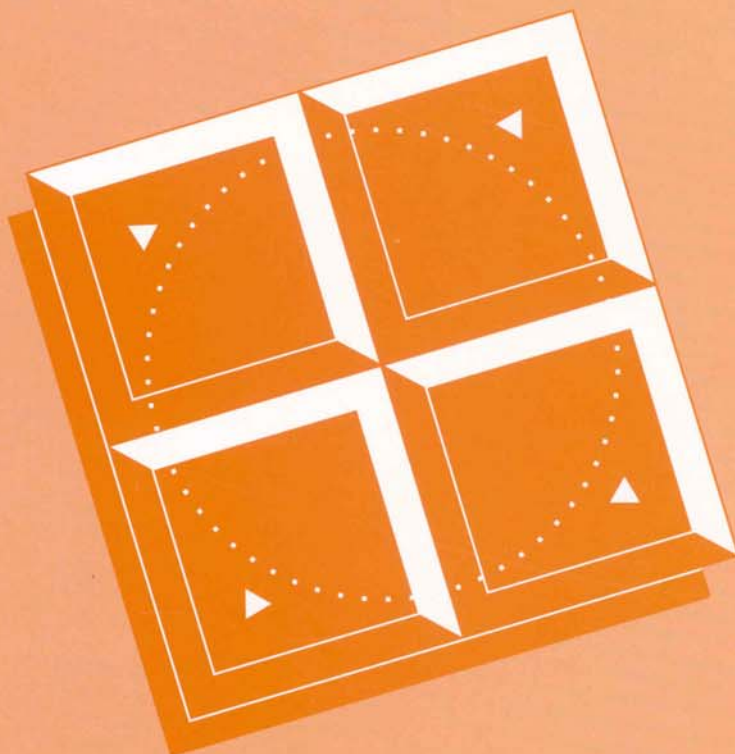


Mémoire de recherche forestière n° 132

**Productivité des travailleurs forestiers  
dans des coupes de jardinage et de  
préjardinage de peuplements feuillus**

par T. RYCABEL

Ce mémoire contient un errata  
à la page ii du document



Tadeusz RYCABEL, ingénieur forestier, est diplômé (1972) et maître ès Sciences en opérations forestières (1978) de l'Académie d'agriculture de Pologne à Cracovie. En novembre 1989, la Faculté de foresterie et de géomatique de l'Université Laval lui décernait le diplôme de maître ès Sciences forestières. Il a été ensuite chargé de recherches en opérations forestières à la Forêt Montmorency de l'Université Laval jusqu'en 1991, puis chargé de recherches à la Direction de la recherche forestière du ministère des Ressources naturelles jusqu'en 1998.



Depuis de nombreuses années, chacun des Mémoires et des autres rapports publiés par la Recherche forestière est révisé par un comité *ad hoc* d'au moins trois membres recrutés aussi bien à l'intérieur du Ministère que dans le milieu universitaire, la fonction publique du Canada ou les autres milieux de la recherche. Les responsables de la Recherche forestière remercient les scientifiques qui ont accepté bénévolement de revoir le texte présenté ici et de participer ainsi à la diffusion des résultats des recherches menées au Ministère des Ressources naturelles.

Les publications de la Recherche forestière sont produites et diffusées à même les budgets de recherche et de développement, comme autant d'étapes essentielles à la réalisation de chaque projet ou expérience. En conséquence, ces documents sont, par définition, à *tirage limité* et à *diffusion restreinte*. Adresser toute demande à :

PUBLICATIONS  
Direction de la recherche forestière  
**Forêt Québec**  
2700, rue Einstein  
SAINTE-FOY (Québec) G1P 3W8  
Canada

---

**Productivité des travailleurs forestiers dans des coupes  
de jardinage et de préjardinage de peuplements feuillus**

Tadeusz RYCABEL, 1998. *Productivité des travailleurs forestiers dans les coupes de jardinage et de préjardinage de peuplements feuillus*. Gouv. du Québec, min. des Ress. nat., **Forêt Québec**, Dir. de la rech. for. Mémoire de recherche forestière n° 132. (RN98-3089)

## ERRATA

Page 42, Tableau 7, 5<sup>e</sup> colonne

vitesse  
(m/min)

---

# Productivité des travailleurs forestiers dans des coupes de jardinage et de préjardinage de peuplements feuillus

par

Tadeusz RYCABEL, ing.f., M.Ing.f., M.Sc.

en collaboration avec

France SAVARD, stat., M.Sc.

Mémoire de recherche forestière n° 132

Gouvernement du Québec  
Ministère des Ressources naturelles  
**Forêt Québec**  
Direction de la recherche forestière  
1998

Ce texte est un rapport partiel du projet de recherche n° 0907-1140 : « Étude de la productivité des traitements sylvicoles en fonction des facteurs de station et de peuplement : coupe de jardinage. »

**RN98-3089**

ISBN 2-550-33680-1

Dépôt légal 1998

Bibliothèque nationale du Québec

Bibliothèque nationale du Canada

© 1998 Gouvernement du Québec

---

## Remerciements

La réalisation de cette recherche a été possible grâce à la collaboration de plusieurs spécialistes et organismes. Ils ont tous contribué aux résultats qui serviront au MRN à établir des taux variables de redevances forestières.

Premièrement, je veux remercier les membres de notre équipe de recherche : Carole Labbé pour ses conseils constructifs et pertinents ; André Lapierre pour un travail exemplaire sur le terrain et au bureau ; Stéphane Lavallée, Jacques Martineau, Daniel Guimond et Serge Audet pour la cueillette des données ; enfin Germain Paré, pour l'aide et le soutien dans l'organisation du travail.

Deuxièmement, je désire exprimer ma gratitude, pour leurs conseils scientifiques, aux personnes suivantes : Jacques Maranda, spécialiste en opérations forestières ; Jean Tomlinson, spécialiste en évaluation de la productivité ; Zoran Majcen, spécialiste en aménagement de feuillus d'ombre ; Gilles Désaulniers, mathématicien, chercheur scientifique (Gilles ...tu ne fais rien comme les autres... Tu ne cherches jamais une forêt qui pourrait satisfaire à une formule mathématique...).

Également, je veux souligner ma reconnaissance au personnel de terrain du MRN, qui a mis beaucoup d'efforts dans la recherche de secteurs d'études ainsi que pour assurer une bonne communication avec les contractants et les travailleurs forestiers. Ces personnes mériteraient toutes d'être mentionnées ici, mais il est possible que j'ai oublié certains noms ; merci à Daniel Joanisse, Yves Parr, Réjeanne Pouliot, Luc Tellier, Philippe Scantland, Denis Bouillon, Lizabeth Morin, Julie Poirier, Marc Sernet, Roland Normandeau, Denis Moreault, Yvan Naud, Pierre Robitaille, Mario Blanchette, Carol Desbiens, Gérard Arsenault, Antoine Monfet, Serge Fiola, Denis Rioux et Daniel Tremblay.

Enfin, je remercie mesdames Mariette Fournier, Sylvie Bourassa et Nathalie Langlois pour le traitement des textes et monsieur Fabien Caron pour la révision et l'édition de cet ouvrage.



---

## Résumé

L'aménagement des forêts feuillues d'ombre se fait principalement à l'aide de coupes sélectives ; parmi celles-ci, la coupe de jardinage est pratiquée à grande échelle dans différentes conditions selon la station. Afin d'évaluer la productivité de la main-d'oeuvre, d'identifier les variables explicatives et de créer un modèle mathématique de prédiction de celle-ci, une recherche a été entreprise dans 48 secteurs, dont 41 dans la coupe de jardinage et sept dans la coupe de préjardinage ; au total, 379 voyages de débusqueuse ont été chronométrés. La méthode consiste à réaliser un relevé dendrométrique dans un peuplement sélectionné pour le traitement et à effectuer des études de temps lors des opérations, c'est-à-dire enregistrer le temps d'exécution du travail, mesurer la distance et la pente dans le sentier de débardage et, finalement, procéder à l'évaluation du volume de bois récolté. La productivité des opérations est exprimée en minutes productives par mètre cube solide de bois mesuré en bordure du chemin, par homme ; la productivité moyenne pour tous les secteurs ainsi calculés est égale à 12,9 min/m<sup>3</sup>.homme. La productivité la plus élevée, (6,0 min/m<sup>3</sup>.homme) a été atteinte dans un peuplement jardiné où la pente pondérée est de 11,52 %, le volume moyen par arbre (20 cm et plus de DHP) est de 0,7059 m<sup>3</sup> solide et le bois est débardé sur une distance maximale de 657 m. Les opérations d'abattage et de débardage ont été effectuées par un même homme. La productivité la plus faible (22,4 min/m<sup>3</sup>.homme) a été réalisée dans la coupe de préjardinage dont les paramètres sont les suivants : la pente pondérée est de -0,07 %, le volume par arbre de 0,5698 m<sup>3</sup> (20 cm et plus de DHP) et la distance de débardage de 500 m. L'analyse statistique des données a permis d'élaborer un modèle de prévision de la productivité des coupes de jardinage et de préjardinage. Il servira à établir les taux variables des redevances et à créer une tarification équitable. Les variables explicatives retenues dans le modèle sont la distance maximale du débardage dans un secteur, la pente du terrain pondérée par la distance et le volume moyen par arbre de 20 cm et plus de DHP avant le traitement,

Mots-clés productivité des opérations, opérations sylvicoles, coupe de jardinage, coupe de préjardinage, débardage, récolte, modèle mathématique.

