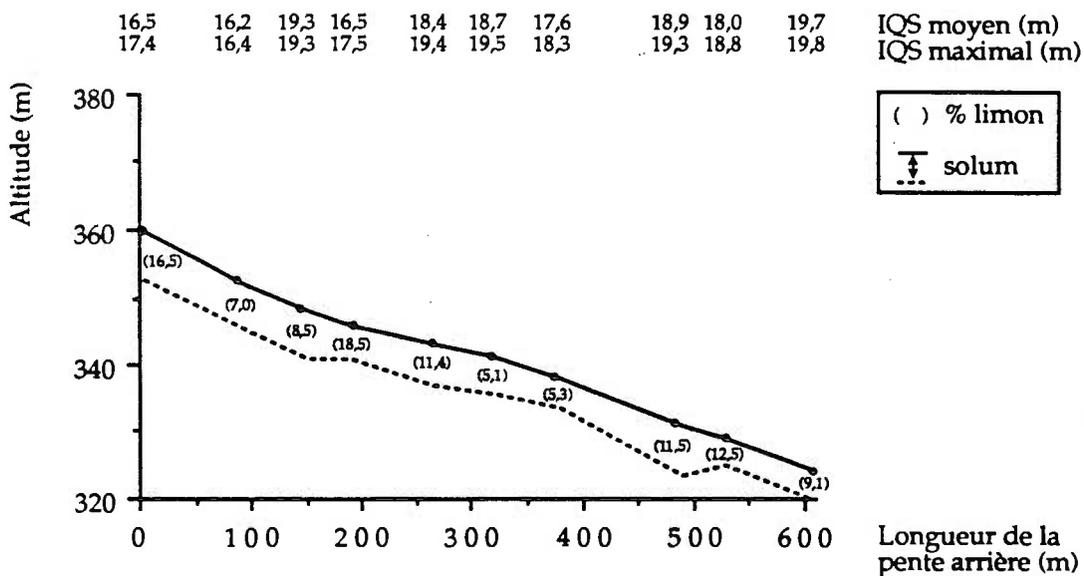


Figure 3d: Toposéquence du transect 4.

TABLEAU IV: Corrélations calculées entre les indices de la qualité de la station et les variables géomorphologiques (N=32).

	IQS moyen	IQS max.	pentp	lpent	% limon	tsb	drain	solum	alt.	orient.	prof. roc.	prof. nap.	% sable	% argile	prof. mou.	% mou.	prof. pier.	% pier.
IQS moyen	1,00																	
IQS max.	0,92***	1,00																
pentp	-0,47**	-0,43**	1,00															
lpent	0,49**	0,61***	-0,09	1,00														
% limon	-0,54***	-0,38*	0,46**	0,03	1,00													
tsb	0,47**	0,55***	-0,30	0,71***	0,02	1,00												
drain	0,29	0,38*	0,11	0,86***	0,11	0,48**	1,00											
solum	0,40*	0,48**	-0,30	-0,05	-0,45**	0,04	-0,21	1,00										
alt.	-0,68***	-0,70***	0,38*	0,63***	0,25	0,56***	-0,29	-0,34	1,00									
orient.	-0,35*	-0,29	0,42*	0,15	0,26	-0,01	0,26	-0,42*	0,21	1,00								
prof. roc.	0,35*	0,41*	-0,27	0,35*	-0,55***	0,22	0,36*	0,48**	-0,27	-0,03	1,00							
prof. nap.	-0,06	-0,06	-0,06	-0,36*	0,09	-0,32	-0,52**	0,30	-0,06	-0,18	-0,31	1,00						
% sable	0,44**	0,29	-0,40*	-0,07	-0,95***	-0,05	-0,13	0,34	-0,15	-0,16	0,49**	-0,11	1,00					
% argile	-0,01	0,02	0,24	0,27	0,44**	0,22	0,31	-0,03	-0,16	0,02	-0,12	-0,10	-0,61***	1,00				
prof. mou.	0,23	0,21	-0,22	-0,13	-0,30	-0,14	-0,19	0,43**	-0,23	-0,05	0,25	0,38*	0,27	-0,28	1,00			
% mou.	-0,07	0,00	0,16	0,21	0,31	0,09	0,26	-0,07	0,01	0,00	-0,15	-0,05	-0,36*	0,47**	-0,67***	1,00		
prof. pier.	0,32	0,32	-0,25	-0,19	-0,45**	-0,16	-0,28	0,79***	-0,12	-0,48**	0,47**	0,48**	0,36*	-0,17	0,47**	-0,08	1,00	
% pier.	0,12	0,13	-0,18	-0,12	-0,15	0,00	-0,08	0,41*	-0,07	-0,18	0,36*	-0,02	0,05	0,09	0,40*	0,40*	0,27	1,00

† Voir la liste des abréviations (appendice I).

Nota: ***, ** et *, significatif au seuil de $p \leq 0,001$; 0,01 et 0,05, respectivement.

la profondeur du solum ($r_s=0,40$ et $0,48$), le drainage ($r_s=0,38$ et $0,29$) et la profondeur de la roche mère ($r_s=0,36$ et $0,41$).

Les coefficients de détermination (R^2) obtenus avec les modèles ne comportant que les variables dont l'effet est significatif au seuil de $p \leq 0,05$ sont respectivement de $54,8 \%$ et de $68,7 \%$ pour l'IQS moyen et maximal (**tableau V, bloc A**). Le pourcentage en limon de l'horizon B et la longueur de la pente arrière expriment adéquatement l'IQS moyen; le pourcentage en limon possédant un effet direct supérieur à celui de la longueur de la pente arrière (**blocs B et C**). Quant à l'IQS maximal, celui-ci est influencé de façon décroissante par la longueur de la pente arrière, l'inclinaison de la pente et l'épaisseur moyenne du solum (**blocs B et C**). Le drainage et le taux de saturation en bases ne réussissent pas à influencer les IQS; leur pouvoir prédictif sur la croissance en hauteur du pin gris serait donc négligeable.

TABLEAU V: Modèle final de prédiction des IQS moyen et maximal à partir des variables géomorphologiques selon l'analyse des coefficients de direction (N=32).

Étapes	R ² de l'IQS moyen modèle à 2 variables	R ² de l'IQS maximal modèle à 3 variables
A) Modèle saturé	0,548	0,687
B) Modèle à (n-1) variables		
sans lpent†	0,292	0,320
sans limon	0,240	
sans tsb		0,514
sans solum		0,634
sans pentp		
sans drain		
C) Effets directs simples		
lpent	0,240	0,368
limon	0,292	
tsb		
solum		0,054
pentp		0,174
drain		

† Voir la liste des abréviations (appendice L) et les appendices B et C pour toutes les étapes menant au modèle final.

DISCUSSION

Malgré la faible variabilité que présentent les variables environnementales échantillonnées, d'importants écarts de croissance en hauteur ont été observés. Les IQS calculés et observés sur les quatre transects varient entre un minimum de 14,0 mètres et un maximum de 21,7 mètres. Des résultats similaires ont été obtenus par Schmidt (1986) et Schmidt et Carmean (1988), où les IQS de pins gris situés sur des tills épais variaient entre 13,6 et 22,4 mètres.

Le contexte géomorphologique de l'Abitibi est important pour interpréter l'augmentation de la croissance en hauteur du pin gris du haut vers le bas de la pente. Cette croissance dans la hauteur s'explique par un gradient complexe lié à la situation topographique; elle-même rattachée au type de dépôt de surface ainsi qu'à l'association drainage-longueur de la pente arrière. Cette relation entre la croissance en hauteur et la situation topographique devient compliquée étant donné que les facteurs environnementaux, qui influencent la croissance des arbres, varient également selon la topographie (Worrell et Malcolm 1990).

Ainsi, au fur et à mesure de la récession glaciaire, les eaux littorales ont délavé les versants raides de leurs dépôts tout en formant des limites successives de plages (Bergeron *et al.* 1983). En plus hautes altitudes et sur les versants raides, la moraine de fond délavée, les pourcentages en limon plus élevés, les dépôts minces et les faibles profondeurs de la roche mère et de la pierrosité n'ont permis qu'une faible croissance en hauteur

du pin gris sur ces sites. À l'opposé, sur les pentes plus faibles et en basses altitudes, on retrouve des dépôts de plage mieux triés et plus profonds au pied des versants, et une croissance en hauteur plus élevée.

Dans notre étude, le pin gris semble donc préférer les dépôts épais. Selon Coile (1952) et Pritchett (1979), la croissance des arbres serait influencée par l'épaisseur du dépôt, qui contrôle le volume de sol disponible à l'enracinement des arbres. Un sol peu profond empêche le développement optimal des racines (Coile 1952; Ralston 1964). Pawluk et Arneman (1961) ont également remarqué une corrélation positive entre la profondeur du sol et l'IQS du pin gris, dans l'État du Minnesota. De même, Schmidt (1986) et Schmidt et Carmean (1988) en Ontario, ont observé une corrélation significative et positive entre différentes variables exprimant l'épaisseur du sol et l'IQS du pin gris (profondeur de l'horizon A, de la roche mère et des horizons limitant la croissance des racines).

Les fortes inclinaisons de pentes associées aux dépôts minces, à la présence de la roche mère en surface et à un faible taux de saturation en bases (TSB) expliquent la corrélation négative calculée entre l'inclinaison de la pente et les IQS. Schmidt (1986) et Schmidt et Carmean (1988) obtiennent également une corrélation négative entre l'inclinaison de la pente et l'IQS de pins gris situés sur des dépôts fluvio-glaciaires ($r=-0,7010$ à $p=0,10$). Ces sites sont habituellement de forme convexe, généralement sujets à l'érosion, à l'altération et à la sécheresse à cause du drainage rapide (Carmean 1967; Coile 1952; Spurr et Barnes 1980).

L'effet direct de la longueur de la pente sur la croissance en hauteur du pin gris est différent des influences directes du type et de l'épaisseur du dépôt sur l'IQS. Le drainage et l'enrichissement possible des sols en éléments nutritifs sont associés à la longueur de la pente arrière. Ainsi, l'eau qui s'écoule le long de la pente, du haut vers le bas, s'enrichit en éléments nutritifs de nature organique et minérale. Cet enrichissement en éléments nutritifs tend à augmenter la croissance en hauteur des peuplements forestiers situés sur les milieux et les bas de pente (Ducruc et Gerardin 1988; Gerardin 1989). Cayford *et al.* (1967), observent également une meilleure croissance du pin gris de la mi-pente en allant vers le bas de la pente.

Bien que l'IQS moyen soit significativement corrélé avec le drainage, ce dernier ne montre pas d'effet direct sur la croissance du pin gris, dans notre étude. Le drainage variant peu et le faible échantillon représentatif de chaque classe pourrait expliquer ce résultat. Cependant, le fait que d'autres indicateurs plus objectifs du drainage comme les mouchetures et la nappe phréatique montrent aussi des corrélations non significatives avec l'IQS suggère plutôt le caractère non limitant de la disponibilité en eau pour la croissance du pin gris.

En considérant les deux corrélations significatives obtenues entre le taux de saturation en bases et les IQS, l'effet conjoint du type de dépôt de surface et de la longueur de la pente arrière sur la croissance en hauteur du pin gris semble signifier que celui-ci répondrait mieux aux éléments

nutritifs qu'au drainage. Par contre, malgré ces corrélations significatives, l'absence de relation directe entre le TSB et l'IQS paraît étonnante à la lumière des conclusions précédentes. Elle pourrait toutefois signifier que les variations observées ne peuvent être attribuables qu'à cette seule variable ou que le flux d'éléments nutritifs serait plus important que la concentration d'éléments nutritifs à l'équilibre. Une étude portant sur le flux en éléments nutritifs dans l'eau, du haut vers le bas d'un transect, est actuellement en cours afin d'évaluer cette hypothèse (Pierre Cartier en préparation).

BIBLIOGRAPHIE

BERGERON, Y., Bouchard, A., Gangloff, P. et Camiré, C. 1983. La classification écologique des milieux forestiers de la partie ouest des cantons d'Hébécourt et de Roquemaure, Abitibi, Québec. Études écologiques 9. Laboratoire d'écologie forestière. Université Laval. Québec. 169 pages.

BOUYOUCOS, G.V. 1962. Hydrometer method improved for making particle-size analysis of soils. *Agron. J.* 54: 464-465.

CARMEAN, W.H. 1967. Soil Survey refinements for predicting black oak site quality in southeastern Ohio. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 31: 805-810.

CARMEAN, W.H. 1975. Forest site quality evaluation in the United States. *Adv. Agron.* 27: 209-267.

CARMEAN, W.H. 1982. Soil-site evaluation for conifers in the Upper Great Lakes Region. Proc. artificial regeneration of conifers in the Upper Great Lakes Region. Mich. Tech. Univ. Houghton. Mich. pages 31-52.

CARTIER, P. 1992. Le drainage oblique et son influence sur la productivité du pin gris (*Pinus banksiana* Lamb.) en Abitibi, Québec. Mémoire présenté comme exigence partielle de la maîtrise en sciences de l'environnement. En préparation.

CAUBOUÉ, M. et Malenfant, D. 1988. Le reboisement au Québec. Exigences écologiques des épinettes (*Picea*), des pins (*Pinus*) et des mélèzes (*Larix*) plantés au Québec. CERFO. Publications du Québec. 90 pages.

CAYFORD, J.H., Chrosciewicz, Z. et Sims, H.P. 1967. A review of silvicultural research in jack pine. Service canadien des forêts. Publication no 1173.

COILE, T.S. 1952. Soil and the growth of forests. *Adv. Agron.* 4: 330-398.

DE LEEUW, J. 1987. Path analysis with optimal scaling. dans, *Developments in numerical ecology*. Legendre, P. et Legendre, L. (éds). NATO ASI Series. Series G: Ecological Sciences Vol. 14. Springer-Verlag. New York. 585 pages.

DUCRUC, J.P. et Gerardin, V. 1988. Essai sur la caractérisation et l'évaluation du drainage naturel des sols: cas de l'Abitibi-Temiscamingue. Planification écologique. Série de l'inventaire du Capital-Nature. no 9. MENVIQ. Direction du patrimoine écologique. Québec. 105 pages.

FOWELLS, H.A. 1965. Sylvics of forest tree species of the United States. USDA Handbook. no 271. pages 338-354.

GERARDIN, V. 1989. Introduction à l'écologie forestière. L'Aubelle. 73: 1-14.

JONES, J.R. 1969. Review and comparison of site evaluation methods. USDA For. Serv. Res. Paper. RM-51. pages 1-27.

KIM, J.O. et Kohout, F.J. 1975. Special topics in general linear models. dans, SPSS, Statistical package for the social sciences. 2^e édition. Nie, N.H., Hull, C.H., Jenkins, J.G., Steinbrenner, K. et Bent, D.H. (éds). McGraw, New York. 675 pages.

LAFOND, A. 1966. Notes sur l'écologie de quatre conifères du Québec. Naturaliste canadien. 93: 823-842.

LEGENDRE, L. et Legendre, P. 1984. Écologie numérique. Tome 2. La structure des données écologiques. 2^e édition. Collection d'Écologie No 13. Masson, Paris et les Presses de l'Université du Québec. 335 pages.

McKEAGUE, J.A. 1978. Manuel de méthodes d'échantillonnage et d'analyses des sols. 2^e édition. Soil Research Institute. Can. Soil Survey Committee. Préparé par le sous-comité des méthodes d'analyses. Ottawa. 250 pages.

PAWLUK, S. et Arneman, H.F. 1961. Some forest soil characteristics and their relationship to jack pine growth. Forest Science. 7: 160-173.

PRITCHETT, W.L. 1979. Properties and management of forest soils. John Wiley and Sons. New York. 500 pages.

RALSTON, C.W. 1964. Evaluation of forest site productivity. Int. Rev. For. Res. 1: 171-201.

ROBERT, D. et Saucier, J.P. 1987. Cadre écologique forestier I: Normes de prise de données et de vérification 1988. MER. Service de l'inventaire forestier. Gouvernement du Québec. Québec. 180 pages.

RUDOLPH, T.D. et Yeatman, C.W. 1982. Genetics of jack pine. USDA For. Serv. Res. Paper. no. 20-38. 64 pages.

SAS Institute Inc. 1985a. SAS User's guide: Basics. Version 5. North Carolina. 1290 pages.

SAS Institute Inc. 1985b. User's guide: Statistics. Version 5. North Carolina. 956 pages.

SCHERRER, B. 1984. Biostatistique. Gaëtan Morin éditeur. Chicoutimi. Québec. 850 pages.

SCHMIDT, M.G. 1986. Soil-site relations for jack pine in the Thunder Bay area. Thesis for Master of science in forestry. School of forestry. Lakehead University. 113 pages.

SCHMIDT, M.G. et Carmean, W.H. 1988. Jack pine site quality in relation to soil and topography in north central Ontario. Can. J. For. Res. 19: 179-184.

SHETRON, S.G. 1972. A study concerning the soil-growth relationships of native jack pine and pine plantations on Mosinee Paper Company lands. Michigan Technological University. Houghton. Mich. Tech. Univ. 89 pages.

SOKAL, R.R. et Rohlf, F.J. 1981. Biometry: the principles and practice of the statistics in biological research. dans, Biometry. 2^e édition. W.H. Freeman and company. San Francisco. 859 pages.

SPURR, S.H. et Barnes, B.V. 1980. Forest ecology. 3^e édition. John Wiley and Sons. New York. 687 pages.

STUANES, A.O., Ogner, G. et Opem, M. 1984. Ammonium nitrate as extractant for soil exchangeable cations, exchangeable acidity and aluminium. Soil Sci. Plant Anal. 15: 773-778.

TROUSSELLIER, M., Legendre, P. et Baleux, B. 1986. Modeling of the evolution of bacterial densities in an eutrophic ecosystem (sewage lagoons). Microbial Ecology. 12: 355-379.

TURNER, M.E. et Stevens, C.D. 1959. The regression analysis of causal paths. Biometrics. 15: 236-258.

WALMSLEY, M., Utzig, G., Vold, T., Moon, D. et van Barneveld, J. 1980. Describing ecosystems in the field. RAB Technical Paper 2. Land

Management Report. no 7. Ministère de l'Environnement. Ministère des Forêts. Colombie-Britannique. 224 pages.

WILTSHIRE, W.B. 1982. Polymorphic site index curves for jack pine in the Thunder Bay region. Thesis for Bachelor of science in forestry. School of Forestry. Lakehead University. 31 pages.

WORRELL, R. et Malcolm, D.C. 1990. Productivity of sitka spruce in north Britain 1: The effects of elevation and climate. *Forestry*. 63: 105-118.

WRIGHT, S. 1960. Path coefficients and path regressions: Alternative or complementary concepts? *Biometrics*. 16: 189-202.

YEATMAN, C.W. 1984. The genetic basis of jack pine management. dans, Jack pine symposium. Smith, C.R. et Brown, G. (éds). COJFRC symposium proceedings. O-P-12. Timmins. Ontario. 195 pages.

ZARNOVICAN, R. 1985. L'analyse de tige: une méthode à redécouvrir. *Naturaliste Canadien*. 112: 253-260.

ZARNOVICAN, R., Ouellet, D. et Gendron, S. 1988. Saisie informatisée de la croissance radiale. Rapport d'information LAU-X-80. Forêts Canada, région de Québec. 14 pages.

CHAPITRE 2

PRÉDICTION DE LA CROISSANCE EN HAUTEUR DU PIN GRIS
(*PINUS BANKSIANA* LAMB.) SELON DEUX APPROCHES:
LA RELATION SOL-STATION ET LES PLANTES INDICATRICES

INTRODUCTION

Le pin gris (*Pinus banksiana* Lamb.) possède plusieurs avantages pour la production de bois et pour le renouvellement de la forêt boréale canadienne (Yeatman 1984). Il représente l'une des espèces forestières la plus répandue et la plus importante en Amérique du Nord (Fowells 1965). Cette essence colonise une gamme de dépôts de surface allant des dépôts de tills aux dépôts argileux et parfois même les dépôts organiques (Cauboue et Malenfant 1988). Elle peut se maintenir sur des sols très sablonneux et secs ainsi que sur des sols graveleux où d'autres espèces ne survivent pas. Le développement du pin gris est optimal dans des sables fins, des sables loameux ou des loams sableux bien drainés (Cauboue et Malenfant 1988; Fowells 1965; Lafond 1966).

Plusieurs études ont mis en évidence des relations entre l'indice de la qualité de la station du pin gris et certaines variables environnementales (Lafond 1966; Pawluk et Arneman 1961; Schmidt 1986; Schmidt et Carmean 1988; Shetron 1972; Wilde *et al.* 1964). Schmidt (1986) et Schmidt et Carmean (1988) ont trouvé une grande variabilité dans les indices de la qualité de la station de pins gris situés sur quatre différents types de dépôts (tills minces et épais, sables fluvio-glaciaires et sols lacustres).

La plupart des régions forestières démontrent une variation importante dans la capacité productive de la terre. Certains terrains sont pauvres, d'autres riches et plus propices à un aménagement intensif. Plusieurs méthodes directes et indirectes ont été développées pour caractériser ces différences de qualité de la station.

Les méthodes directes sont appliquées à des stations comportant un nombre suffisant de l'espèce étudiée et aux peuplements équiennes. La plus connue et la plus utilisée est l'analyse de tiges (Carmean 1975; Jones 1969; Schmidt et Carmean 1988; Spurr et Barnes 1980; Zarnovican 1985). Les méthodes indirectes quant à elles, sont appliquées lorsqu'il manque d'arbres adéquats de l'espèce étudiée, de placettes-échantillons permanentes, que les analyses de tiges sont difficilement réalisables ou lorsque les peuplements sont inéquiennes ou trop jeunes. Dans de tels cas, plusieurs approches indirectes existent et peuvent être utilisées. Les plus employées et les mieux connues sont l'évaluation de la relation sol-station et les plantes indicatrices. Ces méthodes permettent généralement une prédiction adéquate de la croissance en hauteur des arbres et sont rapides d'exécution.

La relation sol-station s'appuie sur le concept d'intégralité de la station et tient compte des liens complexes existant entre la topographie et la pédologie (Burger 1972; Robert et Saucier 1987). Quant à l'emploi des indicateurs végétaux de sous-bois, cette méthode repose sur l'hypothèse que cette végétation reflète assez bien l'ensemble des facteurs écologiques

importants pour la croissance des arbres (Carmean 1975; Daubenmire 1976; Corns et Pluth 1984; Green, Marshall et Klinka 1989; Schönau 1987). De plus, les recherches portant sur la prédiction de la qualité de la station à partir des méthodes indirectes fournissent une base quantitative pour identifier les critères topographiques, édaphiques et de végétation utiles dans les cadres écologiques. Ces méthodes permettent donc la classification des terres forestières selon leur capacité à produire la matière ligneuse.

Les relations entre la qualité de la station de pins gris situés dans des peuplements équiennes en Abitibi et certaines variables écologiques ont été identifiées par ces deux méthodes indirectes. Les objectifs de cette étude étaient d'estimer les relations entre la croissance en hauteur du pin gris le long d'un gradient topographique et des indicateurs abiotiques (topographie et pédologie) et biotiques (végétation), pour ensuite juger de l'efficacité de prédiction de la qualité stationnelle en fonction de l'énergie nécessaire pour mesurer les différentes variables.

MÉTHODOLOGIE

Indice de la qualité de la station

La hauteur moyenne d'arbres dominants et codominants composant un peuplement à un âge référentiel, se nomme indice de la qualité de la station. Pour le pin gris et pour les espèces arborescentes de l'est, l'âge référentiel est généralement établi à 50 ans.

Un inventaire des diamètres à hauteur de poitrine (dhp) des pins gris présents dans chacune des 32 stations fut effectué. Les trois arbres dont le dhp correspondait aux 95 pour cent du nombre cumulatif de pins dans la station furent choisis pour l'analyse de tiges. Ces arbres étaient dominants ou codominants, bien formés et sans blessure. Les pins choisis furent sectionnés à la base (10 cm) à 0,75 m et à 1,3 m puis à tous les mètres ultérieurs jusqu'à un diamètre avec écorce d'au moins deux centimètres.

