

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 $\text{m}\ddot{\text{e}}\text{q}/100\text{ g}$) furent dosées par spectrophotométrie d'absorption atomique au laboratoire de sol de l'Université Laval. La concentration en ions H^+ (en $\text{m}\ddot{\text{e}}\text{q}/100\text{ g}$) fut dosée par titrage avec NH_4OH , jusqu'à pH 7,0 (Stuanes, Ogner et Opem 1984). Des moyennes furent par la suite calculée pour la station. Le taux de saturation en bases (TSB, en pourcentage) fut par la suite calculé, en utilisant la formule suivante:

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

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.

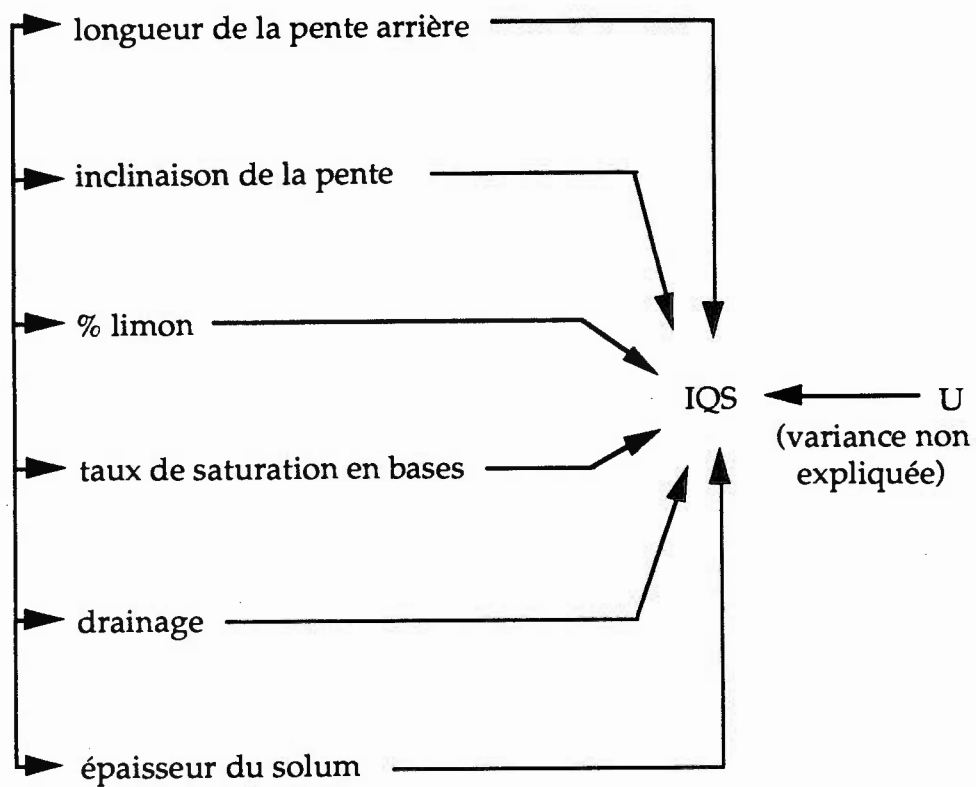


FIGURE 2: Modèle de départ utilisé pour l'analyse des coefficients de direction.

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).