## Abstract

**Productivity of forest workers In selection and preselection cutting of broadleaved stands.** Northern hardwoods management is currently done using partial cuts ; among these, selection cutting is practised over a large scale in various conditions depending on site quality. In order to evaluate productivity, identify the explanatory variables and create a mathematical prediction model of productivity, a study was undertaken in 48 different sectors (stands), including 41 in selection cutting (jardinage) and 7 in preselection cutting (préjardinage); on the whole, 379 skidding loads were carefully observed. The method of data collection consists in recording stand and tree measurements in a forest stand selected for treatment and in carrying out time studies at harvest, e.g. record the time of work execution, measure the distance and slope of the skidding trail and, finally, evaluate the stem volume harvested. The productivity of the operations is expressed in productive minutes per solid cubic meter of timber measured at roadside, per worker ; the average productivity for all sectors was 12,9 min/m<sup>3</sup>.worker. The highest productivity recorded, 6,0 min/m<sup>3</sup>.worker was reached in a selection cutting stand with a weighted slope of 11,52 %, an average tree volume (20 cm and over at DBH) of 0,7059 solid cubic meter and a maximum skidding distance of 657 m. Felling and skidding operations were done by only one man. The lowest productivity (22,4 min/m<sup>3</sup>.worker) was observed in a preselection cut stand with the following parameters : weighted slope of -0,07 %, volume per tree of 0,5698 m<sup>3</sup> (20 cm and over at DBH) and skidding distance of 500 m. A productivity model was fitted to the stand data for both selection and preselection cutting. It will be used as a predictive model to establish variable stumpage rates and to create a fair tariffing. The explanatory variables retained in the model are the maximum skidding distance in a given stand, the slope of the area weighted by the distance and the average volume per tree of 20 cm and more at DBH before treatment.

Key-words : harvesting productivity, silvicultural operations, selection cutting, preselection cutting, skidding (hauling), harvesting, mathematical model.

## Streszczenie

Wpływ warunków terenowych oraz drzewostanu na wydajność pracy w czasie realizacji zabiegów hodowlanych. Zagospodarowanie lasów złożonych z gatunków liściastych cienioznośnych wykonuje się głównie przy pomocy rębni selekcyjnych. Wśród nich, rębnia ciągła stosowana jest na szeroką skalę w różnych warunkach zależnie od siedliska. W celu zbadania wydajności pracy, określenia zmiennych mogących wyjaśnić wydajność pracy robotników oraz stworzenia modelu matematycznego (równania) pozwalającego przewidzieć tą wydajność, badania zostały przeprowadzone w 48 sektorach z których 41 objętych jest rębnią ciągłą oraz 7 rębnią ciągłą wstępną; ogółem wykonano obserwacje 379 cykli zrywki drewna ciągnikami leśnymi. Metoda pobierania danych polega na określeniu charakterystyk dendrometrycznych drzewostanu przed cięciem, wykonaniu chronometrażu w czasie pozyskania drewna, tzn. należy zarejestrować czas wykonania pracy, dystans i nachylenie terenu wzdłuż szlaku zrywkowego oraz pomierzyć pozyskane drewno. Wydajność pracy wyrażona jest w minutach produktywnych na jeden metr sześcienny drewna mierzonego na składnicy przyrębowej oraz na jednego robotnika. Średnia produktywność obliczona w ten sposób dla wszystkich bloków doświadczalnych jest równa 12,9 min/m<sup>3</sup>.robotnik. Najwyższa wydajność, 6,0 min/m<sup>3</sup>. robotnik została osiągnięta w drzewostanie gdzie zastosowano rębnię ciągłą, średnie ważone nachylenie terenu wynosiło 11,52 %, średnia miąższość drzew o pierśnicy od 20 cm wzwyż równała się 0,7059 m<sup>3</sup> oraz drewno było zrywane na maksymalną odległość 657 m. Scinka, okrzesywanie oraz obsługa ciągnika zrywkowego była wykonana przez tego samego pracownika. Najniższa wydajność pracy (22,4 min/m<sup>3</sup>.robotnik) została zrealizowana w drzewostanie zagospodarowanym rębnią ciągłą wstępną którego parametry są następujące: nachylenie terenu równa się minus 0,07 %, średnia miąższość drzew 0,5698 m<sup>3</sup> (20 cm i więcej) oraz odległość zrywki 500 m. Statystyczna analiza całego zbioru danych pozwoliła na opracowanie końcowej wersji modelu służącego do przewidywania wydajności pracy robotników leśnych w drzewostanach, w których zastosowano rębnię przerębową lub rębnię wstępną przerębową. Będzie on służył do wyliczenia i wdrożenia zmiennych wartości czynszu (należność płacona do skarbu państwa przez firmy leśne za pozyskane drewno) zależnie od warunków terenowych oraz do opracowania sprawiedliwej taryfikacji. Model zawiera następujące zmienne: maksymalną odległość zrywki w danym sektorze (z ładunkiem), nachylenie terenu ważone przez dystans oraz średnią miąższość drzew przed zabiegiem o pierśnicy  $\geq 20$  cm.

Słowa kluczowe : wydajność pracy, zabiegi hodowlane, rębnia ciągła, rębnia ciągła wstępna, zrywka drewna, pozyskanie drewna, model matematyczny.

---

## Table des matières

Remerciements	v
Résumé	vii
<i>Abstract</i>	vii
<i>Streszczenie</i>	viii
Liste des tableaux	xi
Liste des figures	xii
<b>Introduction</b>	1
<b>Chapitre premier</b>	
Revue de littérature	3
1.1 Objectifs des études de productivité en sylviculture	3
1.2 Méthode de prise de données	4
1.3 Résultats	5
1.4 Sommaire	6
<b>Chapitre deux</b>	
Méthodes	7
2.1 Choix de sites d'étude	7
2.2 Prise de données	9
2.2.1 Inventaire du peuplement avant le traitement	9
2.2.2 Étude de temps au débardage	10
2.2.3 Mesurage du bois récolté	13

**Chapitre trois**

Traitement des données (Compilation)	15
3.1 Validation des données	15
3.2 Évaluation du volume du bois sur pied avant le traitement	15
3.3 Pente du terrain dans un secteur d'études	16
3.4 Évaluation du volume de bois récolté	17

**Chapitre quatre**

Productivité des opérations	19
-----------------------------	----

**Chapitre cinq**

Analyses statistiques	21
5.1 Généralités	21
5.2 Les données sur la productivité	21
5.2.1 Statistiques globales	21
5.3 Formulation et validation du modèle	23
5.3.1 Modèle avec la distance moyenne	23
5.3.2 Modèle avec la distance maximale	29
5.3.3 Modèle avec toutes les variables mesurées	31
5.4 Application pratique du modèle	33

**Chapitre six**

Discussion	35
Conclusion	37
Bibliographie	39
Annexe A. Valeurs des variables	41
Annexe B. Relations entre la productivité et les variables mesurées sur le terrain mais qui n'ont pas été retenues dans le modèle	47

---

## Liste des tableaux

<b>Tableau 1.</b> Exemple de différentes façons d'exprimer la pente du terrain dans un secteur	16
<b>Tableau 2.</b> Productivité de la coupe de jardinage et de préjardinage	20
<b>Tableau 3.</b> Répartition relative (%) de la distance selon la pente du terrain	22
<b>Tableau 4.</b> Prédiction de la productivité selon le modèle avec la distance moyenne	26
<b>Tableau 5.</b> Prédiction de la productivité selon le modèle avec la distance maximale	28
<b>Tableau 6.</b> Comparaison entre la productivité prédite et la productivité réelle selon les secteurs	30
<b>Tableau 7.</b> Valeurs des variables selon les secteurs	41