L'âge de chaque disque récolté fut déterminé au laboratoire par dénombrement des cernes. La hauteur des arbres fut calculée par interpolation linéaire pour chaque année quinquennale, en utilisant un logiciel d'analyse de tiges (Zarnovican, Ouellet et Gendron 1988). Les hauteurs ainsi calculées furent par la suite utilisées pour déterminer l'indice de la qualité de la station (IQS) pour chacune des stations. L'IQS calculé représente l'âge à la souche et non l'âge à hauteur de poitrine (Carnean 1975, 1978; Monserud 1984). Les deux indices retenus furent l'indice de la qualité de la station moyen, qui représente la hauteur

moyenne, à 50 ans, des trois pins choisis et l'indice de la qualité de la station maximal, où seule la hauteur la plus élevée atteinte à l'âge de 50 ans par l'un des trois pins dans la station fut retenue.

Variabes géomorphologiques

Des informations concernant la topographie furent recueillies afin de caractériser les 32 stations échantillonnées, telles: l'inclinaison moyenne de la pente (%), la longueur de la pente arrière (m), l'altitude moyenne (m), l'orientation de la station (°), la forme de la pente (concave, convexe ou régulière) et la situation sur la pente (haut de pente, mi-pente, replat ou bas de pente).

Un pèdon fut creusé, jusqu'à une profondeur d'un mètre ou jusqu'à la roche mère, près des trois pins abattus dans la station. La description du profil des sols fut effectuée selon les méthodes employées par Robert et Saucier (1987) et Walmsley *et al.* (1980). De plus, quatre autres échantillons d'horizons B furent prélevés dans la station.

Les variables topographiques, la classe de drainage de la station, ainsi que les pourcentages de sable, de limon et d'argile, la profondeur du solum (profondeur inférieure de l'horizon B, excluant les horizons BC et C), de la roche mère, de la nappe phréatique, de même que la profondeur et l'abondance des mouchetures et de la pierrosité du pèdon, représentent la matrice des critères géomorphologiques (**appendice A**).

Les pourcentages de sable, de limon et d'argile contenus dans les horizons B des pédons, séchés à l'air furent déterminés par l'analyse granulométrique de Bouyoucos (Bouyoucos 1962; McKeague 1978).

Variables édaphiques

L'épaisseur des horizons organiques (L,F et H) et minéraux (A et B) fut notée et un échantillon de chaque horizon fut récolté. Le pH des horizons récoltés fut mesuré avec un pH mètre à électrode de verre, à partir d'une solution sol-eau distillée 1:1 pour les horizons minéraux et 1:3 pour les horizons organiques. Les nitrates (NO_3^-) et les orthophosphates ($\text{PO}_4^{=}$) des horizons B récoltés à travers la station, furent dosés avec un appareil Tecator (Anonyme 1983 *a* et *b*). Quant aux bases (Ca^{++} , Mg^{++} , K^+ , Na^+ , en méq/100 g), elles furent dosées au laboratoire de sol de l'Université Laval avec un spectrophotomètre d'absorption atomique (Stuanes, Ogner et Opem 1984) et la concentration en ions H^+ , en méq/100 g) fut dosée par titrage avec NH_4OH , jusqu'à pH 7,0. La moyenne de chaque élément fut calculée pour la station. Le taux de saturation en bases (TSB, en pourcentage) fut par la suite calculé, en utilisant la formule suivante:

$$\text{TSB} = (\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++} + \text{K}^+ + \text{Na}^+ / \text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++} + \text{K}^+ + \text{Na}^+ + \text{H}^+) \times 100.$$

Toutes ces variables dites édaphiques (**appendice D**), peuvent être influencées à la fois par les variables géomorphologiques et par la croissance en hauteur des arbres.

Description de la végétation

La présence des espèces de sous-bois (arbustes, herbacées, mousses et lichens) et des espèces arborescentes de moins d'un centimètre de dhp fut répertoriée dans 12 microquadrats d'un mètre carré placés à 3, 7, 11, 16, 20 et 24 mètres le long des deux diagonales délimitées par la station. Une fréquence (nombre d'apparition/12) de ces espèces fut par la suite calculée (**appendice E**).

Un inventaire (nombre et dhp) de toutes les essences arborescentes (dhp>1 cm) rencontrées dans la station fut également effectué. La nomenclature généralement suivie fut celle de Marie-Victorin (1964). Des valeurs d'importance ($VI=(\text{densité relative}+\text{surface terrière relative})/2$) furent calculées pour chaque espèce dans chacune des stations.

L'analyse de correspondance détendancée (ACD, Detrended Correspondance Analysis) provenant du logiciel DECORANA (Hill 1979 *a*) fut utilisée pour traiter les fréquences des espèces de sous-bois. Ce traitement fut appliqué de façon à synthétiser les données de végétation recueillies à quelques critères décrivant objectivement l'agencement des données observées dans les peuplements forestiers échantillonnés. Ce type d'ordination indirecte a l'avantage d'éliminer l'effet d'arche sur le second axe et les distorsions d'échelles inhérentes aux méthodes de base des ordinations (Gauch 1982; Hill et Gauch 1980; Zoladeski 1988). Les coordonnées des stations sur ces deux premiers axes, ainsi que les valeurs

d'importance des essences arborescentes constituent la matrice de végétation ou matrice biotique (**appendice F**).

Relations entre les IQS, les variables abiotiques et la végétation

Afin de prédire les IQS, l'analyse de régression multiple de type pas à pas, selon la méthode de l'amélioration maximale du coefficient de corrélation multiple (MAXR, SAS 1985) fut utilisée avec les matrices des variables géomorphologiques, édaphiques et de végétation. De plus, une régression multiple permettant l'inclusion des variables binaires (forme de la pente et situation sur la pente) fut utilisée (GLM) (SAS 1985). Ces analyses statistiques furent effectuées concurremment avec les indices de la qualité de la station moyen et maximal. Pour évaluer le caractère prédictif de chaque variable et de chaque groupe de variables (géomorphologique, édaphique et végétation), les analyses de régression multiple furent appliquées pour chacune des combinaisons possibles des trois groupes de descripteurs.

RÉSULTATS

Des écarts importants des IQS calculés pour les 32 stations échantillonnées ont été observés à l'intérieur d'un même transect et entre les transects; les extrêmes allant de 14,0 mètres à 21,7 mètres (**tableau II, chapitre 1**) et ce, malgré une variabilité assez faible des critères géomorphologiques et édaphiques mesurés (**tableau III, chapitre 1 et tableau VI**).

Les axes 1 et 2 de l'ordination indirecte des espèces de sous-bois furent retenus étant donné leurs valeurs propres supérieures (0,343 et 0,111) par rapport à celles des axes 3 (0,061) et 4 (0,036). Les lichens et les mousses se trouvent généralement vers la gauche de l'axe 1 (**tableau VII et figure 4**), où les IQS des stations sont généralement plus faibles. Vers l'extrémité droite de l'axe 1, on retrouve plutôt les graminées, le némopanthe mucroné (*Nemopanthus mucronatus*), le pétasite palmé (*Petasites palmatus*), le gaillet à trois fleurs (*Galium triflorum*), la mitrelle nue (*Mitella nuda*) et le rosier aciculaire (*Rosa acicularis*) (**tableau VII**). Les IQS des stations situées du côté droit de l'axe 1 ont tendance à être supérieurs (**figure 4**).

Les **tableaux VIII** (IQS moyen) et **IX** (IQS maximal) présentent l'ordre d'entrée des variables dans les équations de régression multiple pour chacune des combinaisons possibles à partir des trois groupes de descripteurs (**blocs A à G**). Seules les variables expliquant au moins cinq

TABLEAU VI: Amplitude des variables édaphiques (N=32).

Variable	Moyenne	Écart-type	Médiane	Minimum	Maximum
pHL†	3,9	0,4	3,9	3,4	5,2
pHF	4,0	0,5	4,0	3,2	5,1
pHH	3,7	0,4	3,7	3,2	4,6
pHLFH	3,9	0,4	3,9	3,3	4,8
pHFFH	3,9	0,4	3,8	3,2	4,6
pHA	3,8	0,3	3,7	3,3	4,6
pHB	4,1	0,3	4,1	3,5	4,7
pHC	4,5	0,5	4,4	3,6	5,7
H ⁺	2,14	1,46	1,72	0,20	5,20
Ca ⁺⁺	0,81	0,84	0,39	0,15	3,15
Mg ⁺⁺	0,14	0,19	0,06	0,01	1,02
K ⁺	0,06	0,05	0,04	0,02	0,22
Na ⁺	0,16	0,03	0,17	0,02	0,22
tsb	36,7	24,5	24,9	11,0	90,6
NO ₃ ⁻	0,93	0,55	0,78	0,22	2,45
PO ₄ ⁼	40,31	36,53	31,62	5,14	177,33
zA	8,5	6,8	6,5	1,0	25,0
zB	46,2	20,5	46,0	12,0	83,0
zorg	11,6	5,4	11,0	4,0	25,0
zF	4,6	3,0	4,0	1,0	12,0
zFH	10,3	5,6	9,0	3,0	23,0
zH	6,1	5,3	3,0	2,0	24,0

† Voir la liste des abréviations (appendice M).

TABLEAU VII: Coordonnées des espèces de sous-bois sur les deux premiers axes de l'ordination indirecte (N=80).

Variables	Axe 1	Axe 2
Cla. alp.†	-220	-79
Ste. sax.	-220	-76
Pol. jun.	-219	-57
Cla. unc.	-143	120
Cla. spp	-124	231
Kal. ang.	-121	-188
Led. gro.	-99	-439
Pol. pil.	-79	61
Pic. gla.	-71	-198
Pic. mar.	-69	108
Ame. spp	-66	20
Pru. vir.	-66	403
Cla. ran.	-58	-128
Dic. pol.	-51	-32
Pol. com.	-47	-206
Pti. cil.	-40	-84
Aln. rug.	-34	232
Aln. cri.	-28	269
Vac. myr.	-20	159
Ple. shr.	-13	-25
Gau. his.	-5	-166
Pte. aqu.	1	361
Vac. ang.	3	25
Lin. bor.	10	149
Ace. rub.	16	213

† Voir la liste des abréviations (appendice N).

TABLEAU VII (suite).

Variables	Axe 1	Axe 2
Cor. can.	26	53
Ath. fel.	32	-102
Sor. ame.	37	157
Lyc. luc.	45	41
Lyc. ann.	45	342
Goo. spp	74	2
Dic. spp	78	56
Bet. pap.	79	85
Mai. can.	92	87
Lyc. obs.	96	160
Abi. bal.	100	-87
Pru. pen.	121	76
Pop. tre.	122	-92
Ara. nud.	140	169
Osm. cla.	153	-5
Cli. bor.	166	118
Lic. spp	168	-107
Die. lon.	172	101
Cop. gro.	195	108
Mou. spp	205	-48
Tri. bor.	211	155
Vib. cas.	214	-50
Lyc. cla.	228	80
Mni. spp	238	56
Dry. spi.	240	24

TABLEAU VII (suite).

Variables	Axe 1	Axe 2
Ace. spi.	240	150
Mon. uni.	245	246
Ast. mac.	250	59
Sol. mac.	253	247
Str. ros.	260	180
Lon. can.	264	166
Rib. gla.	275	65
Bra. spp	284	10
Sph. spp	291	7
Lon. can.	294	21
Dry. dis.	295	22
Vib. edu.	300	-30
Pyr. sec.	308	57
Act. rub.	311	-96
Cor. cor.	314	225
Fra. nig.	336	17
Rub. pub.	343	64
Dry. phe.	345	0
Vio. spp	347	69
Ast. spp	357	81
Oxa. mon.	372	90
Cyp. spp	375	46
Cor. alt.	382	97
Cor. sto.	396	69
Nem. muc.	406	68
Gra. spp	406	68
Pet. pal.	414	78
Gal. tri.	429	90
Mit. nud.	437	97
Ros. aci.	452	110

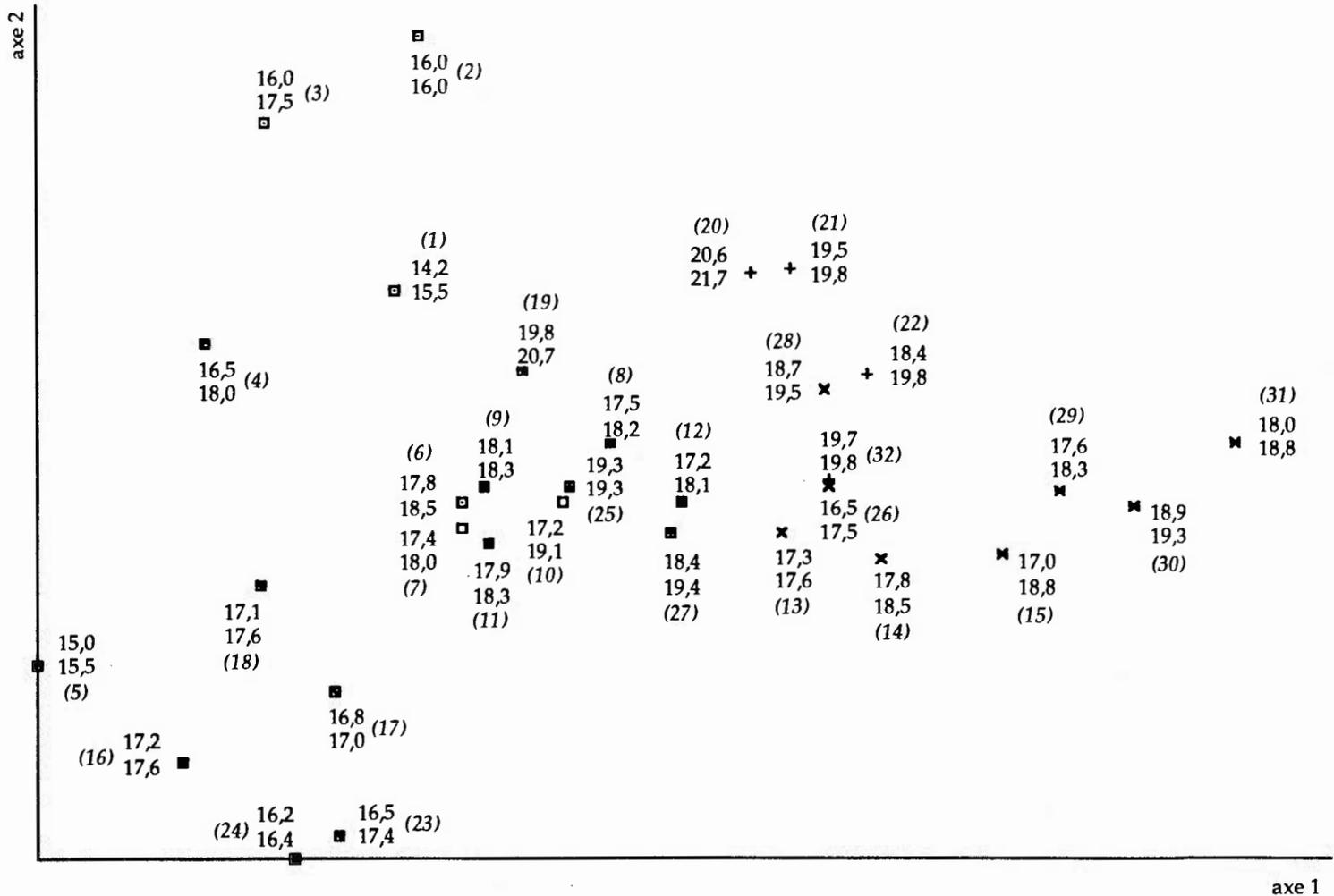


FIGURE 4: Ordination (ACD) des stations à partir de la matrice de végétation de sous-bois (N=32). Le chiffre en italique entre parenthèses indique le numéro de la station. Le chiffre ordinaire supérieur indique l'IQS moyen et l'inférieur l'IQS maximal.

TABLEAU VIII: Analyse de régression multiple pas à pas exprimant l'IQS moyen du pin gris à partir des variables géomorphologiques, édaphiques et de végétation (N=32).

Variable	R ²	R ² partiel	F	Équation de régression
A) Variables géomorphologiques seulement				
% limont†	36,9	36,9	17,5***	$\text{IQS moy}^{***} = 18,8760 - 0,1153(\% \text{ limon})$
lpent	54,6	17,7	11,4**	$\text{IQS moy}^{***} = 18,0737 - 0,1077(\% \text{ limon}) + 0,0037(\text{lpent})$
B) Variables édaphiques seulement				
H ⁺	39,8	39,8	19,9***	$\text{IQS moy}^{***} = 18,8578 - 0,6028(\text{H}^+)$
zB	56,3	16,5	10,9*	$\text{IQS moy}^{***} = 17,5855 - 0,6026(\text{H}^+) + 0,0275(\text{zB})$
C) Variables de végétation seulement				
pet	31,0	31,0	13,5***	$\text{IQS moy}^{***} = 17,2251 + 0,0923(\text{pet})$
axe 1	45,1	14,1	7,4*	$\text{IQS moy}^{***} = 16,2530 + 0,0740(\text{pet}) + 0,0079(\text{axe 1})$
sor	54,5	9,4	5,8*	$\text{IQS moy}^{***} = 16,1416 + 0,0664(\text{pet}) + 0,0082(\text{axe 1}) + 0,07834(\text{sor})$
aru	60,7	6,2	4,3*	$\text{IQS moy}^{***} = 16,1791 + 0,0917(\text{pet}) + 0,0102(\text{axe 1}) + 1,0140(\text{sor}) - 0,0924(\text{aru})$
D) Variables édaphiques et de végétation seulement				
H ⁺	39,8	39,8	19,9***	$\text{IQS moy}^{***} = 18,8578 - 0,6028(\text{H}^+)$
zB	56,3	16,5	10,9**	$\text{IQS moy}^{***} = 17,5855 - 0,6026(\text{H}^+) + 0,0275(\text{zB})$
pet	66,0	9,7	8,0**	$\text{IQS moy}^{***} = 17,3653 - 0,5061(\text{H}^+) + 0,0234(\text{zB}) + 0,0553(\text{pet})$

***, ** et * = significatif au seuil de $p \leq 0,001$; 0,01 et 0,05, respectivement.

† Voir la liste des abréviations (appendices L, M, N et O).

TABLEAU VIII (SUITE).

Variable	R ²	R ² partiel	F	Équation de régression
E) Variables géomorphologiques et édaphiques seulement (a)				
zB	62,9	8,3	6,3*	$IQS\ moy^{***}=16,4649-0,0755(\% \text{ limon})+0,0046(lpent)+0,0233(zB)$
H ⁺	68,9	6,0	5,2*	$IQS\ moy^{***}=17,3742-0,0608(\% \text{ limon})+0,0027(lpent)+0,0224(zB)-0,3191(H^+)$
F) Variables géomorphologiques et de végétation seulement (a)				
pet	62,7	8,1	6,0*	$IQS\ moy^{***}=17,9052-0,0898(\% \text{ limon})+0,0031(lpent)+0,0514(pet)$
G) Variables géomorphologiques, édaphiques et de végétation (a)				
pet	62,7	8,1	6,0	$IQS\ moy^{***}=17,9052-0,0898(\% \text{ limon})+0,0031(lpent)+0,0514(pet)$

(a) Les deux premières étapes des sections D, E, F et G sont identiques au bloc A.

TABLEAU IX: Analyse de régression multiple pas à pas exprimant l'IQS maximal du pin gris à partir des variables géomorphologiques, édaphiques et de végétation (N=32).

Variable	R2	R2 partiel	F	Équation de régression
A) Variables géomorphologiques seulement				
pentp	28,4	28,4	11,9**	$IQS \max^{**} = 19,5161 - 0,1741(\text{pentp})$
lpent	45,8	17,4	9,3**	$IQS \max^{***} = 18,6759 - 0,1557(\text{pentp}) + 0,0037(\text{lpent})$
solum	64,7	18,9	15,0***	$IQS \max^{***} = 16,5284 - 0,1018(\text{pentp}) + 0,0043(\text{lpent}) + 0,0275(\text{solum})$
B) Variables édaphiques seulement				
H ⁺	45,3	45,3	24,8***	$IQS \max^{***} = 19,6786 - 0,6416(\text{H}^+)$
zB	61,6	16,3	12,3**	$IQS \max^{***} = 18,4160 - 0,6415(\text{H}^+) + 0,0273(\text{zB})$
pHA	66,6	5,0	4,3*	$IQS \max^{***} = 13,4665 - 0,5565(\text{H}^+) + 0,0364(\text{zB}) + 1,140(\text{pHA})$
C) Variables de végétation seulement				
axe 1	31,1	31,1	13,5***	$IQS \max^{***} = 16,8236 + 0,0113(\text{axe 1})$
pet	47,7	16,7	9,3**	$IQS \max^{***} = 16,8841 + 0,0088(\text{axe 1}) + 0,0705(\text{pet})$
sor	57,6	9,9	6,5*	$IQS \max^{***} = 16,7707 + 0,0092(\text{axe 1}) + 0,0627(\text{pet}) + 0,7970(\text{sor})$
aru	64,1	6,5	4,9*	$IQS \max^{***} = 16,8090 + 0,0112(\text{axe 1}) + 0,0886(\text{pet}) + 1,0325(\text{sor}) - 0,0944(\text{aru})$
D) Variables édaphiques et de végétation seulement				
H ⁺	45,3	45,3	24,8***	$IQS \max^{***} = 19,6786 - 0,6416(\text{H}^+)$
zB	61,6	16,3	12,3**	$IQS \max^{***} = 18,4160 - 0,6145(\text{H}^+) + 0,0273(\text{zB})$
pet	70,0	8,5	7,9**	$IQS \max = 18,2109 - 0,5516(\text{H}^+) + 0,0235(\text{zB}) + 0,0515(\text{pet})$
pHA	75,3	5,2	5,7*	$IQS \max^{***} = 13,1924 - 0,4647(\text{H}^+) + 0,0327(\text{zB}) + 0,0519(\text{pet}) + 1,1565(\text{pHA})$

***, ** et * = significatif au seuil de $p \leq 0,001$; 0,01 et 0,05, respectivement.

† Voir la liste des abréviations (appendices L, M, N et O).

TABLEAU IX (suite).

Variable	R2	R2 partiel	F	Équation de régression
E) Variables géomorphologiques et édaphiques seulement (a)				
Aucune variable				
F) Variables géomorphologiques et de végétation seulement (a)				
pet	73,2	8,5	8,5**	$\text{IQS max}^{***} = 16,6404 - 0,0936(\text{pentp}) + 0,0035(\text{lpent}) + 0,0240(\text{solum}) + 0,0514(\text{pet})$
G) Variables géomorphologiques, édaphiques et de végétation (a)				
pet	73,2	8,5	8,5**	$\text{IQS max}^{***} = 16,6404 - 0,0936(\text{pentp}) + 0,0035(\text{lpent}) + 0,0240(\text{solum}) + 0,0514(\text{pet})$
(a) Les trois premières étapes des sections D, E, F et G sont identiques au bloc A.				

pour cent de la variabilité observée des IQS du pin gris furent retenues. Les variables géomorphologiques les plus significatives furent toujours forcées à entrer dans les modèles combinés, puisqu'elles représentent les variables les plus facilement identifiables et mesurables sur le terrain. Ces variables géomorphologiques sont le pourcentage de limon dans l'horizon B des pédons et la longueur de la pente arrière pour l'IQS moyen (R^2 de 54,6 %, **bloc A**); l'inclinaison de la pente, la longueur de la pente arrière et la profondeur moyenne du solum pour l'IQS maximal (R^2 de 64,7). Les variables binaires (forme de la pente et situation sur la pente) n'ont pas montré de relation significative avec les IQS.

