

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL

MÉMOIRE
PRÉSENTÉ
COMME EXIGENCE PARTIELLE
DE LA MAÎTRISE EN SCIENCES DE L'ENVIRONNEMENT

PAR

MARIE-HÉLÈNE LONGPRÉ

EFFETS DE LA PRÉSENCE D'ESPÈCES COMPAGNES SUR
LA PRODUCTIVITÉ DU PIN GRIS (*PINUS BANKSIANA* LAMB.)

MAI 1993





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

Au terme de ce travail, je tiens à remercier tous ceux et celles qui ont contribué à l'élaboration de ce mémoire. Ces remerciements s'adressent tout particulièrement à mon directeur de maîtrise, Yves Bergeron, pour ses nombreux conseils, sa patience et sa disponibilité, ainsi qu'à Martin Béland pour son appui constant et sa collaboration continue durant et après mon stage à l'Unité de recherche et de développement forestier de l'Abitibi-Témiscamingue(URDFAT).

Je remercie particulièrement ceux qui m'ont aidée sur le terrain et qui ont su rendre mes séjours en Abitibi des plus agréables: Francis Dupuis, Ginette Baril, Marie-Josée Simard, Martin Béland, Marie-José Houle, Lissa Morotti, Christine Galipeau et Pierre Cartier.

Un merci particulier va à David Paré pour son expertise envers les analyses de sol ainsi que pour ses conseils judicieux sur la productivité forestière.

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

Ce projet a été subventionné par le CRSNG, le Fonds FCAR, l'URDFAT, Forêts Canada et le Ministère des Forêts du Québec.

RÉSUMÉ

L'objectif principal de cette étude a été de déterminer s'il existe des différences dans le rendement des peuplements de pins gris (*Pinus banksiana* Lamb.) selon que l'on soit en présence de peuplements purs ou de peuplements mélangés. Pour ce faire, la croissance du pin gris a été étudiée dans des peuplements de pins gris purs, des peuplements de pins gris mélangés à du bouleau à papier (*Betula papyrifera* Marsh.) et des peuplements de pins gris mélangés à du peuplier faux-tremble (*Populus tremuloides* Michx.). Ces peuplements, répartis dans 15 stations d'échantillonnage, étaient situés dans la portion sud de la ceinture d'argile au nord-ouest du Québec. Toutes les stations d'échantillonnage se trouvaient sur des argiles glacio-lacustres modérément bien drainées et dans des peuplements naturels, équiennes et de densité similaire.

L'indice de qualité de station du pin gris, son DHP moyen, sa hauteur moyenne, son volume moyen ainsi que la disponibilité des éléments nutritifs dans la couverture morte ont été comparés d'un type de peuplement à l'autre. Les résultats suggèrent que le peuplier faux-tremble et le bouleau à papier n'ont aucun effet sur la croissance en hauteur du pin gris. Par contre, les pins gris des peuplements mélangés à du bouleau à papier ont un DHP moyen et un volume moyen par pied d'arbre significativement plus élevés que ceux des deux autres types de peuplement.

La disponibilité des éléments nutritifs dans la couverture morte des peuplements mélangés à du peuplier faux-tremble était significativement plus grande ou égale à celle des peuplements mélangés à du bouleau à papier et des peuplements purs. Ceci suggère que l'effet du bouleau et du tremble s'exerce davantage par une utilisation maximale de la lumière disponible que par un effet direct sur les ressources nutritives du sol. En terme de

productivité, l'accroissement en DHP et en volume dû à la présence du bouleau pourrait avoir un impact significatif sur le calcul des possibilités de coupe forestière.

TABLE DES MATIERES

	Page
REMERCIEMENTS	ii
RÉSUMÉ	iii
TABLE DES MATIERES	v
LISTE DES TABLEAUX	vii
LISTE DES FIGURES	viii
INTRODUCTION	1
MÉTHODOLOGIE	7
Région étudiée	7
Récolte des données	9
Analyses chimiques	12
Analyses statistiques	13
RÉSULTATS	15
Analyse de tiges	15
Rendement total	19
Caractéristiques de la couverture morte.	22
DISCUSSION	24
CONCLUSION	32
BIBLIOGRAPHIE	35
APPENDICES	
Appendice A: Matrice des variables de croissance des peuplements de pins gris purs	44

Page

Appendice B: Matrice des variables de croissance des peuplements de pins gris mélangés à du bouleau à papier	53
Appendice C: Matrice des variables de croissance des peuplements de pins gris mélangés à du peuplier faux-tremble	60
Appendice D: Matrice des variables édaphiques des peuplements de pins gris purs	67
Appendice E: Matrice des variables édaphiques des peuplements de pins gris mélangés à du bouleau à papier	70
Appendice F: Matrice des variables édaphiques des peuplements de pins gris mélangés à du peuplier faux-tremble	73
Appendice G: Liste des abréviations	76

LISTE DES TABLEAUX

	Page
Tableau 1: Variations de la hauteur moyenne du pin gris à 50 ans pour les 3 types de peuplement échantillonnés ($P=0.0488$)	16
Tableau 2: Intervalles de confiance des paramètres de la fonction de Korf selon le type de peuplement échantillonné	18
Tableau 3: Valeurs de la surface terrière totale moyenne du peuplement et du DHP moyen, de la hauteur moyenne et du volume moyen des pins gris selon le type de peuplement échantillonné	21
Tableau 4: Caractéristiques de la couverture morte selon le type de peuplement échantillonné	23

LISTE DES FIGURES

	Page
Figure 1: Localisation des parcelles étudiées	8
Figure 2: Courbes moyennes de croissance en hauteur des pins gris par type de peuplement	17
Figure 3: Évolution du temps de passage moyen entre chaque mètre de hauteur des pins gris par type de peuplement	20
Figure 4: Courbes moyennes de croissance en hauteur du bouleau à papier et du peuplier faux-tremble par rapport à celle du pin gris	28
Figure 5: Relation entre la surface terrière du pin gris et la surface terrière du bouleau à papier	30

INTRODUCTION

Avec une industrie forestière subissant des menaces de ruptures de stock à moyen et à court terme, une meilleure connaissance de la productivité des espèces s'avère pertinente pour l'obtention d'un calcul précis des volumes futurs tant des plantations que de la forêt naturelle. Cette productivité peut être influencée par différents facteurs écologiques abiotiques et biotiques.

Le rôle des facteurs écologiques abiotiques est assez bien connu, notamment en ce qui concerne les facteurs stables du milieu se rapportant aux propriétés topographiques et pédologiques des sols (Pawluk et Arneman 1961, Wilde *et al.* 1964, Shetron 1972, Carmean 1975, Hamilton et Krause 1985, Schmidt et Carmean 1988, Klinka et Carter 1990, Brisson 1992). Cependant, le rôle des facteurs écologiques biotiques, en particulier les effets de la composition des peuplements sur la productivité forestière, a reçu beaucoup moins d'attention.

A ce sujet, outre l'amélioration de la productivité de certains peuplements grâce à la présence d'espèces fixatrices d'azote (Tarrant 1961, Tarrant et Trappe 1971, Binkley 1983, 1984, 1991, Hendrickson et Burgess 1989, Brozek 1990), la

plupart des études réalisées sur le rendement des peuplements mélangés nous viennent d'Europe et nous révèlent des résultats parfois contradictoires.

Ainsi, plusieurs auteurs, sans toutefois en expliquer clairement les mécanismes, constatent des cas où la production d'un peuplement de conifère donné est améliorée lorsque mélangé avec du bouleau (Jonsson 1962, Jensen 1983, Mielikäinen 1985, Tham 1988).

En particulier, une étude finlandaise sur l'effet de la compétition des bouleaux dans des peuplements de *Pinus sylvestris* et des peuplements de *Picea abies* est arrivée à la conclusion que la productivité dans les premiers cinquante ans des peuplements mélangés pouvait être égale, voir même supérieure à celle obtenue pour des peuplements purs de ces mêmes espèces (Frivold et Mielikäinen 1990). De plus, sous certaines conditions, ces peuplements mélangés se sont avérés financièrement supérieurs aux peuplements purs (Valsta 1988, Valsta et Mielikäinen 1987).

Néanmoins, il semble que le nombre limité d'expérimentations avec suivi à long terme ne permet pas de préconiser le mélange d'essences dans les peuplements comme moyen d'augmenter la production (Lanier 1992). De plus, il arrive

encore fréquemment d'observer que le volume total cumulé des espèces présentes en mélange soit inférieur au volume qui pourrait être obtenu avec un peuplement pur de l'essence localement la plus productive (Burkhart et Tham 1991).

Ces quelques exemples suggèrent qu'une espèce forestière donnée peut réagir différemment selon qu'elle se retrouve en peuplement pur ou en peuplement mélangé. D'après Kelty (1992), deux grands mécanismes peuvent expliquer la modification de la croissance d'une espèce en présence d'une autre. Il s'agit de la réduction de la compétition et de la facilitation ou inhibition de la croissance.

Dans le premier cas, il s'agit d'une situation où deux espèces utilisent les ressources de manière différente, diminuant ainsi la compétition par rapport aux peuplements purs et assurant une utilisation plus efficace des ressources du milieu.

Par exemple, pour la lumière, un peuplement mélangé utilisera davantage la lumière disponible qu'un peuplement pur s'il comporte une combinaison d'espèces formant un couvert forestier stratifié avec une espèce intolérante à l'ombre dans le haut de la canopée et une espèce tolérante dans sa partie inférieure. Dans certains cas, la productivité de ces peuplements mélangés pourra

surpasser celle des peuplements purs de chacune des espèces (Assmann 1970, Wierman et Oliver 1979, Kelty 1989).

La réduction de la compétition peut également s'opérer au niveau du système racinaire des arbres, selon les degrés divers d'enracinement ou encore de l'absorption de différentes formes de nutriments (McKay et Malcolm 1988, Brown 1991, Morgan *et al.* 1991).

En ce qui concerne le deuxième mécanisme, il s'agit de situations où une espèce influence positivement ou négativement la croissance d'une autre au sein d'un même peuplement. Quoique difficile à démontrer en conditions naturelles, les interactions allélopathiques entre espèces sont souvent suggérées comme moyen d'inhibition de la croissance (Heilman et Stettler 1985, Binkley 1991, Brown 1991).

L'amélioration de la croissance d'une espèce par une autre se fait principalement par un accroissement de la disponibilité des éléments nutritifs dans le sol. Cet accroissement est la plupart du temps le résultat de la présence d'espèces fixatrices d'azote ou encore d'espèces feuillues accélérant la décomposition de la litière du sol. En effet, puisqu'elles présentent généralement un contenu plus élevé en éléments, des taux en lignine et

autres polyphénols en plus faibles concentrations, de même qu'un ratio surface/poids plus grand, les feuilles d'essences décidues se décomposent plus rapidement que les aiguilles de conifères, suggérant, par le fait même, un recyclage plus rapide des éléments nutritifs (Perry *et al.* 1987, Bockheim *et al.* 1991, Morgan *et al.* 1991). Cela soulève l'hypothèse qu'il serait possible d'accélérer le recyclage des éléments et ainsi d'améliorer la productivité d'un peuplement en maintenant une certaine proportion d'essences feuillues dans le couvert d'un peuplement résineux (Beaudet 1990).

Pour le pin gris, la plupart des études de productivité ainsi que les tables de rendement sont élaborées pour des peuplements purs ou presque purs (Pawluk et Arneman 1961, Chrosciewicz 1963, Plonski 1974, Boudoux 1978, Lenthall 1986, Schmidt et Carmean 1988, Leary et Smith 1990). On ignore, par conséquent, si l'évaluation de la productivité totale de peuplements mélangés par l'utilisation de tables de rendement conçues pour des peuplements purs reflète bien la réalité.

L'objectif visé par cette étude consiste à établir s'il existe des différences dans le rendement des peuplements de pins gris (*Pinus banksiana* Lamb.), selon que l'on soit en présence de peuplements purs ou de peuplements mélangés. Outre l'indice de

qualité de station, le diamètre moyen, la hauteur moyenne, le volume moyen des pins gris ainsi que la disponibilité des nutriments dans le sol seront comparés d'un type de peuplement à l'autre.

MÉTHODOLOGIE

RÉGION ÉTUDIÉE

Le territoire à l'étude (Figure 1) est localisé dans le canton Hébécourt (79°30' O, 48°30' N) où la majeure partie de la forêt en place est issue d'un feu de forte intensité survenu en 1923 (Dansereau et Bergeron 1993). Les peuplements présents sont donc tous des peuplements équiennes. Situé à l'extrémité sud de la ceinture d'argile du nord-ouest du Québec, le territoire est inclus dans la région écologique des Basses-terres d'Amos (Thibault et Hotte 1985) qui est caractérisée par la présence de dépôts d'argiles glacio-lacustres résultant de la sédimentation des eaux des lacs proglaciaires Barlow et Ojibway (Vincent et Hardy 1977).

La région est localisée à la limite sud de la forêt boréale (Rowe 1972) de même qu'à l'intérieur du domaine climacique de la sapinière à bouleau blanc (Thibault et Hotte 1985). Le climat régional est froid et continental avec une température moyenne annuelle se situant autour de 0.4°C et des précipitations annuelles totales de 800-900 mm concentrées principalement durant la saison de croissance (Environnement Canada 1982).