---

## Liste des figures

<b>Figure 1.</b>	Effet à long terme des coupes abusives sur la forêt	1
<b>Figure 2a.</b>	Distance maximale de débardage du bois dans les 48 secteurs d'étude	8
<b>Figure 2b.</b>	Volume moyen par arbre (DHP $\geq$ 20 cm) avant la coupe selon les secteurs	8
<b>Figure 2c.</b>	Pente du terrain pondérée par la distance	9
<b>Figure 3.</b>	Secteurs d'études de 1993 à 1996	10
<b>Figure 4.</b>	La forêt feuillue avant le traitement	11
<b>Figure 5.</b>	Schéma de l'établissement des places-échantillons avant le traitement	11
<b>Figure 6.</b>	Inventaire du peuplement	12
<b>Figure 7.</b>	Récolte du bois, déplacement en charge	12
<b>Figure 8.</b>	Récolte du bois, chargement	14
<b>Figure 9.</b>	Mesurage du bois récolté	14
<b>Figure 10.</b>	Productivité de la coupe de jardinage en fonction de la distance maximale de débardage par secteur d'étude	24
<b>Figure 11.</b>	Productivité de la coupe de jardinage en fonction de la distance moyenne de débardage par secteur d'étude	24
<b>Figure 12.</b>	Productivité de la coupe de jardinage en fonction du volume moyen des tiges de 20 cm et plus de DHP avant la coupe	25

<b>Figure 13.</b>	Productivité de la coupe de jardinage en fonction de la pente pondérée du terrain	25
<b>Figure 14.</b>	Distance moyenne en fonction de la distance maximale de débardage	31
<b>Figure 15.</b>	Distance moyenne du débardage en fonction de la médiane	32
<b>Figure 16.</b>	Productivité de la coupe de jardinage en fonction du logarithme de la distance maximale de débardage	47
<b>Figure 17.</b>	Productivité de la coupe de jardinage en fonction du volume de l'arbre marchand avant le traitement	48
<b>Figure 18.</b>	Productivité de la coupe de jardinage en fonction du volume moyen des tiges martelées	48
<b>Figure 19.</b>	Productivité de la coupe de jardinage en fonction du volume moyen à l'hectare par secteur avant la coupe	49
<b>Figure 20.</b>	Productivité des opérations de récolte du bois en fonction de la surface terrière coupée	49
<b>Figure 21.</b>	Productivité de la coupe de jardinage en fonction de la proportion des tiges de qualité 4 dans le peuplement avant la coupe	50
<b>Figure 22.</b>	Productivité de la coupe de jardinage en fonction de la puissance du moteur de la machine	50

## Introduction

Toutes les richesses que la nature fournit, l'homme peut les utiliser de deux manières : en les exploitant ou en les aménageant.

**Aménagement** signifie plus précisément l'utilisation d'une ressource naturelle en conservant d'une façon ininterrompue la stabilité et la continuité du prélèvement sans compromettre l'existence et la qualité de la ressource.

La Loi sur les forêts et la Stratégie de protection des forêts tiennent compte de ce concept et font preuve d'une plus grande préoccupation de la société pour la conservation de nos ressources naturelles.

La forêt composée d'essences nobles, autrefois exploitées, se retrouve aujourd'hui appauvrie en espèces et probablement en potentiel génétique. Les effets des coupes abusives sur la forêt sont bien illustrés par le graphique de LINDQUIST (figure 1).

Habituellement, les arbres les plus beaux sont coupés en première lieu ; les individus d'une faible valeur sylvicole et de mauvaise qualité assurent ensuite la régénération. Si, lors des coupes suivantes, on continue d'appliquer le même principe, après plusieurs rotations consécutives la forêt se retrouve dans la situation décrite par la figure 1(c).

Afin d'améliorer cette situation, il existe plusieurs méthodes et approches. Une des meilleures méthodes d'aménagement de la forêt composée de feuillus d'ombre est la coupe de jardinage. C'est pour favoriser cette méthode et habituer les utilisateurs de la forêt à l'appliquer que la coupe de jardinage figure parmi les traitements admissibles en paiement des droits de coupe.

La coupe de jardinage, c'est la récolte simultanée d'arbres mûrs, dépérissants ou non désirables, choisis individuellement ou par petits groupes dans une forêt composée d'essences d'âges et de dimensions variés, tolérantes à l'ombre, dans le but de la maintenir dans cette structure et d'en améliorer la qualité.

La technique du jardinage est connue depuis longtemps, mais il nous manquait des données sur la productivité des opérations sylvicoles réalisées dans la forêt québécoise avec l'équipement utilisé et selon la méthode de travail couramment employée.

Le projet intitulé « Étude de productivité dans les traitements de coupes sélectives dans les peuplements feuillus » a été entrepris à la suite d'une demande du Service de l'aménagement forestier en date du 9 juin 1993.

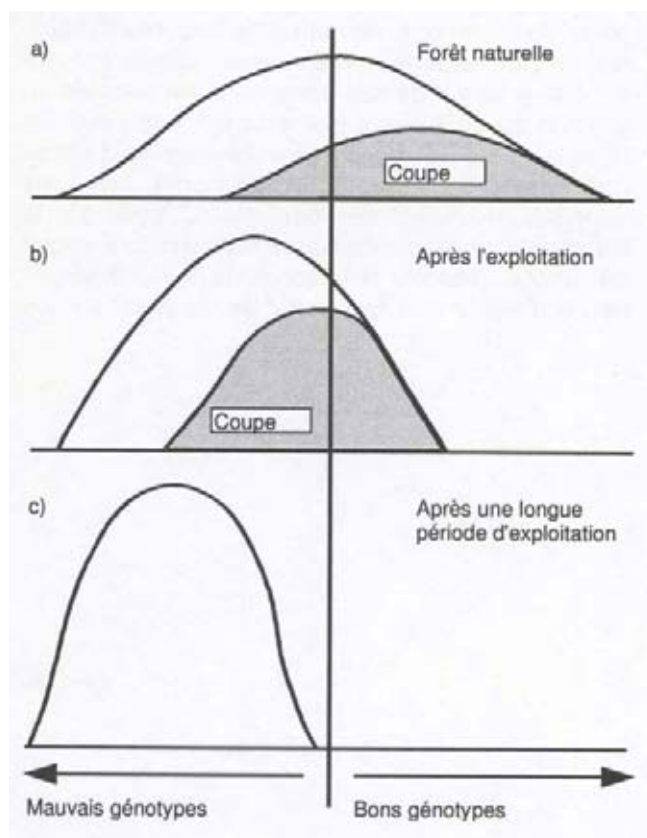


Figure 1. Effet à long terme des coupes abusives sur la forêt.

Ce mandat visait à effectuer une recherche afin d'obtenir une fonction de prédiction de la productivité qui permettrait ensuite d'établir des taux variables par unité de superficie pour ce type de traitement en fonction des facteurs qui influencent la productivité. Cette fonction devait servir à établir la valeur des crédits pour l'ensemble des traitements de coupe sélective dans les peuplements feuillus. Des points d'observation devaient donc être réalisés dans chacun des types de traitement, qui sont : la coupe de jardinage, la coupe de préjardinage, la coupe d'amélioration, la coupe progressive d'ensemencement et la coupe d'éclaircie commerciale.

En tenant compte de l'importance de la superficie traitée chaque année par la coupe de jardinage et de préjardinage ( $\pm 20\,000$  ha) et du besoin immédiat d'un modèle de prédiction de la productivité de ces traitements, on se limite en premier lieu à évaluer leur productivité.

La problématique du projet peut se résumer comme suit : la Loi 150 sur les forêts permet aux bénéficiaires de contrats d'approvisionnement et d'aménagement forestier (CAAF) de rembourser une partie de leurs droits de coupe (redevances forestières) en effectuant des traitements sylvicoles. Présentement, la valeur de ces traitements est calculée en fonction du coût des traitements sylvicoles réalisés dans le cadre de la recherche forestière par divers organismes scientifiques et, en partie, selon les données provenant des contrats octroyés par le Ministère sous l'ancienne Loi sur les forêts. Le manque de données récentes et fiables sur la productivité empêche d'établir des taux variables de crédit sur les

droits de coupe selon les conditions d'exécution des traitements. Dans cette situation, le Ministère utilise une valeur moyenne pour l'ensemble du Québec, ce qui engendre parfois des situations inéquitables.