Les variables édaphiques expliquent légèrement plus de variabilité que les variables géomorphologiques. La concentration en ions H^+ et l'épaisseur moyenne de l'horizon B prédisent 56,3 % de l'IQS moyen. Le pH de l'horizon A rajouté à ces deux variables élève le R^2 de l'IQS maximal à 66,6 % (**bloc B**).

Quant aux variables de végétation, leur pourcentage de prédiction est moindre que celui des deux autres groupes et ce, pour un nombre équivalent de critères. Les valeurs d'importance du peuplier faux-tremble (*Populus tremuloides*), du sorbier d'Amérique (*Sorbus americana*) et de l'érable rouge (*Acer rubrum*) ainsi que l'axe 1, expliquent 60,7 % de l'IQS moyen et à 64,1 % l'IQS maximal (**bloc C**).

Lorsque l'on combine les critères édaphiques à ceux de la végétation, les mêmes variables édaphiques des blocs B se retrouvent dans les équations de prédiction avec en sus la valeur d'importance du peuplier faux-tremble (**bloc D**). Ces combinaisons de variables expliquent respectivement 70,3 % et 75,3 % des IQS moyen et maximal.

Lorsque l'on ajoute l'épaisseur moyenne de l'horizon B et la concentration en ions H^+ aux variables géomorphologiques, le R^2 de l'IQS moyen passe à 68,9 % (**bloc E**). Aucune variable édaphique n'ajoute significativement d'explication supplémentaire aux variables géomorphologiques, en ce qui concerne l'IQS maximal. Toutefois, l'ajout de la valeur d'importance du peuplier faux-tremble aux variables géomorphologiques permet d'élever le R^2 de l'IQS moyen de 8,1 % et de 8,5 % pour l'IQS maximal (**bloc F**). Les équations de régression restent les mêmes lorsqu'on ajoute les variables biotiques aux descripteurs géomorphologiques et édaphiques (**bloc G**). Pour un nombre équivalent de variables entrant dans les équations, les critères édaphiques utilisés seuls expliquent plus de variabilité que tout autre groupe isolé ou combiné, tandis que les variables de végétation expliquent moins la variabilité observée dans la croissance en hauteur du pin gris.

DISCUSSION

D'importants écarts de croissance ont été observés sur les quatre transects malgré la faible amplitude écologique des variables géomorphologiques et édaphiques échantillonnées.

L'importance des variables géomorphologiques à décrire la croissance en hauteur du pin gris a été démontrée au chapitre 1 et dans ce chapitre. Ces relations s'expliquent par le contexte géomorphologique de la région abitibienne dans la ceinture d'argile. En haute altitude, sur les versants raides, le till de fond a été délavé et explique la faible croissance en hauteur du pin gris situé sur ces pentes à forte inclinaison. Les sols associés à ces pentes sont minces avec un pourcentage plus élevé de limon dans l'horizon B et la profondeur de la roche mère et de la pierrosité est faible. De plus, les sols situés sur les sommets à forte pente sont sujets à l'érosion, à l'altération et à la sécheresse à cause du drainage rapide (Carmean 1967; Spurr et Barnes 1980). Au pied des versants, en basse altitude, les pentes sont plus douces. À ces endroits, on trouve des dépôts de plage mieux triés et plus épais. Ces pentes douces, habituellement concaves empêchent l'érosion, favorisent l'accumulation de sol, l'humidité du sol, à cause du drainage moins excessif et permettent ainsi une meilleure croissance des arbres (Carmean 1967; Coile 1952; Spurr et Barnes 1980). Pour des conditions de dépôts comparables, l'influence de la longueur de la pente arrière sur la croissance en hauteur des pins serait plus importante que celle de l'inclinaison de la pente. L'effet conjoint du

type de dépôt de surface et la longueur de la pente arrière sur la croissance en hauteur du pin gris semble signifier que celui-ci répondrait mieux aux éléments nutritifs qu'au drainage, surtout lorsqu'on compare les corrélations significatives obtenues entre le taux de saturation en bases et les IQS.

L'importance de l'épaisseur du solum, tout comme celle de l'horizon B à prédire l'IQS refléterait, la quantité et la qualité de l'espace disponible pour la croissance des racines des arbres (Carmean 1975) et représenterait probablement une mesure plus critique du volume effectif d'ancrage que la profondeur d'un horizon restrictif (Munn et Vimmerstedt 1980). Une étude menée par Foster et Morrison (1976), effectuée dans la région de la rivière Mississagi, au nord de l'Ontario sur des podzols humo-ferriques, indique que la majorité des racines de pins gris se situent soit dans les horizons de surface ou soit à une profondeur de 45 cm, ce qui équivaut environ à la profondeur inférieure de l'horizon B.

Parmi les caractéristiques chimiques du sol, la concentration en ions H^+ dans l'horizon B exprime la plus grande variabilité de la croissance en hauteur du pin gris. Cette importance s'explique par le fait que la disponibilité de la plupart des éléments nutritifs est d'une façon ou d'une autre contrôlée par les conditions d'acidité ou d'alcalinité du milieu. En effet, la disponibilité des éléments nutritifs pour les plantes diminue généralement avec l'acidification des sols, surtout en deçà de pH 4,0

(Barbour, Burk et Pitts 1980; Munn et Vimmerstedt 1980). De plus, dans les sites les plus productifs, le pH de l'horizon A a tendance à être supérieur ou égal à la moyenne calculée de 3,8.

Le pouvoir prédictif de la végétation est inférieur aux autres groupes de variables. Le premier axe de l'ordination indirecte prédit 14,1 % et 31,1 % des IQS moyen et maximal. Plusieurs espèces situées vers l'extrême droite du premier axe ont été identifiées comme étant des plantes mésophiles (*Athyrium felix-femina*, *Osmunda Claytoniana*, *Dryopteris phegopteris*, *Cornus alternifolia*, Bégin *et al.* 1990; Pregitzer, Barnes et Lemme 1983), hygrophiles (*Mitella nuda*, *Rubus pubescens*, Bégin *et al.* 1990; Jones *et al.* 1983), représentatives de sites riches (Kenkel 1986; *Corylus cornuta*, Fowells 1965; *Viola spp*, Jones *et al.* 1983; Marie Victorin 1964) et productifs (*Rubus pubescens*, Corns et Pluth 1984). Les stations situées vers la droite de l'axe 1 et dans lesquelles ces espèces de sous-bois se retrouvent, ont tendance à avoir des IQS plus élevés. Tandis que les espèces végétales situées vers la gauche de l'ordination sont plutôt représentatives de milieux pauvres et de plus faibles IQS (*Picea mariana*, *Pleurozium shreberi*, *Vaccinium angustifolium*, *Vaccinium myrtilloides*, *Cornus canadensis*, *Cladonia spp*, *Kalmia angustifolia*, *Dicranum polysetum*, *Ptilidium ciliare*, *Cladonia uncialis*, *Dicranum spp*, *Cladonia rangerifera* ainsi que *Gaultheria hispidula*; Corns et Pluth 1984; Jones *et al.* 1983; Kenkel 1986). Ces espèces occupent surtout les stations situées en haut de pente, à forme convexe et à drainage plus rapide.

L'importance du peuplier faux-tremble dans les équations pourrait signifier qu'il est une espèce enrichissante pour les sols (Fowells 1965) et influencerait ainsi positivement l'IQS. En effet, selon Stoeckeler (1961), les caractéristiques édaphiques influencent la croissance du peuplier faux-tremble et ce dernier influence à son tour le statut nutritif des sols. Le peuplier faux-tremble est considéré comme une essence enrichissante suite à des feux de forêts à cause de la tombée de ses feuilles qui permet une redistribution de l'azote dans la couche superficielle du sol. Cette essence arborescente préfère des stations fraîches, assez bien drainées et riches à texture loameuse ou de sable loameux. Lafond (1966) a aussi remarqué que le pin gris atteignait son maximum de développement dans des peuplements mélangés avec le bouleau à papier (*Betula papyrifera*) et le peuplier faux-tremble.

Les troisième et quatrième variables prédisant la variabilité des IQS du pin gris sont les valeurs d'importance du sorbier d'Amérique ou cormier (*Sorbus americana*) et celle de l'érable rouge (*Acer rubrum*) (bloc C). Le sorbier serait représentatif des milieux riches (Jones *et al.* 1983) et préférerait les endroits humides (Hosie 1980). Selon une étude de Bergeron *et al.* (1983), l'érable rouge serait un bon indicateur du drainage oblique et préférerait les sols humides (Hosie 1980). Ces sols se trouvent habituellement dans les milieux et les bas de pente où l'eau est souvent enrichie en éléments nutritifs et les peuplements floristiques riches et productifs (Gerardin 1989). La relation négative obtenue entre l'IQS et l'érable rouge et qui semble étrange s'explique par son lien avec l'altitude.

En effet, les peuplements d'érables rouge auraient tendance à se retrouver en altitude à cause du phénomène d'inversion thermique.

L'interprétation du pouvoir descriptif de la végétation de sous-bois est délicate puisque ces espèces ne possèdent pas un système racinaire aussi étendu et ramifié que les arbres. Selon Coile (1938), il ne semble pas raisonnable que la végétation reflète autant que les arbres la capacité reproductrice du sol. Daubenmire et Daubenmire (1968) et Pfister *et al.* (1977) croient également qu'il existe une faible correspondance entre les changements morphologiques du sol et la composition de la végétation de sous-bois puisque cette dernière réagit à ses propres conditions d'habitat (faibles profondeurs d'enracinement) et moins à celles des arbres (plus grandes profondeurs des racines) (Hägglund 1981; Hodgkins 1968).

Selon Green, Marshall et Klinka (1989) et Wiltshire (1982), les espèces de sous-bois d'amplitude écologique relativement étroite pourraient être de bons indicateurs de la qualité de la station et d'utiles indices pour la productivité des forêts. Toutefois, le pouvoir prédictif de la végétation de sous-bois est limité par les conditions de lumière, de microsites, de compétitions, de perturbations et des chances d'établissement prévalant sous la canopée, ce qui pourrait limiter leur utilisation comme phytomètres de la productivité des forêts (Spurr et Barnes 1980). De plus, même si Corns et Pluth (1984) ont montré que les équations incluant la végétation possèdent des R^2 plus élevés que celles n'incluant pas la végétation, Verbyla (1986) fait une mise en garde envers

de tels résultats. Le nombre de variables indépendantes retenues dans l'équation finale est souvent trop élevé par rapport à la petite taille de l'échantillon (n) et de tels modèles peuvent inclure un biais de prédiction dit positif.

Les équations de régression obtenues à partir des variables édaphiques ne devraient pas être considérées comme des critères contrôlant ou influençant directement la croissance des arbres (LeBlanc et Towill 1989). Monserud, Moody et Breuer (1990) ont démontré que la majorité des facteurs édaphiques mesurés n'expliquaient qu'une faible proportion de la variation observée chez l'IQS du sapin de Douglas. Selon eux, deux explications sont plausibles pour interpréter les faibles corrélations entre ces facteurs et les indices de la qualité de la station. La première étant que le nombre considérable d'interactions édaphiques importantes pour la croissance des arbres excède largement la taille de l'échantillon étudié. Pour pallier à ce problème, Verbyla et Fisher (1989) recommandent un échantillonnage stratifié afin que chaque classe de croissance soit adéquatement représentée. Le nombre de sites pauvres sur sols minces pourrait être insuffisant dans la présente étude. La deuxième explication serait l'échec à mesurer les vraies causes de la productivité des stations, soit les régimes trophique et d'humidité durant la saison de croissance, ainsi que l'aération du sol et les conditions physiques du sol. Monserud, Moody et Breuer (1990) ont conclu qu'il n'était pas justifiable d'analyser et de décrire des critères édaphiques pour prédire l'IQS, étant donné l'effort trop important investi dans la collecte et l'analyse des

données par rapport au pouvoir prédictif obtenu. Ils n'ont retenu que des descripteurs facilement mesurables sur le terrain. Malgré le rendement prédictif intéressant de ces variables, elles demandent plus d'effort lors de l'échantillonnage et les analyses en laboratoire les rendent coûteuses.

Selon Grey (1983), le R^2 d'un bon modèle de prédiction de la croissance des arbres devrait se situer entre 65 et 80%. Les équations calculées dans la présente étude prédisent entre 54 % et 75 % de variation observée chez le pin gris et ce, avec un maximum de quatre variables. Les variables géomorphologiques devraient être privilégiées pour la prédiction de l'IQS du pin gris en Abitibi, même si elles n'obtiennent pas les niveaux de prédiction les plus élevés. Elles sont facilement quantifiables et mesurables sur le terrain, ne demandent pas ou peu d'analyses en laboratoire. Le coût de la collecte de ces données est donc faible. La seule analyse en laboratoire requise pour récolter ces informations sur le terrain est celle de la texture du sol. Celle-ci pourrait être remplacée par l'utilisation de clés d'identification des classes texturales comme celles proposées par Robert et Saucier (1987).

BIBLIOGRAPHIE

ANONYME. 1983a. Determination of reactive phosphorous in water by flow injection analysis (stannous chloride method). Tecator Application note. ASN 60-01/83.

ANONYME. 1983b. Determination of the sum of nitrate and nitrite in water by flow injection analysis. Tecator application note. ASN 62-01/83.

BARBOUR, M.G., Burk, J.H. et Pitts, W.D. 1980. Terrestrial plant ecology. The Benjamin/Cummings Publishing Company, inc. Californie. 604 pages.

BÉGIN, J., Bélanger, L., Pflanzgraf, J. et Pineau, M. 1990. Qualité de station et production dans les érablières rouges de la plaine de Drummondville, Québec. Forestry Chronicle. 66: 377-387.

BERGERON, Y., Bouchard, A., Gangloff, P. et Camiré, C. 1983. La classification écologique des milieux forestiers de la partie ouest des cantons d'Hébécourt et de Roquemaure, Abitibi, Québec. Études écologiques 9. Laboratoire d'écologie forestière. Université Laval. Québec. 169 pages.

BOUYOUCOS, G.V. 1962. Hydrometer method improved for making particle-size analysis of soils. Agron. J. 54: 464-465.

BURGER, D. 1972. Forest site classification in Canada. Mitt. Ver. Forstliche Standortskunde Fortpflanzenzüchtung. 21: 20-36.

CARMEAN, W.H. 1967. Soil Survey refinements for predicting black oak site quality in southeastern Ohio. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 31: 805-810.

CARMEAN, W.H. 1975. Forest site quality evaluation in the United States. Adv. Agron. 27: 209-267.

CARMEAN, W.H. 1978. Site index curves for northern hardwoods in northern Wisconsin and upper Michigan. USDA Forest Serv. Res. Paper NC-160. NC Forest Exp. Stn. St-Paul, Minn. 16 pages.

CAUBOUE, M. et Malenfant, D. 1988. Le reboisement au Québec. Exigences écologiques des épinettes (*Picea*), des pins (*Pinus*) et des mélèzes (*Larix*) plantés au Québec. CERFO. Publications du Québec. 90 pages.

COILE, T.S. 1938. Forest classification: Class of forest sites with special reference to ground vegetation. *J. Forestry*. 36: 1062-1066.

COILE, T.S. 1952. Soil and the growth of forests. *Adv. Agron.* 4: 330-398.

CORNS, I.G.W. et Pluth, D.J. 1984. Vegetational indicators as independant variables in forest growth prediction in west-central Alberta, Canada. *Forest Ecology and Management*. 9: 13-25.

DAUBENMIRE, R.F. 1976. The use of vegetation in assessing the productivity of forest lands. *Bot. Res.* 42: 115-143.

DAUBENMIRE, R.F. et Daubenmire, J.B. 1968. Forest vegetation of eastern Washington and northern Idaho. *Washington Agric. Exp. Stn Tech. Bull.* no 60.

FOSTER, N.W. et Morrison, I.K. 1976. Distribution and cycling of nutrients in a natural *Pinus banksiana* ecosystem. *Ecology*. 57: 110-120.

FOWELLS, H.A. 1965. Silvics of forest trees species of the United States. *USDA Handbook*. no 271. pages 338-354 et 523-534.

GAUCH, H.G. 1982. Noise reduction by eigenvector ordinations. *Ecology*. 63: 1643-1649.

GERARDIN, V. 1989. Introduction à l'écologie forestière. *L'Aubelle*. 73: 1-14.

GREEN, R.N., Marshall, P.L. et Klinka, K. 1989. Estimating site index of douglas-fir (*Pseudotsuga menziesii* [Mirb.] Franco) from ecological variables in south western British Columbia. *Forest Science*. 35: 50-63.

GREY, D.C. 1983. The evaluation of site factor studies. *Suid-Afrikaanse Bosboutydskrif*. 19-22.

HAGGLUND, B. 1981. Evaluation of forest site productivity. *Forestry Abstracts (Commonwealth Forestry Bureau)*. 42: 515-527.

HILL, M.O. 1979a. DECORANA, a fortran program for detrended correspondance analysis and reciprocal averaging. Cornell University. Ithaca. 52 pages.

HILL, M.O. 1979b. TWINSPAN, a fortran program for arranging multivariate data in an ordered two-way table by classification of the individuals and attributes. Cornell University. Ithaca.

HILL, M.O. et Gauch, H.G. 1980. Detrended correspondance analysis: An improved ordination technique. *Vegetatio*. 42: 47-58.

HODGKINS, E.J. 1968. Productivity estimation by means of plant indicators in the longleaf pine forests of Alabama. dans, *Tree growth and forest soils*. Youngberg, C.T. et Davey, C.B. (éds). pages 461-474.

HOSIE, R.C. 1980. Arbres indigènes du Canada. 8^e édition. Éditions Fides. Environnement Canada et Centre d'édition du gouvernement du Canada. 389 pages.

JONES, J.R. 1969. Review and comparison of site evaluation methods. USDA For. Serv. Res. Paper. RM-51. pages 9-27.

JONES, R.K., Pierpoint, G., Wickware, G.M., Jeglum, J.K., Arnup, R.W. et Bowles, J.M. 1983. Field guide to forest ecosystem classification for the clay belt, site region 3e. Ministry of natural resources. Environnement Canada. Ontario. 161 pages.

KENKEL, N.C. 1986. Structure and dynamics of jack pine stands near Elk Lake, Ontario: A multivariate approach. *Can. J. Bot.* 64: 486-497.

LAFOND, A. 1966. Notes sur l'écologie de quatre conifères du Québec. *Naturaliste canadien*. 93: 823-842.

LEBLANC, P.A. et Towill, W.D. 1989. Can jack pine site productivity in north central Ontario be predicted using multiple regression soil-site equations? NWOFTDU Technical Report. no 33. Ontario Ministry of natural resources. Thunder Bay. Ontario. 14 pages.

MARIE-VICTORIN, F. 1964. Flore Laurentienne. Les Presses de l'Université de Montréal. 2^e édition. Montréal. 925 pages.

McKEAGUE, J.A. 1978. Manuel de méthodes d'échantillonnage et d'analyses des sols. 2^e édition. Soil Research Institute. Can. Soil Survey Committee. Préparé par le sous-comité des méthodes d'analyses. Ottawa. 250 pages.

MONSERUD, R.A. 1984. Height growth and site index curves for inland douglas-fir based on stem analysis data and forest habitat type. *For. Sci.* 30: 943-965.

MONSERUD, R.A., Moody, U. et Breuer, D.W. 1990. A soil-site study for inland douglas-fir. *Can. J. For. Res.* 20: 686-695.

MUNN, L.C. et Vimmerstedt, J.P. 1980. Predicting height growth of yellow-poplar from soils and topography in south-eastern Ohio. *Soil Sci. Amer. J.* 44: 384-387.

PAWLUK, S. et Arneman, H.S. 1961. Some forest soil characteristics and their relationship to jack pine growth. *Forest Science.* 7: 160-173.

PFISTER, R.D., Kovalchik, B.L., Arno, S.F. et Presby, R.C. 1977. Forest habitat types of Montana. USDA For. Serv. Gen. Tech. Report. INT-34. Intermountain For. and Range Exp. Stn. Ogden. Utah.

PREGITZER, K.S., Barnes, B.V. et Lemme, G.D. 1983. Relationship of topography to soils and vegetation in an upper Michigan ecosystem. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 47: 117-123.

ROBERT, D. et Saucier, J.P. 1987. Cadre écologique forestier I: Normes de prise de données et de vérification 1988. MER. Service de l'inventaire forestier. Gouvernement du Québec. 180 pages.

SAS Institute Inc. 1985. User's guide: Statistics. Version 5. North Carolina. 956 pages.

SCHMIDT, M.G. 1986. Soil-site relations for jack pine in the Thunder Bay area. Thesis for Master of science in forestry. School of forestry. Lakehead University. 113 pages.

SCHMIDT, M.G. et Carmean, W.H. 1988. Jack pine site quality in relation to soil and topography in north central Ontario. *Can. J. For. Res.* 19: 179-184.

SCHONAU, A.P.G. 1987. Problems in using vegetational or soil classification in determining site quality. *Suid-Afrikaanse Bosboutydskrif*-nr. 141: 13-18

SHETRON, S.G. 1972. A study concerning the soil-growth relationships of native jack pine and pine plantations on Mosinee Paper Company lands. Michigan Technological University. Houghton. Mich. Tech. Univ. 89 pages.

SPURR, S.H. et Barnes, B.V. 1980. Forest ecology. 3^e édition. John Wiley and Sons. New York. 687 pages.

STOECKELER, J.H. 1961. Organic layers in Minnesota aspen stands and their role in soil improvement. *Forest Science*. 7: 66-71.

STUANES, A.O., Ogner, G. et Opem, M. 1984. Ammonium nitrate as extractant for soil exchangeable cations, exchangeable acidity and aluminium. *Soil Sci. Plant Anal.* 15: 773-778.

VERBYLA, D.L. 1986. Potential prediction bias in regression and discriminant analysis. *Can. J. For. Res.* 16: 1255-1257.

VERBYLA, D.L. et Fisher, R.F. 1989. An alternative approach to conventional soil-site regression modeling. *Can. J. For. Res.* 19: 179-184.

WALMSLEY, M., Utzig, G., Vold, T., Moon, D. et van Barneveld, J. 1980. Describing ecosystems in the field. RAB Technical Paper 2. Land Management Report. no 7. Ministère de l'Environnement. Ministère des Forêts. Colombie-Britannique. 224 pages.

WILDE, S.A., Iyer, J.G., Tanzer, CH., Trautmann, W.L. et Watterston, K.G. 1964. Growth of jack pine (*Pinus banksiana*, Lamb.) plantation in relation to fertility of non-phreatic sandy soils. *Soil Sci.* 98: 162-169.

WILTSHIRE, R.O. 1982. Ground vegetation as an indicator of site quality for jack pine in north western Ontario. Thesis for bachelor of science in forestry. School of Forestry. Lakehead University. 80 pages.

YEATMAN, C.W. 1984. The genetic basis of jack pine management. dans, Smith, C.R. et Brown, G. (éds). Jack pine symposium. COJFRC symposium proceedings. O-P-12. Timmins. Ontario. 195 pages.

ZARNOVICAN, R. 1985. L'analyse de tige: une méthode à redécouvrir. *Naturaliste Canadien*. 112: 253-260.

ZARNOVICAN, R., Ouellet, D. et Gendron, S. 1988. Saisie informatisée de la croissance radiale. Rapport d'information LAU-X-80. Forêts Canada, région de Québec. 14 pages.

ZOLADESKI, C.A. 1988. Classification and gradient analysis of forest vegetation of cape Enragé, Bic park, Québec. *Naturaliste Canadien (Rev. Ecol. Syst.)*. 115: 9-18.

CHAPITRE 3

COURBE DE CROISSANCE EN HAUTEUR DU PIN GRIS
(*PINUS BANKSIANA* LAMB.)