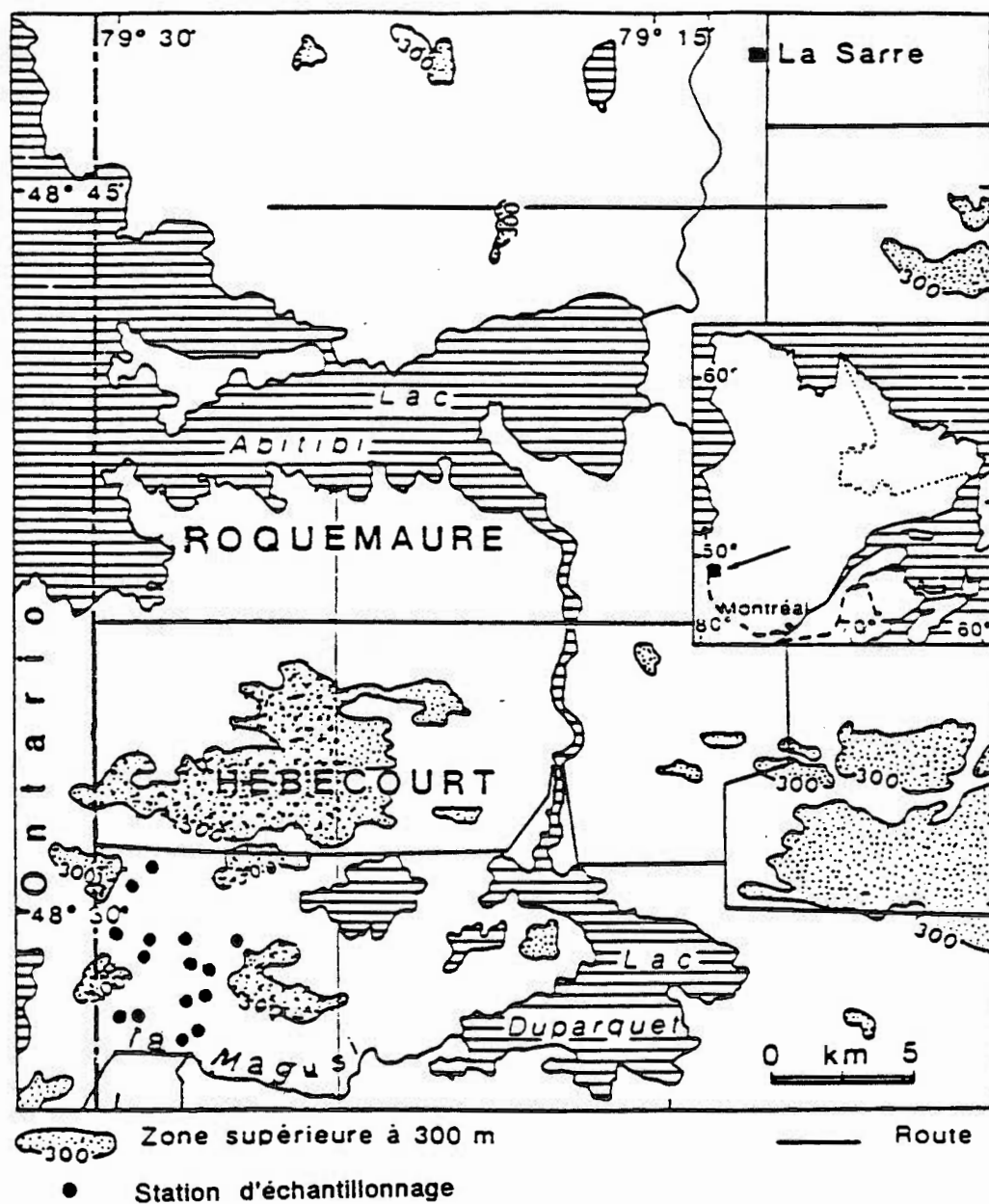


FIGURE 1: Localisation des parcelles étudiées

Bien que la moyenne de jours sans gel soit de 147 jours par année, les risques de gel persistent toute l'année (Wilson 1973).

La qualité des sites sur lesquels on retrouve le pin gris varie entre deux situations extrêmes, soit les sols organiques minces sur roc et les dépôts d'argiles lacustres bien à modérément bien drainées et très riches en cations basiques (Bergeron *et al.* 1982).

RÉCOLTE DES DONNÉES

Afin de faire ressortir les effets des facteurs biotiques sur la productivité du pin gris par rapport aux facteurs stables du milieu, les peuplements de pins gris purs et mélangés qui ont été sélectionnés pour l'étude étaient tous situés sur le même type écologique, soit des argiles glacio-lacustres modérément bien drainées. Leur localisation fut facilitée par la cartographie écologique du secteur (Béland *et al.* 1992a).

Trois types de peuplement (pins gris presque purs, pins gris mélangés à du bouleau à papier (*Betula papyrifera* Marsh.) et pins gris mélangés à du peuplier faux-tremble (*Populus tremuloides* Michx.)) ont été échantillonnés à raison de cinq stations de 400 m² (20 mètres par 20 mètres) par type de peuplement. Les

peuplements mélangés ont été choisis de façon à obtenir un rapport se rapprochant le plus possible de 50% de pins gris et 50% de l'espèce compagne en nombre d'individus possédant un diamètre de 10 cm et plus.

Dans chacune des stations, un pèdon a d'abord été creusé et l'identification du type écologique a été vérifiée à l'aide d'un guide adapté aux caractéristiques de la région (Béland et al. 1990). Le diamètre à hauteur de poitrine (DHP) de tous les arbres ainsi que la hauteur de tous les pins gris mesurée à l'aide d'un clinomètre ont été notés afin d'évaluer le rendement actuel du peuplement. Ces variables se retrouvent dans les matrices des variables de croissance des peuplements de pins gris purs et mélangés (appendices A, B et C).

Par ailleurs, l'analyse de tiges, reconnue pour reconstituer de manière fidèle et précise la croissance et le développement des arbres (Zarnovican 1985), a été utilisée pour évaluer la croissance potentielle du pin gris. En effet, cette méthode nous a permis de calculer, pour chaque type de peuplement, l'indice de qualité de station du pin gris.

Cet indice représente une expression de la qualité du site forestier basée sur la hauteur moyenne que possède les pins

dominants et codominants du peuplement à l'âge de 50 ans. La hauteur est sans doute la variable qui reflète le mieux la qualité du site puisqu'elle est 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 (Carmean 1975, Spurr et Barnes 1980, Monserud *et al.* 1990).

Pour l'analyse de tiges, trois pins gris par station ont été choisis selon leur DHP sur la courbe cumulative du nombre de tiges, le plus près du DHP correspondant au 97 pour cent du nombre de tiges de la station. Ces derniers, dominants ou codominants, sans défaut de forme et sans blessure, ont été abattus et tronçonnés à la base, à 0.4 m, à 1.3 m ainsi qu'à tous les mètres subséquents jusqu'à un diamètre avec écorce de deux centimètres.

La dimension et le nombre de cernes de croissance ont été mesurés avec un intervalle de cinq ans sur quatre rayons disposés à angle droit sur chacune des rondelles prélevées, le premier rayon étant décalé de 22.5° par rapport au plus grand diamètre de la rondelle. Un vernier électronique couplé au logiciel Analtige (Zarnovican *et al.* 1988) ont été utilisés pour saisir les données et effectuer les compilations de diamètre, hauteur et volume en

fonction de l'âge. La moyenne des valeurs compilées sur les trois arbres de chaque station a été considérée comme indicateur de la croissance potentielle de la station.

ANALYSES CHIMIQUES

Afin de vérifier si la présence d'espèce compagne dans les peuplements de pins gris pouvait avoir un effet sur la composition du sol, dix échantillons de la couverture morte (horizons L, F et H) ont été récoltés dans chacune des stations. Ces derniers ont été séchés à l'air puis tamisés à l'aide d'un tamis possédant des mailles de 2 cm. Cette procédure a permis d'homogénéiser le matériel et d'éliminer les fragments grossiers.

Le pH a été déterminé dans un mélange d'humus et d'eau distillée (McKeague 1978); les cations échangeables Ca, K et Mg ont été extraits avec une solution de NH_4NO_3 1 M (Stuanes *et al.* 1984) et dosés à l'aide du spectrophotomètre à absorption atomique, alors que le phosphore assimilable a été extrait avec une solution de Bray II (McKeague 1978) et dosé par colorimétrie à l'aide de la méthode utilisant de l'acide ascorbique (John 1970).

L'azote minéralisable a été déterminé après incubation aérobie d'un échantillon de 2 g (poids sec) à la noirceur, à une température de 20°C pendant 42 jours et à 50% de la capacité au champ. Un film de polyéthylène a été ajouté afin de limiter l'évaporation. Les échantillons ont été pesés et leur contenu en eau ajusté une fois par semaine.

L'extraction a été faite avec une solution de KCl 2 M et l'azote minéralisable a été estimé comme étant la différence entre la somme des $\text{NO}_3\text{-N}$ et $\text{NH}_4\text{-N}$ avant et après l'incubation. Pour l'estimation de la nitrification, la différence entre les nitrates avant et après incubation a été utilisée. Le dosage a été effectué par FIA (Tecator FIAstar 5020). L'utilisation de cette méthode permet d'obtenir un bon estimé de la capacité du substrat à libérer de l'azote minéral sous des conditions contrôlées (Vitousek et Denslow 1986, Binkley et Hart 1989). L'ensemble de ces variables se retrouvent dans les matrices des variables édaphiques des peuplements de pins gris purs et mélangés (appendices D, E et F).

ANALYSES STATISTIQUES

Les données provenant des mesures de croissance et de sol ont été soumises à des analyses de variance (ANOVA). Lorsqu'une

différence significative entre les types de peuplement était détectée au seuil de 5%, le test de comparaison multiple du Ryan's Q (Day et Quinn 1989) était utilisé. De plus, une régression non-linéaire a été effectuée pour la comparaison des courbes moyennes de croissance en hauteur des pins gris en utilisant la fonction de croissance de Korf (Zarnovican 1979) qui permet d'estimer la hauteur des arbres en fonction de l'âge.

Rappelons que la fonction de Korf s'écrit

$$\text{Hauteur} = A \exp \frac{k}{1-n} \text{ âge } (1-n)$$

Cette fonction, qui produit une courbe à l'allure d'un S et possède un point d'inflexion, est parfaitement définie par trois paramètres, soit A, n et k. Les paramètres n et k définissent la position du point d'inflexion alors que le paramètre A définit la position de l'asymptote. Toutes les analyses ont été effectuées en utilisant le progiciel SAS (SAS 1985).

RÉSULTATS

ANALYSE DE TIGES

Les indices de qualité de station calculés à partir des analyses de tiges varient considérablement pour l'ensemble des peuplements, les extrêmes allant de 16.9 mètres à 23.6 mètres (Tableau 1). Ces valeurs montrent que l'on peut obtenir une croissance fort appréciable du pin gris sur site argileux, et cela, même en présence d'espèces compagnes.

Bien qu'une valeur légèrement plus élevée soit obtenue pour les peuplements avec présence de bouleau à papier, aucune différence significative entre les indices de qualité de station moyens du pin gris pour chacun des types de peuplement étudiés n'a été décelée. Il en va de même pour les courbes moyennes de croissance en hauteur des pins gris pour chaque type de peuplement (Figure 2) où des régressions non-linéaires ont confirmé l'absence de différence significative entre ces dernières étant donné le recouplement des intervalles de confiance des paramètres estimés de la fonction de Korf (Tableau 2).