Les principaux objectifs poursuivis dans notre recherche étaient d'établir des relations entre le temps d'exécution du traitement et les conditions de terrain et de peuplement traité, c'est-à-dire élaborer un modèle mathématique de prédiction de la productivité en fonction d'un nombre restreint de variables biophysiques facilement identifiables et mesurables, soit sur le terrain, soit sur la carte forestière.

Un modèle mathématique est une représentation simplifiée de la réalité (MARTEL 1979).

Afin d'atteindre ces objectifs, diverses mesures ont été réalisées au cours des années 1993, 1994, 1995 et 1996 dans 48 secteurs où l'aménagement de la forêt se fait par les coupes mentionnées plus haut (jardinage et préjardinage).

On a évalué la productivité de chacune des opérations de ces traitements afin de mieux connaître les facteurs qui influencent la productivité des travailleurs et de concevoir un modèle mathématique fiable, simple, peu coûteux et facilement applicable à la planification et à la réalisation des travaux en forêt feuillue.

La présente étude comprend une revue de littérature, la description de la méthode de prise des données, la validation et la compilation de celles-ci, des analyses statistiques et une conclusion.

---

## **Chapitre premier**

### **Revue de littérature**

La consultation de la littérature disponible sur le sujet montre que les recherches ont porté principalement sur l'évaluation de la performance de l'équipement, certaines sur les coûts de la récolte du bois et des traitements sylvicoles, les autres sur la productivité des opérations forestières et sylvicoles et quelques-unes sur leur aspect ergonomique.

Parmi les documents consultés, les quelques ouvrages les plus pertinents sont résumés dans les lignes qui suivent.

#### **1.1 Objectifs des études de productivité en sylviculture**

Les gestionnaires responsables de l'aménagement et de l'utilisation de la forêt ont constamment besoin d'information sur la productivité et les coûts réels de diverses opérations réalisées en forêt. La technologie employée et le prix de l'équipement utilisé changent très rapidement, les bois de qualité supérieure et de grosses dimensions ne sont pas toujours disponibles et la loi oblige les utilisateurs de la ressource à respecter l'environnement. En conséquence, les coûts des opérations augmentent et la rentabilité devient incertaine.

Les études de travaux réalisés en forêt sur la productivité de la main d'oeuvre et de la machine sont la seule méthode pour tenir les connaissances à jour et pour en obtenir de nouvelles afin de prendre les décisions les plus rationnelles (MIYATA 1981).

BROCK (1986) a réalisé des études en Virginie-Occidentale lors d'éclaircies commerciales à différentes intensités dans des peuplements feuillus. Il s'est fixé deux objectifs :

- 1- créer des modèles mathématiques pour la prédiction de la productivité de la coupe et du débardage selon le taux d'intervention (25, 40 et 55 % de tiges coupées) ;
- 2- élaborer un nomogramme pour estimer les coûts de production.

TUFTS (1988) a étudié le débardage dans le sud des États-Unis dans le but d'optimiser cette opération. L'objectif de la recherche de DELÉMONT (1970) est de répondre à la question suivante : « Les exploitations en forêt jardinée sont-elles plus ou moins coûteuses qu'en forêt régulière ? »

En 1986, des chercheurs de Nouvelle-Écosse (BAILEY *et al.* 1986) ont entrepris des études sur la productivité de traitements sylvicoles (reboisement, dégagement, coupe du bois rémanent, éclaircie commerciale). Leurs résultats ont servi à déterminer le taux d'assistance financière des gouvernements provincial et fédéral lors de la réalisation de ces travaux.

MILLER (1984) rappelle que la coupe d'éclaircie commerciale comprend deux étapes : la récolte de tiges commerciales et l'éclaircie dans les gaullis de DHP < 14 cm. Pour compléter l'information sur l'impact économique de l'éclaircie commerciale, le même auteur a évalué les coûts de l'éclaircie des tiges non commerciales après la récolte du bois commercial.

## 1.2 Méthode de prise de données

La méthode d'étude mise au point par BROCK (1986) se résume de la façon suivante :

- 1- le territoire d'étude est divisé en 20 blocs de 1,215 ha (3 acres) ;
- 2- le peuplement est inventorié sur une superficie de 0,2 ha dans chaque bloc avant le traitement (arbres de 2,5 cm et plus) ;
- 3- le taux de l'éclaircie commerciale (25, 40 et 55 % du volume et le témoin) est associé au bloc par randomisation ;
- 4- la récolte du bois est assurée par deux équipes bien expérimentées. Chaque équipe se compose d'un abatteur et de l'opérateur de la débuseuse John Deere 540 ;

5- les temps de l'abattage et du débardage sont enregistrés séparément; le temps est subdivisé en temps productif et en délais ;

6- pour le débardage, les variables suivantes sont enregistrées : nombre de billes par voyage, distance de débardage dans un sens et volume du bois par voyage.

On applique la méthode du chronométrage continu et les éléments de travail sont mesurés à l'aide d'un chronomètre avec une précision de 0,01 min.

TUFTS (1988) a observé douze différents modèles de débuseuse à grappin dans le débardage du bois de pin du sud en Alabama, en Louisiane et en Caroline du Sud. La méthode utilisée ressemble à celle de BROCK (présentée ci-dessus).

Comme technique d'étude, on a aussi adopté la méthode du chronométrage continu. Chaque cycle est divisé en six éléments de travail : déplacement à vide, préhension des arbres, déplacement avec les arbres entiers, ébranchage, déplacement avec les troncs entiers et déchargement. Pour chaque cycle, on mesure les variables indépendantes : DHP des arbres récoltés, nombre d'arbres par voyage, distance de débardage (à vide et en charge) et pente du terrain.

Les équations permettant de prédire le temps d'exécution par cycle ont été obtenues à l'aide du programme SAS (*Statistical Analysis System*) en utilisant la méthode de régression linéaire multiple.

L'étude réalisée par DELÉMONT (1970) en Suisse présente une autre approche. Cet auteur décrit trois méthodes pour évaluer les coûts des opérations dans la forêt jardinée et dans la forêt aménagée par la coupe totale ; ce sont la méthode statistique, la méthode empirique et la méthode de simulation.

Afin de réaliser une « étude comparative », DELÉMONT (1970) emploie la troisième méthode, c'est-à-dire la simulation. Il utilise les résultats de plusieurs chercheurs et intervenants en forêt pour construire des modèles et réaliser cette analyse. Il prend en considération les variables suivantes : association végétale (*Abieti-fagetum* dans les deux cas), climat, sol, fertilité, altitude, pente du terrain, réseau routier, composition des essences, accroissement ( $m^3/ha \cdot an$ ), volume sur pied, rythme des interventions (rotation), nombre de tiges récoltées, classe de grosseur des billes produites, coûts horaires de la main-d'oeuvre et des machines, frais fixes et frais variables.

Les chercheurs de la Nouvelle-Écosse (BAILEY *et al.*) ont perfectionné leur méthode de prise de données au cours de plusieurs années. Leur approche est présentée dans trois articles publiés en 1989, 1991 et 1993. Dans un premier temps, seul l'abatage des arbres fait l'objet d'études et on utilise la méthode du chronométrage instantané. Les arbres abattus sont mesurés par l'observateur ; le volume solide du bois est ensuite évalué à l'aide de la formule de SMALIAN. Dans le but de rendre le modèle plus précis, on ajoute des variables indicatrices pour la longueur de la cime ainsi qu'une autre variable indiquant le nombre d'arbres marchands par m<sup>3</sup> solide (indice de peuplement). Les dimensions des blocs d'étude ne sont pas indiquées, mais ceux-ci sont assez grands pour occuper un employé pendant deux jours de travail ; ils sont inventoriés avant et après le traitement.

Finalement, les auteurs mentionnent qu'en 1992, les opérations de débardage étaient chronométrées : les temps productifs et improductifs étaient enregistrés séparément. Toutefois, les détails concernant la prise de mesures ne sont pas donnés.

Afin d'évaluer les coûts de l'éclaircie précommerciale, MILLER (1984) a établi 18 blocs expérimentaux de 0,8 hectare dans un peuplement après une éclaircie commerciale (et après le débardage du bois vers la jetée). Trois intensités d'éclaircie commerciale y ont été pratiquées : 75, 60 et 45 % de tiges résiduelles. Les blocs expérimentaux étaient répartis par randomisation dans les trois éclaircies.