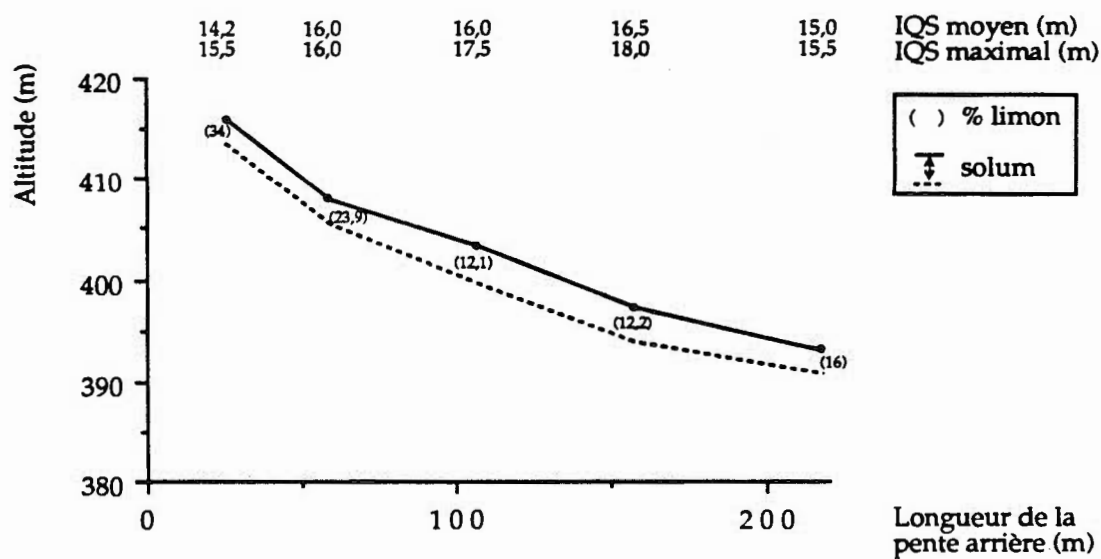


Figure 3a: Toposéquence du transect 1.

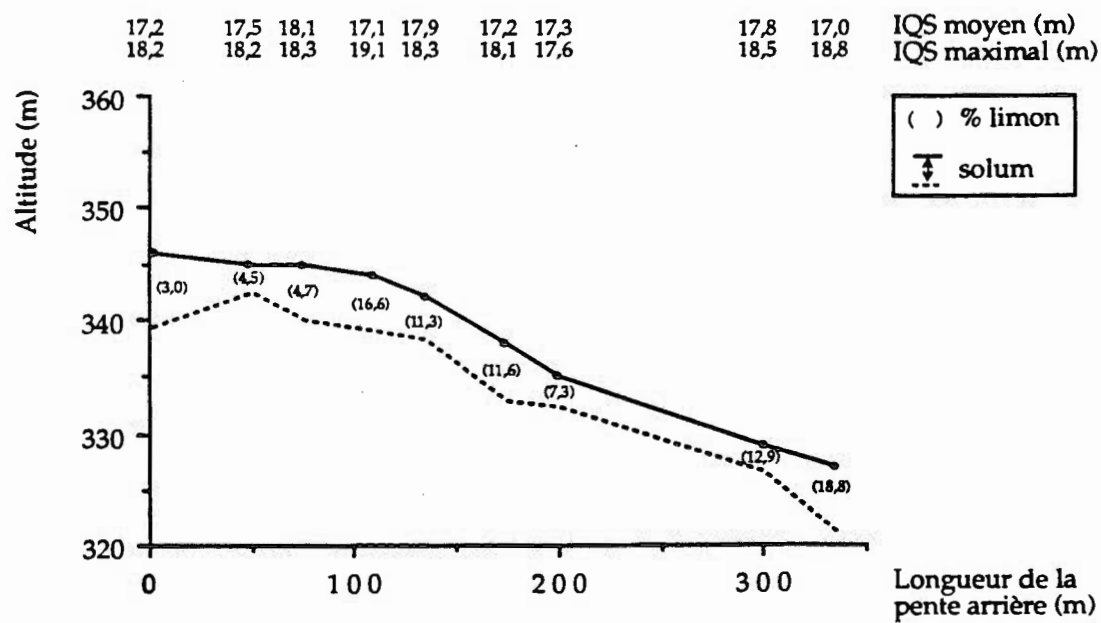


Figure 3b: Toposéquence du transect 2.