De plus, l'évolution du temps de passage moyen entre chaque mètre de hauteur des pins gris soumis à l'analyse de tiges

TABLEAU 1: Variations des indices de qualité de station du pin gris à 50 ans pour les 3 types de peuplement échantillonnés ($P=0.0488$)

	N	Étendue (min.-max.)	Écart-type (m)	Moyenne (m)
Pins gris purs	5	17.3-23.6	1.4	19.5 a
Pins gris et bouleaux	5	17.3-21.0	1.0	19.7 a
Pins gris et peupliers	5	16.9-21.3	1.2	19.4 a
TOTAL	15	16.9-23.6	1.2	19.5

Note: Les valeurs suivies de la même lettre ne sont pas significativement différentes l'une de l'autre ($P < 0.05$)

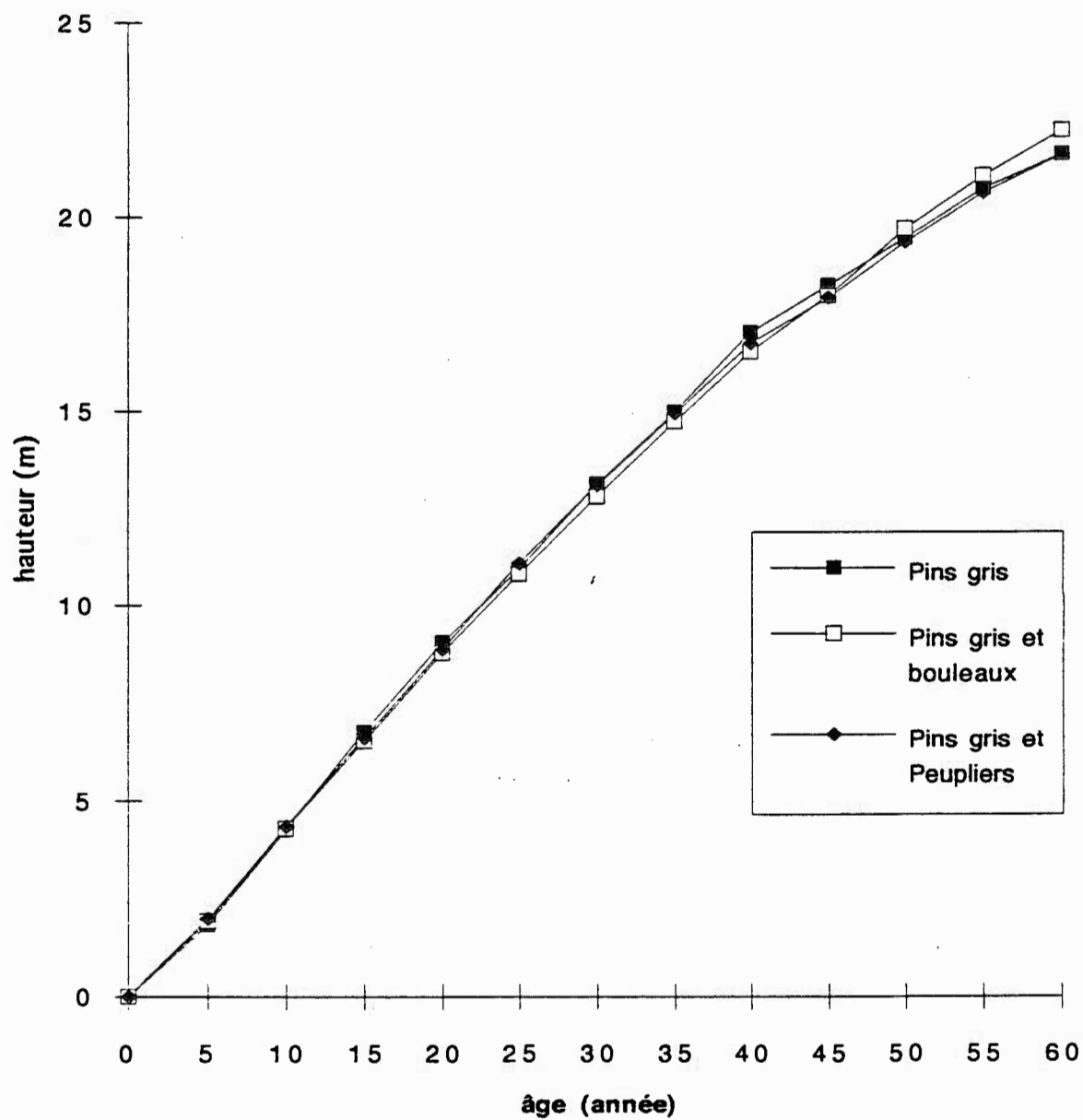


FIGURE 2: Courbes moyennes de croissance en hauteur des pins gris par type de peuplement.

TABŒAU 2: Intervalles de confiance des paramètres de la fonction de Korf selon le type de peuplement échantillonné.

	A	k	n
Pins gris purs	43.6-230.2	1.8-3.8	1.3-1.5
Pins gris et bouleaux	84.3-645.7	1.5-2.7	1.2-1.3
Pins gris et peupliers	52.8-251.4	1.8-3.4	1.2-1.4

(Figure 3) met en évidence un rythme de croissance en hauteur semblable pour les pins gris trouvés en peuplements purs et en peuplements mélangés, la différence entre les points à partir de 16 m n'étant pas déclarée significative par l'analyse de variance ($p < 0.05$).

RENDEMENT TOTAL

Les surfaces terrières totales obtenues (Tableau 3) sont sensiblement les mêmes d'un type de peuplement à l'autre. Pour la hauteur totale moyenne des pins gris, on note la présence d'une valeur légèrement plus élevée pour les peuplements mélangés avec du bouleau à papier. Cependant, aucune différence n'a été déclarée significative.

Au niveau des DHP, les données nous indiquent que la présence du tremble n'a aucun effet sur le diamètre moyen des pins gris alors que celle du bouleau l'accroît de façon significative. En ce qui concerne le volume, déterminé à l'aide de l'équation du tarif de cubage général du pin gris ($\text{Volume} = -41.4626 + (8.3376703 \cdot \text{DHP}) - (4.3120804 \cdot \text{hauteur}) - (0.314516 \cdot \text{DHP}^2) + (0.128833 \cdot \text{hauteur}^2) + (0.0393611 \cdot \text{hauteur} \cdot \text{DHP}^2)$) (Perron 1979), on note que les pins gris des peuplements mélangés à du bouleau à

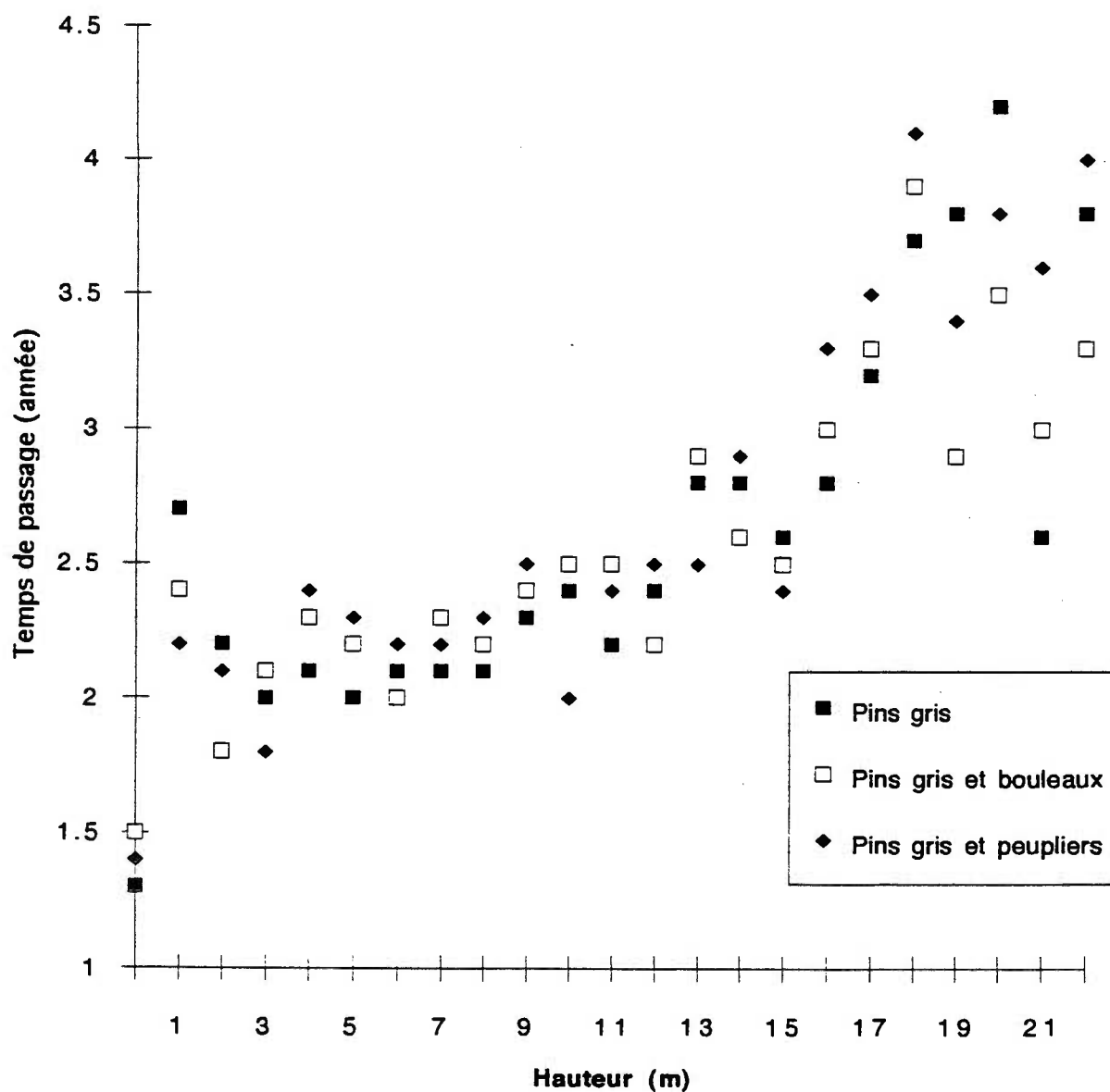


FIGURE 3: Évolution du temps de passage moyen entre chaque mètre de hauteur des pins gris par type de peuplement. La différence entre les points n'est pas significative.

TABLEAU 3: Valeurs de la surface terrière totale moyenne du peuplement et du DHP moyen, de la hauteur moyenne et du volume moyen des pins gris selon le type de peuplement échantillonné.

	Surface terrière totale moyenne (m ² /ha)	DHP (cm)	Hauteur (m)	Volume (dm ³ /arbre)
Pins gris purs	35.9 a	18.6 b	21.3 a	263.1 b
Pins gris et bouleaux	35.1 a	22.8 a	22.0 a	417.6 a
Pins gris et peupliers	35.8 a	19.8 b	21.1 a	298.8 b
Probabilité	0.0178	0.0177	0.0283	0.0150

Note: Les valeurs suivies de la même lettre ne sont pas significativement différentes l'une de l'autre ($P < 0.05$).

papier sont d'un volume moyen par pied d'arbre significativement plus élevé que ceux des peuplements purs et des peuplements mélangés avec du peuplier faux-tremble.

CARACTÉRISTIQUES DE LA COUVERTURE MORTE

L'analyse de la couverture morte (tableau 4) montre des différences significatives entre les types de peuplement pour le pH, le calcium et le magnésium échangeables ainsi que la nitrification nette. Le pH et le calcium échangeable sont significativement plus élevés dans les peuplements avec peupliers suivi des peuplements avec bouleaux et finalement des peuplements purs de pins gris. Le magnésium échangeable et la nitrification nette sont significativement plus élevés dans les peuplements mélangés que dans les peuplements purs. Le potassium échangeable, le phosphore assimilable et la minéralisation nette ne montrent pas de différence significative entre les types de peuplement.

TABLEAU 4: Caractéristiques de la couverture morte selon le type de peuplement échantillonné.

	Pins gris	Pins gris et bouleaux	Pins gris et peupliers	Probabilité
pH	4.7c	4.9b	5.3a	0.0001
Ca (méq/100g)	21.3c	25.4b	37.1a	0.0001
Mg (méq/100g)	4.3b	5.0a	5.4a	0.0136
K (méq/100g)	2.6a	2.9a	2.8a	0.0453
P (μ g/g)	115.3a	121.3a	104.3a	0.0486
Minéralisation Nette (μ g/g)	877.0a	1055.8a	753.9a	0.0367
Nitrification Nette (μ g/g)	7.6b	113.2a	92.4a	0.0469

Note: Les valeurs suivies de la même lettre ne sont pas significativement différentes l'une de l'autre ($P < 0.05$)

DISCUSSION

Les résultats obtenus suggèrent que la présence d'espèces compagnes dans les peuplements de pin gris a peu d'effet sur la croissance en hauteur de ces derniers. En effet, aucune différence significative n'a été trouvée pour les indices de qualité de station ainsi que pour les courbes moyennes de croissance en hauteur entre le pin gris en peuplements purs et mélangés. L'absence de relation avec la hauteur (qui est reconnu pour être indépendante de la compétition (Lanner 1985)) suggère que ce n'est pas la richesse du site qui est en cause.

Par ailleurs, les quelques effets significatifs observés semblent vouloir mettre à jour une certaine tendance à l'amélioration de la croissance du pin gris, tel que nous l'indique l'accroissement en diamètre et en volume observé pour les pins gris croissant dans les peuplements mélangés avec du bouleau à papier. À l'opposé du peuplier faux-tremble qui n'a aucun effet sur la croissance du pin gris, la présence du bouleau à papier comme espèce compagne agirait de façon bénéfique et ne constituerait donc pas un frein au développement du pin gris. Lafond (1966) avait d'ailleurs remarqué que le pin gris atteignait son

maximum de développement dans les peuplements de pins gris mélangés avec du bouleau à papier et du peuplier faux-tremble.

La présence du tremble n'a pas eu d'effet sur la croissance du pin gris malgré les changements observés dans la disponibilité de certains éléments nutritifs. Les effets bénéfiques du tremble sur certaines propriétés de la couverture morte, en particulier le calcium échangeable et le pH, concorde avec les résultats obtenus par Alban (1982), Perala (1990) et Paré *et al.* (1993). Cependant, les résultats obtenus suggèrent que sur sites argileux, la capacité du tremble à modifier les propriétés du sol ne contribue pas à favoriser la croissance du pin gris.

Ceci peut être expliqué par les faibles exigences des pins gris pour le calcium (Rudolph et Laidly 1990) ainsi que par la richesse inhérente des argiles en cet élément. Par ailleurs, comme le soulignent Schmidt et Carmean (1988) ainsi que Béland *et al.* (1992b), il se peut que la profondeur du sol disponible pour la croissance des racines soit, jusqu'à une certaine limite, plus importante que la richesse du sol en éléments nutritifs.