Toutes les tiges de 2,5 à 14 cm de DHP ont été ensuite inventoriées. La densité des petites tiges est sensiblement la même partout et se chiffre à 3,7 m<sup>2</sup>/ha. Chaque cycle de travail a fait l'objet d'un chronométrage détaillé ; il a été divisé en éléments de temps productif (déplacement, abatage) et en délais (mécanique, opérationnel, personnel). Les coûts totaux du traitement ont été évalués selon les taux en vigueur pour la machine utilisée et la main-d'oeuvre.

### 1.3 Résultats

Les variables qui affectent la productivité de la récolte du bois dans les peuplements feuillus ont été divisées par les chercheurs en trois catégories : celles qui affectent l'équipement utilisé (puissance, longueur du câble), la charge (nombre de billes, volume par bille), le peuplement et le terrain (volume par arbre, pente du terrain, distance de débardage).

La régression mise au point par BROCK (1986) pour estimer la productivité de l'abatage contient une variable, soit le volume moyen par arbre martelé.

D'autres variables mesurées, comprenant l'essence, le DHP, le volume initial par ha, la surface terrière et le nombre de tiges récoltées par ha, ne sont pas significatives. Pour le débardage, BROCK présente une régression avec trois variables indépendantes significatives : le nombre de billes par voyage, la distance de débardage dans un sens et le volume par voyage.

Les autres variables comprenant la pente et le produit de la charge par la pente ne sont pas significatives. La distance de débardage est la variable la plus importante (TUFTS 1988) car elle affecte plus le temps d'exécution du travail que les autres. L'analyse statistique démontre que son niveau de signification est plus élevé que celui du poids de la charge, du nombre d'arbres par charge, du nombre de petits empilements (cas où le peuplement est coupé à l'aide d'une abatteuse-groupeuse) et de la puissance de la machine. Un modèle est élaboré pour chaque méthode de récolte du bois (ex. arbres entiers, tiges entières). Chaque modèle contient plusieurs variables mesurables uniquement lors des opérations ou après.

DELÉMONT (1970) affirme que la productivité du travail est fonction du volume récolté par hectare et du nombre de tiges exploitées à l'hectare.

Selon BAILEY (1989) la productivité (m<sup>3</sup> apparents/homme-heure productive) lors des éclaircies commerciales et de la coupe progressive a une relation négative non linéaire avec le nombre d'arbres par mètre cube solide.

Le même auteur démontre que la productivité des travailleurs a une relation positive avec le volume marchand à l'hectare (récolte du bois rémanent) et une relation négative linéaire avec le nombre d'arbres par m<sup>3</sup> solide.

En 1991, BAILEY a élaboré un autre modèle de productivité pour la récolte du bois rémanent ; outre l'indice du peuplement (nombre d'arbres/m<sup>3</sup>), les variables indicatrices (binaires) sont utilisées pour indiquer la longueur de la cime. Ce modèle permet de prédire la productivité de la coupe seule, c'est-à-dire l'abatage et l'ébranchage des arbres.

Six débusqueuses de différents modèles ont fait l'objet d'une étude effectuée à Zvolen en Slovaquie par JANCO *et al.* en 1988. Un modèle permettant de prédire le temps par cycle de travail et par modèle de

machine a été mis au point. La distance approximative de débardage (100 m, 200 m, ...), la longueur du câble déroulé (m) de la machine à la bille et le nombre de billes attachées à chaque déroulement du câble ont été retenus comme des variables explicatives.

Les coûts de la coupe de tiges non marchandes après l'éclaircie commerciale évalués par MILLER (1984) s'élèvent à 42 \$/ha (ÉU) en 1982, ce qui correspond à  $\pm 100$  \$/ha en 1998. Dans certaines régions, ce bois est utilisé comme bois de chauffage et, par conséquent, procure un revenu additionnel.

#### 1.4 Sommaire

On se rend compte que la productivité des opérations sylvicoles dépend de plusieurs variables qu'on peut mesurer avant le traitement (caractéristiques dendrométriques du peuplement), au cours des opérations (la pente du terrain dans le sentier de débardage, la rugosité du terrain, le nombre d'arbres ou de billes acheminés vers le chemin) et certaines qu'on mesure après les opérations (volume du bois récolté). Selon l'objectif de la recherche poursuivi, le chercheur identifie les variables indépendantes (X) qui peuvent influencer la variable dépendante (Y). Le volume moyen par arbre ( $m^3$ /arbre) est la variable la plus importante lors de l'abattage ; elle influence davantage la productivité que les autres variables (BROCK, TUFTS, BAILEY, DELÉMONT). La productivité du débardage est influencée par plusieurs facteurs : distance de débardage, volume par bille, pente du terrain, puissance de la machine, etc. Les résultats de la recherche démontrent que la distance de débardage influence plus la productivité que toutes les autres variables (BROCK, JANCO, BAILEY, TUFTS). Enfin, la pente du terrain est une variable très difficile à évaluer, surtout sur les longues distances quand sa valeur peut être négative et positive sur le même trajet ; les chercheurs ont une opinion controversée sur l'importance de cette variable.

---

## Chapitre deux

### Méthode

La méthode de travail utilisée ici est basée sur les travaux effectués par divers chercheurs dans des conditions de terrain semblables à celles qu'on rencontre au Québec. La consultation d'articles scientifiques et une visite des opérations sur le terrain dans les régions de Mont-Laurier, de Duchesnay et de Fort-Coulonge ont permis de définir les variables biophysiques explicatives et la façon de les mesurer. Sur cette base, nous avons mené un essai préliminaire d'observations de la récolte du bois et de prise des données dendrométriques du peuplement à Duchesnay.

Ensuite, nous avons mis au point une méthode scientifique de prise des données grâce à l'expertise acquise lors de l'essai préliminaire pratique réalisé à l'automne 1992. Cette méthode consiste à prendre un relevé dendrométrique dans un peuplement choisi pour y effectuer la coupe de jardinage ou de préjardinage ; ensuite, des études de temps sont effectuées lors des opérations de débardage. On procède par la suite à l'évaluation du volume de bois récolté et, finalement, on mesure la surface terrière résiduelle après la coupe.

#### 2.1 Choix de sites d'études

Rappelons que l'objectif principal de cette recherche était d'élaborer une nouvelle méthode de calcul afin d'évaluer la productivité de la réalisation des traitements sylvicoles applicables pour payer les droits de coupe ; ici, seule la productivité mécanique, c'est-à-dire de la récolte, faisait l'objet d'études, la productivité organique n'étant pas évaluée.

Il était important d'intéresser les industriels et le personnel de terrain des unités de gestion du MRN dans la réalisation du projet et plus particulièrement

dans le choix de secteurs d'études afin de repérer et de couvrir adéquatement toutes les conditions possibles de travail.

Les secteurs d'études retenus sont ces stations qui répondent le mieux au choix des coupes de jardinage et de préjardinage et couvrant l'ensemble des variations possibles des conditions de peuplement et de terrain pour ce qui est du volume moyen par arbre, de la pente, de la distance de débardage et de la surface terrière à l'hectare (les figures 2a, 2b et 2c présentent ces variables par ordre croissant).

Les secteurs d'étude ont été identifiés (établis) en collaboration avec les représentants de l'industrie dans toutes les unités de gestion du MRN où la coupe de jardinage est pratiquée.

Les équipes de travailleurs (et par conséquent les sites d'étude) sont choisis au hasard parmi tous les employés effectuant la coupe dans un secteur. Dans le but d'évaluer la productivité réelle, les mesures ont toujours été prises aux endroits et en même temps que les équipes exécutent leur travail habituel et selon leur propre façon de travailler.

Le chronométrage de la récolte du bois se fait avec beaucoup de précautions pour éviter toute influence de la présence de chercheurs sur la productivité des équipes observées.

Cette procédure nous a permis de couvrir une grande diversité de conditions de travail ; pentes du terrain, qualités et dimensions des arbres, ainsi que des équipes avec diverses expériences et diverses organisations de travail.