INTRODUCTION

Le pin gris est une essence pionnière qui croît généralement après un feu de forêt en formant des peuplements purs et équiennes. Il colonise plusieurs types de dépôts de surface comme des dépôts de tills, des dépôts argileux d'origine glacio-lacustre et parfois même des dépôts organiques. Sa croissance est maximale dans des sables fins, des sables loameux et des loams sableux bien drainés (Cauboue et Malenfant 1988; Fowells 1965; Lafond 1966), avec un pH plutôt acide (entre 4,5 et 6,5) et une pente généralement inférieure à dix pour cent. (Cauboue 1988; Fowells 1965; Rudolph et Yeatman 1982; Wiltshire 1982*b*).

Le pin gris est principalement utilisé dans la fabrication de poteaux, charpentes et autres produits. Cet arbre possède plusieurs avantages pour le renouvellement de la forêt boréale (Yeatman 1984). En effet, mis à part le mélèze, le pin gris est le conifère voyant sa croissance augmenter la plus rapidement durant les 20 premières années (Fowells 1965).

Il devient alors intéressant de pouvoir prédire la croissance en hauteur des arbres. La capacité des sols forestiers à produire la matière ligneuse peut s'évaluer à partir de divers indices floristiques, écologiques, climatiques et dendrométriques (Decourt 1973). En milieu forestier, on utilise surtout l'indice dendrométrique ou indice de la qualité de la station (IQS), qui est basé sur la hauteur d'arbres dominants à un âge référentiel.

La hauteur est choisie préférentiellement à d'autres critères dendrométriques (volume, diamètre, surface terrière, etc.) puisqu'elle est très peu dépendante de la densité du peuplement (Carmean 1968, 1975; Monserud, Moody et Breuer 1990; Spurr et Barnes 1980).

La méthode la plus connue et la plus utilisée pour déterminer l'indice de la qualité de la station est l'analyse de tiges. Des faisceaux de courbes de croissance de l'âge en fonction de la hauteur sont établis à partir de cette méthode dite temporelle. Ces courbes, en forme de "S" décrivent les différents taux de croissance de l'arbre en fonction de l'âge. Les patrons polymorphes de la croissance en hauteur obtenus avec cette méthode reflètent les variations topographique, édaphique et climatique. Ces courbes polymorphes sont préférées aux plus vieilles courbes dites harmonisées. Ces dernières ne tiennent compte que de l'âge total et de la hauteur totale d'arbres dominants et codominants récoltés dans plusieurs stations. Une unique courbe, nommée courbe-guide, décrit alors la relation hauteur-âge moyenne, d'une région donnée. Par la suite, deux courbes situées proportionnellement de part et d'autre de la courbe-guide sont tracées et caractérisent les sites pauvres et riches (Carmean 1975). L'hypothèse de base de ces courbes était que le patron de croissance en hauteur demeurerait le même pour toutes les classes de sites, de localités et de conditions édaphiques dans la région étudiée. Nous savons maintenant que cette hypothèse est erronée et que le patron de la

croissance en hauteur des arbres varie en fonction des conditions stationnelles (Beck et Trousdell 1973; Carmean 1968).

Plonski (1956, 1974) a produit des courbes de type harmonisé pour décrire la croissance en hauteur du pin gris en Ontario, tandis que plusieurs chercheurs sous la direction de Carmean (Carmean et Lenthall 1989; Lenthall 1986; Schmidt 1986; Schmidt et Carmean 1988; Wiltshire 1982*a*; Wiltshire 1982*b*) ont quant à eux construit des courbes polymorphes de la croissance du pin gris.

L'objectif de ce chapitre est de comparer les courbes de la croissance polymorphe du pin gris dans la région de l'Abitibi aux courbes harmonisées de Plonski (1956, 1974), construites en Ontario, afin de vérifier si des concordances existent entre elles.

MÉTHODOLOGIE

Indice de la qualité de la station

L'indice de la qualité de la station représente la hauteur de la portion dominante d'un peuplement forestier à un âge référentiel. Cet âge correspond généralement au temps de rotation potentielle de l'espèce étudiée. Pour le pin gris, l'âge référentiel souvent utilisé est de 50 ans.

Un inventaire des diamètres à hauteur de poitrine (dhp) des pins gris présents dans chacune des 41 stations fut effectué. Les trois arbres dont le dhp correspondaient le plus aux 95 pour cent du nombre cumulatif de pins dans la station furent choisis pour l'analyse de tiges. Les pins choisis furent sectionnés à la base (10 cm), 0,75 m, 1,3 m puis à tous les mètres subséquents jusqu'à un diamètre avec écorce d'au moins deux centimètres. Un total de 112 pins gris dominants ou codominants, bien formés et sans blessures furent ainsi analysés.

L'âge de chaque disque récolté fut déterminé par le dénombrement de cernes. Pour chaque année quinquennale, la hauteur des arbres fut calculée par interpolation linéaire, en utilisant un logiciel d'analyse de tiges (Zarnovican, Ouellet et Gendron 1988). Les hauteurs ainsi calculées furent par la suite utilisées pour déterminer l'indice de la qualité de la station (IQS) moyen. L'IQS trouvé représente l'âge à la souche et non l'âge à hauteur de poitrine (Carmean 1975, 1978; Monserud 1984). Les

données brutes pour les 112 arbres et les 41 stations sont présentées aux **appendices H et I**.

Correction des courbes de croissance

La croissance apicale fut corrigée selon la procédure de Carmean (1975) et Wiltshire (1982*b*) en ajoutant un demi accroissement annuel en hauteur à la hauteur calculée. Cette correction rétablit la sous-estimation de la hauteur engendrée par le point de sectionnement du disque qui ne coïncide pas toujours avec le point de cessation de la croissance annuelle en hauteur, c'est-à-dire le bourgeon apical (Carmean 1975).

En effet, il est souvent possible que le point de sectionnement du disque le long du tronc se retrouve au milieu des internoeuds (Carmean 1975; Dyer et Bailey 1987; Plonski 1956). En pratique, chaque hauteur échantillonnée est augmentée de la moitié de la moyenne des accroissements annuels en hauteur établis sur une période de dix ans, intervalle auquel la hauteur correspond sur la courbe de croissance hauteur-âge de l'arbre (Wiltshire 1982*b*). Chaque hauteur sectionnée fut ainsi corrigée (**appendice J**) et une hauteur moyenne fut calculée pour les 41 stations (**appendice K**).

Les courbes âge-hauteur moyenne corrigée des 41 stations furent par la suite regroupées empiriquement en cinq classes (de 1 à 5) selon l'IQS moyen et l'allure de la courbe. Une moyenne par classe fut par la suite

calculée. Un test de Bartlett fut appliqué sur le nombre de stations composant les cinq classes, afin de vérifier l'égalité de leurs variances.

Caractérisation des stations

Les stations se trouvent en majorité sur des dépôts de tills épais mais certaines se situent sur des dépôts de tills minces avec roche mère à nu (stations 6, 8, 10, 11 et 12 du transect 1) et une station se situe sur l'argile lourde (station au sud du transect 1) (**figure 1**).

Afin de caractériser ces 41 stations, des informations concernant la topographie furent recueillies soient: l'inclinaison moyenne de la pente (%), la longueur de la pente arrière (m), l'altitude moyenne (m), l'orientation de la station (°), la forme de la pente (concave, convexe ou régulière) et la situation sur la pente (haut de pente, mi-pente, replat ou bas de pente). Le drainage de la station fut également noté.

Un pèdon fut creusé près des trois pins abattus jusqu'à une profondeur d'un mètre ou jusqu'à la roche mère. La description du profil des sols était effectuée selon les méthodes employées par Robert et Saucier (1987) et Walmsley *et al.* (1980). La profondeur du solum (profondeur inférieure de l'horizon B, excluant les horizons BC et C) fut notée pour chaque pèdon. L'analyse granulométrique de Bouyoucos (Bouyoucos 1962; McKeague 1978) fut utilisée pour déterminer les pourcentages de sable, de limon et d'argile contenus dans les horizons B des pèdons, séchés à l'air.

RÉSULTATS

Variabilité des IQS

Les résultats du test de Bartlett (Legendre et Legendre 1984), employé pour vérifier l'égalité des variances des cinq classes de croissance en hauteur, confirment que les données sont distribuées normalement ($F_{\text{cobs}}=8,59 < \chi^2_{0,01}=13,28$). Le test de Bonferroni-Dunn a montré que les hauteurs moyennes des cinq classes sont significativement différentes les unes des autres ($p=0,0001$).

Les IQS varient entre 7,9 et 20,9 mètres et les moyennes respectives des classes 1 à 5, sont de 20,1 m, 18,2 m, 16,6 m, 15,4 m et 8,6 mètres (tableau X). Les IQS minimaux et maximaux pour chaque classe ne se chevauchent pas et les écarts-types sont inférieurs à un mètre. Les courbes des classes 1 à 4 sont plutôt d'allure asymptotique tandis que la courbe 5 est plus rectiligne (figure 5).

Comparaison avec d'autres courbes déjà publiées

Dans l'étude de Plonski (1956), les IQS minimaux et maximaux des trois classes de croissance en hauteur du pin gris situé en Ontario varient entre 10,9 et 19,9 mètres et il n'y a pas de chevauchement. Les IQS moyens respectifs de ses classes 1 à 3 sont de 18,3 m, 15,3 m et de 12,4 mètres (tableau X).

TABLEAU X: Comparaison de l'étendue des IQS regroupés en cinq classes (N=112) avec ceux de Plonski, regroupés en trois classes (N=5000).

	N	IQS† min-max (m)	IQS moyen (m)	écart-type (m)	solum (cm)	prof. roc. (cm)	limon (%)
Classe 1	24	19,4-20,9	20,0	0,4	74	100	7,5
Classe 2	45	17,4-19,1	18,2	0,5	60	94,5	11,1
Classe 3	26	16,1-17,2	16,6	0,4	45	94,2	12,4
Classe 4	4	15,1-15,8	15,4	0,5	31	66,5	25,0
Classe 5	13	7,9-9,8	8,6	0,7	28	47,6	24,3
Plonski 1	1227	17,0-19,9	18,3				
Plonski 2	1641	14,1-16,9	15,3				
Plonski 3	2132	10,9-14,0	12,4				

† Voir la liste des abréviations (appendice L).

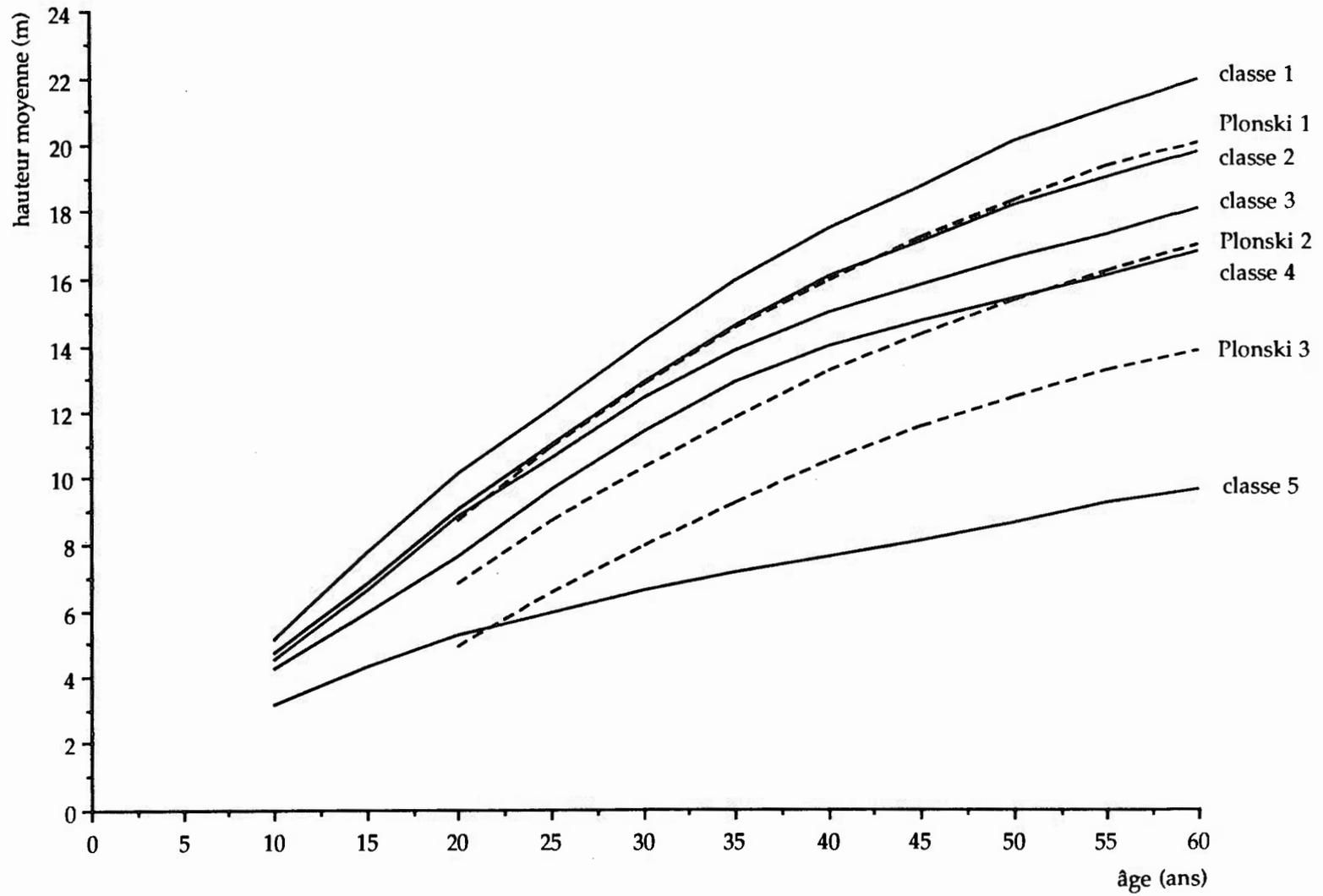


FIGURE 5: Courbes de croissance de pins gris de l'Ontario (Plonski, trait pointillé) et du Québec (présente étude, trait plein).

Les courbes des classes 1 et 2 déterminées dans cette étude, suivent le patron de croissance des courbes de Plonski. Mais, la forme des courbes 3, 4 et 5 diffère des courbes de Plonski; ces dernières démontrent des points d'inflexion vers l'âge de 30 ans (**figure 5**).

Un test de comparaison de moyennes fut effectué avec les valeurs des variables géomorphologiques réparties dans les cinq classes trouvées. Seule la classe 5 est significativement différente ($p \leq 0,05$) des classes 1, 2 et 3, en ce qui a trait à la profondeur moyenne du solum et de la roche mère ainsi que le pourcentage moyen en limon dans l'horizon B des pédons (**tableau X**).

DISCUSSION

De façon générale, la forme des cinq courbes est similaire jusqu'à l'âge d'environ 25 ans. Pour les jeunes âges, les courbes sont plus près les unes des autres et avec l'âge les courbes se distancent, ce qui démontre que les courbes ne sont pas nécessairement proportionnelles. Cette croissance polymorphe du pin gris est démontrée par la vitesse de croissance qui change avec l'âge de l'arbre.

Les courbes de Plonski semblent aussi se rapprocher en bas âge et s'éloigner avec l'âge. Toutefois, ces courbes sont harmonisées, c'est-à-dire qu'elles sont équidistantes entre elles et que le patron de croissance est semblable quelle que soit la qualité de la station riche, moyenne ou pauvre.

De plus, les pins gris échantillonnés par Plonski (1956) tendent à avoir une croissance moins rapide que les pins échantillonnés au Québec, du moins pour une certaine période, puis la tendance est renversée. La croissance des pins gris provenant de l'Ontario devient alors supérieure à celle des pins situés au Québec. La croissance du pin gris serait supérieure au Québec jusqu'à environ l'âge de 40 ans et serait probablement reliée à une différence du statut édaphique.

Les trois courbes de Plonski tendent à montrer entre elles une constance dans la diminution de la croissance en hauteur; tandis que les courbes des classes 3, 4 et 5 de notre étude ne possèdent pas cette tendance

de réduction dans la croissance en hauteur. Ces trois dernières courbes se rapprochent plutôt d'une courbe plus rectiligne. Le phénomène est plus prononcé pour la classe 5 représentant des stations situées sur du till mince avec de la roche mère à nu. Les critères de proportionnalité observés pour les courbes de Plonski, ne concordent pas avec les diminutions observées dans la présente étude.

Deux formes de courbes de croissance du pin gris de l'Abitibi sont donc observées, tandis qu'en Ontario, les courbes de Plonski ne démontrent qu'un type de croissance, quelle que soit la richesse du milieu. Les courbes et les tables de productivité de Plonski ne seraient donc pas applicables à tous les sites du territoire étudié. De plus, le degré de diversité des formes de courbes possibles varie selon l'espèce, sa localisation et les conditions de sol. Toutefois, les changements observés entre les patrons de croissance et la qualité de la station sont souvent similaires pour plusieurs espèces, c'est-à-dire que les taux de croissance ne sont pas proportionnels pour tous les âges et pour toutes les qualités de stations (Beck et Trousdell 1973).

L'épaisseur du sol semble être un facteur limitatif pour un développement racinaire normal (Coile 1952; Pritchett 1979). En effet, l'importance de l'épaisseur du solum et la profondeur de la roche mère reflètent la quantité et la qualité de l'espace disponible pour la croissance des racines des arbres (Carmean 1975) et représenteraient une mesure plus critique du volume effectif d'ancrage que la profondeur d'un horizon

restrictif (Munn et Vimmerstedt 1980). Une étude de Foster et Morrison (1976) effectuée dans la région de la rivière Mississagi, au nord de l'Ontario, sur des podzols humo-ferriques, indique que la majorité des racines de pins gris se situent soit dans les horizons de surface soit à une profondeur de 45 cm, ce qui équivaut environ à la profondeur inférieure de l'horizon B.

Les dépôts plus épais permettraient une croissance adéquate tout au long du développement de l'arbre. Tandis qu'un dépôt mince permettrait une croissance adéquate jusqu'à ce que les racines se rapprochent et touchent la roche mère (classe 4). La croissance de l'arbre ralentit dès lors et s'observe par le plafonnement sur la courbe de croissance (classe 5 surtout).

BIBLIOGRAPHIE

BECK, D.E. 1971a. Height-growth patterns and site index of white pine in the southern Appalachians. *For. Science*. 17: 252-260.

BECK, D.E. 1971b. Polymorphic site index curves for white pine in the southern Appalachians. USDA Forest Serv. Res. Paper. SE-80. SE Forest Exp. Stn. Asheville. North Carolina. 8 pages.

BECK, D.E. et Trousdell, K.B. 1973. Site index: Accuracy of prediction. USDA Forest Serv. Res. Paper. SE-108. SE Forest Exp. Stn. Asheville. North Carolina. 7 pages.

BOUYOUCOS, G.V. 1962. Hydrometer method improved for making particle-size analysis of soils. *Agron. J.* 54: 464-465.

CARMEAN, W.H. 1968. Tree growth and forest soils. dans, 3rd N. Am. Forest Soils Conf. Proc. Youngberg, C.T. et Davey, C.B. (éds). Oregon State Univ. Press. Corvallis. pages 499-512.

CARMEAN, W.H. 1975. Forest site quality evaluation in the United States. *Adv. Agron.* 27: 209-267.

CARMEAN, W.H. 1978. Site index curves for northern hardwoods in northern Wisconsin and upper Michigan. USDA Forest Serv. Res. Paper NC-160. NC Forest Exp. Stn. St-Paul. Minn. 16 pages.

CARMEAN, W.H. 1979. A comparison of site index curves for northern hardwood species. USDA For. Serv. Res. Paper. NC-167. NC For. Exp. Stn. St-Paul. Minn. 12 pages.

CARMEAN, W.H. et LENTHALL, D.J. 1989. Height-growth and site index curves for jack pine in north central Ontario. *Can. J. For. Res.* 19: 215-224.

CAUBOUE, M. et Malenfant, D. 1988. Le reboisement au Québec. Exigences écologiques des épinettes (*Picea*), des pins (*Pinus*) et des mélèzes (*Larix*) plantés au Québec. CERFO. Publications du Québec. 90 pages.

COILE, T.S. 1952. Soil and the growth of forests. *Adv. Agron.* 4: 330-398.

CURTIS, R.O. 1964. A stem analysis approach to site index curves. *For. Science*. 10: 241-256.

DECOURT, N. 1973. Production primaire, production utile: Méthodes d'évaluation, indices de productivité. Ann. Sci. For. 30: 219-238.

DYER, M.R. et Bailey, R.L. 1987. A test of six methods for estimating true heights from stem analysis data. For. Science. 33: 3-13.

FOSTER, N.W. et Morrison, I.K. 1976. Distribution and cycling of nutrients in a natural *Pinus banksiana* ecosystem. Ecology. 57: 110-120.

FOWELLS, H.A. 1965. Silvics of forest trees species of the United States. USDA Handbook. no 271. pages 338-354.

HEGER, L. 1968. A method of constructing site index curves from stem analysis. For. Chron. 44: 11-15.

LAFOND, A. 1966. Notes sur l'écologie de quatre conifères du Québec. Naturaliste canadien. 93: 823-842.

LENTHALL, D.J. 1986. Height-growth and site index of jack pine (*Pinus banksiana* Lamb.) in the Thunder Bay area. Thesis for Master of science in forestry. School of forestry. Lakehead University. 86 pages.

McKEAGUE, J.A. 1978. Manuel de méthodes d'échantillonnage et d'analyses des sols. 2^e édition. Soil Research Institute. Can. Soil Survey Committee. Préparé par le sous-comité des méthodes d'analyses. Ottawa. 250 pages.

MONSERUD, R.A. 1984. Height growth and site index curves for inland douglas-fir based on stem analysis data and forest habitat type. For. Science. 30: 943-965.

MONSERUD, R.A., Moody, U. et Breuer, D.W. 1990. A soil-site study for inland douglas-fir. Can. J. For. Res. 20: 686-695.

MUNN, L.C. et Vimmerstedt, J.P. 1980. Predicting height growth of yellow-poplar from soils and topography in south-eastern Ohio. Soil Sci. Amer. J. 44: 384-387.

PLONSKI, W.L. 1956. Normal yield tables for black spruce, jack pine, aspen and white birch in northern Ontario. Report no 24. Ontario Department of Lands and Forest. Toronto. 40 pages.

PLONSKI, W.L. 1974. Normal yield tables (metric) for major forest species of Ontario. Ontario Ministry of Natural Resources. Toronto. 39 pages.

PRITCHETT, W.L. 1979. Properties and management of forest soils. John Wiley and Sons. New York. 500 pages.

ROBERT, D. et Saucier, J.P. 1987. Cadre écologique forestier I: Normes de prise de données et de vérification 1988. MER. Service de l'inventaire forestier. Gouvernement du Québec. 180 pages.

RUDOLPH, T.D. et Yeatman, C.W. 1982. Genetics of jack pine. USDA For. Serv. Res. Paper. No. 20-38. 64 pages.

SAS Institute Inc. 1985. User's guide: Basics. Version 5. North Carolina. 956 pages.

SCHMIDT, M.G. 1986. Soil-site relations for jack pine in the Thunder Bay area. Thesis for Master of science in forestry. School of forestry. Lakehead University. 113 pages.

SCHMIDT, M. et Carmean, W.H. 1988. Jack pine site quality in relation to soil and topography in north central Ontario. Can. J. For. Res. 19: 179-184.

SPURR, S.H. et Barnes, B.V. 1980. Forest ecology. 3^e édition. John Wiley and Sons. New York. 687 pages.

STERRET, W.D. 1920. Jack pine. USDA. no 820. 47 pages.

TESCH, S.D. 1981. The evolution of forest yield determination and site classification. Forest Ecol. Manage. 3: 169-182.