La disponibilité des éléments nutritifs dans la couverture morte des peuplements mélangés à du bouleau à papier est significativement plus faible ou égale à celle des peuplements

mélangés à du peuplier faux-tremble. Néanmoins, c'est dans les peuplements où il y a présence de bouleaux que la croissance en diamètre et en volume du pin gris est la plus grande. Ceci laisse supposer qu'un facteur autre que la disponibilité des éléments nutritifs favorise la croissance du pin gris en peuplement mélangé avec du bouleau à papier. Les différences de compétition pour la lumière entre les peuplements purs et mélangés pourraient expliquer ces variations.

Ainsi, le peuplier faux-tremble, ayant une croissance relativement rapide, occuperait sensiblement le même espace dans la canopée que le pin gris et "compétitionnerait" ce dernier au même titre qu'un autre pin gris possédant lui aussi une croissance assez rapide (Rudolph et Laidly 1990). En ce qui concerne le bouleau, étant donné qu'avec l'âge sa croissance en hauteur est plus lente (Safford *et al.* 1990), il occuperait un espace plus restreint dans la canopée que le pin gris et permettrait ainsi à ce dernier de croître plus rapidement en diamètre.

Bien qu'aucune mesure n'ait été prise dans les stations échantillonnées sur la croissance en hauteur du bouleau à papier et du peuplier faux-tremble, des analyses de tiges effectuées sur des sites comparables issus d'un feu survenu en 1916 nous

révèlent que le tremble a une croissance en hauteur similaire au pin gris alors que celle du bouleau est plus faible (figure 4).

Le bouleau serait donc un moins bon compétiteur que le tremble et le pin gris pour la lumière. Ainsi, la présence du bouleau à croissance plus lente dans les peuplements de pins gris pourrait être bénéfique à celle du pin gris en réduisant la compétition intraspécifique des couronnes de ce dernier. Une situation semblable dans des peuplements mélangés de pins et de chênes a été observée par Biondi *et al.* (1992).

En terme de productivité, ces résultats nous portent à croire que la présence du bouleau à papier dans les peuplements de pins gris pourrait avoir un impact significatif sur le calcul des possibilités de coupe forestière. Actuellement, les tables de rendement des peuplements de pins gris mélangés avec du bouleau sont directement élaborées à partir des tables de rendement pour des peuplements de pins gris purs.

Or, avec l'accroissement en diamètre et en volume que nous avons observé pour les pins gris en présence du bouleau, nous croyons qu'il serait pertinent d'examiner la possibilité d'établir un facteur de correction qui tiendrait compte de l'effet du bouleau sur la croissance du pin gris sur les sites argileux. La

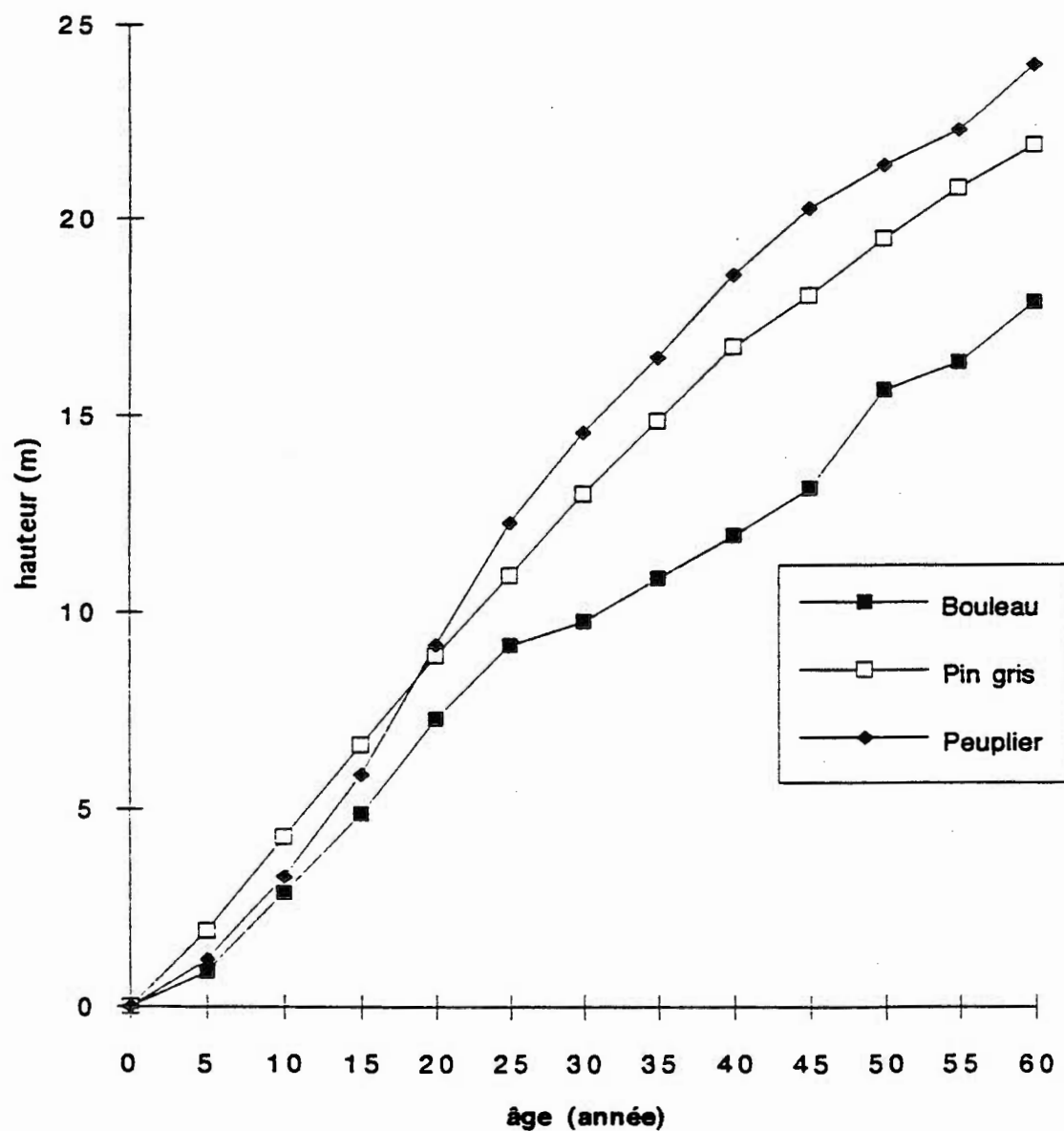


FIGURE 4: Courbes moyennes de croissance en hauteur du bouleau à papier et du peuplier faux-tremble par rapport à celle du pin gris. Les valeurs du pin gris sont des moyennes des peuplements purs et mélangés étudiés.

détermination du pourcentage de bouleau acceptable dans les peuplements de pins gris pour obtenir le même volume ou la même surface terrière de pins gris que dans un peuplement pur pourrait être un des moyens possibles d'y parvenir.

À l'aide de nos résultats, on obtient deux régressions linéaires significatives entre le nombre de pin gris et la surface terrière de bouleau à papier ($y = -63.407x + 1200.606$; $n=10$; $R^2=0.793$; $P < 0.0005$) de même qu'entre la surface terrière moyenne par pin gris et la surface terrière de bouleau à papier ($y = 0.002x + 0.027$; $n=10$; $R^2=0.918$; $P < 0.0001$). Dans les deux cas, la variable x représente la surface terrière du bouleau à papier. En multipliant ces deux équations, on obtient une équation polynomiale mettant en relation la surface terrière du pin gris avec celle du bouleau à papier (figure 5).

Avec cette dernière relation, on constate qu'il serait possible de tolérer jusqu'à 5 m²/ha de surface terrière de bouleau à papier dans les peuplements de pins gris, soit 15%, et cela, sans qu'il y ait de baisse importante de la surface terrière du pin gris. De plus, d'un point de vue économique, on obtient un volume supplémentaire en bouleaux.

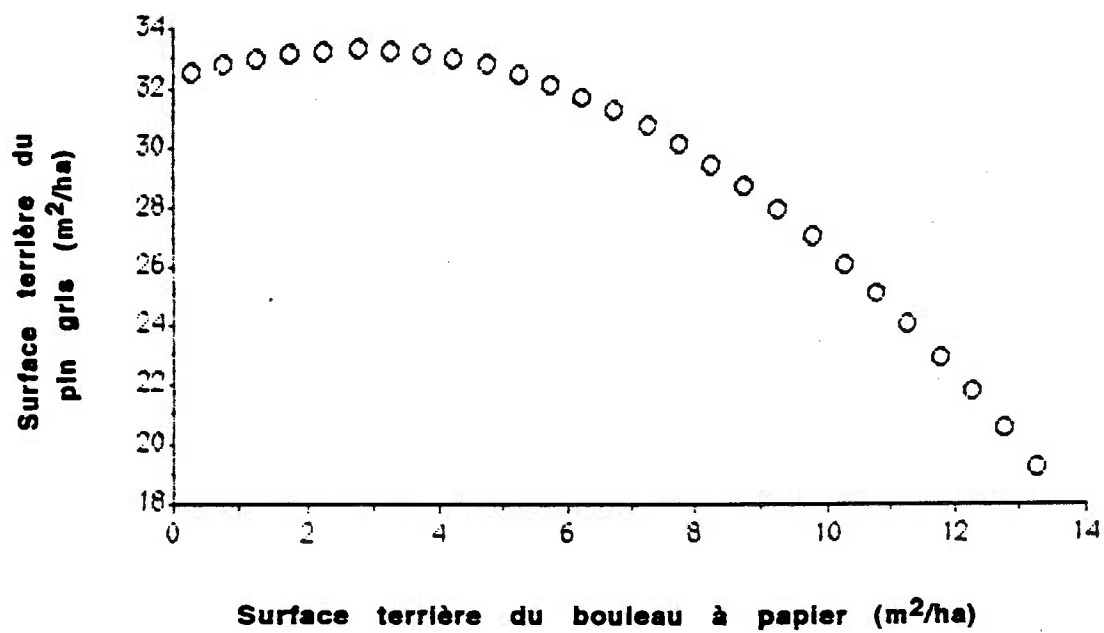


FIGURE 5: Relation entre la surface terrière du pin gris et la surface terrière du bouleau à papier.

Toutefois, ce résultat reste pour l'instant spéculatif compte tenu de l'absence de données pour valider la portion médiane de la courbe. En effet, les stations échantillonnées ne représentent que des situations avec 100% pin gris et 50-50% pin gris et bouleau à papier, laissant ainsi une gamme de possibilités intermédiaires non vérifiées.

La poursuite des études à ce niveau pourrait donc s'avérer prometteuse puisque loin d'être banales, les conséquences d'un tel facteur pourraient contribuer à une évaluation plus juste et plus précise du rendement des sites forestiers présentant un tel type de peuplement. De plus, compte tenu des intérêts croissants qui se développent pour les aspects de la foresterie autres que la production (biodiversité, réserves écologiques, conservation de la faune et récréation), les peuplements mélangés sont appelés à devenir de plus en plus important pour l'industrie forestière de demain.

CONCLUSION

Les communautés naturelles de plantes sont généralement constituées de mélange de différentes espèces et les forêts n'y font pas exception. Malgré les avantages reconnus du mélange d'essences forestières différentes (stabilité, diversité écologique et diminution des risques de catastrophe dû aux feux, au vent et aux épidémies d'insectes) (Burkhart et Tham 1991, Kenk 1991, Kelt 1992), peu d'efforts ont été consacrés à l'étude de la croissance des peuplements mélangés versus les peuplements purs. Ainsi, actuellement, on manque de certitudes sur les effets de la composition des peuplements sur la productivité forestière.

La présente étude a permis d'établir qu'il existe des différences dans le rendement des peuplements de pins gris purs et mélangés sur site argileux. Ainsi, nos résultats indiquent que la présence de bouleau à papier et de peuplier faux-tremble dans les peuplements de pins gris a influencé significativement certaines caractéristiques physico-chimiques de la couverture morte, notamment en ce qui concerne le pH ainsi que le calcium et le magnésium échangeables.

Alors que ces différences se sont manifestées de manière plus prononcées dans les peuplements mélangés à du peuplier faux-tremble, c'est dans les peuplements mélangés à du bouleau à papier que nous avons constaté le DHP moyen et le volume moyen par pied d'arbre le plus élevé pour le pin gris.

Dans ce contexte, il semble que la lumière limite davantage la croissance du pin gris en peuplement mélangé que la disponibilité des éléments nutritifs dans la couverture morte. Ainsi, la présence d'un couvert forestier stratifié dans les peuplements mélangés à du bouleau à papier favorise une meilleure utilisation de la lumière disponible. Ce mécanisme de réduction de la compétition pourrait expliquer la croissance plus élevée du pin gris dans ces peuplements.

Par ailleurs, bien que non significatif pour le pin gris trouvé sur site argileux, l'effet bénéfique des espèces compagnes sur les propriétés de la couverture morte pourrait s'avérer important sur des dépôts plus pauvres ou encore pour des espèces forestières plus exigeantes.

Enfin, l'accroissement en diamètre et en volume du pin gris mélangé à du bouleau à papier pourrait influencer le calcul des possibilités de coupe forestière. Toutefois, il faut être prudent

si l'on veut formuler des recommandations à partir des résultats obtenus compte tenu du nombre limité de situation de mélange étudiée. Des études plus approfondies à ce sujet permettraient sans doute une évaluation plus précise du rendement des sites forestiers présentant des peuplements mélangés. Avec une industrie forestière qui se veut de plus en plus axée vers le concept de développement durable, une telle précision ne saurait être négligeable pour arriver à élaborer une bonne stratégie d'exploitation de nos forêts.