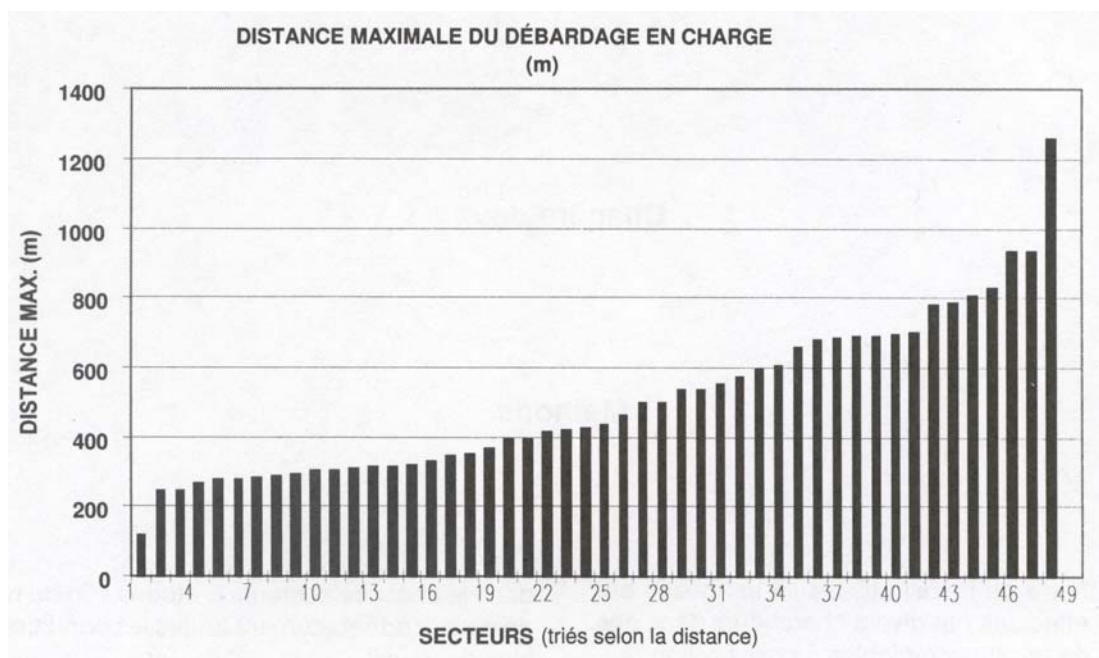


Figure 2a. Distance maximale de débardage du bois dans les 48 secteurs d'étude. Pour 32 secteurs, la distance du débardage est comprise entre 200 et 600 mètres ; pour dix, entre 600 et 800 mètres ; pour quatre, entre 800 et 1 000 mètres ; pour un secteur, la distance maximale est inférieure à 200 mètres et elle est supérieure à 1 200 mètres dans un autre. La distance de débardage dépend de la configuration du terrain, des habitudes des intervenants et du réseau de chemins existants.

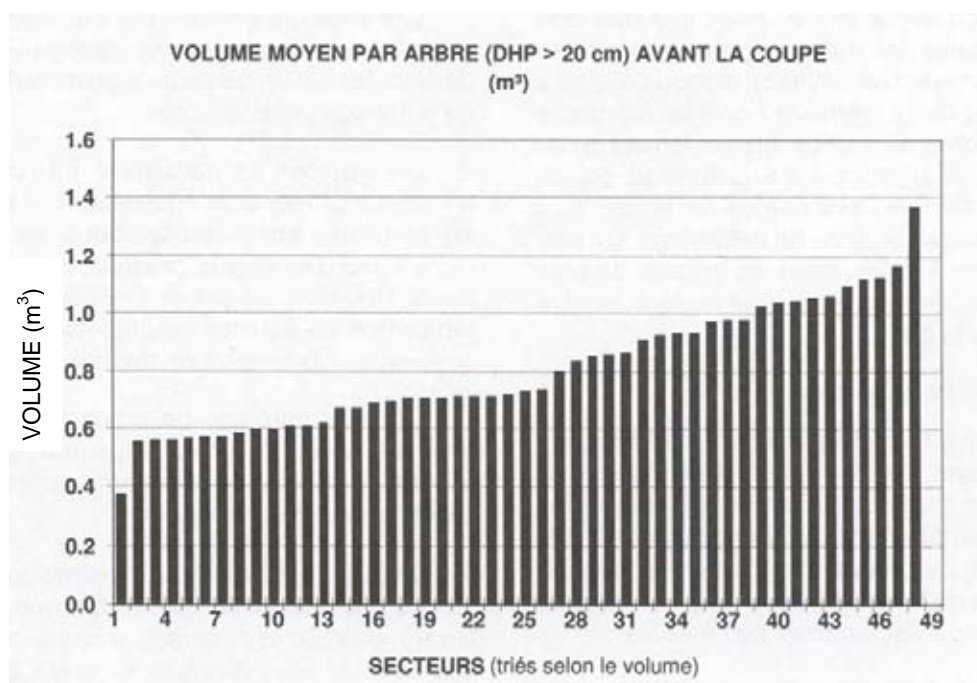


Figure 2b. Volume moyen par arbre (DHP <sup>3</sup> 20 cm) avant la coupe selon les secteurs. Les études ont été réalisées dans divers peuplements dont le volume moyen par arbre se situe entre 0,4 et 1,4 m<sup>3</sup>.

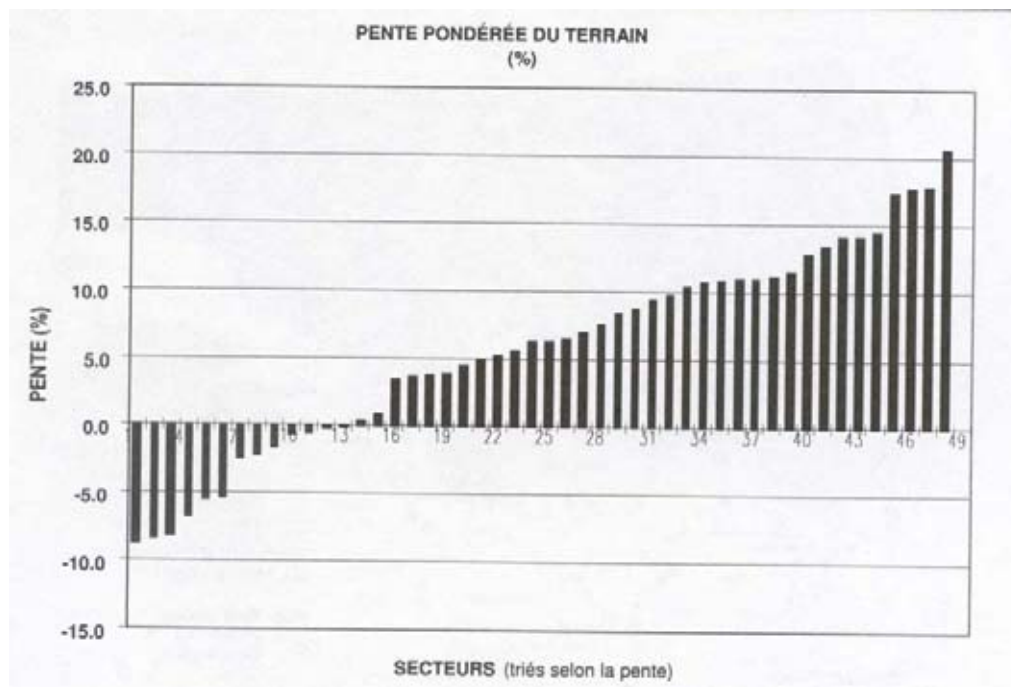


Figure 2c. Pente du terrain pondérée par la distance. La pente a été évaluée le long d'un sentier de débardage ; elle est considérée négative si l'on déplace la charge en montant.

De l'automne 1993 au printemps 1996, des études ont été menées dans 41 secteurs différents (dont 35 dans des coupes de jardinage et six dans des coupes de préjardinage) répartis dans les régions du Bas – Saint-Laurent (1), de Québec (3), de la Mauricie – Bois-Francs (4), de l'Estrie (5), de Montréal (6), de l'Outaouais (7), de l'Abitibi-Témiscamingue (8) et de la Gaspésie – Îles-de-la-Madeleine (11) (figure 3).

À l'analyse préliminaire des résultats, nous avons constaté qu'il existait un manque de données en ce qui concerne des conditions très difficiles. Pour cette raison, à l'automne 1996, nous avons mené des observations et des mesures dans des peuplements situés sur des pentes très abruptes (20 % et plus) afin de vérifier l'influence d'une pente forte sur la productivité et d'estimer les limites d'applicabilité du modèle. Grâce à la bonne collaboration des intervenants (entrepreneurs) dans la recherche des secteurs en question, au total sept études ont été réalisées sur des pentes fortes dans différentes régions du Québec.