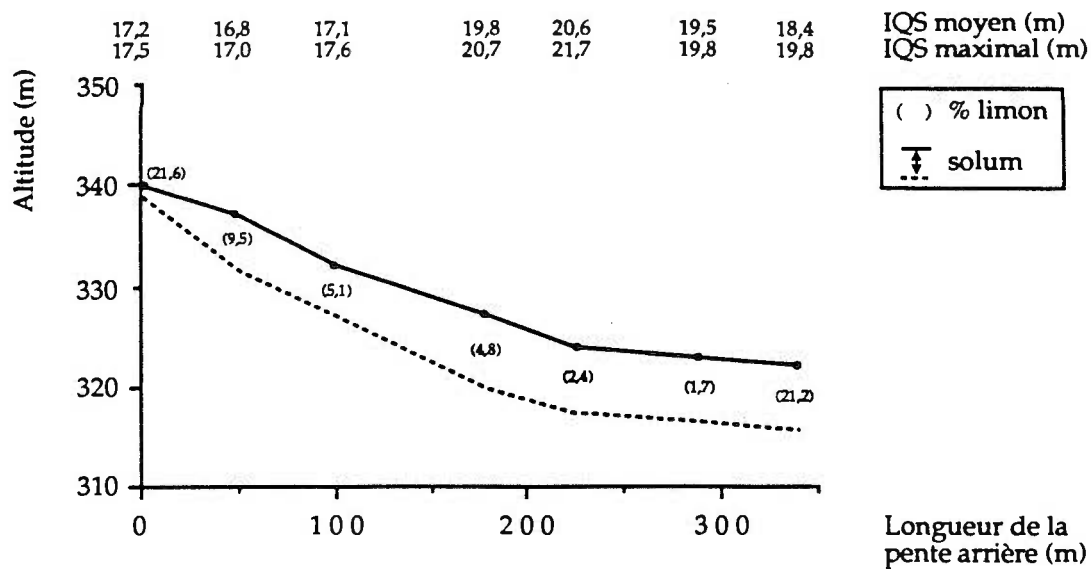


Figure 3c: Toposéquence du transect 3.

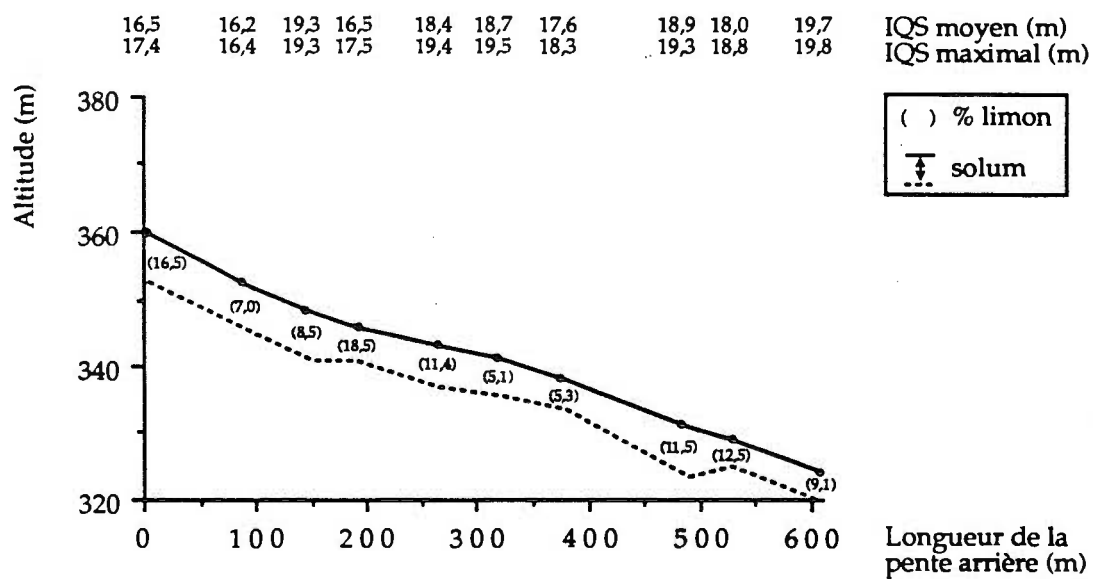


Figure 3d: Toposéquence du transect 4.

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.

TABEAU 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		
sans solum		0,514
sans pentp		0,634
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'Hébertcourt 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.