WALMSLEY, M., Utzig, G., Vold, T. Moon, D. et van Barneveld, J. 1980. Describing ecosystems in the field. RAB Technical Paper 2. Land Management Report. no 7. Ministère de l'Environnement. Ministère des Forêts. Colombie-Britannique. 224 pages.

WILTSHIRE, R.O. 1982a. Ground vegetation as an indicator of site quality for jack pine in north western Ontario. Thesis for Bachelor of science in forestry. School of Forestry. Lakehead University. 80 pages.

WILTSHIRE, W.B. 1982b. Polymorphic site index curves for jack pine in the Thunder Bay region. Thesis for Bachelor of Science in Forestry. School of Forestry. Lakehead University. 31 pages.

YEATMAN, C.W. 1984. The genetic basis of jack pine management. dans, Jack pine symposium. Smith, C.R. et Brown, G. (éds). COJFRC Symposium Proceedings. O-P-12. Timmins. Ontario. pages 9-13.

ZARNOVICAN, R., Ouellet, D. et Gendron, S. 1988. Saisie informatisée de la croissance radiale. Rapport d'information LAU-X-80. Forêts Canada, région de Québec. 14 pages.

CONCLUSION GÉNÉRALE

De plus en plus, on reconnaît que l'estimation de la croissance en hauteur des arbres fondée seulement sur les caractéristiques des peuplements forestiers est insuffisante. Sans information sur les caractéristiques géomorphologiques des stations, il est difficile de prédire et d'identifier adéquatement la croissance et le rendement des stations les plus productives. Un comité spécialisé sur la croissance et le rendement des forêts, mis sur pied par le Conseil de la Recherche Forestière du Québec propose que des analyses conjointes des composantes biophysiques et dendrométriques des stations identifient des regroupements de stations (typologie et cartographie) permettant de définir des "séries d'aménagement". Ces séries d'aménagement représentent une partie de la forêt ayant plus ou moins les mêmes objectifs de production ou étant comparables en terme d'aménagement forestier (Anonyme 1992).

La présente étude a permis d'établir des relations entre la croissance en hauteur du pin gris et les variables géomorphologiques, édaphiques et biotiques du milieu. Il est donc possible de prédire convenablement la croissance en hauteur des arbres échantillonnés en fonction de certaines caractéristiques stationnelles.

Les faibles relations observées avec les variables biotiques sont probablement dues à l'influence de facteurs externes indépendants à la qualité de la station, au hasard, aux perturbations, aux conditions de

microsites ou à la chance. L'importance des caractéristiques chimiques (H^+ et pH dans l'horizon A) à prédire les indices de la qualité de la station du pin gris s'explique par le fait que la disponibilité de la plupart des éléments nutritifs est d'une façon ou d'une autre contrôlée par les conditions d'acidité ou d'alcalinité du milieu, elles-mêmes influencées par la qualité du site.

Étant donné que les variables géomorphologiques: longueur de la pente arrière, inclinaison de la pente, pourcentage de limon dans l'horizon B et épaisseur du solum semblent intimement liés à la qualité de la station, qu'elles sont facilement mesurables sur le terrain et qu'elles prédisent adéquatement l'indice de la qualité de la station du pin gris, ces variables devraient être privilégiées pour prédire le potentiel productif des stations susceptibles d'être aménagées avec cette essence.

Toutefois, il faut être prudent si l'on veut extrapoler des conclusions à partir des résultats obtenus. En effet, cette étude a permis d'observer que des différences dans le patron de croissance du pin gris existent pour une certaine localisation et selon des conditions stationnelles particulières des sols.

BIBLIOGRAPHIE GÉNÉRALE

ALBAN, D.H. 1972. An improved growth intercept method for estimating site index of red pine. USDA Forest Serv. Res. Paper. NC-80. NC Forest Exp. Stn. St-Paul. Minn. 7 pages.

ANONYME. 1982. Normales climatiques au Canada. Vol. 2: Température. 306 pages. Vol. 3: Précipitation. 602 pages. Vol. 5: Vent. 283 pages. Vol. 6: Gel. 276 pages. Environnement Canada. Ottawa.

ANONYME. 1992. Avis du comité spécialisé sur la croissance et le rendement des forêts. Conseil de la Recherche Forestière du Québec. Québec. 37 pages.

BECK, D.E. 1971. Polymorphic site index curves for white pine in the southern Appalachians. USDA Forest Serv. Res. Paper. SE-80. SE Forest Exp. Stn. Asheville. North Carolina. 8 pages.

BÉGIN, J., Bélanger, L., Pfalzgraf, J. et Pineau, M. 1990. Qualité de station et production dans les érablières rouges de la plaine de Drummondville, Québec. *Forestry Chronicle*. 66: 377-387.

BERGERON, Y., Bouchard, A. et Massicotte, G. 1985. Gradient analysis in assessing differences in community pattern of three adjacent sectors within Abitibi, Québec. *Vegetatio*. 64: 55-65.

BERGERON, Y., Bouchard, A., Gangloff, P. et Camiré, C. 1983. La classification écologique des milieux forestiers de la partie ouest des cantons d'Hébécourt et de Roquemaure, Abitibi, Québec. *Études écologiques 9*. Laboratoire d'écologie forestière. Université Laval. Québec. 169 pages.

BERGERON, Y., Camiré, C., Bouchard, A. et Gangloff, P. 1982. Analyse et classification des sols pour une étude écologique intégrée d'un secteur de l'Abitibi, Québec. *Géogr. Phys. Quat.* 36: 291-305.

BURGER, D. 1972. Forest site classification in Canada. *Mitt. Ver. Forstliche Standortskunde Fortpflanzzüchtung*. 21: 20-36.

CARMEAN, W.H. 1975. Forest site quality evaluation in the United States. *Adv. Agron.* 27: 209-267.

CARMEAN, W.H. et Vasilevski, A. 1971. Site-index comparisons for tree species in northern Minnesota. USDA Forest Serv. Res. Paper. NC-65. NC Forest Exp. Stn. St-Paul. Minn. 8 pages.

CAUBOUE, M. et Malenfant, D. 1988. Le reboisement au Québec. Exigences écologiques des épinettes (*Picea*), des pins (*Pinus*) et des mélèzes (*Larix*) plantés au Québec. CERFO. Publications du Québec. 90 pages.

CLAYTON, J.S., Ehrlich, W.A., Cann, D.B., Day, J.H. et Marshall, I.B. 1977. Soils of Canada. Vol. 1. Soil research report. Research Branch. Canada department of Agriculture. Ottawa. Ontario.

CORNS, I.G.W. et Pluth, D.J. 1984. Vegetational indicators as independant variables in forest growth prediction in west-central Alberta, Canada. Forest Ecol. Manage. 9: 13-25.

CURTIS, R.O. 1964. A stem analysis approach to site index curves. For. Science. 10: 241-256.

DANSEREAU, P. 1990. La reconstitution historique des feux dans un secteur forestier au sud du lac Abitibi, Québec. Mémoire présenté comme exigence partielle da la maîtrise en biologie. UQAM. 140 pages.

DUCRUC, J.P. et Gerardin, V. 1988. Essai sur la caractérisation et l'évaluation du drainage naturel des sols: cas de l'Abitibi-Témiscamingue. Planification écologique. Série de l'inventaire du Capital-Nature. no 9. MENVIQ. Direction du patrimoine écologique. Québec. 105 pages.

FOWELLS, H.A. 1965. Sylvics of forest tree species of the United States. USDA Handbook. no 271. pages 338-354.

GERARDIN, V. et Ducruc., J.P 1987. Guide de terrain pour l'identification des matériaux de surface et des classes de drainage en Abitibi-Témiscamingue. Contribution de la division de la cartographie écologique. no 33. MENVIQ. Direction du patrimoine écologique. Québec. 60 pages.

GRANDTNER, M.M. 1966. La végétation forestière du Québec méridional. Presses de l'Université Laval. Québec. 216 pages.

GYER, W.A. et Lynch, K.D. 1987. Use of site index as a forestry management tool. Trans. Kansas Acad. Sci. 90: 46-51.

LAFOND, A. 1966. Notes sur l'écologie de quatre conifères du Québec. Naturaliste canadien. 93: 823-842.

PARENT, B. 1988. Ressource et industrie forestières. Portrait statistique. Édition 1988. MER. Québec. 55 pages.

PAWLUK, S. et Arneman, H.F. 1961. Some forest soil characteristics and their relationship to jack pine growth. *Forest Science*. 7: 160-173.

PLONSKI, W.L. 1956. Normal yield tables for black spruce, jack pine, aspen and white birch in northern Ontario. Report no 24. Ontario Department of Lands and Forest. Toronto. 40 pages.

PLUTH, D.J. et Corns, I.G.W. 1983. Productivity of conifers in western Canada boreal forests in relation to selected environmental factors. IUFRO Symposium on forest site and continuous productivity. USDA Forest Serv. Gen. Techn. Report. PNW-163. PNW Forest Range Exp. Stn. pages 101-111.

RICHARD, P. 1978. Aires ombrothermiques des principales unités de végétation du Québec. *Naturaliste canadien*. 105: 195-207.

RICHARD, P. 1980. Histoire postglaciaire de la végétation au sud du lac Abitibi: Ontario et Québec. *Géogr. Phys. Quat.* 34: 77-94.

ROWE, J.S. 1972. Les régions forestières du Canada. Publication 1300F. Ministère de l'Environnement. Service canadien des Forêts. Information Canada. 172 pages.

SCHMIDT, M.G. 1986. Soil-site relations for jack pine in the Thunder Bay area. Thesis for Master of science in forestry. School of forestry. Lakehead University. 113 pages.

SCHMIDT, M.G. et Carmean, W.H. 1988. Jack pine site quality in relation to soil and topography in north central Ontario. *Can. J. For. Res.* 19: 179-184.

SPURR, S.H. et Barnes, B.V. 1980. *Forest ecology*. 3^e édition. John Wiley and Sons. New York. 687 pages.

THIBAUT, M. 1985. Les régions écologiques du Québec méridional. Service de la recherche. MER. Québec. carte.

TREMBLAY, G. 1974. Géologie du Quaternaire, région Rouyn-Noranda et l'Abitibi, comté Abitibi-est, Québec. Rapport intérimaire. Ministère des Richesses naturelles. Québec. 100 pages.

VINCENT, J.S. et Hardy, L. 1977. L'évolution et l'extinction des lacs glaciaires Barlow et Ojibway en territoire québécois. *Géogr. Phys. Quat.* 31: 357-372.

WILSON, C.V. 1973. Le climat du Québec. Partie 1: Atlas climatologique. Partie 2: Mises en application des renseignements climatologiques. Environnement Canada. Environnement atmosphérique. U.D.C. 551.582.3 (174). Ottawa.

APPENDICE A

Matrice des variables géomorphologiques (N=32).

tr†	st	IQS moy.	IQS max.	pentp	lpent	alt	drain	situm	formm	rocz	nappz
1	1	14,2	15,5	23	25	416	2	4	1	33	100
1	2	16,1	16,0	13	60	408	3	4	3	65	100
1	3	16,0	17,5	11	110	403	3	4	3	100	50
1	4	16,5	18,0	9	160	397	4	4	3	100	77
1	5	15,0	15,0	9	220	393	4	5	3	100	100
2	6	17,8	18,5	4	1	346	2	4	3	100	100
2	7	17,4	18,0	3	1	345	2	4	3	100	100
2	8	17,5	18,2	2	50	345	2	4	3	100	80
2	9	18,1	18,3	2	75	345	2	4	3	100	96
2	10	17,2	19,1	6	110	344	2	5	3	100	100
2	11	17,9	18,3	10	135	342	3	4	3	100	80
2	12	17,2	18,1	10	175	338	3	5	1	100	100
2	13	17,3	17,6	3	200	335	3	5	3	100	40
2	14	17,8	18,5	7	300	329	3	7	2	50	100
2	15	17,0	18,8	5	335	327	4	7	3	100	90
3	16	17,2	17,5	3	1	340	2	4	3	56	100
3	17	16,8	17,0	12	50	337	2	4	3	100	100
3	18	17,1	17,6	7	100	332	3	5	2	100	100
3	19	19,8	20,7	7	180	327	3	5	3	100	100
3	20	20,6	21,7	3	225	324	3	5	3	100	95
3	21	19,5	19,8	2	290	323	3	7	3	100	100
3	22	18,4	19,8	3	340	322	4	7	3	100	100
4	23	16,5	17,4	9	1	360	2	4	2	83	83
4	24	16,2	16,4	8	90	352	3	5	2	100	65
4	25	19,3	19,3	8	150	348	4	5	3	100	95
4	26	16,5	17,5	6	190	346	4	5	3	100	52
4	27	18,4	19,4	4	265	343	4	5	3	100	60
4	28	18,7	19,5	6	320	341	5	5	3	100	54
4	29	17,6	18,3	5	380	338	5	6	3	100	37
4	30	18,9	19,3	5	490	331	4	5	3	100	100
4	31	18,0	18,8	10	530	329	5	5	2	100	37
4	32	19,7	19,8	9	610	324	5	7	1	100	40

† Voir la liste des abréviations (appendice L).

APPENDICE A (suite).

tr	st	% sable	% argile	% limon	moucz	moucp	pierz	pierp	solum	tsb
1	1	60,4	5,6	34,0	27	11	33	11	33	22,7
1	2	70,3	5,8	23,9	65	60	65	1	31	16,4
1	3	86,8	1,0	12,1	63	1	63	1	50	20,9
1	4	84,0	3,8	12,2	80	11	80	11	46	22,0
1	5	82,4	1,6	16,0	90	11	90	11	30	12,8
2	6	93,5	2,4	4,2	124	11	124	60	109	18,4
2	7	96,1	2,0	1,9	83	1	110	60	90	29,8
2	8	94,0	1,6	4,5	80	1	86	60	40	21,3
2	9	93,2	2,2	4,7	125	0	96	60	75	23,8
2	10	82,0	1,4	16,6	125	0	100	60	74	47,0
2	11	84,4	4,4	11,3	54	11	87	60	59	38,1
2	12	82,0	6,4	11,6	100	11	100	11	77	27,8
2	13	86,0	6,7	7,3	53	11	35	11	40	49,1
2	14	82,7	4,4	12,9	50	11	25	60	34	36,4
2	15	65,8	15,4	18,8	100	11	80	60	90	61,0
3	16	76,4	2,0	21,6	125	0	56	11	45	22,1
3	17	87,3	3,1	9,5	125	0	100	60	75	13,7
3	18	92,8	2,1	5,1	125	0	64	60	58	10,9
3	19	91,9	3,3	4,8	113	11	113	60	100	17,2
3	20	95,7	1,9	2,4	104	11	96	1	90	24,9
3	21	96,6	1,7	1,7	115	11	115	1	88	56,2
3	22	57,1	21,7	21,2	96	60	96	60	89	73,8
4	23	81,2	2,4	16,5	75	11	75	60	67	15,7
4	24	89,4	3,6	7,0	125	0	90	60	61	19,4
4	25	86,4	5,2	8,5	100	11	100	11	65	19,9
4	26	73,6	8,0	18,5	63	60	63	60	48	26,1
4	27	83,1	5,5	11,4	30	1	77	60	55	24,9
4	28	93,7	1,2	5,1	125	0	54	60	50	54,3
4	29	92,8	1,9	5,3	17	11	64	11	40	87,5
4	30	85,2	3,4	11,5	125	0	95	60	68	90,6
4	31	84,7	4,5	12,5	22	60	54	11	36	87,3
4	32	83,2	7,7	9,1	125	0	65	60	42	80,4

APPENDICE B

Étapes de la prédiction de l'IQS moyen à partir des variables géomorphologiques,
selon l'analyse des coefficients de direction (N=32).

Étape	R ² modèle à 6 variables	R ² modèle à 5 variables	R ² modèle à 4 variables	R ² modèle à 3 variables	R ² modèle à 2 variables
A) Modèle saturé					
	0,626	0,624	0,615	0,587	0,548
B) Modèle à (n-1) variables					
sans lpent†	0,592	0,550	0,376	0,322	0,292
sans limon	0,520	0,519	0,518	0,421	0,240
sans tsb	0,620	0,615			
sans solum	0,603	0,596	0,585	0,548	
sans pentp	0,614	0,609	0,587		
sans drain	0,624				
C) Effets directs simples					
lpent	0,033	0,074	0,239	0,264	0,240
limon	0,106	0,105	0,097	0,166	0,292
tsb	0,006	0,009			
solum	0,022	0,028	0,030	0,039	
pentp	0,012	0,015	0,028		
drain	0,002				
D) Modèle à deux variables					
lpent-limon	0,548	0,548	0,548	0,548	0,532
lpent-tsb	0,270	0,270			
lpent-solum	0,421	0,421	0,421	0,421	
lpent-pentp	0,423	0,423	0,423		
lpent-drain	0,306				
limon-tsb	0,523	0,523			
limon-solum	0,322	0,322	0,322	0,322	
limon-pentp	0,354	0,354	0,354		
limon-drain	0,415				
tsb-solum	0,366	0,366			
tsb-pentp	0,340	0,340			
tsb-drain	0,226				
solum-pentp	0,295	0,295	0,295		
solum-drain	0,306				
pentp-drain	0,339				

† Voir la liste des abréviations (appendice L).

APPENDICE B (suite)

Étape	R ² modèle à 6 variables	R ² modèle à 5 variables	R ² modèle à 4 variables	R ² modèle à 3 variables	R ² modèle à 2 variables
E) Total des effets directs					
	0,182	0,230	0,395	0,469	0,532
F) Total des effets indirects					
	0,444	0,394	0,220	0,118	0,016
G) Effets indirects doubles					
lpent-limont	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
lpent-tsb	0,191	0,191			
lpent-solum	0,000	0,000	0,000	0,000	
lpent-pentp	0,038	0,038	0,038		
lpent-drain	0,018				
limon-tsb	0,000	0,000			
limon-solum	0,129	0,129	0,129	0,129	
limon-pentp	0,159	0,159	0,159		
limon-drain	0,000				
tsb-solum	0,014	0,014			
tsb-pentp	0,102	0,102			
tsb-drain	0,079				
solum-pentp	0,086	0,086	0,086		
solum-drain	0,000				
pentp-drain	0,000				
H) Somme des effets					
lpent	0,243	0,265	0,240	0,227	0,240
limon	0,327	0,366	0,368	0,279	0,292
tsb	0,382	0,306			
solum	0,169	0,237	0,225	0,147	
pentp	0,363	0,400	0,311		
drain	0,000				

APPENDICE C

Étapes de la prédiction de l'IQS maximal à partir des variables géomorphologiques, selon l'analyse des coefficients de direction (N=32).

Étape	R ² modèle à 6 variables	R ² modèle à 5 variables	R ² modèle à 4 variables	R ² modèle à 3 variables
A) Modèle saturé				
	0,705	0,702	0,698	0,687
B) Modèle à (n-1) variables				
sans lpent†	0,643	0,560	0,326	0,320
sans limon	0,691	0,688	0,687	
sans tsb	0,703	0,698		
sans solum	0,605	0,586	0,578	0,514
sans pentp	0,690	0,684	0,669	0,634
sans drain	0,702			
C) Effets directs simples				
lpent	0,062	0,143	0,373	0,368
limon	0,015	0,014	0,012	
tsb	0,002	0,009		
solum	0,101	0,117	0,121	0,054
pentp	0,015	0,019	0,029	0,174
drain	0,000			
D) Modèle à deux variables				
lpent-limon	0,531	0,531	0,531	0,531
lpent-tsb	0,400	0,400		
lpent-solum	0,633	0,633	0,633	0,633
lpent-pentp	0,514	0,514	0,514	0,514
lpent-drain	0,452			
limon-tsb	0,455	0,455		
limon-solum	0,264	0,264	0,264	
limon-pentp	0,227	0,227	0,227	
limon-drain	0,324			
tsb-solum	0,513	0,513		
tsb-pentp	0,380	0,380		
tsb-drain	0,320			
solum-pentp	0,320	0,320	0,320	
solum-drain	0,472			
pentp-drain	0,370			

† Voir la liste des abréviations (appendice L).

APPENDICE C (suite)

Étape	R ² modèle à 6 variables	R ² modèle à 5 variables	R ² modèle à 4 variables	R ² modèle à 3 variables
E) Total des effets directs				
	0,197	0,296	0,535	0,579
F) Total des effets indirects				
	0,508	0,406	0,164	0,090
G) Effets indirects doubles				
lpent-limont	0,000	0,000	0,000	0,000
lpent-tsb	0,275	0,275		
lpent-solum	0,000	0,000	0,000	0,000
lpent-pentp	0,043	0,043	0,043	
lpent-drain	0,064			
limon-tsb	0,000	0,000		
limon-solum	0,110	0,111	0,111	0,111
limon-pentp	0,102	0,102	0,102	
limon-drain	0,000			
tsb-solum	0,000	0,020		
tsb-pentp	0,108	0,147		
tsb-drain	0,127			
solum-pentp	0,095	0,095	0,086	
solum-drain	0,000			
pentp-drain	0,000			
H) Somme des effets				
lpent	0,399	0,416	0,370	0,360
limon	0,169	0,204	0,210	0,132
tsb	0,523	0,439		
solum	0,198	0,312	0,296	0,218
pentp	0,322	0,416	0,270	
drain	0,020			

APPENDICE D

Matrice des variables édaphiques (N=32).

tr†	st	pH L	pH F	pH H	pH LFH	pH FH	pH A	pH B	pH C
1	1	4,2	4,8	3,8	4,3	4,3	3,7	4,1	4,3
1	2	4,7	3,9	3,7	4,1	3,8	3,5	4,6	4,9
1	3	4,0	4,0	3,6	3,9	3,8	4,2	4,5	4,7
1	4	4,2	5,1	4,1	4,5	4,6	4,3	4,4	4,5
1	5	4,0	3,6	4,0	3,9	3,8	3,8	4,7	4,8
2	6	3,8	3,9	3,5	3,7	3,7	3,4	3,5	3,7
2	7	3,8	3,5	3,2	3,5	4,4	3,4	4,0	4,3
2	8	3,9	4,9	3,8	4,2	4,3	3,3	4,0	5,0
2	9	3,9	3,8	3,7	3,8	3,7	3,5	3,8	4,4
2	10	4,1	3,6	3,2	3,6	3,4	4,3	4,6	4,2
2	11	3,9	4,0	3,8	3,9	3,9	4,0	4,3	4,5
2	12	3,7	4,4	3,7	3,9	4,0	3,7	4,0	4,2
2	13	4,1	4,6	4,2	4,3	4,4	4,0	4,6	4,6
2	14	3,9	4,1	3,6	3,9	3,8	4,0	4,2	5,0
2	15	4,1	4,4	4,1	4,2	4,3	4,2	4,6	5,7
3	16	3,4	3,4	3,2	3,3	3,3	3,5	3,7	3,6
3	17	3,6	4,0	3,5	3,7	3,7	3,5	3,8	3,9
3	18	3,5	3,2	3,3	3,4	3,2	3,5	3,7	3,8
3	19	3,4	3,8	3,2	3,5	3,5	3,7	3,9	3,9
3	20	4,4	4,2	4,1	4,2	4,1	3,6	4,1	5,4
3	21	4,4	4,8	4,2	4,5	4,5	3,5	4,3	5,0
3	22	4,0	4,0	3,8	3,9	3,9	3,7	4,5	5,1
4	23	3,5	3,6	3,2	3,4	3,4	3,5	3,8	4,0
4	24	3,5	3,6	3,3	3,5	3,4	3,5	3,9	4,1
4	25	3,6	3,5	3,7	3,6	3,6	3,8	3,8	4,0
4	26	3,5	3,5	3,4	3,5	3,4	4,1	4,1	4,3
4	27	3,7	3,7	3,6	3,7	3,6	3,9	3,9	4,1
4	28	3,6	4,1	3,6	3,8	3,8	4,0	3,8	4,0
4	29	3,7	3,7	3,4	3,6	3,5	3,7	4,3	4,5
4	30	5,2	4,9	4,2	4,8	4,5	4,1	4,4	4,8
4	31	4,6	4,7	4,6	4,6	4,6	4,6	4,7	4,8
4	32	3,9	4,1	4,3	4,1	4,2	4,4	4,4	4,7

† Voir la liste des abréviations (appendice M).