## 2.2 Prise de données

La cueillette des données afin d'évaluer la productivité de la récolte du bois s'est faite dans 48 secteurs repartis dans la zone de la forêt feuillue. Un exemple de cette forêt est montré à la figure 4.

### 2.2.1 Inventaire du peuplement avant le traitement

Des placettes-échantillons ont été établies avant le traitement dans un secteur où les études de temps étaient planifiées, normalement dans la partie adjacente au peuplement où on retrouvait l'équipe des travailleurs (voir figure 5).

Avant d'établir les placettes-échantillons, les travailleurs forestiers ont été consultés afin de connaître la progression (direction) de la coupe. Cette procédure a pour but d'évaluer les caractéristiques dendrométriques du peuplement et les conditions du terrain où les opérations se dérouleront. L'établissement des dispositifs expérimentaux dans les limites fixes prévues initialement a été abandonné, car la préparation des sentiers de débardage pour se rendre uniquement dans les blocs expérimentaux nuisait au déroulement normal des opérations.

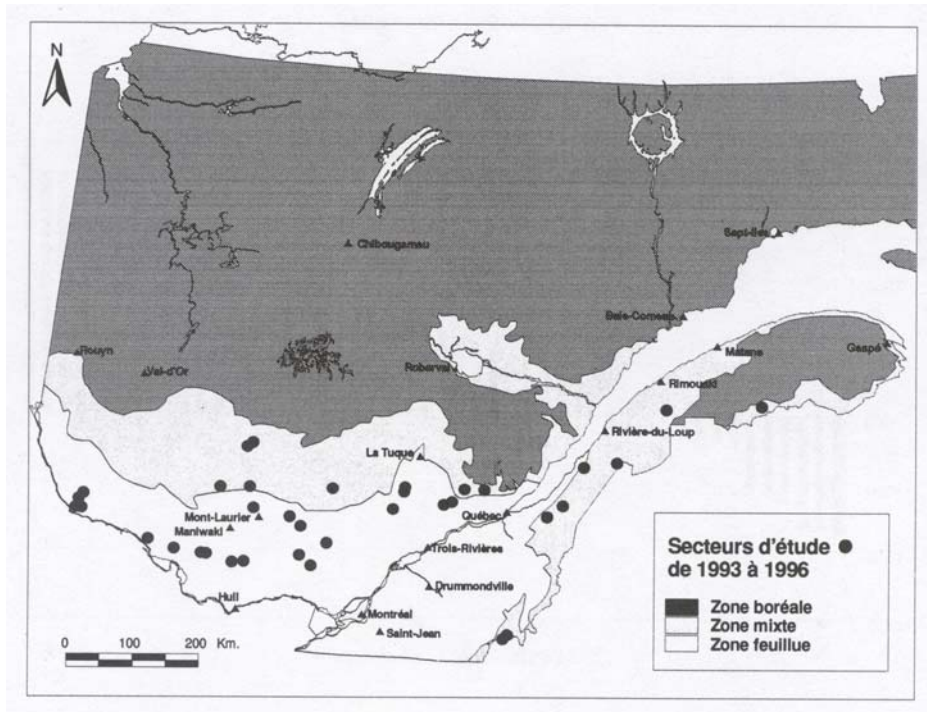


Figure 3. Secteurs d'études de 1993 à 1996.

Dans tous les secteurs, des placettes-échantillons de 11,28 mètres de rayon, quatre par étude, sont établies avant le traitement. Les arbres en périphérie, dont plus de la moitié de la découpe se trouve dans la parcelle, sont considérés comme étant à l'intérieur de celle-ci. Tous les arbres en bordure extérieure de la parcelle sont marqués d'un trait de peinture et le centre de la placette-échantillon est identifié à l'aide d'un piquet afin d'en permettre la relocalisation exacte après la coupe.

Les mesures suivantes sont prises à l'intérieur de chaque placette-échantillon :

- le dénombrement de tous les arbres dont le diamètre est de plus de 9 cm à hauteur de poitrine (DHP), par classe de 2 cm ;
- la hauteur de cinq arbres classés dominants ou codominants par place échantillon (les diamètres de ces arbres sont mesurés avec une précision d'un millimètre) ;
- la hauteur et les DHP de cinq arbres par secteur dans la classe du gaulis.

Les arbres sont distribués à l'aide de la classification de MAJGEN (1990) selon quatre classes de qualité et identifiés selon les essences ; finalement, chaque arbre est marqué à la sanguine afin de ne pas en oublier.

La surface terrière marchande du peuplement est évaluée à l'aide du relascope. Cette mesure se fait en huit points d'échantillonnage par secteur, dont quatre en se servant du même point centre que la parcelle circulaire ; les autres sont distribués au hasard.

Lorsque la coupe est terminée, on remeure la surface terrière en se servant du centre de toutes les placettes-échantillons comme point d'observation ainsi que des quatre autres points afin de calculer le niveau d'intervention.

### 2.2.2 Étude du temps de débardage

Afin d'évaluer la productivité des opérations de récolte du bois, on utilise la méthode du chronométrage continu. Le chronométrage des opérations dans une coupe sélective est parfois difficile à réaliser. Les principaux inconvénients rencontrés sont :

- a) une visibilité réduite durant la période où les arbres ont des feuilles ;
- b) le danger élevé lors de l'abattage car la direction de chute des arbres change souvent ;
- c) le déplacement difficile dans le sentier de débardage à cause de la perturbation du sol après le passage de la machine ;
- d) le déplacement difficile dans le peuplement à cause de la présence des résidus de coupe ;



Figure 4. La forêt feuillue avant le traitement.

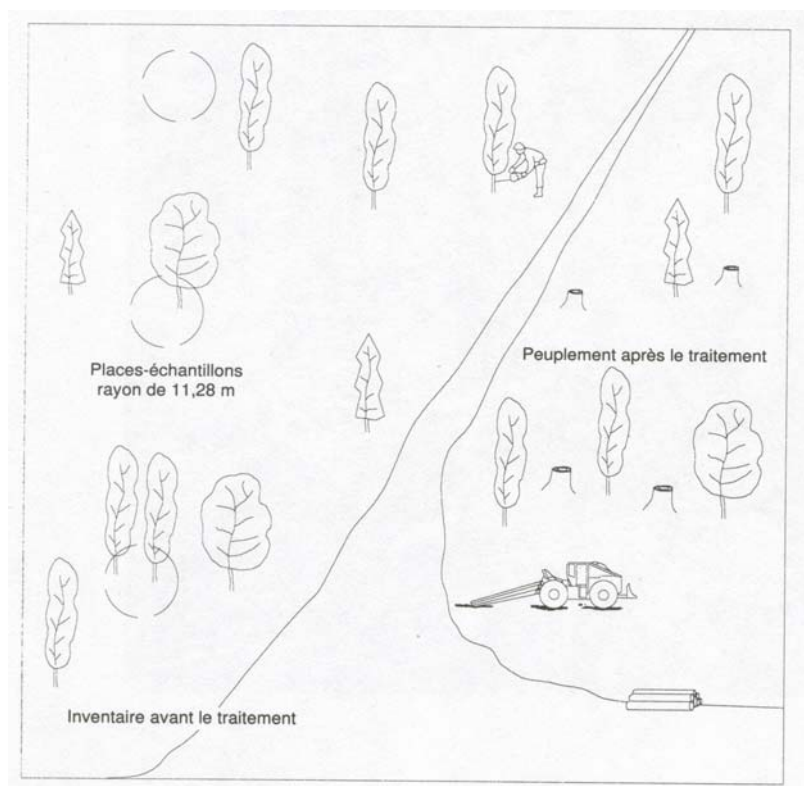


Figure 5. Schéma de l'établissement des places-échantillons avant le traitement.



Figure 6. Inventaire du peuplement.



Figure 7. Récolte du bois, déplacement en charge.

- e) enfin, l'effort physique considérable exigé de l'observateur pour suivre la débusqueuse (au cours de l'expérience, on a mesuré 104 km de déplacement en charge).

Pour faciliter cette tâche et augmenter la précision des observations, un programme informatique de saisie de données et de chronométrage a été mis au point en collaboration avec les spécialistes en informatique.