BIBLIOGRAPHIE

ALBAN, D.H. 1982. Effects of nutrient accumulation by aspen, spruce, and pine on soil properties. *Soil Sci. Am. J.* 46: 853-861.

ASSMANN, E. 1970. The principles of forest yield study. Pergamon Press, Oxford, 506 p.

BEAUDET, R. 1990. Effet d'une présence accrue de bouleau à papier (*Betula papyrifera* Marsh.) sur les caractéristiques et la fertilité de la couverture morte d'une sapinière boréale âgée de 40 ans. Mémoire de maîtrise, Faculté de foresterie et de géomatique, Université Laval, Québec, Canada, 105 p.

BÉLAND, M., Y. Bergeron, B. Harvey et D. Robert. 1992a. Quebec's ecological framework for forest management: a case study in the boreal forest of Abitibi. *For. Ecol. Manage.* 49: 247-266.

BÉLAND, M., Y. Bergeron et M.-H. Longpré. 1992b. Évaluation de la productivité du pin gris (*Pinus banksiana* Lamb.) en Abitibi. Rapport d'étape présenté au Ministère des forêts du Québec, Unité de recherche et de développement forestier de l'Abitibi-Témiscamingue, Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue, Rouyn-Noranda, Québec, 14 p.

BÉLAND, M., S. Brais et B. Harvey. 1990. Guide à l'identification des dépôts de surface et des classes de drainage pour l'Abitibi-Témiscamingue: Première approximation, Unité de recherche et de développement forestier de l'Abitibi-Témiscamingue, Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue, Rouyn-Noranda, Québec, 132 p.

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

BINKLEY, D. 1983. Interaction of site fertility and red alder on ecosystem production in Douglas-fir plantations. *For. Ecol. Manage.* 5: 215-227.

BINKLEY, D. 1984. Importance of size-density relationships in mixed stands of Douglas-fir and red alder. *For. Ecol. Manage.* 9: 81-85.

BINKLEY, D. 1991. Mixtures nitrogen-fixing and non-nitrogen-fixing tree species. In: *The ecology of mixed-species stands of trees*. M.G.R. Cannell, D.C. Malcolm et P.A. Robertson (eds). British Ecological Society Pub. No.11. Blackwell scientific publications, Oxford, 99-123.

BINKLEY, D. et S.C. Hart. 1989. The components of nitrogen assessments in forest soils. *Adv. Soil Sci.* 10: 57-112.

BIONDI, F., J.O. Klemmedson et R.O. Kuehl. 1992. Dendrochronological analysis of single-tree interactions in mixed pine-oak stands of central Arizona, USA. *For. Ecol. Manage.* 48: 321-333.

BOCKHEIM, J.G., E.A. Jepsen et D.M. Heisey. 1991. Nutrient dynamics in decomposing leaf litter of four tree species on a sandy soil in northwestern Wisconsin. *Can. J. For. Res.* 21: 803-812.

BOUDOUX, M. 1978. Tables de rendement empiriques pour l'épinette noire, le sapin baumier et le pin gris au Québec. Québec, Ministère des Terres et Forêts, Service d'Information.

BRISSON, M.-C. 1992. Croissance en hauteur du pin gris (*Pinus banksiana* Lamb.) selon un gradient topographique, Abitibi, Québec. Mémoire de maîtrise en sciences de l'environnement. Université du Québec à Montréal, Montréal, Québec, Canada. 152 p.

BROWN, A.F.H. 1991. Functioning of mixed-species stands at Gisburn, N.W. England. In: The ecology of mixed-species stands of trees. M.G.R. Cannell, D.C. Malcolm et P.A. Robertspn (eds). British Ecological society Pub. No. 11. Blackwell scientific publications, Oxford, 125-150.

BROZEK, S. 1990. Effect of soil changes caused by red alder (*Alnus rubra*) on biomass and nutrient status of Douglas-fir (*Pseudotsuga menziesii*) seedlings. Can. J. For. Res. 20: 1320-1325.

BURKHART, H.E. et A. Tham. 1991. Predictions from growth and yield models of the performance of mixed-species stands. In: The ecology of mixed-species stands of trees. M.G.R. Cannell, D.C. Malcolm et P.A. Robertson (eds). British Ecological Society Pub. No.11. Blackwell scientific publications, Oxford, 21-34.

CARMEAN, W.H. 1975. Forest site quality evaluation in the United states. Advances in Agronomy. 27: 209-269.

CHROSCIEWICZ, Z. 1963. The effects of site on jack pine growth in northern Ontario. Department of forestry publication no. 1015, Canada, 28 p.

DANSEREAU, P.-R. et Y. Bergeron. 1993. Fire history in the southern boreal forest of northwestern Quebec. Can. J. For. Res. 23: 25-32.

DAY, R.W. et G.P. Quinn. 1989. Comparisons of treatments after an analysis of variance in ecology. Ecol. Monogr. 59: 433-463.

ENVIRONNEMENT CANADA. 1982. Normales climatiques au Canada. Vol 2: Températures. Vol 3: Précipitations. Environnement Canada, Service de l'environnement atmosphérique, Ottawa.

FRIVOLD, L.H. et K. Mielikäinen. 1990. The effects of hardwoods on softwood growth in mixed stands in Fennoscandia. In: The sylvics and ecology of Boreal spruces. 1989. IUFRO Working party SI.05-12 Symp.Proc., New-foundland, 12-17 Aug. 1989. For. Can. Inf. Rep. N-X-271: 75-82.

HAMILTON, W.N. et H.H. Krause. 1985. Relationship between jack pine growth and site variables in New-Brunswick plantations. Can. J. For. Res. 15: 922-926.

HEILMAN, P. et R.F. Stettler. 1985. Mixed, short-rotation culture of red alder and black cottonwood: growth, coppicing, nitrogen fixation and allelopathy. For. Sci. 31: 607-616.

HENDRICKSON, O.Q. et D. Burgess. 1989. Nitrogen-fixing plants in a cut-over lodgepole pine stand of southern British Columbia. Can. J. For. Res. 19: 936-939.

JENSEN, A.M. 1983. Aedelgranens (*Abies alba* Mill.) vekst sammenlignet medrodgranens (*Picea abies* (L) Karst.) i henholdsvis rene og blandede bevoksninger på sandede jorder i Midt-og Vestjylland. (Growth of silver fir (*Abies alba* Mill.) compared with the growth of Norway spruce (*Picea abies* (L) Karst.) in pure and mixed stands on sandy soils in the western parts of Denmark). Meddelanden fra skovbruksinstitutt series 2, no 14, 498 p.

JOHN, M.K. 1970. Colorimetric determination of phosphorus in soil and plant materials with ascorbic acid. Soil Sci. 109: 214-220.

JONSSON, B. 1962. Om barrblandskogens volymproduktion. (Yield of mixed coniferous forest). Meddelanden Fran Statens Skogsforskningsinstitut, no 50: 1-143.

KELTY, M.J. 1989. Productivity of New England hamlock/hardwood stands as affected by species composition and canopy structure. For. Ecol. Manage. 28: 237-257.

KELTY, M. J. 1992. Comparative productivity of monocultures and mixed-species stands. In: The ecology and silviculture of mixed-species stands. M.J. Kelty, B.C. Larson et C.D. Oliver, Kluwer edition, 125-141.

KENK, G.K. 1991. Silviculture of mixed-species stands in Germany. In: The ecology of mixed-species stands of trees. M.G.R. Cannell, D.C. Malcolm et P.A. Robertson (eds). British Ecological Society Pub. No.11. Blackwell scientific publications, Oxford, 53-63.

KLINKA, K. et R.E. Carter. 1990. Relationships between site-index and synoptic environmental factors in immature coastal Douglas-fir stands. For. Sci. 36: 815-830.

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

LANIER, L. 1992. La forêt doit-elle être mélangée?. Re. For. Fr. 2: 105-127.

LANNER, R.M. 1985. On the insensitivity of height growth to spacing. For. Ecol. Manage. 13: 143-148.

LEARY, R.A. et W.B. Smith. 1990. Test of the trim inventory projection methods on Wisconsin jack pine. Can. J. For Res. 20: 774-780.

LENTHALL, D.J. 1986. Height growth and site index of jack pine (*Pinus banksiana* Lamb.) in the Thunder Bay area - a system of site quality evaluation. M. Sc. For. Thesis, Lakehead University, Thunder Bay, 95 p.

McKAY, H.M. et D.C. Malcolm. 1988. A comparison of the fine root component of a pure and mixed coniferous stand. Can. J. For. Res. 18: 1416-1426.

McKEAGUE, J.A. 1978. Manual on soil sampling and methods of analysis. 2 nd. ed. Can. Soc. Soil Sci., Ottawa, Ontario.

MIELIKAINEN, K. 1985. Koivousekoituksen vaikutus kuusikon rakenteeseen ja kehitykseen. (Effect of an admixture of birch on the structure and development of Norway spruce stands). *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae*. 133: 1-79.

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

MORGAN, J.L., J.M. Campbell et D.C. Malcolm. 1991. Nitrogen relations of mixed-species stands on oligotrophic soils. In: *The ecology of mixed-species stands of trees*. M.G.R. Cannell, D.C. Malcolm et P.A. Robertson (eds). British ecological society Pub. No.11. Blackwell scientific publications, Oxford, 65-85.

PARÉ, D., Y. Bergeron et C. Camiré. 1993. Forest floor properties in relation to species and gaps along a chronosequence in the boreal balsam fir forest. *Can. J. For. Res.* (Sous presse).

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

PERALA, D.A. 1990. Quaking aspen (*Populus tremuloides* Michx.). In: *Sylvics of North America*. Volume 2, Hardwoods. Burns, R.M. et B.H. Honkala, Agriculture handbook 654, Forest service USDA, 555-569.

PERRON J.-Y. 1979. Tarif de cubage général, volume marchand brut. Ministère de l'énergie et des ressources du Québec, Service de l'inventaire forestier. Doc. ERF-3209-11, 52 p.

PERRY, D.A., C. Choquette et P. Shroeder. 1987. Nitrogen dynamics in conifer-dominated forests with and without hardwoods. *Can. J. For. Res.* 17: 1434-1441.

PLONSKI, W.L. 1974. Normal yield tables (metric) for major forest species of Ontario. Division of forests, Ontario Ministry of Natural Resources, 140 p.

ROWE, J.S. 1972. Les régions forestières du Canada. Can. For. Serv. Publ. 1300F.

RUDOLPH, T.D. et P.R. Laidly. 1990. Jack pine (*Pinus banksiana* Lamb.). In: Silvics of North America. Volume 1, conifers. Burns, R.M. et B.H. Honkala, Agriculture handbook 654, Forest service USDA, 280-293.

SAFFORD, L.O., J.C. Bjorkbom et J.C. Zasada. 1990. Paper birch (*Betula papyrifera* Marsh.). In: Silvics of North America. Volume 2, hardwoods. Burns, R.M. et B.H. Honkala, Agriculture handbook 654, Forest service USDA, 158-171.

SAS. 1985. User's guide to statistics, version 5 edition. SAS Institute, Cary, North Carolina, USA.

SCHMIDT, M.G. et W.H. Carmean. 1988. Jack pine quality in relation to soil and topography in north central Ontario. Can. J. For. Res. 18: 297-305.

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

SPURR, S.H. et B.V. Barnes. 1980. Forest Ecology. 3rd edition. John Wiley & Sons. 687 p.

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

TARRANT, R.F. 1961. Stand development and soil fertility in a Douglas-fir/red alder plantation. For. Sci. 7: 238-246.

TARRANT, R.F. et J.M. Trappe. 1971. The role of *Alnus* in improving the forest environment. Plant Soil, special volume 1971: 335-348.

THAM, A. 1988. Yield prediction after heavy thinning of birch in mixed stands of Norway spruce (*Picea abies* (L) Karst.) and birch (*Betula pendula* Roth and *Betula pubescens* Ehrh.). (Produktionsförutsägelser vid kraftiga gallringar av björk i blandbestånd av gran (*Picea abies* (L) Karst.) och björk (*Betula pendula* Roth and *Betula pubescens* Ehrh.). Swedish University of Agricultural Sciences, Department of Forestry Yield Research, Report 23, Garpenberg, 36 p.

THIBAUT, M. et D. Hotte. 1985. Les régions écologiques du Québec méridional. Deuxième approximation, service de la cartographie, Ministère de l'Énergie et des ressources du Québec.

VALSTA, L. 1988. Optimizing species composition in mixed, even-aged stands. In: Forest growth modelling and prediction. Proceedings of the IUFRO Conference, Aug. 23-27, 1987, Minneapolis, Minnesota, no 2: 913-920.

VALSTA, L. et K. Mielikäinen. 1987. Blandskogens ekonomi: tall med inblandad vartbjörk. (The economy of mixed stands of Scots pine and silver birch). Sveirges Skogsvarfsförbunds Tidsskrift. 85: 21-25.

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

VITOUSEK, P.M. et J.S. Denslow. 1986. Nitrogen and phosphorus availability in treefall gaps of a lowland tropical rainforest. J. Ecol. 74: 1167-1178.