APPENDICE D (suite)

tr	st	H ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	Na ⁺	tsb	NO ₃ ⁻	PO ₄ ⁼
1	1	3,82	0,62	0,11	0,11	0,19	22,7	0,84	5,49
1	2	4,14	0,56	0,05	0,08	0,16	16,4	0,52	7,30
1	3	1,65	0,22	0,02	0,05	0,14	20,9	0,63	5,14
1	4	4,79	0,35	0,06	0,16	0,20	22,0	0,35	7,59
1	5	5,20	0,25	0,07	0,22	0,22	12,8	0,31	5,39
2	6	3,00	0,35	0,07	0,10	0,17	18,4	0,86	50,87
2	7	1,34	0,37	0,05	0,03	0,14	29,8	0,22	53,62
2	8	1,88	0,28	0,05	0,04	0,02	21,3	0,34	51,55
2	9	2,70	0,45	0,10	0,07	0,18	23,8	0,63	64,50
2	10	2,43	1,48	0,26	0,15	0,19	47,0	1,18	25,03
2	11	2,47	0,86	0,16	0,07	0,18	38,1	0,67	38,15
2	12	1,73	0,37	0,09	0,04	0,17	27,8	0,43	59,01
2	13	1,02	0,77	0,10	0,03	0,15	49,1	0,72	76,74
2	14	1,67	1,83	1,02	0,15	0,22	36,4	0,99	37,95
2	15	0,88	1,17	0,17	0,03	0,16	61,0	0,58	109,63
3	16	3,72	0,28	0,05	0,08	0,16	22,1	2,02	12,47
3	17	4,55	0,40	0,06	0,09	0,17	13,7	1,09	18,67
3	18	4,67	0,29	0,06	0,04	0,17	10,9	1,28	22,48
3	19	1,87	0,25	0,03	0,05	0,16	17,2	1,72	11,40
3	20	1,12	0,19	0,01	0,02	0,14	24,9	1,33	36,63
3	21	0,55	0,51	0,03	0,02	0,14	56,2	0,88	17,22
3	22	0,57	0,82	0,16	0,04	0,16	73,8	0,59	57,40
4	23	2,94	0,30	0,04	0,05	0,15	15,7	1,15	20,03
4	24	3,02	0,39	0,03	0,05	0,18	19,4	1,54	5,36
4	25	1,39	0,15	0,02	0,02	0,15	19,9	0,29	25,13
4	26	1,39	0,25	0,02	0,04	0,18	26,1	2,45	42,77
4	27	1,72	0,34	0,04	0,02	0,16	24,9	1,40	34,56
4	28	0,20	1,13	0,11	0,02	0,17	54,3	1,36	56,04
4	29	0,40	2,35	0,27	0,02	0,19	87,5	0,71	28,68
4	30	0,45	3,15	0,43	0,05	0,18	90,6	1,77	27,68
4	31	0,66	3,15	0,37	0,04	0,18	87,3	0,48	98,19
4	32	0,66	2,21	0,31	0,04	0,17	80,4	0,45	177,33

APPENDICE D (suite)

tr	st	zA	zB	zorg	zF	zFH	zH
1	1	7	16	8	3	6	3
1	2	5	22	7	4	6	2
1	3	7	28	11	7	10	3
1	4	1	44	6	2	5	3
1	5	1	28	11	3	6	3
2	6	5	83	6	2	4	2
2	7	3	78	5	3	5	2
2	8	5	43	13	4	12	12
2	9	7	70	7	4	6	2
2	10	22	52	4	1	3	2
2	11	7	46	16	2	16	14
2	12	7	60	6	1	4	3
2	13	15	12	24	4	20	24
2	14	8	16	14	2	7	5
2	15	10	50	8	2	7	5
3	16	2	46	8	4	6	2
3	17	3	68	10	7	9	2
3	18	20	40	14	9	13	4
3	19	4	78	10	5	9	4
3	20	3	66	6	3	5	2
3	21	5	81	8	5	8	3
3	22	16	65	18	2	17	15
4	23	20	51	19	12	23	11
4	24	4	56	12	8	11	3
4	25	23	35	11	4	10	6
4	26	25	21	8	4	7	3
4	27	7	41	19	12	18	6
4	28	5	30	16	6	15	9
4	29	3	29	17	4	16	12
4	30	6	56	11	7	10	3
4	31	12	25	14	2	14	12
4	32	5	32	25	11	23	12

APPENDICE E

Matrice des fréquences d'apparition de la végétation de sous-bois (N=32).

tr†	st	Ple. shr.	Cl. spp	Cl. mit.	Cl. ran.	Cl. unc.	Dic. spp	Dic. pol.	Pti. cil.
1	1	20						20	20
1	2	33					67		
1	3	71	43		14	14	86	29	
1	4	80	60		20		100		60
1	5	67	33	33	50	17	67	33	50
2	6	58			8		75	8	8
2	7	83					58	25	8
2	8	16			8		50		
2	9	75			8		42	8	8
2	10	8			16		58	8	25
2	11	50			25		67		
2	12	8					58	8	
2	13	16					50		
2	14	16			16		33	8	
2	15						58		8
3	16	67	8	16	33	8	50	42	42
3	17	100	8		8	16	83	16	33
3	18	67	25			8	75	33	33
3	19	25	8				67		33
3	20	16	8				42	8	
3	21	25					25		
3	22	50					30		
4	23	75			25		50	8	25
4	24	92	8		42		67	25	58
4	25	16					33		25
4	26				8		25		16
4	27	8			8		50	16	25
4	28						25	8	
4	29						33		
4	30	8					50		8
4	31						50		8
4	32	42					50		

† Voir la liste des abréviations (appendice N).

APPENDICE E (suite).

tr	st	Pol. com.	Pol. jun.	Pol. pil.	Ste. sax.	Mni. spp	Bra. spp	sph. spp	mou. spp
1	1								60
1	2								33
1	3					14			
1	4					20			
1	5		33	17	17				
2	6	8				16			75
2	7	8							67
2	8					8		25	50
2	9							8	67
2	10					8			67
2	11					16		8	58
2	12					25			50
2	13					16		16	92
2	14					42		42	67
2	15					58		67	75
3	16	8			8				75
3	17								67
3	18								33
3	19								42
3	20								58
3	21								50
3	22								60
4	23								92
4	24		8						83
4	25					8		16	33
4	26							58	50
4	27							33	67
4	28							42	16
4	29							67	58
4	30					8			100
4	31					8			100
4	32			8			8		83

APPENDICE E (suite).

tr	st	Lic. spp	Lyc. obs.	Lyc. ann.	Lyc. cla.	Lyc. luc.	Mai. can.	Cor. can.	Tri. bor.
1	1		20			20	100	80	60
1	2		33	100			100	100	67
1	3		14	29			100	71	71
1	4		80				80	80	
1	5		17				67	50	
2	6	50				25	100	83	8
2	7	33	16				100	92	16
2	8	42	25		8		75	75	8
2	9	16	25	8	8	8	100	83	42
2	10	33	25				100	100	50
2	11	33	8	8	8		100	83	16
2	12	67	25		16	25	100		25
2	13	25	16		8		92	25	25
2	14	25	8				75	16	50
2	15	50					33	8	75
3	16	33	42		8		67	83	8
3	17	67	8	8	25		67	92	42
3	18	50					83	58	50
3	19	83	100	16	16	8	100	67	25
3	20	33	42	8	8		83	33	83
3	21		42	8	50		92	8	33
3	22	20	40		10		70	20	70
4	23	100					92	50	33
4	24	100	8				33	67	8
4	25	42	75	16	8		92	100	16
4	26	25	25				33	33	33
4	27	75	58				75	58	75
4	28	33	75		25		75	25	42
4	29	58			16		8		67
4	30	67					16	16	25
4	31	67		8	8		33	8	42
4	32	58	16	8	33		92	50	33

APPENDICE E (suite).

tr	st	Ara. nud.	Cli. bor.	Cop. gro.	Pte. aqu.	Dry. spi.	Str. ros.	Ast. mac.	Sol. mac.
1	1	80	60	20	40			20	
1	2	67	100	100	100				33
1	3	100	71	14	100	14	14		
1	4	40	80	40				20	
1	5	33	33					33	
2	6	75	42		8			33	
2	7	67	58	92	16		8	58	
2	8	83	92	83		8	8	42	
2	9	83	42	50			8	5	
2	10	75	33	83			25	75	
2	11	42	75	75		8	8	50	
2	12	75	92	92		8	25	42	
2	13	75	75	75		33	8	50	
2	14	42	67	33		8	16	67	
2	15	8	92	58		16		42	
3	16		25	8	8				
3	17	8	42					8	
3	18	8	42	16		8			
3	19	83	83	83	42			8	
3	20	83	100	42	50		75	83	33
3	21	100	92	92	16		50	67	
3	22	50	90	60			50	60	20
4	23		75	8					
4	24		50	50		8			
4	25	16	92	67		16		8	
4	26	42	67	67				50	8
4	27	58	75	75				25	
4	28	25	83	58			16	16	16
4	29	8	50	58		8		58	
4	30	33	42	16		16	16	50	
4	31	16	42	50			16	67	8
4	32	75	58	33			25	42	25

APPENDICE E (suite).

tr	st	Cyp. aca.	Ath. fel.	Ast. spp	Vio. spp	Pyr. sec.	Osm. cla.	Oxa. mon.	Goo. spp
1	1								
1	2								
1	3								
1	4								
1	5	17							
2	6								
2	7	8			16				
2	8				33	25	8	16	
2	9				8				
2	10				8				8
2	11				25	16			
2	12				16				
2	13				33	8	8	25	
2	14		8		75			33	
2	15		25	25	83		16	83	
3	16					25			
3	17								
3	18								
3	19		8		16	8			
3	20				50	42			
3	21							25	
3	22		20		60		10		
4	23	8							
4	24					16			
4	25				25			8	
4	26		16		58	8	8	16	
4	27		8		50		8		
4	28		16		58		8		
4	29			25	92	8	67		
4	30		67		92		25		
4	31	8	58		92	8	75		
4	32		25		75				

APPENDICE E (suite).

tr	st	Dry. phe.	Mit. nud.	Pet. pal.	Act. rub.	Gal. tri.	Cyp. spp	Gra. spp	Mon. uni.
1	1								
1	2								
1	3								
1	4								
1	5								
2	6								
2	7								
2	8								
2	9								
2	10								
2	11						8		
2	12						8		
2	13	16			16		8		
2	14						8		
2	15	8		8			25		
3	16								
3	17								
3	18								
3	19								
3	20								
3	21								8
3	22	10					10		
4	23								
4	24	8							
4	25								
4	26	8							
4	27	8							
4	28						8		
4	29	25							
4	30		16		8	33	50	8	
4	31	42	33	16		33	75		
4	32						8		

APPENDICE E (suite).

tr	st	Dry. dis.	Vac. ang.	Vac. myr.	Lin. bor.	Gau. his.	Die. lon.	Lon. can.	Kal. ang.
1	1		80	40	20				
1	2		33	100	67		67		
1	3		100	29	71	14	14	14	
1	4		20	80	60			20	20
1	5		100	17	67	17			17
2	6		50	8	16	8	83	8	
2	7		58	16	75	42	58		8
2	8		58	25	42	25	50	8	
2	9		42	33	75	50	67		
2	10		25	25	25	33	83		
2	11		58	16	67	50	33	8	
2	12		16	8	33		75		
2	13		8		33	8	42	8	
2	14		16		8	8	8		
2	15			8	16		67	16	
3	16		50	58	25	33	8		8
3	17		42	25	25	16			
3	18		67	25	50	25	8		16
3	19		25	8	8	16	50		
3	20		33				42	8	
3	21					8			
3	22		20				50	20	
4	23		92	33		50			25
4	24		75	25		58			16
4	25		42		8	16	42		
4	26		42		25		8	8	
4	27		25	16		33	25		
4	28		33		8		25		
4	29	8			25			16	
4	30						8	8	
4	31		8	16			16	8	
4	32	50	33	8			58	42	

APPENDICE E (suite).

tr	st	Ame. spp	Cor. cor.	Rib. gla.	Rub. pub.	Ros. aci.	Cor. sto.	Vib. edu.	Vib. cas.
1	1			20					
1	2		33						
1	3								
1	4	20							
1	5								
2	6								
2	7	8							25
2	8								8
2	9								16
2	10								8
2	11								
2	12								8
2	13			16				8	
2	14				58			33	25
2	15			8	58			8	58
3	16								
3	17	8							8
3	18								8
3	19	8							25
3	20		33		8				16
3	21	8	33	8					16
3	22		10	10	40			10	
4	23							8	50
4	24	8							16
4	25							16	42
4	26				33			16	25
4	27								33
4	28		8		8				50
4	29		16		33				25
4	30		42	8	42		42	8	8
4	31		33		50	16	42	16	
4	32		8	16	8		25	25	

APPENDICE E (suite).

tr	st	Led. gro.	Cor. alt.	Nem. muc.	Pru. vir.	Abi. bal.	Pic. mar.	Pic. gla.	Ace. rub.
1	1						40		80
1	2						67		100
1	3				57		43		71
1	4				40	20	100		40
1	5					33	83		17
2	6					16	8		58
2	7					8	16	8	42
2	8						16		42
2	9					25	25		42
2	10					33		8	42
2	11					67	42		33
2	12					100	16		
2	13					67			8
2	14					25			
2	15					16			
3	16	8				16	33	16	
3	17	8				16	16		
3	18					8	25		42
3	19					8	25		58
3	20					8			16
3	21						8		
3	22								
4	23	8				8	67		
4	24					8	58		
4	25					16	16		25
4	26					8			16
4	27					8	8		
4	28								8
4	29		16						25
4	30		16	8	8				
4	31								
4	32					25			

APPENDICE E (suite).

tr	st	Ace. spi.	Bet. pap.	Pop. tre.	Aln. cri.	Aln. rug.	Pru. pen.	Sor. ame.	Fra. nig
1	1	40	16			25		8	
1	2	100	16						
1	3	29						16	
1	4	20	16	8				8	
1	5	17	16						
2	6	50			8			25	
2	7	67		16				16	
2	8	67						8	
2	9	58	42					8	
2	10	50	25					8	16
2	11	42	8		8			8	
2	12	92	16					16	
2	13	58	25					33	
2	14	67	8					25	
2	15	67							
3	16							8	
3	17		10						
3	18		16		8			8	
3	19	75	16				8	16	
3	20	83						42	
3	21	100						16	
3	22	80			8			25	
4	23								
4	24								
4	25	50	8				8		
4	26	75							
4	27	83	8						
4	28	100	40		20		20		
4	29	83			33			67	
4	30	83	43		14	14		14	
4	31	58						20	
4	32	58							

APPENDICE F

Matrice des coordonnées des stations sur les deux premiers axes et les valeurs d'importance des essences arborescentes (N=32).

tr†	st	axe 1	axe 2	pba	bpa	pgl	pma	aba	aru
1	1	83	107	59	21	0	7	0	14
1	2	89	154	63	20	0	0	13	6
1	3	53	138	70	17	0	10	0	3
1	4	39	97	61	17	0	22	0	0
1	5	0	36	74	8	0	19	0	0
2	6	99	67	57	27	1	6	2	4
2	7	99	62	71	17	0	10	1	0
2	8	133	78	54	27	2	3	0	10
2	9	104	70	61	15	0	7	2	2
2	10	122	67	74	14	0	7	0	1
2	11	105	59	46	20	3	13	3	1
2	12	150	67	16	61	11	9	0	0
2	13	173	61	24	70	1	2	0	1
2	14	196	56	28	29	4	3	7	10
2	15	224	57	45	44	0	9	1	0
3	16	34	18	46	17	1	35	0	1
3	17	69	31	55	18	0	24	0	3
3	18	52	51	59	10	0	9	21	1
3	19	113	92	41	31	0	8	2	11
3	20	166	110	16	27	0	0	0	16
3	21	175	111	39	23	0	1	0	14
3	22	193	91	45	51	0	0	0	0
4	23	70	4	65	13	0	17	0	0
4	24	60	0	56	10	1	32	0	0
4	25	124	70	62	23	1	12	0	1
4	26	184	70	26	45	0	24	0	3
4	27	147	61	43	49	0	2	0	7
4	28	183	88	16	77	0	4	0	3
4	29	237	69	25	53	0	1	0	11
4	30	254	66	37	34	0	2	0	12
4	31	278	78	36	38	0	3	0	10
4	32	184	71	61	17	2	5	1	1

† Voir la liste des abréviations (appendice O).

APPENDICE F (suite)

tr	st	alc	pet	alr	frn	sor	prp	sal
1	1	0	0	0	0	0	0	0
1	2	0	0	0	0	0	0	0
1	3	0	0	0	0	0	0	0
1	4	0	0	0	0	0	0	0
1	5	0	0	0	0	0	0	0
2	6	0	0	3	0	0	0	0
2	7	0	0	0	0	0	0	0
2	8	0	3	0	0	0	0	0
2	9	1	0	12	0	0	0	0
2	10	0	0	4	0	0	0	0
2	11	0	12	1	0	0	0	0
2	12	0	2	0	0	0	0	0
2	13	0	0	1	0	0	0	0
2	14	0	10	2	8	0	0	0
2	15	0	0	1	1	0	0	0
3	16	0	0	0	0	0	0	0
3	17	0	0	0	0	0	0	0
3	18	0	0	0	0	0	0	0
3	19	0	4	0	0	3	0	0
3	20	0	41	0	0	0	0	0
3	21	0	22	0	0	1	0	0
3	22	0	0	4	0	0	0	0
4	23	0	0	4	0	0	0	0
4	24	0	0	1	0	0	0	0
4	25	0	0	1	0	0	1	0
4	26	0	2	0	0	0	0	0
4	27	0	0	0	0	0	0	0
4	28	0	0	0	0	0	0	0
4	29	0	3	0	6	0	0	1
4	30	0	0	0	12	0	2	2
4	31	0	10	0	3	0	0	0
4	32	0	9	1	0	0	0	3

APPENDICE G

Corrélations entre les IQS, les variables édaphiques et la végétation (N=32).

Variable	IQS moyen	IQS maximal
H ⁺	-0,63***	-0,67***
axe 1	0,58***	0,65***
pma	-0,52**	-0,55**
K ⁺	-0,52**	-0,50**
pet	0,48**	0,43*
tsb	0,47**	0,55***
PO ₄ ⁻	0,47**	0,46**
pba	-0,44*	-0,41*
bpa	0,41*	0,45**
sor	0,38*	0,38*
aru	0,38*	0,31
zB	0,35*	0,34*
dens	-0,29	-0,37*
sal	0,30	0,25
zH	0,27	0,27
axe 2	0,26	0,34
pHH	0,26	0,27
Na ⁺	-0,25	-0,21
zFH	0,25	0,16
prp	0,22	0,31
zorg	0,20	0,11
pHF	0,18	0,25
pHFH	0,18	0,21
Ca ⁺⁺	0,16	0,22
fm	0,15	0,20
pHLFH	0,14	0,20
pHB	-0,14	0,03
alc	0,13	0,01
alr	0,12	0,16
pgl	0,12	-0,01
pHC	0,11	0,22
Mg ⁺⁺	0,11	0,17
NO ₃ ⁻	0,11	0,09
aba	0,10	0,05
pHA	0,07	0,26
zF	0,07	-0,07
pHL	0,03	0,15
zA	0,01	0,10

† Voir les listes des abréviations (appendices M, N et O).

APPENDICE H

Matrice des hauteurs non corrigées (N=112).

âge (ans)	Transect 1						
	st 1† (m)	st 2 (m)	st 3 (m)	st 4 (m)	st 5 (m)	st 6 (m)	st 7 (m)
5	2,0	2,0	2,0	2,0	1,0	2,0	3,0
10	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	6,0
15	5,0	6,0	6,0	6,0	6,0	5,0	8,0
20	7,0	8,0	8,0	8,0	8,0	6,0	10,0
25	10,0	10,0	10,0	11,0	9,0	6,0	11,0
30	12,0	11,0	12,0	13,0	11,0	7,0	12,0
35	13,0	12,0	13,0	15,0	12,0	8,0	14,0
40	14,0	14,0	14,0	16,0	13,0	8,0	15,0
45	15,0	15,0	15,0	17,0	14,0	9,0	15,0
50	16,0	16,0	16,0	18,0	15,0	9,0	16,0
55	16,0	17,0	17,0	19,0	16,0	10,0	17,0
60	17,0	18,0	17,0	20,0	16,0		
5		2,0	3,0	2,0	2,0	2,0	2,0
10		4,0	5,0	3,0	4,0	4,0	5,0
15		6,0	7,0	6,0	6,0	5,0	7,0
20		8,0	10,0	8,0	8,0	6,0	9,0
25		10,0	12,0	10,0	10,0	6,0	10,0
30		12,0	13,0	11,0	11,0	7,0	12,0
35		13,0	14,0	12,0	13,0	7,0	14,0
40		14,0	16,0	14,0	14,0	7,0	15,0
45		14,0	16,0	15,0	14,0	7,0	15,0
50		16,0	17,0	16,0	15,0	8,0	16,0
55		17,0	18,0	17,0	16,0	8,0	17,0
60		18,0	19,0	18,0	17,0		17,0
5			2,0	3,0	2,0		2,0
10			4,0	6,0	4,0		3,0
15			6,0	7,0	6,0		7,0
20			8,0	9,0	8,0		9,0
25			10,0	11,0	9,0		11,0
30			11,0	12,0	11,0		12,0
35			13,0	14,0	12,0		14,0
40			14,0	15,0	14,0		15,0
45			15,0	16,0	14,0		16,0
50			16,0	16,0	15,0		16,0
55			17,0	17,0	16,0		17,0
60			18,0	18,0	17,0		

† Voir la liste des abréviations (appendice L).

APPENDICE H (suite).