WIERNAN, C.A. et C.D. Oliver. 1979. Crown stratification by species in even-aged mixed stands of Douglas-fir/western hemlock. Can. J. For. Res. 9: 1-9.

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

WILSON, C.V. 1973. Le climat du Québec. Partie 1: Atlas climatologique du Québec. Partie 2: Mise en application des renseignements climatologiques. Environnement Canada, Service de l'environnement atmosphérique, Ottawa.

ZARNOVICAN, R. 1979. Fonction de la croissance de Korf. For. Chron. 55: 194-197.

ZARNOVICAN, R. 1985. Analyses de tiges: une méthode à redécouvrir. Naturaliste Canadien. 112: 253-260.

ZARNOVICAN, R., D. Ouellet et S. Gendron. 1988. Computerized data acquisition for radial growth. Laurentian Forestry Centre, Canadian Forestry service. Info. Report. LAU-X-80E, 13 pp.

APPENDICE A

**Matrice des variables de croissance
des peuplements de pins gris purs**

st*	sp	éti.	DHP	Haut.	âge	IQS
1	pba	363	20	21.95		
1	pba	301	27	22.75		
1	pba	370	13	14.35		
1	pba	303	16	17.75		
1	pba	372	14	16.15		
1	pba	366	17	19.15		
1	pba	367	21	23.55	62	
1	pba	359	11	14.95		
1	pba	354	12	15.55		
1	pba	333	21	22.75	61	
1	pba	302	13	15.15		
1	pba	307	26	20.35	61	
1	pba	304	21	20.55		
1	pba	346	15	20.35	61	
1	pba	320	23	20.15		
1	pba	312	22	21.55	60	
1	pba	314	17	22.55		
1	pba	351	15	18.75		
1	pba	352	19	19.55		
1	pba	309	17	21.15		
1	pba	347	20	20.55		
1	pba	360	22	19.95		
1	pba	343	18	23.95		
1	pba	318	18	15.95	58	
1	pba	322	22	21.95	63	
1	pba	338	25	20.75	64	18.50
1	pba	310	10	12.95		
1	pba	365	18	20.75	62	
1	pba	311	16	21.15	58	
1	pba	321	20	20.95	60	
1	pba	353	15	19.55	62	
1	pba	340	13	19.15		
1	pba	308	22	22.35		
1	pba	319	26	24.35	66	19.05

* Voir la liste des abréviations (appendice G)

APPENDICE A (suite)

st	sp	éti.	DHP	Haut.	âge	IQS
1	pba	336	16	23.15		
1	pba	324	17	21.55		
1	pba	332	26	21.95	65	19.74
1	pba	313	18	19.55	61	
1	pba	342	22	22.35	60	
1	pba	345	18	25.15	60	
1	pba	334	12	16.35		
1	pba	335	17	19.95		
1	pma	369	15			
1	bpa	364	12			
1	bpa	305	11			
1	bpa	315	11			
3	pba	91	15	21.55	58	
3	pba	111	28	26.75	66	23.63
3	pba	90	19	22.75		
3	pba	75	22	21.75		
3	pba	108	24	24.95	66	19.63
3	pba	107	17	21.35		
3	pba	116	14	20.55	55	
3	pba	117	19	23.15		
3	pba	96	29	24.55		
3	pba	67	15	19.95	56	
3	pba	105	23	26.35		
3	pba	110	23	24.75	63	
3	pba	68	16	23.15		
3	pba	94	17	20.75	62	
3	pba	72	17	19.95	55	
3	pba	73	22	22.75		
3	pba	97	21	21.75	61	
3	pba	109	23	22.35	61	
3	pba	82	21	25.15		
3	pba	87	18	21.15		
3	pba	118	15	21.95		

APPENDICE A (suite)

st	sp	éti.	DHP	Haut.	âge	IQS
3	pba	85	20	24.55		
3	pba	98	22	22.35		
3	pba	145	16	21.35		
3	pba	147	19	21.95		
3	pba	146	19	21.15	62	
3	pba	135	17	23.15		
3	pba	206	18	24.75		
3	pba	221	18	20.75		
3	pba	237	15	21.55	59	
3	pba	222	23	22.15	62	
3	pba	201	12	19.55		
3	pba	245	23	23.15	64	
3	pba	212	28	24.15		
3	pba	204	20	22.35	63	
3	pba	236	20	24.75		
3	pba	256	18	22.75		
3	pba	255	26	24.75	67	19.80
3	pba	235	21	24.75		
3	pba	234	22	24.35	62	
3	pba	207	14	20.75		
3	pba	217	14	19.15		
3	bpa	66	12			
3	bpa	214	10			
3	bpa	249	16			
3	bpa	247	16			
3	prp	113	11			
6	pba	701	19	23.15		
6	pba	841	14	22.75		
6	pba	250	21	25.55		
6	pba	633	15	23.55		
6	pba	220	14	19.95	59	
6	pba	216	18	23.55		
6	pba	847	13	16.95	53	

APPENDICE A (suite)

st	sp	éti.	DHP	Haut.	âge	IQS
6	pba	810	19	22.35	63	
6	pba	218	14	17.95	60	
6	pba	239	12	18.15		
6	pba	251	19	21.75		
6	pba	4	16	21.95		
6	pba	643	21	22.75	64	18.80
6	pba	845	19	23.35	62	
6	pba	617	11	16.75		
6	pba	641	12	20.15		
6	pba	839	21	25.15		
6	pba	717	15	21.75		
6	pba	618	16	19.95		
6	pba	652	18	21.55		
6	pba	238	23	22.35		
6	pba	802	14	19.15		
6	pba	225	19	23.15	61	
6	pba	244	20	22.15		
6	pba	657	23	23.55	65	19.63
6	pba	243	22	23.95	65	18.70
6	pba	233	19	20.95		
6	pba	919	16	20.35	64	
6	pba	852	16	18.35		
6	pba	927	14	21.55		
6	pba	227	19	21.55	60	
6	pba	803	19	20.75		
6	pba	258	18	20.55		
6	pba	254	19	23.15		
6	pba	229	16	20.55		
6	pba	815	19	22.55		
6	pba	928	16	21.15		
6	pba	920	20	23.15		
6	pba	917	25	23.15		
6	pba	905	13	23.35		
6	pba	904	18	23.75		

APPENDICE A (suite)

st	sp	éti.	DHP	Haut.	âge	IQS
6	pba	911	18	22.35	61	
6	pba	903	19	20.35		
6	pba	902	27	27.57		
6	pba	910	21	21.75	58	
6	pba	918	10	14.75		
6	pba	909	13	20.95	62	
6	pba	869	11	14.35		
6	pba	893	12	14.57	55	
6	pba	887	16	21.15		
6	pba	884	21	21.55		
6	pba	926	12	18.15		
6	pba	924	20	21.55	60	
6	pba	879	15	16.75		
6	pba	858	12	17.55		
6	pba	915	18	21.55		
6	pba	1	15	21.97	64	
6	bpa	896	11			
11	pba	532	14	23.15		
11	pba	533	25	24.35		
11	pba	537	21	22.95		
11	pba	538	21	21.55		
11	pba	540	12	20.15	55	
11	pba	543	14	18.75	47	
11	pba	544	19	22.75		
11	pba	546	21	22.15		
11	pba	547	19	20.35		
11	pba	548	21	23.15		
11	pba	549	25	22.35	63	
11	pba	550	13	17.55		
11	pba	555	24	22.15		
11	pba	559	21	22.75		
11	pba	562	19	20.55		
11	pba	563	20	22.75		

APPENDICE A (suite)

st	sp	éti.	DHP	Haut.	âge	IQS
11	pba	564	15	17.55		
11	pba	565	20	22.75		
11	pba	566	24	23.55		
11	pba	568	27	23.95	63	
11	pba	569	16	18.35		
11	pba	571	23	22.75		
11	pba	572	20	22.35	62	
11	pba	573	19	23.35		
11	pba	574	20	25.75		
11	pba	579	14	18.15		
11	pba	586	15	20.15	60	
11	pba	587	15	19.55	55	
11	pba	588	17	19.95		
11	pba	589	21	22.75	61	
11	pba	590	19	21.35	61	
11	pba	592	13	18.35	59	
11	pba	593	18	21.55		
11	pba	594	18	20.95		
11	pba	595	26	23.55	60	
11	pba	596	16	20.95		
11	pba	597	20	22.15		
11	pba	600	24	21.55		
11	pba	601	21	22.15		
11	pba	604	18	20.55	62	
11	pba	605	13	18.75		
11	pba	606	21	21.75		
11	pba	607	15	16.35		
11	pba	610	24	23.15	61	
11	pba	613	27	22.55		
11	pba	617	15	20.75		
11	pba	618	13	16.95	45	
11	pba	622	20	19.75		
11	pba	947	25	22.55		20.30
11	pba	948	26	23.35	64	20.30

APPENDICE A (suite)

st	sp	éti.	DHP	Haut.	âge	IQS
11	pba	949	25	21.55	66	18.30
11	bpa	560	12			
11	bpa	608	15			
11	pgl	561	16			
12	pba	626	21	26.35		
12	pba	629	21	24.35		
12	pba	634	17	19.95		
12	pba	635	21	22.75		
12	pba	637	16	24.15		
12	pba	638	21	24.15		
12	pba	639	17	22.55		
12	pba	644	19	22.75		
12	pba	645	15	19.95		
12	pba	648	18	20.95	61	
12	pba	649	13	20.55		
12	pba	650	18	19.95	59	
12	pba	651	20	22.15	62	
12	pba	652	15	20.35		
12	pba	653	28	24.95		
12	pba	655	22	21.55	58	
12	pba	657	22	22.55		
12	pba	658	25	22.35	66	17.30
12	pba	659	20	22.15	62	
12	pba	660	15	18.35		
12	pba	663	20	20.55		
12	pba	665	15	18.35		
12	pba	666	17	16.55		
12	pba	667	15	20.75		
12	pba	668	19	18.55		
12	pba	669	23	20.95	64	19.55
12	pba	670	17	17.35		
12	pba	671	20	19.35		
12	pba	672	20	20.55		

APPENDICE A (suite)

st	sp	éti.	DHP	Haut.	âge	IQS
12	673	pba	15	23.55		
12	674	pba	24	23.95	64	18.97
12	675	pba	22	20.35	60	
12	676	pba	13	16.35		
12	677	pba	17	21.95		
12	678	pba	17	21.95	61	
12	679	pba	13	17.55		
12	680	pba	17	24.55	61	
12	681	pba	21	25.95	59	
12	682	pba	21	26.15	61	
12	683	pba	16	21.35	55	
12	684	pba	20	20.75		
12	685	pba	15	19.75	61	
12	687	pba	26	27.35		
12	688	pba	17	19.75	62	
12	689	pba	22	23.95	61	
12	693	pba	19	22.75		
12	694	pba	18	20.75		
12	695	pba	18	23.15	62	
12	636	bpa	12			
12	662	bpa	15			
12	692	bpa	13			
12	647	prp	10			

APPENDICE B

**Matrice des variables de croissance des peuplements de
pins gris mélangés à du bouleau à papier**

st*	sp	éti.	DHP	Haut.	âge	IQS
2	pba	31	24	24.55	65	
2	pba	17	16	18.75	58	
2	pba	8	27	22.35	66	20.05
2	pba	27	25	23.15	65	19.30
2	pba	331	12	15.95	54	
2	pba	45	27	22.15	62	
2	pba	43	21	23.95	63	
2	pba	50	21	22.15	64	
2	pba	39	13	15.50	61	
2	pba	32	25	22.95	63	
2	pba	47	23	19.35	64	
2	pba	35	19	21.15	64	
2	pba	337	20	18.75	51	
2	pba	28	25	22.35	60	
2	pba	7	22	21.55	63	
2	pba	38	19	16.35		
2	pba	4	26	22.75	64	19.30
2	bpa	13	29			
2	bpa	41	10			
2	bpa	22	11			
2	bpa	36	15			
2	bpa	328	22			
2	bpa	344	19			
2	bpa	349	18			
2	bpa	54	16			
2	bpa	10	22			
2	bpa	46	10			
2	bpa	53	10			
2	pet	6	41			
2	pma	44	10			
2	sal	23	16			
9	pba	307	23	22.35	63	
9	pba	311	27	23.55	62	
9	pba	313	18	19.95	60	

* Voir la liste des abréviations (appendice G)

APPENDICE B (suite)

st	sp	éti.	DHP	Haut.	âge	IQS
9	pba	314	15	18.35	59	
9	pba	317	18	18.95	57	
9	pba	318	24	20.95		
9	pba	328	23	21.15	67	
9	pba	331	21	19.15	56	
9	pba	340	22	22.75	57	
9	pba	345	22	19.55		
9	pba	353	20	19.15	61	
9	pba	360	22	21.95	62	
9	pba	368	17	16.35		
9	pba	371	28	22.95	66	19.10
9	pba	376	26	23.15	66	
9	pba	380	25	20.75	58	
9	pba	400	30	19.95	65	
9	pba	383	30	22.75	64	19.97
9	pba	385	28	20.35	63	19.30
9	pba	414	25	22.35	57	
9	pba	423	26	21.55	65	
9	bpa	306	20			
9	bpa	326	11			
9	bpa	339	19			
9	bpa	344	12			
9	bpa	347	12			
9	bpa	348	32			
9	bpa	388	16			
9	bpa	393	16			
9	bpa	389	34			
9	bpa	397	10			
9	bpa	403	13			
9	bpa	384	10			
9	bpa	407	11			
9	bpa	412	15			
9	bpa	416	10			
9	bpa	417	10			