âge (ans)	transect 1						
	st 8 (m)	st 9 (m)	st 10 (m)	st 11 (m)	st 12 (m)	st 13 (m)	st 14 (m)
5	1,0	2,0	1,0	1,0	2,0	2,0	2,0
10	2,0	4,0	3,0	2,0	3,0	6,0	4,0
15	2,0	6,0	4,0	4,0	4,0	8,0	8,0
20	3,0	9,0	6,0	4,0	5,0	10,0	10,0
25	4,0	11,0	6,0	6,0	6,0	12,0	12,0
30	4,0	13,0	7,0	7,0	7,0	14,0	14,0
35	5,0	14,0	7,0	8,0	7,0	16,0	15,0
40	5,0	15,0	8,0	8,0	8,0	17,0	17,0
45	6,0	16,0	8,0	9,0	8,0	18,0	18,0
50	6,0	17,0	8,0	9,0	9,0	20,0	19,0
55	7,0	17,0	8,0	10,0	9,0	22,0	20,0
60	7,0	18,0	8,0	10,0			22,0
5	1,0	1,0	2,0	2,0	1,0	2,0	1,0
10	3,0	4,0	3,0	2,0	3,0	5,0	4,0
15	5,0	6,0	4,0	3,0	5,0	8,0	8,0
20	5,0	8,0	4,0	4,0	6,0	11,0	10,0
25	6,0	10,0	5,0	4,0	7,0	13,0	12,0
30	6,0	12,0	6,0	5,0	8,0	15,0	14,0
35	7,0	14,0	6,0	6,0	9,0	16,0	16,0
40	8,0	15,0	7,0	6,0	10,0	18,0	18,0
45	8,0	16,0	8,0	7,0	10,0	19,0	18,0
50	9,0	16,0	8,0	8,0	11,0	20,0	20,0
55	9,0	17,0	9,0	8,0	12,0	21,0	21,0
60	10,0	18,0	10,0	9,0			22,0
5		2,0	2,0	1,0	1,0	2,0	2,0
10		4,0	3,0	3,0	2,0	5,0	4,0
15		6,0	4,0	4,0	4,0	8,0	7,0
20		9,0	5,0	5,0	5,0	10,0	10,0
25		11,0	5,0	6,0	6,0	13,0	12,0
30		13,0	6,0	6,0	7,0	15,0	14,0
35		14,0	6,0	7,0	8,0	16,0	16,0
40		16,0	7,0	8,0	9,0	18,0	18,0
45		16,0	7,0	8,0	9,0	18,0	19,0
50		17,0	8,0	9,0	10,0	20,0	20,0
55		18,0	8,0	10,0	10,0	22,0	21,0
60		18,0		10,0	11,0	23,0	

APPENDICE H (suite)

transect 2										
âge (ans)	st 15 (m)	st 16 (m)	st 17 (m)	st 18 (m)	st 19 (m)	st 20 (m)	st 21 (m)	st 22 (m)	st 23 (m)	st 24 (m)
5	1,6	1,3	2,3	1,8	1,6	1,8	1,8	1,6	1,8	1,3
10	3,8	3,8	4,3	4,3	3,3	4,3	4,3	4,3	4,3	4,3
15	6,3	6,0	6,0	6,8	5,6	6,3	5,8	6,3	6,6	6,0
20	8,3	8,3	8,3	9,3	8,0	8,8	7,8	8,3	8,3	8,8
25	10,3	10,3	9,8	11,3	9,8	10,3	10,0	10,3	10,3	10,6
30	12,6	12,6	11,3	13,0	11,8	12,1	11,8	11,8	12,3	12,6
35	14,3	14,3	13,3	15,0	13,3	13,3	13,6	14,3	13,8	14,3
40	15,8	16,3	15,1	16,6	15,3	16,0	15,3	15,6	15,3	15,6
45	17,3	16,9	16,0	17,7	16,1	17,1	16,8	16,3	15,9	17,3
50	18,5	17,8	16,8	18,3	17,0	18,3	18,1	17,6	17,3	18,8
55	19,5	18,9	17,7	18,9	17,9	19,6	18,8	19,2	18,4	20,8
60	20,3	19,8	18,6	19,6	18,9	20,3	19,5		19,5	21,9
5	1,3	2,3	2,3	1,6	1,3	2,3	2,3	1,3	1,3	1,0
10	3,8	4,8	4,8	3,8	3,6	5,3	4,3	3,3	4,0	2,1
15	6,0	7,0	6,8	7,0	5,5	7,3	6,0	5,3	6,3	4,3
20	8,3	8,3	9,3	9,8	7,3	9,3	8,3	8,3	8,0	6,3
25	10,3	10,3	11,3	12,3	9,3	11,3	10,8	10,3	10,3	8,6
30	12,0	12,8	13,3	14,0	11,3	13,3	12,6	11,8	12,3	10,6
35	13,3	14,6	15,0	15,0	12,0	15,3	14,0	13,6	13,6	12,3
40	14,6	16,3	16,5	15,9	13,6	16,7	16,0	14,7	15,1	13,5
45	15,7	17,1	17,4	16,9	14,9	17,1	16,9	15,6	16,0	14,3
50	17,0	18,0	18,2	17,9	15,6	18,1	17,6	16,8	17,5	15,3
55	18,1	18,7	19,1	18,7	16,2	19,5	18,5	17,8	18,5	16,6
60	19,2	19,5	20,3	19,2	17,2	20,9	19,3		19,5	18,1
5				1,8	2,8			2,3	1,3	1,5
10				4,3	4,8			4,0	3,3	2,8
15				6,0	6,6			6,3	5,3	4,8
20				8,3	9,3			8,8	7,3	7,3
25				10,3	11,3			11,3	9,3	9,0
30				11,8	13,6			12,8	11,6	11,3
35				13,3	15,6			14,6	13,6	12,8
40				15,3	17,3			15,7	14,9	14,6
45				16,7	18,3			16,3	16,8	15,8
50				18,0	19,1			17,5	18,5	16,8
55				19,0	19,7			18,3	19,6	18,3
60				19,9	20,3			20,0		20,1

APPENDICE H (suite).

transect 3							
âge (ans)	st 25 (m)	st 26 (m)	st 27 (m)	st 28 (m)	st 29 (m)	st 30 (m)	st 31 (m)
5	2,0	2,0	1,1	1,3	1,8	1,6	1,1
10	4,3	3,8	3,8	3,8	4,3	4,3	3,6
15	6,3	6,0	6,3	6,3	6,8	7,3	5,0
20	8,8	8,3	8,8	8,8	9,3	10,3	7,3
25	10,8	10,3	10,6	10,6	11,6	12,3	9,8
30	12,8	11,6	12,0	12,3	13,6	14,0	11,3
35	14,3	13,3	13,8	13,8	15,6	15,8	13,0
40	15,5	14,5	15,3	15,7	17,3	17,6	15,3
45	16,3	15,6	16,1	16,8	18,3	18,7	16,8
50	17,5	16,8	16,8	18,3	19,6	19,8	18,3
55	18,4	17,9	17,3	19,5	20,4	21,1	19,6
60	19,1	18,8	17,9	20,5	21,1	22,1	20,5
5	0,9	2,5	2,3	1,6	1,3	1,8	1,1
10	3,3	3,8	4,8	4,3	4,3	4,3	2,6
15	5,8	5,8	7,0	7,3	7,5	6,6	4,6
20	8,3	8,6	9,3	9,8	9,8	8,3	6,3
25	10,8	10,6	11,0	11,6	12,3	10,8	8,3
30	12,6	12,8	12,8	13,8	14,3	13,3	10,6
35	14,3	14,3	14,3	16,3	16,3	15,3	12,8
40	15,7	15,5	16,3	17,7	18,3	17,1	14,5
45	16,6	16,3	16,9	18,6	19,3	18,1	15,6
50	17,5	17,0	17,6	20,7	20,6	19,6	17,1
55	18,3	17,7	18,4	21,9	21,5	21,0	18,6
60	19,1	18,4	18,8	23,4	22,3	22,1	
5	1,3	2,0	1,6	2,0	2,3	1,3	0,9
10	3,3	4,3	3,8	6,3	5,3	3,8	2,3
15	5,6	6,6	6,0	8,3	7,3	6,8	5,0
20	7,3	8,8	8,1	11,3	9,3	9,3	7,8
25	9,3	10,3	9,6	13,0	11,8	11,3	10,3
30	11,6	12,3	11,6	15,0	14,3	13,3	12,8
35	13,1	13,6	13,3	17,0	16,0	15,0	14,8
40	14,5	14,9	14,9	18,7	18,0	17,3	17,3
45	15,6	15,7	16,1	19,6	19,8	18,0	18,3
50	16,7	16,6	17,0	20,5	21,7	19,1	19,8
55	17,7	17,6	17,8	21,3	22,6	20,8	20,9
60	18,6	18,3	18,7	22,6	23,2	22,1	21,9

APPENDICE H (suite).

transect 4										
âge (ans)	st 32 (m)	st 33 (m)	st 34 (m)	st 35 (m)	st 36 (m)	st 37 (m)	st38 (m)	st 39 (m)	st 40 (m)	st 41 (m)
5	1,3	1,3	1,8	1,3	1,3	1,8	2,0	1,1	1,8	1,8
10	3,6	3,5	3,8	3,3	3,8	4,3	4,3	3,8	2,8	3,6
15	5,3	5,3	6,3	6,3	6,3	6,8	6,8	6,3	5,3	6,0
20	8,0	7,3	8,3	8,6	9,3	9,3	8,3	8,8	7,8	8,3
25	10,3	10,0	10,3	10,3	10,8	11,0	10,6	11,6	10,3	10,3
30	11,6	12,3	12,3	12,8	13,0	13,3	12,3	13,8	12,6	12,3
35	13,5	14,0	14,3	14,3	15,0	14,8	14,3	14,8	14,6	14,3
40	14,3	15,3	16,6	15,8	16,6	16,0	15,9	16,0	16,1	16,3
45	15,3	15,9	18,0	16,6	17,9	17,3	17,1	17,6	17,6	18,0
50	15,9	16,4	19,3	17,5	19,4	19,5	18,3	19,3	18,8	19,8
55	16,4	17,2	20,5	18,3	20,0	20,3	19,6	20,6	19,7	21,1
60	16,8	17,6	21,4		20,6	20,9	20,4	21,4		22,5
5	2,3	2,0	1,8	1,3	2,3	2,3	1,8	0,9	1,6	1,3
10	4,3	3,8	3,8	3,3	4,3	4,8	4,8	2,6	3,8	4,0
15	6,8	6,3	6,3	6,3	6,3	7,3	6,8	4,3	6,3	6,3
20	9,0	7,8	8,3	8,6	8,3	9,3	8,8	6,8	8,3	8,6
25	11,0	9,8	10,3	10,3	10,6	11,3	11,0	9,0	10,3	11,3
30	12,6	11,8	12,3	12,8	12,6	13,3	12,6	10,8	12,3	13,0
35	14,1	13,1	14,3	14,3	14,3	15,3	14,1	13,0	14,0	15,0
40	14,7	14,3	16,6	15,8	15,8	17,3	15,6	15,0	15,6	17,0
45	15,3	15,0	18,0	16,6	17,3	18,3	16,3	16,6	16,7	18,0
50	16,1	15,9	19,3	17,5	18,6	19,1	17,1	18,3	17,6	19,8
55	17,0	16,7	20,5	18,3	19,3	19,8	18,1	19,3	18,3	21,3
60	17,8	17,3	21,4		19,8	20,4	18,9	20,3	19,1	22,4
5	2,3	1,8	2,3		1,3	0,8	1,3	1,8	1,6	2,0
10	4,8	4,3	4,3		4,3	2,8	4,3	4,3	3,6	4,3
15	7,3	6,3	7,6		6,8	5,0	6,3	7,3	5,6	6,3
20	9,6	8,8	9,3		8,6	7,3	8,3	9,5	7,3	8,8
25	11,0	10,3	12,3		10,6	9,3	10,3	10,3	10,0	10,8
30	12,6	12,0	14,3		12,3	11,6	12,3	12,3	12,3	13,0
35	14,3	13,3	16,0		13,8	13,6	14,1	14,3	13,8	15,0
40	15,3	14,6	17,8		15,1	15,6	15,3	16,0	15,5	16,8
45	16,3	15,3	18,7		16,1	16,8	16,3	17,3	16,6	18,1
50	17,4	16,3	19,3		17,3	17,6	17,3	19,0	17,7	19,6
55	17,8	16,8	19,9		17,9	18,5	18,1	20,3	18,4	21,3
60	18,1	17,3	20,5		18,5	19,5	18,8	20,7	19,2	22,5

APPENDICE I

Matrice des hauteurs moyennes brutes (N=41).

classe 1								
âge (ans)	st 13† (m)	st 14 (m)	st 28 (m)	st 29 (m)	st 30 (m)	st 34 (m)	st 39 (m)	st 41 (m)
10	5,3	4,0	4,8	4,6	4,1	4,0	3,6	4,0
15	8,0	7,7	7,3	7,2	6,9	6,7	6,0	6,2
20	10,3	10,0	10,0	9,5	9,3	8,6	8,4	8,6
25	12,7	12,0	11,2	11,9	11,5	11,0	10,3	10,8
30	14,7	14,0	13,0	14,1	13,5	13,0	12,3	12,8
35	16,0	15,7	15,7	16,0	15,4	14,9	14,0	14,8
40	17,7	17,7	16,8	17,9	17,3	17,0	15,7	16,7
45	18,7	18,7	18,3	19,1	18,3	18,2	17,2	18,0
50	20,0	19,7	19,8	20,6	19,5	19,3	18,9	19,7
55	22,0	20,7	20,9	21,5	21,0	20,3	20,1	21,2
60	23,0	22,0	22,2	22,2	22,1	21,1	20,8	22,5

† Voir la liste des abréviations (appendice L).

classe 2									
âge (ans)	st 15 (m)	st 16 (m)	st 17 (m)	st 18 (m)	st 19 (m)	st 20 (m)	st 21 (m)	st 22 (m)	st 23 (m)
10	3,8	4,3	4,5	4,1	3,9	4,8	4,3	3,9	3,9
15	6,1	6,5	6,4	6,6	5,9	6,8	5,9	6,0	6,1
20	8,3	8,3	8,8	9,1	8,2	9,0	8,0	8,5	7,9
25	10,3	10,3	10,5	11,3	10,1	10,8	10,4	10,6	10,0
30	12,3	12,7	12,3	12,9	12,2	12,7	12,2	12,1	12,1
35	13,8	14,4	14,1	14,4	13,6	14,3	13,8	14,2	13,7
40	15,2	16,3	15,8	15,9	15,8	16,3	15,6	15,3	15,1
45	16,5	17,0	16,7	17,1	16,4	17,1	16,8	16,1	16,2
50	17,7	17,9	17,5	18,1	17,2	18,2	17,8	17,3	17,8
55	18,8	18,8	18,4	18,9	17,9	19,5	18,6	18,4	18,8
60	19,7	19,6	19,4	19,6	18,8	20,6	19,4	20,0	19,5

APPENDICE I (suite).

classe 2								
âge (ans)	st 24 (m)	st 25 (m)	st 31 (m)	st 35 (m)	st 36 (m)	st 37 (m)	st 38 (m)	st 40 (m)
10	3,1	3,6	2,8	3,3	4,1	4,0	4,5	3,4
15	5,0	5,9	4,9	6,3	6,5	6,4	6,6	5,7
20	7,5	8,1	7,1	8,6	8,7	8,6	8,5	7,8
25	9,4	10,3	9,5	10,3	10,7	10,5	10,6	10,2
30	11,5	12,3	11,6	12,8	12,6	12,7	12,4	12,4
35	13,1	13,9	13,5	14,3	14,4	14,6	14,2	14,1
40	14,6	15,2	15,7	15,8	15,8	16,3	15,6	15,7
45	15,8	16,2	16,9	16,6	17,1	17,5	16,6	17,0
50	17,0	17,2	18,4	17,5	18,4	18,7	17,6	18,0
55	18,6	18,1	19,7	18,3	19,1	19,5	18,6	18,8
60	20,0	18,9	21,2		19,6	20,3	19,4	19,1

classe 3									
âge (ans)	st 2 (m)	st 3 (m)	st 4 (m)	st 7 (m)	st 9 (m)	st 26 (m)	st27 (m)	st 32 (m)	st 33 (m)
10	4,0	4,3	4,3	4,7	4,0	4,0	4,1	4,2	3,9
15	6,0	6,3	6,3	7,3	6,0	6,1	6,4	6,5	6,0
20	8,0	8,7	8,3	9,3	8,7	8,6	8,7	8,9	8,0
25	10,0	10,7	10,7	10,7	10,7	10,4	11,1	10,8	10,0
30	11,5	12,3	12,0	12,0	12,7	12,2	12,1	12,3	12,0
35	12,5	13,3	13,7	14,0	14,0	13,7	13,8	14,0	13,5
40	14,0	14,7	15,0	15,0	15,3	15,0	15,5	14,8	14,7
45	14,5	15,3	16,0	15,3	16,0	15,9	16,4	15,6	15,4
50	16,0	16,3	16,7	16,0	16,3	16,8	17,1	16,5	16,2
55	17,0	17,3	17,7	17,0	17,3	17,7	17,8	17,1	16,9
60	18,0	18,0	18,7	17,0	18,0	18,5	18,5	17,6	17,4

APPENDICE I (suite).

âge (ans)	CLASSE 4		CLASSE 5				
	st1 (m)	st 5 (m)	st 6 (m)	st 8 (m)	st 10 (m)	st 11 (m)	st 12 (m)
10	4,0	4,0	3,8	2,5	3,0	2,3	2,7
15	5,0	6,0	6,3	3,5	4,0	3,7	4,3
20	7,0	8,0	8,3	4,0	5,0	4,3	5,3
25	10,0	9,3	10,3	5,0	5,3	5,3	6,3
30	12,0	11,0	12,3	5,0	6,3	6,0	7,3
35	13,0	12,3	14,3	6,0	6,3	7,0	8,0
40	14,0	13,7	16,6	6,5	7,3	7,3	9,0
45	15,0	14,7	18,0	7,0	7,7	8,0	9,0
50	16,0	15,0	19,3	7,5	8,0	8,7	10,0
55	16,0	16,0	20,5	8,0	8,3	9,3	10,3
60	17,0	16,7	21,4	8,5	9,0	9,7	11,0

APPENDICE J

Matrice des hauteurs corrigées (N=112).

âge (ans)	transect 1						
	st 1† (m)	st 2 (m)	st 3 (m)	st 4 (m)	st 5 (m)	st 6 (m)	st 7 (m)
5	2,1	1,7	2,1	2,1	1,3	2,1	3,1
10	4,2	4,1	3,8	3,9	3,7	4,2	5,6
15	5,4	5,6	6,3	6,4	6,1	5,5	7,6
20	7,1	7,6	8,1	8,6	7,7	6,0	9,7
25	9,6	9,7	10,0	11,1	9,3	6,5	11,1
30	11,6	11,2	11,6	13,1	11,1	7,0	12,6
35	13,3	12,4	12,9	14,7	12,5	7,5	14,0
40	14,4	13,8	14,3	15,8	13,4	8,0	14,7
45	15,1	14,8	15,0	16,7	14,1	8,5	15,4
50	15,8	15,9	15,7	17,7	14,8	9,0	16,0
55	16,5	17,0	16,4	18,6	15,5	9,5	16,7
60	17,1	18,2	17,2	19,5	16,2	11,0	17,4
5		2,3	3,1	2,1	2,1	2,1	2,2
10		4,2	5,2	4,2	4,4	4,2	5,1
15		6,1	7,4	6,6	6,6	5,0	7,4
20		8,4	9,6	8,1	8,6	6,0	8,8
25		10,2	11,6	10,3	10,0	6,3	10,3
30		12,0	13,1	11,4	11,3	6,6	12,1
35		12,9	14,6	12,4	12,7	6,8	13,4
40		13,7	16,1	14,2	13,6	7,1	14,4
45		15,0	16,8	15,2	14,4	7,4	15,3
50		15,9	17,5	16,0	15,2	7,6	16,0
55		16,8	18,2	16,9	15,9	7,9	16,6
60		17,7	18,9	17,8	16,7	8,2	17,3
5			1,7	3,4	2,1		2,2
10			4,6	5,7	4,4		5,1
15			6,4	7,2	6,4		7,1
20			8,1	9,4	8,1		9,1
25			9,7	10,8	9,4		11,1
30			11,4	12,6	11,1		12,4
35			12,6	14,1	12,5		13,7
40			13,8	15,3	13,6		15,0
45			14,9	15,9	14,4		15,7
50			16,2	16,6	15,2		16,4
55			17,1	17,2	15,9		17,0
60			18,0	17,8	16,7		

† Voir la liste des abréviations (appendice L).

APPENDICE J (suite).

âge (ans)	transect 1						
	st 8 (m)	st 9 (m)	st 10 (m)	st 11 (m)	st 12 (m)	st 13 (m)	st 14 (m)
5	1,2	2,1	1,4	1,2	1,7	2,7	2,1
10	2,7	3,8	2,7	2,5	3,0	5,6	4,6
15	4,2	6,6	4,1	3,6	4,3	8,1	8,0
20	5,2	9,1	5,6	4,5	5,4	10,1	9,6
25	6,1	11,1	6,4	5,6	6,2	11,8	11,8
30	6,6	12,7	7,0	7,0	6,7	14,1	13,7
35	7,1	14,1	7,3	7,6	7,2	15,7	15,3
40	7,6	15,4	7,5	8,1	7,7	17,2	16,5
45	8,0	16,0	7,7	8,7	8,2	18,6	17,7
50	8,5	16,7	8,0	9,2	8,7	20,2	19,0
55	9,0	17,3	8,2	9,8	9,2	21,7	20,3
60	9,5	17,9	8,4	10,4			21,5
5	1,5	1,4	1,6	1,5	1,5	2,1	1,4
10	3,4	3,6	2,8	2,4	3,3	5,2	4,2
15	4,8	5,8	3,8	3,1	4,7	8,1	7,6
20	5,5	7,8	4,5	3,7	5,8	11,1	10,1
25	6,0	10,1	5,0	4,4	7,1	13,1	12,1
30	6,5	12,1	5,6	5,1	8,3	14,8	14,1
35	7,0	13,5	6,2	5,7	8,9	16,6	16,1
40	7,5	14,8	6,9	6,3	9,5	18,0	17,4
45	8,1	15,8	7,5	6,9	10,2	19,2	18,6
50	8,6	16,6	8,1	7,5	10,8	19,9	20,0
55	9,1	17,4	8,7	8,1	11,5	20,6	21,1
60	9,6	18,1	9,4	8,7		21,3	22,2
5		2,4	2,0	1,4	0,9	1,7	1,7
10		4,1	2,8	3,3	2,1	4,6	4,6
15		6,6	4,1	4,4	3,5	8,1	7,1
20		9,1	4,6	5,1	4,8	10,6	10,1
25		11,4	5,1	5,8	6,0	12,8	12,1
30		13,3	5,6	6,4	7,3	14,7	14,4
35		15,0	6,1	7,1	8,2	16,1	16,4
40		16,1	6,5	7,7	8,8	18,0	18,3
45		16,6	7,0	8,4	9,3	18,8	19,4
50		17,1	7,5	9,0	9,9	20,3	20,4
55		17,6	8,0	9,7	10,4	21,7	21,2
60		18,1		10,3	11,0	23,1	

APPENDICE J (suite).

transect 2										
âge (ans)	st 15 (m)	st 16 (m)	st 17 (m)	st 18 (m)	st 19 (m)	st 20 (m)	st 21 (m)	st 22 (m)	st 23 (m)	st 24 (m)
5	2,4	1,4	2,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	2,1
10	5,4	4,4	4,7	4,9	3,9	5,3	4,7	4,9	4,9	5,0
15	7,7	6,4	6,4	7,4	6,1	6,9	6,1	7,1	7,0	7,4
20	9,4	8,9	8,9	9,9	8,4	9,3	8,4	9,1	8,7	9,7
25	11,9	10,9	10,0	11,7	10,4	10,9	10,4	10,9	10,7	11,4
30	13,7	13,0	11,9	13,4	12,1	12,3	12,1	12,9	12,7	13,4
35	15,1	14,9	13,9	15,4	13,9	14,0	14,0	15,0	14,1	14,9
40	16,9	16,4	15,3	17,0	15,5	16,3	15,7	15,9	15,5	16,4
45	18,1	17,1	16,2	17,8	16,3	17,3	17,1	16,8	16,1	18,0
50	19,1	18,1	17,0	18,4	17,2	18,7	18,3	18,1	17,5	19,5
55	19,8	19,0	17,8	19,1	18,0	19,7	18,9	19,3	18,5	21,0
60	20,4	19,9	18,7	19,7	18,9	20,3	19,5		19,5	21,9
5	1,5	2,4	2,4	1,4	1,5	1,5	3,4	1,4	3,4	1,4
10	5,4	5,4	5,4	4,4	4,9	5,4	5,0	4,1	5,4	3,4
15	7,4	7,3	7,4	7,5	6,4	7,3	6,9	6,9	7,4	5,7
20	9,9	8,9	9,9	10,4	8,4	9,4	9,4	9,4	9,4	7,9
25	11,4	10,9	11,9	12,7	10,4	11,4	11,7	10,9	11,4	9,9
30	12,8	13,4	13,7	14,3	11,8	13,4	13,1	12,7	13,1	11,4
35	14,1	15,0	15,4	15,2	12,9	15,5	14,9	14,3	14,6	13,1
40	15,3	16,5	16,7	16,1	14,5	16,7	16,5	15,1	15,7	14,0
45	16,4	17,3	17,6	17,1	15,4	17,1	17,2	16,1	16,9	15,0
50	17,7	18,2	18,3	18,1	16,0	18,1	18,0	17,3	18,1	16,1
55	18,6	18,8	19,3	18,7	16,6	19,5	18,7	17,9	18,9	17,1
60	19,3	19,5	20,4	19,3	17,4	20,9	19,3		19,6	18,1
5				1,4	2,4			2,4	1,4	1,4
10				4,7	4,9			4,4	3,9	3,4
15				6,4	6,7			6,9	5,7	5,4
20				8,7	9,4			9,4	7,9	7,7
25				10,7	11,4			11,6	9,9	9,4
30				12,1	13,7			13,4	12,1	11,6
35				13,7	15,6			15,0	14,0	13,4
40				15,7	17,3			15,8	15,2	15,0
45				17,0	18,3			16,6	17,4	16,0
50				18,3	19,2			17,7	18,7	17,1
55				19,2	19,7			18,6	19,6	18,5
60				20,0	20,3			20,0		20,1

APPENDICE J (suite).

transect 3							
âge (ans)	st 25 (m)	st 26 (m)	st 27 (m)	st 28 (m)	st 29 (m)	st 30 (m)	st 31 (m)
5	1,4	1,4	1,5	2,4	3,4	1,5	1,4
10	4,7	4,4	4,5	5,7	5,9	5,4	4,0
15	6,9	6,4	6,9	7,9	8,4	8,4	5,5
20	9,4	8,9	9,4	10,0	10,9	10,7	7,9
25	11,4	10,6	10,9	11,7	12,9	12,7	10,3
30	13,1	12,0	12,4	13,1	14,9	14,4	11,7
35	14,6	13,6	14,3	15,3	16,7	16,4	13,5
40	15,7	14,7	15,5	16,3	18,0	17,8	15,6
45	16,6	15,9	16,3	17,7	19,3	18,9	17,3
50	17,7	17,1	16,8	19,1	20,2	20,1	18,7
55	18,5	18,1	17,4	19,9	20,7	21,3	19,8
60	19,1	18,9	17,9	20,6	21,1	22,1	20,5
5	1,3	2,2	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4
10	4,4	4,4	4,9	5,5	4,9	4,9	3,4
15	6,9	6,5	7,1	8,4	7,9	7,0	5,4
20	9,4	9,1	9,4	10,7	10,4	9,4	7,1
25	11,7	11,1	11,1	12,4	12,9	11,4	9,4
30	13,4	13,3	12,9	14,9	14,7	13,7	11,4
35	15,0	14,6	14,4	17,3	16,9	15,9	13,7
40	16,1	15,7	16,3	18,1	18,5	17,3	14,9
45	17,0	16,5	16,9	19,5	19,7	18,4	16,3
50	17,8	17,2	17,6	21,1	20,8	20,0	17,7
55	18,6	17,8	18,5	22,2	21,6	21,1	19,0
60	19,2	18,4	18,8	23,4	22,3	22,1	
5	1,4	1,4	1,4	1,5	1,5	2,4	1,4
10	3,9	4,9	4,4	6,7	5,4	5,5	3,9
15	6,0	7,1	6,5	9,4	7,4	8,4	6,4
20	7,9	9,3	8,4	11,7	9,4	10,4	8,9
25	9,9	10,9	10,1	13,4	11,9	12,7	11,4
30	12,0	12,6	11,9	15,4	14,4	14,4	13,7
35	13,4	14,0	13,9	17,4	16,1	16,4	15,9
40	14,7	15,1	15,1	18,9	18,0	17,8	17,7
45	15,9	15,9	16,3	19,8	19,9	18,6	19,0
50	16,9	16,8	17,1	20,7	21,7	20,3	20,3
55	17,8	17,7	18,0	21,5	22,6	21,2	21,1
60	18,6	18,3	18,7	22,6	23,2	22,1	21,9

APPENDICE J (suite).

transect 4										
âge (ans)	st 32 (m)	st 33 (m)	st 34 (m)	st 35 (m)	st 36 (m)	st 37 (m)	st 38 (m)	st 39 (m)	st 40 (m)	st 41 (m)
5	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	2,4	1,4	1,4	1,4	1,4
10	4,4	4,1	4,4	4,9	5,4	5,4	4,9	5,4	2,4	3,7
15	6,9	6,1	6,7	7,4	7,9	8,4	7,1	7,4	5,4	6,1
20	8,9	8,9	8,9	9,1	9,9	10,0	8,9	10,4	7,9	8,4
25	10,9	10,9	10,9	11,4	11,9	11,9	11,0	12,5	10,4	10,4
30	12,4	13,0	12,9	13,6	13,9	13,9	12,7	14,3	12,7	12,4
35	13,8	14,6	15,4	15,3	15,7	15,5	14,7	15,1	14,7	14,4
40	14,7	15,5	16,9	16,2	17,3	16,4	16,1	16,7	16,1	16,4
45	15,5	16,1	18,3	17,0	18,4	18,4	17,3	18,4	17,7	18,1
50	16,1	16,8	19,6	17,7	19,6	19,8	18,7	20,1	18,8	19,8
55	16,5	17,4	20,6	18,4	20,1	20,5	19,7	20,8	19,7	21,1
60	16,8	17,7	21,4		20,6	21,0	20,5	21,4		22,5
5	2,0	1,4	3,4	1,3	1,4	2,4	2,4	1,4	1,4	3,4
10	4,9	4,4	5,9	3,9	4,5	5,4	5,7	3,7	4,5	5,4
15	7,4	6,7	8,4	6,5	6,4	7,9	7,7	5,9	6,7	7,9
20	9,4	8,1	10,9	9,7	8,5	9,7	9,9	8,4	8,9	10,4
25	11,4	10,4	12,9	11,9	10,7	11,7	11,7	10,1	10,9	12,4
30	13,0	12,3	14,9	14,4	12,7	13,7	13,3	12,4	12,7	14,4
35	14,3	13,3	16,4	16,9	14,4	15,7	14,9	14,4	14,4	16,4
40	14,9	14,5	18,3	18,0	15,9	17,5	15,9	16,0	15,8	17,7
45	15,5	15,2	19,3	18,6	17,4	18,5	16,7	17,4	16,9	18,9
50	16,3	16,1	20,0	19,1	18,6	19,3	17,5	18,8	17,7	20,8
55	17,2	16,8	20,5	19,6	19,3	19,9	18,4	19,6	18,4	21,7
60	17,8	17,3	20,9		19,8	20,5	19,0	20,3	19,1	22,5
5	2,4	1,4	2,0		2,4	1,5	1,4	1,4	1,4	1,4
10	5,4	4,9	5,4		5,4	4,6	4,7	4,9	4,1	4,3
15	7,9	6,9	8,0		7,7	6,4	6,7	7,9	6,0	6,4
20	9,9	9,3	10,7		9,4	8,7	8,9	9,7	7,9	8,9
25	11,4	10,7	12,9		11,1	10,9	10,9	10,9	10,4	10,9
30	13,0	12,3	14,7		12,9	12,9	12,9	12,7	12,7	13,1
35	14,5	13,7	16,4		14,5	14,9	14,3	14,7	14,1	15,0
40	15,5	14,8	18,1		15,5	16,5	15,5	16,3	15,7	16,9
45	16,7	15,5	18,8		16,6	17,3	16,5	17,7	17,0	18,2
50	17,5	16,4	19,4		17,5	18,2	17,5	19,3	17,9	19,7
55	17,8	16,9	19,9		18,0	18,9	18,2	20,4	18,6	21,3
60	18,1	17,3	20,5		18,5	19,5	18,9	20,8	19,2	22,5

APPENDICE K

Matrice des hauteurs moyennes corrigées (N=41).

classe 1								
âge (ans)	st 13† (m)	st 14 (m)	st 28 (m)	st 29 (m)	st 30 (m)	st 34 (m)	st 39 (m)	st 41 (m)
10	5,2	4,5	6,0	5,4	5,3	5,2	4,7	4,5
15	8,1	7,6	8,6	7,9	7,9	7,7	7,1	6,8
20	10,6	9,9	10,8	10,2	10,2	10,2	9,5	9,2
25	12,5	12,0	12,5	12,6	12,3	12,2	11,2	11,2
30	14,5	14,1	14,5	14,7	14,2	14,2	13,1	13,3
35	16,1	15,9	16,7	16,5	16,2	16,1	14,8	15,3
40	17,8	17,4	17,8	18,2	17,6	17,8	16,4	17,0
45	18,8	18,6	19,0	19,6	18,6	18,8	17,8	18,4
50	20,1	19,8	20,3	20,9	20,1	19,7	19,4	20,1
55	21,3	20,9	21,2	21,6	21,2	20,4	20,3	21,4
60	22,4	22,0	22,3	22,2	22,2	21,0	20,9	22,7

† Voir la liste des abréviations (appendice L).

classe 2								
âge (ans)	st 15 (m)	st 16 (m)	st 17 (m)	st 18 (m)	st 19 (m)	st 20 (m)	st 21 (m)	st 22 (m)
10	5,4	4,9	4,9	4,7	4,5	5,4	4,9	4,5
15	7,5	6,9	6,7	7,1	6,4	7,1	6,5	7,0
20	9,6	8,9	9,2	9,7	8,7	9,4	8,9	9,3
25	11,6	10,9	10,9	11,7	10,7	11,1	11,1	11,1
30	13,3	13,2	12,6	13,3	12,5	12,9	12,6	13,0
35	14,6	15,0	14,3	14,8	14,1	14,7	14,5	14,8
40	16,1	16,5	15,9	16,3	15,8	16,5	16,1	15,6
45	17,2	17,2	16,9	17,3	16,7	17,2	17,1	16,5
50	18,4	18,1	17,9	18,3	17,4	18,4	18,2	17,7
55	19,2	18,9	18,8	19,0	18,1	19,6	18,8	18,6
60	20,0	19,8	19,8	19,7	19,0	20,6	19,4	19,6

APPENDICE K (suite).

classe 2									
âge (ans)	st 23 (m)	st 24 (m)	st 25 (m)	st 31 (m)	st 35 (m)	st 36 (m)	st 37 (m)	st 38 (m)	st 40 (m)
10	4.7	3.9	4.3	3.8	4.4	5.1	5.1	5.1	3.6
15	6.7	6.2	6.6	5.8	7.0	7.3	7.5	7.2	6,1
20	8.7	8.4	8.9	8,0	9.4	9.3	9.5	9.2	8.2
25	10.7	10.2	11,0	10.4	11,7	11.2	11.5	11.2	10.6
30	12.6	12.1	12.8	12.3	14,1	13.2	13.5	13,0	12.7
35	14.2	13.8	14.3	14.4	16,1	14.9	15.4	14.6	14.4
40	15.4	15.1	15.5	16.1	17,1	16.2	16.8	15,9	15.9
45	16.8	16.3	16.5	17.6	17,8	17.4	18.1	16.9	17.2
50	18.1	17.6	17.5	18.9	18,4	18.6	19.1	17.9	18.2
55	19,0	18.9	18.3	20,0	19,1	19.1	19.8	18.8	19.2
60	19.8	20.1	19,0	21,0	19,5	19.7	20.4	19.5	19.2

classe 3									
âge (ans)	st 2 (m)	st 3 (m)	st 4 (m)	st 7 (m)	st 9 (m)	st 26 (m)	st 27 (m)	st 32 (m)	st 33 (m)
10	3.6	4.5	4.6	5.3	3.8	4.6	4.6	4.9	4.5
15	5.2	6.7	6.7	7.3	6.3	6.7	6.8	7.4	6.5
20	7.5	8.6	8.7	9.2	8.7	9.1	9,0	9.4	8.8
25	9.6	10.4	10.7	10.8	10.8	10.8	10.7	11.2	10.7
30	11.4	12,0	12.3	12.4	12.7	12.7	12.4	12.8	12.6
35	12.6	13.4	13.7	13.7	14.2	14.1	14.2	14.2	13.9
40	13.9	14.8	15.1	14.7	15.4	15.2	15.7	15.1	14.9
45	14.9	15.6	15.9	15.4	16.1	16.1	16.5	15.9	15.6
50	16.1	16.5	16.8	16.1	16.8	17,0	17.2	16.6	16.4
55	17.0	17.2	17.6	16.8	17.4	17.9	17.9	17.1	17,0
60	18.1	18.3	18.2	17.4	18.2	18.7	18.5	17.7	17.4

APPENDICE K (suite).

âge (ans)	Classe 4		Classe 5				
	st 1 (m)	st 5 (m)	st 6 (m)	st 8 (m)	st 10 (m)	st 11 (m)	st 12 (m)
10	4,2	4.2	4.2	3.1	2.8	2.7	2.8
15	5,4	6.4	5.2	4.5	4,0	3.7	4.2
20	7,1	8.1	6,0	5.3	4.9	4.5	5.4
25	9,6	9.6	6.4	6,0	5.5	5.2	6.4
30	11,6	11.2	6.8	6.5	6.1	6.2	7.4
35	13,3	12.6	7.2	7,0	6.5	6.8	8.1
40	14,4	13.6	7.5	7.5	7,0	7.4	8.7
45	15,1	14.3	7.9	8,0	7.4	8,0	9.2
50	15,8	15.1	8.3	8.6	7.9	8.6	9.8
55	16,5	15.8	8.7	9,0	8.3	9.2	10.7
60	17,1	16.6	9.1	9.6	8.8	9.8	10.6

LISTE DES ABRÉVIATIONS

APPENDICE L

Variables géomorphologiques (Voir appendice A)

tr.:	Numéro du transect.
st:	Numéro de la station.
IQS moy.:	Indice de la qualité de la station moyen.
IQS max.:	Indice de la qualité de la station maximal.
pentp:	Inclinaison moyenne de la pente de la station (%).
lpent:	Longueur moyenne de la pente arrière de la station (m).
% limon:	Pourcentage moyen de limon dans l'horizon B du pédon de la station.
tsb:	Taux de saturation en bases moyen de l'horizon B du pédon de la station (%).
drain:	Classe de drainage de la station (1=rapide, 2=bon, 3=modérément bon, 4=imparfait, 5=mauvais, 6=très mauvais).
solum:	Profondeur inférieure moyenne de l'horizon B du pédon, excluant les horizons BC et C (cm).
alt.:	Altitude moyenne de la station (m).
orient.:	Orientation moyenne de la pente de la station (°).
prof. roc.:	Profondeur moyenne de la roche mère (cm).
prof. nap.:	Profondeur moyenne de la nappe phréatique (cm).
% sable:	Pourcentage moyen de sable dans l'horizon B du pédon de la station.
% argile:	Pourcentage moyen d'argile dans l'horizon B du pédon de la station.
prof. mou.:	Profondeur moyenne des mouchetures dans le pédon de la station (cm).
% mou.:	Pourcentage moyen des mouchetures dans le pédon de la station.
prof. pier.:	Profondeur moyenne de la pierrosité dans le pédon de la station (cm).
% pier.:	Pourcentage moyen de la pierrosité dans le pédon de la station.

APPENDICE M

Variables édaphiques (Voir appendice D)

pHL:	pH moyen de l'horizon organique L du pédon de la station.
pHF:	pH moyen de l'horizon organique F du pédon de la station.
pHH:	pH moyen de l'horizon organique H du pédon de la station.
pHLFH:	pH moyen des horizons organiques LFH du pédon de la station.
pHFH:	pH moyen des horizons organiques FH du pédon de la station.
pHA:	pH moyen de l'horizon minéral A du pédon de la station.
pHB:	pH moyen de l'horizon minéral B du pédon de la station.
pHC:	pH moyen de l'horizon minéral C du pédon de la station.
H ⁺ :	Concentration moyenne en ions H ⁺ des quatre échantillons de l'horizon B récoltés dans la station (méq/100 g).
Ca ⁺⁺ :	Calcium moyen des quatre échantillons d'horizons B récoltés ailleurs dans la station (méq/100 g).
Mg ⁺⁺ :	Magnésium moyen des quatre échantillons d'horizons B récoltés ailleurs dans la station (méq/100 g).
K ⁺ :	Potassium des quatre échantillons d'horizons B récoltés ailleurs dans la station (méq/100 g).
Na ⁺ :	Sodium moyen dans les quatre échantillons d'horizons B récoltés ailleurs dans la station (méq/100 g).
tsb:	Taux de saturation en bases moyen de l'horizon B du pédon de la station (%).
NO ₃ ⁻ :	Nitrates moyens dans les quatre échantillons d'horizons B récoltés ailleurs dans la station (méq/100 g).
PO ₄ ⁼ :	Otrhosphates moyens dans les quatre échantillons d'horizons B récoltés ailleurs dans la station (méq/100 g).
zA:	Épaisseur moyenne de l'horizon minéral A du pédon de la station (cm).
zB:	Épaisseur moyenne de l'horizon minéral B du pédon de la station (cm).
zorg.:	Épaisseur moyenne des horizons organiques (LFH) du pédon de la station.
zF:	Épaisseur moyenne de l'horizon organique H du pédon de la station (cm).
zH:	Épaisseur moyenne de l'horizon organique F du pédon de la station (cm).
zFH:	Épaisseur moyenne des horizons organiques F et H du pédon de la station (cm).

APPENDICE N

Végétation de sous-bois (Voir appendice E)

Abi. bal.:	<i>Abies balsamea</i>
Ace. rub.:	<i>Acer rubrum</i>
Ace. spi.:	<i>Acer spicatum</i>
Act. rub.:	<i>Actea rubra</i>
Aln. cri.:	<i>Alnus crispa</i>
Aln. rug.:	<i>Alnus rugosa</i>
Ame. spp:	<i>Amelanchier spp</i>
Ara. nud.:	<i>Aralia nudicaulis</i>
Ast. mac.:	<i>Aster macrophyllus</i>
Ast. spp:	<i>Aster spp</i> (autre que <i>Aster macrophyllus</i>)
Bet. pap.:	<i>Betula papyrifera</i>
Bra. spp:	<i>Brachythecium spp</i> (non identifiée à l'espèce)
Cla. mit.:	<i>Cladina mitis</i>
Cla. ran.:	<i>Cladina rangerifera</i>
Cla. spp:	<i>Cladonia spp</i> (autres que <i>Cladonia</i> et <i>Cladina</i> identifiées à l'espèce)
Cla. unc.:	<i>Cladonia uncialis</i>
Cli. bor.:	<i>Clintonia borealis</i>
Cop. gro.:	<i>Coptis groenlandica</i>
Cor. alt.:	<i>Cornus alternifolia</i>
Cor. can.:	<i>Cornus canadensis</i>
Cor. cor.:	<i>Corylus cornuta</i>
Cor. sto.:	<i>Cornus stolonifera</i>
Cyp. spp:	Cypéracées spp (identifiée à la famille seulement)
Dic. poly.:	<i>Dicranum polysetum</i>
Dic. spp:	<i>Dicranum spp</i> (autres que <i>Dicranum polysetum</i>)
Die. lon.:	<i>Diervilla lonicera</i>
Dry. dis.:	<i>Dryopteris disjuncta</i>
Dry. phe.:	<i>Dryopteris phegopteris</i>
Dry. spi.:	<i>Dryopteris spinulosa</i>
Fra. nig.:	<i>Fraxinus nigra</i>
Gal. tri.:	<i>Galium triflorum</i>
Gau. his.:	<i>Gaultheria hispidula</i>
Goo. spp:	<i>Goodyera spp</i> (non identifiée à l'espèce)
Gra. spp:	Graminées spp (identifiée à la famille seulement)
Kal. ang.:	<i>Kalmia angustifolia</i>
Led. gro.:	<i>Ledum groenlandicum</i>
Lic. spp:	Lichen spp (autres que celles identifiées à l'espèce)
Lin. bor.:	<i>Linnaea borealis</i>
Lon. can.:	<i>Lonicera canadensis</i>
Lyc. ann.:	<i>Lycopodium annotinum</i>
Lyc. cla.:	<i>Lycopodium clavatum</i>
Lyc. luc.:	<i>Lycopodium lucidulum</i>
Lyc. obs.:	<i>Lycopodium obscurum</i>

APPENDICE N (suite)

Mai. can.:	<i>Maianthemum canadense</i>
Mit. nud.:	<i>Mitella nuda</i>
Mni. spp:	<i>Mnium</i> spp (non identifiée à l'espèce)
Mon. uni.:	<i>Monotropa uniflora</i>
Mou. spp:	Mousse spp (autres que celles identifiées à l'espèce)
Nem. muc.:	<i>Nemopanthus mucronatus</i>
Osm. cl.:	<i>Osmunda Claytoniana</i>
Oxa. mon.:	<i>Oxalis montana</i>
Pet. pal.:	<i>Petasites palmatus</i>
Pic. gla.:	<i>Picea glauca</i>
Pic. mar.:	<i>Picea mariana</i>
Ple. shr.:	<i>Pleurozium shreberi</i>
Pol. com.:	<i>Polytrichum commune</i>
Pol. jun.:	<i>Polytrichum juniperinum</i>
Pol. pil.:	<i>Polytrichum piliferum</i>
Pop. tre.:	<i>Populus tremuloides</i>
Pru. pen.:	<i>Prunus pensylvanica</i>
Pru. vir.:	<i>Prunus virginiana</i>
Pte. aqu.:	<i>Pteridium aquilinum</i>
Pti. cil.:	<i>Ptilidium ciliare</i>
Pyr. sec.:	<i>Pyrola secunda</i>
Rib. gla.:	<i>Ribes glandulosum</i>
Ros. aci.:	<i>Rosa acicularis</i>
Rub. pub.:	<i>Rubus pubescens</i>
Sol. mac.:	<i>Solidago macrophylla</i>
Sor. ame.:	<i>Sorbus americana</i>
Sph. spp:	<i>Sphagnum</i> spp (non identifiée à l'espèce)
Ste. sax.:	<i>Stereocaulon saxatile</i>
Str. ros.:	<i>Streptopus roseus</i>
Tri. bor.:	<i>Trientalis borealis</i>
Vac. ang.:	<i>Vaccinium angustifolium</i>
Vac. myr.:	<i>Vaccinium myrtilloides</i>
Vib. edu.:	<i>Viburnum edule</i>
Vib. cas.:	<i>Viburnum cassinoides</i>
Vio. spp:	<i>Viola</i> spp (non identifiée à l'espèce)

APPENDICE O

Variables biotiques (Voir appendice F)

- axe 1: Coordonnées des stations sur l'axe 1 de l'ordination indirecte, à partir des relevés de la végétation de sous-bois.
- axe 2: Coordonnées des stations sur l'axe 2 de l'ordination indirecte, à partir des relevés de la végétation de sous-bois.
- pba: Valeur d'importance du pin gris dans la station (*Pinus banksiana*)
- bpa: Valeur d'importance du bouleau à papier dans la station (*Betula papyrifera*).
- pgl: Valeur d'importance de l'épinette blanche dans la station (*Picea glauca*).
- pma: Valeur d'importance de l'épinette noire dans la station (*Picea mariana*).
- aba: Valeur d'importance du sapin baumier dans la station (*Abies balsamea*).
- aru: Valeur d'importance de l'érable rouge dans la station (*Acer rubrum*).
- alc: Valeur d'importance de l'aulne crispé dans la station (*Alnus crispa*).
- pet: Valeur d'importance du peuplier faux-tremble dans la station (*Populus tremuloides*).
- alr: Valeur d'importance de l'aulne rugueux dans la station (*Alnus rugosa*).
- frn: Valeur d'importance du frêne noir dans la station (*Fraxinus nigra*).
- sor: Valeur d'importance du sorbier d'Amérique dans la station (*Sorbus americana*).
- prp: Valeur d'importance du cerisier de Pennsylvanie dans la station (*Prunus pensylvanica*).
- sal: Valeur d'importance des saules dans la station (*Salix* spp, non identifiée à l'espèce).
- dens.: Densité d'arbres dans la station ($x/400m^2$).