APPENDICE B (suite)

st	sp	éti.	DHP	Haut.	âge	IQS
9	pgl	305	13			
9	pgl	332	11			
9	pgl	334	19			
9	pgl	338	17			
9	pgl	346	11			
9	pgl	363	13			
9	pgl	404	15			
9	pgl	405	13			
9	pgl	422	32			
10	pba	425	30	21.15	64	19.80
10	pba	427	14	18.75		
10	pba	428	29	22.75		
10	pba	431	22	22.35	62	
10	pba	433	20	21.95	63	
10	pba	436	26	24.75	63	20.50
10	pba	439	31	24.35	67	
10	pba	444	25	22.75	57	
10	pba	445	26	20.75	59	19.30
10	pba	449	22	21.15	64	
10	pba	429	17	21.35	52	
10	pba	455	21	20.95	60	
10	pba	458	22	21.95	60	
10	pba	464	24	23.75	59	
10	pba	478	32	23.55	64	
10	pba	481	23	24.35	60	
10	pba	493	20	21.15		
10	pba	496	24	21.95		
10	pba	497	20	21.55		
10	pba	505	19	20.95	53	
10	pba	510	24	21.55		
10	pba	511	25	22.75	61	
10	pba	514	24	21.95	64	
10	pba	519	22	23.15	61	

APPENDICE B (suite)

st	sp	éti.	DHP	Haut.	âge	IQS
10	bpa	424	22			
10	bpa	426	15			
10	bpa	430	24			
10	bpa	432	15			
10	bpa	453	11			
10	bpa	456	20			
10	bpa	459	15			
10	bpa	460	10			
10	bpa	462	10			
10	bpa	470	23			
10	bpa	474	12			
10	bpa	475	10			
10	bpa	476	12			
10	bpa	477	19			
10	bpa	481A	18			
10	bpa	484	14			
10	bpa	495	24			
10	bpa	508	10			
10	bpa	525	15			
10	bpa	526	12			
10	bpa	528	10			
10	bpa	530	20			
10	pgl	446	13			
10	pgl	465	15			
10	pgl	466	10			
10	pgl	504	10			
16	pba	28	29	27.15	68	
16	pba	29	22	24.15	62	
16	pba	32	27	21.95	63	
16	pba	34	32	26.55	60	
16	pba	35	25	24.35		
16	pba	39	18	24.55	62	
16	pba	41	26	21.95	59	

APPENDICE B (suite)

st	sp	éti.	DHP	Haut.	âge	IQS
16	pba	47	24	24.75	65	
16	pba	48	20	21.75		
16	pba	49	29	25.15	66	
16	pba	54	15	22.35	65	
16	pba	55	26	24.75	68	
16	pba	58	14	17.55		
16	pba	59	25	23.15		
16	pba	62	18	23.35	63	
16	pba	65	25	24.35	63	
16	pba	67	20	21.35		
16	pba	68	27	21.55	53	
16	pba	70	19	22.95	67	
16	pba	87	23	24.95	54	
16	pba	88	32	28.15	60	
16	pba	92	29	24.60	66	20.97
16	pba	93	29	22.65	64	18.63
16	pba	94	29	23.00	65	20.97
16	bpa	25	24			
16	bpa	26	21			
16	bpa	27	24			
16	bpa	30	18			
16	bpa	42	19			
16	bpa	43	14			
16	bpa	44	19			
16	bpa	69	12			
16	bpa	72	26			
16	bpa	73	12			
16	bpa	74	22			
16	bpa	75	22			
16	bpa	76	18			
16	pma	89	20			
17	pba	298	19	22.75	65	
17	pba	297	19	23.95		
17	pba	296	18	22.35		

APPENDICE B (suite)

st	sp	éti.	DHP	Haut.	âge	IQS
17	pba	295	20	22.95	57	
17	pba	294	25	23.15	66	
17	pba	292	17	23.35	61	
17	pba	288	21	19.15	60	
17	pba	287	24	20.95		
17	pba	280	30	23.15	61	
17	pba	279	25	26.95	59	
17	pba	278	21	25.55	57	
17	pba	276	24	22.75	63	
17	pba	270	26	20.75	61	
17	pba	268	25	21.15	58	
17	pba	267	24	23.55	61	
17	pba	265	29	25.15	63	20.30
17	pba	264	19	21.55	56	
17	pba	269	26	23.95	65	20.80
17	pba	253	28	21.35	67	17.30
17	pba	250	19	12.35	56	
17	pba	248	29	26.55		
17	bpa	290	21			
17	bpa	263	19			
17	bpa	273	25			
17	bpa	262	25			
17	bpa	261	13			
17	bpa	260	19			
17	bpa	259	24			
17	bpa	258	24			
17	bpa	257	21			
17	bpa	252	27			
17	bpa	253	24			
17	bpa	249	19			
17	bpa	245	30			
17	pgl	284	16			
17	pgl	266	13			
17	pgl	274	10			

APPENDICE C

**Matrice des variables de croissance des peuplements de
pins gris mélangés à du peuplier faux-tremble**

st*	sp	éti.	DHP	Haut.	âge	IQS
7	pba	1	17	21.15		
7	pba	4	20	21.55		
7	pba	27	17	22.15		
7	pba	28	14	20.95		
7	pba	53	18	20.75	59	
7	pba	55	19	21.75	58	
7	pba	57	14	13.55		
7	pba	70	12	15.35	60	
7	pba	75	13	18.15	60	
7	pba	82	17	20.55	55	
7	pba	86	13	18.95	62	
7	pba	87	15	18.75	58	
7	pba	89	14	19.15	54	
7	pba	91	15	19.95	59	
7	pba	93	21	21.15	64	
7	pba	98	15	16.95	65	
7	pba	109	16	20.75	60	
7	pba	110	17	20.15	57	
7	pba	112	13	17.35		
7	pba	118	22	22.38	64	18.63
7	pba	126	16	20.38		
7	pba	128	14	18.38		
7	pba	129	24	20.98	65	18.50
7	pba	143	27	21.58		
7	pba	167	15	17.98	52	
7	pba	171	21	21.18	65	
7	pba	180	23	22.78	65	18.80
7	pba	74	13	19.35		
7	pet	20	23			
7	pet	22	25			
7	pet	29	19			
7	pet	31	18			
7	pet	32	27			
7	pet	35	25			

* Voir la liste des abréviations (appendice G)

APPENDICE C (suite)

st	sp	éti.	DHP	Haut.	âge	IQS
7	pet	36	26			
7	pet	40	21			
7	pet	54	18			
7	pet	62	30			
7	pet	63	25			
7	pet	139	14			
7	pet	149	20			
7	pet	162	26			
7	pet	166	14			
7	pet	188	21			
7	pma	142	10			
8	pba	190	10	14.38		
8	pba	191	15	17.18	55	
8	pba	193	22	20.18	65	18.63
8	pba	195	17	19.18	65	
8	pba	197	17	21.95		
8	pba	200	16	22.58		
8	pba	201	15	20.38	63	
8	pba	216	17	16.58	53	
8	pba	225	17	19.95	64	
8	pba	242	20	17.98	65	16.87
8	pba	244	20	20.78		
8	pba	248	16	15.58	58	
8	pba	262	14	16.18	61	
8	pba	264	11	13.58		
8	pba	269	14	15.38		
8	pba	276	16	19.98		
8	pba	278	18	21.95	68	
8	pba	281	19	20.75	64	
8	pba	283	16	20.35		
8	pba	284	12	16.35	56	
8	pba	288	18	21.55		
8	pba	291	16	20.78	60	

APPENICE C (suite)

st	sp	éti.	DHP	Haut.	âge	IQS
8	pba	292	19	23.55	66	18.30
8	pba	293	26	22.98		
8	pba	295	17	21.95	65	
8	pba	296	14	18.95		
8	pba	302	16	15.58	62	
8	pba	303	16	16.18	52	
8	pet	212	28			
8	pet	213	22			
8	pet	214	27			
8	pet	217	29			
8	pet	231	25			
8	pet	232	20			
8	pet	233	17			
8	pet	234	15			
8	pet	237	25			
8	pet	238	34			
8	pet	245	31			
8	pet	251	28			
8	pet	294	17			
8	pet	297	12			
8	pet	300	26			
8	bpa	260	10			
13	pba	696	16	17.95		
13	pba	697	26	22.75	62	
13	pba	699	15	21.95	56	
13	pba	700	19	23.15		
13	pba	720	23	23.15		
13	pba	723	17	23.35		
13	pba	725	15	19.95	55	
13	pba	727	18	21.95	62	
13	pba	728	17	18.75	60	
13	pba	729	16	19.15		
13	pba	731	22	20.95		

APPENDICE C (suite)

st	sp	éti.	DHP	Haut.	âge	IQS
13	pba	733	24	25.55	63	
13	pba	735	19	23.95		
13	pba	762	18	20.95	55	
13	pba	763	17	21.15		
13	pba	765	20	22.35	63	
13	pba	770	22	21.55	60	
13	pba	771	17	17.55		
13	pba	774	20	21.35	58	
13	pba	775	20	21.55	64	
13	pba	777	20	22.75	63	
13	pba	779	21	24.35		
13	pba	781	26	24.15	63	
13	pba	783	16	18.35	60	
13	pba	786	14	16.55	59	
13	pba	789	23	20.55	64	
13	pba	918	24	23.23	64	21.30
13	pba	919	26	24.25	65	21.30
13	pba	920	23	20.86	64	19.30
13	pet	702	26			
13	pet	703	20			
13	pet	704	21			
13	pet	712	22			
13	pet	714	20			
13	pet	744	29			
13	pet	745	27			
13	pet	746	13			
13	pet	747	21			
13	pet	748	21			
13	pet	752	12			
13	pet	753	14			
13	pet	754	21			
13	pet	755	18			
13	pet	756	20			
13	pet	758	19			

APPENDICE C (suite)

st	sp	éti.	DHP	Haut.	âge	IQS
13	pet	759	28			
13	pet	760	26			
13	pet	792	22			
13	bpa	767	12			
13	ppl	791	11			
14	pba	794	31	23.15	67	19.30
14	pba	803	30	24.55	66	19.80
14	pba	804	24	23.55	60	
14	pba	808	24	22.95	63	
14	pba	820	23	22.35	65	
14	pba	822	32	22.95	64	
14	pba	823	18	22.15	56	
14	pba	825	23	24.95	61	
14	pba	829	26	22.55	60	
14	pba	842	18	22.75	53	
14	pba	851	19	20.75	63	
14	pba	853	26	22.15	60	
14	pba	856	27	23.35	65	20.05
14	pba	857	20	21.55	61	
14	pba	858	16	21.55	53	
14	pba	859	21	22.75	62	
14	pet	831	29			
14	pet	833	33			
14	pet	834	17			
14	pet	835	26			
14	pet	836	15			
14	pet	837	18			
14	pet	838	20			
14	pet	839	20			
14	pet	840	16			
14	pet	844	29			
14	pet	845	26			
14	pet	846	14			

APPENDICE C (suite)

st	sp	éti.	DHP	Haut.	âge	IQS
14	pet	847	31			
14	pet	848	23			
14	bpa	843	13			
14	pma	828	15			
14	pgl	821	12			
14	pgl	824	10			
15	pba	883	22	23.55	58	
15	pba	913	22	23.95	63	
15	pba	919	15	22.75	53	
15	pba	921	26	24.15	65	20.30
15	pba	923	23	23.55	68	
15	pba	925	19	22.55	57	
15	pba	926	28	22.75	63	
15	pba	928	24	24.75	64	
15	pba	929	26	23.75	66	19.97
15	pba	931	21	21.55	58	
15	pba	932	19	22.35	63	
15	pba	938	22	21.15	65	
15	pba	943	16	19.35	54	
15	pba	8	24	23.35	62	
15	pba	12	25	21.95	66	19.55
15	pba	20	23	23.35	62	
15	pet	877	35			
15	pet	884	43			
15	pet	888	37			
15	pet	890	39			
15	pet	896	36			
15	pet	897	33			
15	pet	902	31			
15	pet	903	32			
15	pet	906	16			
15	pet	907	17			

APPENDICE D

**Matrice des variables édaphiques
des peuplements de pins gris purs**

st*	éch.	pH	Ca	Mg	K	P	Nit.	Min.
1	301	4.65	20.63	3.85	1.95	277.99	1.10	538.53
1	307	4.41	20.63	4.82	3.63	166.88	1.10	603.79
1	309	4.65	20.72	3.53	1.34	166.88	0.84	1004.30
1	311	4.90	20.24	5.15	2.94	185.66	0.06	973.68
1	312	4.97	24.94	5.68	2.47	84.75	0.01	1479.93
1	318	4.67	19.76	3.45	1.99	123.20	1.10	806.46
1	324	4.73	15.67	3.61	0.97	46.45	0.58	599.15
1	335	4.79	18.70	4.82	3.86	84.75	1.62	1322.10
1	352	4.77	21.02	4.57	3.63	99.46	1.62	762.32
1	363	4.50	24.05	3.69	1.87	84.75	1.10	427.99
3	66	4.77	23.85	5.15	1.41	125.22	0.06	1280.60
3	73	4.43	20.92	3.85	1.61	109.72	0.84	849.58
3	75	5.14	34.84	4.32	2.01	39.13	58.78	593.21
3	82	4.57	20.43	3.22	3.28	70.67	0.06	633.60
3	110	4.70	20.43	3.85	2.39	300.00	1.10	1384.95
3	135	4.73	17.37	4.16	3.62	205.12	0.06	1300.56
3	146	4.46	16.14	3.53	1.75	131.54	0.06	574.42
3	212	4.79	26.24	4.24	3.56	15.30	0.06	1253.07
3	217	5.09	25.84	4.16	2.72	58.87	0.01	617.02
3	256	4.58	19.76	3.85	1.99	288.94	1.62	1214.13
6	220	4.95	28.96	4.98	3.92	117.47	0.06	454.31
6	238	4.58	20.82	3.37	1.61	152.19	0.06	532.51
6	250	4.67	18.70	4.82	2.82	125.22	0.06	326.32
6	254	4.99	26.34	4.98	3.58	140.65	0.01	600.85
6	701	4.28	13.81	1.97	0.98	11.32	0.06	190.54
6	839	4.92	18.61	4.32	2.92	132.94	1.62	1084.61
6	887	4.90	14.83	3.53	3.84	54.93	0.06	823.57
6	903	4.70	18.90	4.82	3.97	178.95	1.88	788.19
6	910	4.74	16.71	4.00	3.33	117.47	1.36	589.66
6	926	4.63	12.33	3.53	2.86	62.81	0.06	414.79
11	533	4.45	23.07	4.00	2.85	87.04	1.28	723.66
11	538	5.04	26.64	6.23	4.15	104.62	2.00	1409.10
11	544	4.62	17.56	3.53	1.81	72.85	1.52	842.82

* Voir la liste des abréviations (appendice G)

APPENDICE D (suite)

st	éch.	pH	Ca	Mg	K	P	Nit.	Min.
11	568	4.70	23.85	4.57	2.89	106.99	2.97	1043.18
11	573	4.68	27.34	4.32	2.11	80.01	2.49	1028.74
11	595	4.60	27.54	5.68	2.93	113.52	1.76	642.65
11	600	4.57	18.51	4.32	1.94	87.04	2.25	604.05
11	601	4.87	22.48	4.49	2.81	76.87	2.00	1223.49
11	606	5.01	24.54	6.04	3.18	93.88	2.73	942.99
11	610	4.53	15.58	3.37	2.15	139.37	1.52	679.94
12	637	4.48	18.04	4.16	3.36	118.59	2.00	568.30
12	648	4.51	16.80	4.49	2.30	148.13	2.25	1290.26
12	655	4.73	17.75	4.00	3.01	94.09	2.25	1000.80
12	657	4.60	19.76	3.85	2.10	106.99	1.52	1070.61
12	660	4.82	26.74	4.82	2.97	125.54	2.25	1217.13
12	663	4.51	22.18	4.49	3.16	101.12	2.00	1163.70
12	675	4.62	19.47	3.61	2.28	108.12	1.76	1158.45
12	678	4.36	17.66	3.53	1.79	90.57	1.28	930.29
12	685	4.95	29.26	6.42	2.08	62.19	2.73	914.51
12	695	4.82	28.76	4.98	1.68	86.92	7.13	1370.88

APPENDICE E

**Matrice des variables édaphiques des peuplements
de pins gris mélangés à du bouleau à papier**

st*	éch.	pH	Ca	Mg	K	P	Nit.	Min.
2	6	5.73	34.63	4.32	2.80	185.66	13.84	1029.66
2	10	4.99	31.82	5.50	2.94	131.54	2.31	1321.35
2	13	4.73	16.71	3.22	3.11	195.30	28.84	1136.75
2	22	4.90	19.28	3.92	1.77	185.66	0.60	1112.04
2	28	5.06	27.34	5.50	3.49	185.66	9.42	1444.86
2	35	5.17	22.38	3.85	0.89	26.21	0.60	265.31
2	44	4.92	31.93	3.85	2.35	185.66	0.57	611.17
2	45	5.33	21.70	5.59	1.68	131.54	1.62	703.55
2	337	5.38	39.08	5.86	2.29	131.54	890.47	1050.59
2	344	5.56	28.76	5.68	1.75	500.64	343.71	1229.13
9	305	4.57	20.24	5.68	3.83	209.30	2.04	970.80
9	311	4.58	15.48	3.85	3.58	102.62	2.29	499.52
9	339	5.11	29.57	7.01	3.98	120.51	2.53	1114.98
9	345	4.87	21.79	5.68	2.22	129.63	0.60	613.86
9	376	4.38	12.06	3.37	2.26	176.30	0.60	442.31
9	383	4.87	29.57	6.61	3.15	102.62	1.80	702.48
9	389	5.41	31.10	7.22	2.97	111.51	408.96	1140.40
9	393	5.21	32.24	7.01	1.89	116.00	3.25	707.38
9	405	4.63	16.24	3.37	1.60	85.29	0.60	300.62
9	407	4.99	20.05	3.69	3.32	268.80	2.00	702.91
10	429	5.36	23.07	4.82	3.50	132.91	2.19	986.80
10	433	4.79	21.60	4.49	2.71	50.99	2.04	1318.18
10	446	4.33	18.90	2.67	1.58	51.45	0.60	328.31
10	459	5.09	32.03	7.64	2.56	97.06	0.60	900.01
10	465	4.36	20.14	4.00	2.99	186.36	1.32	498.55
10	470	4.68	21.79	5.33	2.85	117.47	2.04	710.68
10	481	4.60	20.53	4.49	3.01	110.26	2.04	953.06
10	493	5.02	28.76	7.01	8.40	152.38	2.29	1127.11
10	526	5.07	29.88	6.23	3.94	78.51	3.01	1062.02
10	530	4.94	22.48	4.32	3.44	90.24	2.77	783.87
16	25	4.45	25.54	5.33	0.91	97.61	88.44	2240.33
16	27	4.99	35.68	6.23	1.78	123.24	779.42	1765.60
16	28	5.09	28.15	6.42	1.80	120.01	888.93	1674.39

* Voir la liste des abréviations (appendice G)

APPENDICE E (suite)

st	éch.	pH	Ca	Mg	K	P	Nit.	Min.
16	35	5.39	36.00	4.00	2.19	123.24	277.99	1117.79
16	41	4.51	14.46	2.12	1.40	42.95	25.10	329.51
16	44	4.75	21.40	4.32	1.73	58.61	4.72	1446.91
16	69	5.11	21.40	4.82	3.71	152.38	38.60	1344.89
16	70	4.65	25.34	4.49	2.54	87.04	5.45	1825.10
16	75	5.21	39.83	6.04	3.12	122.07	416.60	1410.41
16	88	4.70	24.05	4.32	3.70	87.04	124.45	823.32
17	252	4.97	32.03	4.49	3.05	80.01	25.33	1239.67
17	253	4.48	20.05	4.32	2.30	62.19	9.15	1147.38
17	255	4.84	26.64	4.65	2.50	83.48	10.54	1255.21
17	260	5.11	39.62	6.81	3.65	58.61	427.71	1514.97
17	266	4.89	19.95	4.32	2.43	125.54	64.80	1112.27
17	270	4.92	26.84	4.98	2.86	44.26	78.74	1609.15
17	273	5.02	32.86	7.22	4.13	94.09	21.44	1634.27
17	279	4.65	20.82	6.23	1.86	65.75	139.13	1183.67
17	284	4.57	18.70	4.65	12.33	58.61	290.48	1345.59
17	298	4.50	19.76	4.00	1.90	29.82	209.75	1304.48

APPENDICE F

**Matrice des variables édaphiques des peuplements
de pins gris mélangés à du peuplier faux-tremble**

st*	éch.	pH	Ca	Mg	K	P	Nit.	Min.
7	20	5.22	39.08	6.23	4.51	246.84	2.14	494.68
7	32	5.36	42.64	6.32	4.05	205.51	1.36	483.65
7	40	5.50	40.69	5.33	4.74	78.51	0.06	304.17
7	55	5.34	40.15	6.23	2.59	136.80	1.36	493.70
7	74	4.82	20.53	4.00	2.02	47.04	1.36	342.62
7	80	5.58	36.53	7.64	3.89	132.94	0.06	316.63
7	149	4.99	26.34	4.65	2.68	82.43	1.36	453.00
7	167	5.21	37.59	6.04	2.16	129.08	1.10	643.68
7	171	5.33	22.18	3.69	2.34	101.94	0.06	261.40
7	172	5.72	46.16	8.09	2.38	111.51	1.10	520.13
8	198	6.10	58.69	8.55	5.55	166.87	0.56	23.39
8	214	5.60	51.55	7.22	3.18	111.51	7.13	446.43
8	216	5.26	27.14	4.49	3.35	152.79	0.56	582.89
8	217	5.38	46.94	6.04	3.76	129.63	1.52	621.93
8	238	5.33	40.80	5.86	3.71	148.13	1.28	675.71
8	244	5.38	47.16	8.09	3.47	129.63	1.28	512.20
8	267	6.10	68.85	9.29	3.42	166.87	20.29	532.85
8	293	5.06	32.24	4.82	4.94	148.13	0.56	609.13
8	295	5.19	27.95	4.82	4.05	102.62	0.56	417.24
8	300	5.72	35.79	5.33	1.75	76.87	1.52	312.78
13	2	4.90	18.99	4.49	3.05	79.97	3.25	1469.63
13	712	5.26	21.79	3.53	2.27	110.26	2.04	784.33
13	729	5.02	26.44	5.33	2.73	106.99	2.04	478.39
13	748	5.24	35.68	7.64	3.32	142.81	32.79	444.59
13	760	5.58	43.96	8.09	4.05	126.46	29.29	1119.30
13	767	5.12	36.74	5.68	2.02	80.01	6.19	603.12
13	771	5.01	18.42	4.32	1.54	103.70	2.04	641.85
13	779	4.99	22.67	5.15	2.04	123.24	2.53	1313.16
13	789	5.06	27.04	5.86	1.76	101.12	2.53	1033.82
13	792	5.39	18.32	4.32	1.79	65.75	1.80	759.64
14	820	4.72	34.84	5.33	1.71	33.44	11.90	762.06
14	822	5.01	34.95	4.32	2.05	22.57	28.77	1065.29
14	825	4.68	25.34	4.16	2.02	51.45	132.60	1235.12

* Voir la liste des abréviations (appendice G)

APPENDICE F (suite)

st	éch.	pH	Ca	Mg	K	P	Nit.	Min.
14	829	5.61	38.87	4.16	1.59	37.05	113.86	738.24
14	831	5.44	45.83	4.49	2.50	135.92	23.88	812.88
14	839	5.43	44.40	4.82	2.52	80.01	435.67	1083.36
14	841	5.46	45.28	4.82	3.55	97.61	244.73	974.78
14	843	5.53	53.83	6.42	1.62	110.26	76.68	987.07
14	844	5.12	42.21	5.33	2.58	108.12	3.50	1202.07
14	846	5.95	56.60	7.01	3.14	72.87	979.23	1006.86
15	8	4.60	22.87	3.22	1.17	51.45	212.36	436.14
15	877	5.48	47.38	4.82	0.71	80.01	381.07	815.08
15	884	5.41	42.21	3.53	2.45	145.85	132.80	1149.97
15	888	5.70	59.28	6.23	1.50	93.71	771.13	1237.60
15	897	5.63	49.74	5.33	3.28	47.86	145.30	1189.40
15	907	5.28	43.19	4.32	3.02	93.71	53.50	877.70
15	913	5.04	29.16	3.85	2.02	132.91	3.74	1324.99
15	923	4.77	26.64	4.16	3.13	80.01	542.90	1286.14
15	928	5.06	38.44	5.50	3.23	76.50	192.83	1418.82
15	943	4.41	15.39	2.12	2.67	15.29	2.53	399.00

APPENDICE G

Liste des abréviations

Liste des abréviations

st:	Numéro de la station
sp:	Espèce forestière
pba:	Pin gris (<i>Pinus banksiana</i>)
bpa:	Bouleau à papier (<i>Betula papyrifera</i>)
pet:	Peuplier faux-tremble (<i>Populus tremuloides</i>)
pgl:	Épinette blanche (<i>Picea glauca</i>)
pma:	Épinette noire (<i>Picea mariana</i>)
prp:	Cerisier de Pennsylvanie (<i>Prunus pensylvanica</i>)
sal:	Saule (<i>Salix</i> spp, non identifiée à l'espèce)
éti.	Numéro de l'étiquette de l'arbre
DHP:	Diamètre à hauteur de poitrine (cm)
Haut.:	Hauteur (m)
IQS:	Indice de qualité de station à 50 ans (m)
éch.:	Numéro de l'échantillon
Ca:	Calcium échangeable (méq/100g)
Mg:	Magnésium échangeable (méq/100g)
K:	Potassium échangeable (méq/100g)
P:	Phosphore assimilable ($\mu\text{g/g}$)
Nit.:	Nitrification nette ($\mu\text{g/g}$)
Min.:	Minéralisation nette ($\mu\text{g/g}$)