Lors des opérations du débardage et pour chaque cycle<sup>1</sup> de travail, les mesures suivantes sont prises :

- le temps total d'un cycle, c'est-à-dire l'heure à laquelle l'observation débute et se termine. Les temps productifs et improductifs sont enregistrés séparément ;
- le temps productif comprend les éléments de travail suivants :
  - a) déplacement à vide ;
  - b) chargement : cet élément de travail englobe trois activités : élinguage, treuillage pour former la charge et déplacement entre les billes ;
  - c) déplacement en charge ;
  - d) déchargement ;
  - c) empilage ;
  - e) désencrouage des arbres ;
  - f) autres, p. ex. demi-tour ;
- les temps improductifs (délais) observés lors du débardage se divisent en quatre groupes :
  - a) délais mécaniques : panne, diverses réparations;
  - b) délais opérationnels : manque d'arbres prêts à être débordés, circulation d'autres machines, organisation du travail ;
  - c) délais personnels : repos, café ;
  - d) services : ravitaillement, lubrification, nettoyage de la machine.

Les activités qui ne sont pas liées aux opérations du débardage sont enregistrées sous le même nom « hors cycle » (ex. nivellement du chemin de camionnage).

Le temps du dîner n'est pas considéré.

Dans le sentier de débardage, la pente de terrain est évaluée en degrés ou en pourcentage à l'aide d'un clinomètre ou du relascope. Cette mesure est faite par segment de sentier de débardage où la pente semble uniforme ; la longueur de chaque tronçon est mesurée en mètres afin de connaître la distance totale de déplacement en charge par voyage.

### 2.2.3 Mesurage du bois récolté

Le mesurage du bois se fait à la jetée après le déchargement et l'empilement des billes. Afin de faciliter le mesurage des billes et pour les distinguer de celles provenant des autres voyages, les billes sont identifiées par le mesureur à l'aide d'un trait de sanguine lors du déchargement. On prend ensuite les dimensions de chaque bille : le diamètre est mesuré à chaque extrémité par classe de 2 cm et la longueur est mesurée avec une précision de 1 dm. Lorsqu'une bille est fourchue, le volume marchand des branches de la fourche est également pris en considération. De plus, les numéros de voyage et les noms des essences sont inscrits dans le formulaire du bois récolté. Le bois ayant une forme irrégulière est mesuré selon les normes présentées dans le manuel intitulé *Méthodes de mesurage des bois* publié par le GOUVERNEMENT DU QUÉBEC (1992).

---

<sup>1</sup> Un cycle de travail est un voyage aller et retour de la débusqueuse.



Figure 8. Récolte du bois, chargement.



Figure 9. Mesurage du bois récolté.

---

## Chapitre trois

### Traitement des données (compilation)

#### 3.1 Validation des données

La validation et le traitement des données ont été faits après chaque saison de cueillette des données. Après une normalisation de l'information (ex. transformation de degrés en pourcentage, transformation des secondes en centièmes de minute, uniformisation du format des cellules, etc.), tous les fichiers contenant les données ont été analysés avec attention afin de détecter les erreurs qui ont pu se produire ; certaines erreurs peuvent être décelées grâce aux graphiques. Par la suite, les calculs nécessaires ont été exécutés à l'aide des logiciels *Excel* et *Fox Pro*.

#### 3.2 Évaluation du volume du bois sur pied avant le traitement

Les données dendrométriques de l'inventaire du peuplement servent à établir des tarifs locaux de cubage et aussi à évaluer le volume du bois sur pied avant la coupe. Les tarifs de cubage sont construits selon la méthode habituelle à deux étapes ; il s'agit de prédire la hauteur moyenne des arbres selon les classes de DHP et d'évaluer le volume marchand brut au moyen des équations connues.

La relation entre la hauteur et le DHP est établie en utilisant la régression non linéaire de CHAPMAN-RICHARDS. Celle-ci donne des résultats satisfaisants, pourvu qu'on soit « particulièrement attentif à mesurer un nombre suffisant d'arbres (3 à 5) dans les classes de grosseur extrêmes » (RONDEUX). Pour cette raison, on mesure quelques arbres dans la classe du gaulis en sus de l'inventaire de tous les arbres marchands dans la parcelle.

Les courbes de hauteur sont établies séparément (individuellement) pour chaque essence et pour tous les secteurs d'étude. Lorsque les prévisions de hauteur sont obtenues par classe de DHP, on réalise l'évaluation du volume au moyen de la régression générale du volume (selon l'essence) mise au point par PERRON. Le volume du bois des essences dont la présence est sporadique dans le peuplement (ex. noyer cendré, ostryer de Virginie) est tiré directement de tarifs de cubage de PERRON. Le volume moyen par tige (volume marchand brut [ $m^3$ /arbre]), le volume moyen de tiges de 20 cm et plus de DHP et le volume moyen de tiges martelées par secteur, toutes essences confondues, sont ensuite calculés. La variable « volume moyen des tiges de 20 cm et plus » est établie du fait que les normes de sylviculture pour le jardinage ne prévoient pas de récolter des arbres plus petits que 20 cm de DHP. Il est donc normal de prévoir que cette variable peut influencer de façon significative la productivité des opérations. Le volume des tiges martelées devrait également montrer une forte corrélation avec la productivité.

### 3.3 Pente du terrain dans un secteur d'études

La pente du terrain est mesurée en se basant sur la *Classification du terrain pour la foresterie du Canada* élaborée par l'Association canadienne des producteurs de pâtes et papiers (MELLGREN 1980). Elle est exprimée en pourcentage pour tous les secteurs d'étude. Pour les besoins de cette recherche, il fallait exprimer la pente dans un sentier de débardage par une seule valeur. Selon la topographie du terrain, lors d'un trajet de débardage, la machine peut se déplacer en descendant ou en montant ou encore les deux situations peuvent se présenter tour à tour lors d'un voyage. Pour résoudre ce problème, on calcule la pente de trois façons différentes :

- 1) la pente pondérée par la distance ;
- 2) la pente dominante ;
- 3) la pente absolue.

**Tableau 1. Exemple de différentes façons d'exprimer la pente de terrain dans un secteur**

Secteur	Voyage	Pente	Distance	Distance totale	Pente pondérée	Pente dominante	Pente absolue	Pente secteur
Québec	1	-12	70	250	6,24	17,14	12,96	4,50
Québec	1	0	40					
Québec	1	15	80					
Québec	1	20	60					
Québec	2	-15	80	365	9,62	18,47	16,19	4,50
Québec	2	0	30					
Québec	2	18	120					
Québec	2	15	60					
Québec	2	22	75					
Québec	3	-10	50	220	-2,36	-10,75	13,27	4,50
Québec	3	-8	40					
Québec	3	-10	30					
Québec	3	-15	40					
Québec	3	20	60					

La valeur de la **pente pondérée** par la distance s'obtient en multipliant le pourcentage (valeur) de la pente (positive, nulle ou négative) par la longueur du tronçon correspondant. La somme des ces valeurs est ensuite divisée par la longueur totale du sentier :

$$PENTEPON. (\%) = \frac{\sum_{i=1}^n (dist. \times pente)}{\sum_i dist.}$$

où : i = le nombre de tronçons.

Si la pente pondérée ainsi obtenue est positive, ceci veut dire que le bois a été déplacé vers le bas soit tout le temps, soit pour la majeure partie de la distance. La valeur positive, nulle ou négative de la pente pondérée indique également la pente qui prédomine dans le secteur.

La **pente dominante** est définie comme étant celle qui domine sur la partie de terrain où les machines auront à travailler ; elle peut prendre une valeur positive, nulle ou négative. Elle se calcule de la même manière que la pente pondérée, mais ici seuls les segments dont la pente est positive ont été introduits, si bien sûr la pente pondérée mesurée auparavant est positive dans le sentier en question.

Si la pente pondérée pour un sentier est positive, la pente dominante pour le même sentier se calcule donc selon la formule suivante :

$$PENTEDOM. (\%) = \frac{\sum_{i_d=i_p}^n (dist. \times pente_{(pente > 0)})}{\sum_i dist._{(pente > 0)}}$$

Par contre, si la pente pondérée est négative, on tiendra compte dans les calculs des tronçons de sentier pour lesquels la pente a été évaluée comme négative (tableau 2), selon la formule :

$$PENTEDOM. (\%) = \frac{\sum_{i_d=i_p}^n (dist. \times pente_{(pente < 0)})}{\sum_i dist._{(pente < 0)}}$$

La pente absolue du terrain est une pente pondérée mais, dans ce cas, on ne se préoccupe pas de savoir si elle est favorable ou défavorable au débardage. Pour la calculer, on transforme les valeurs de la pente correspondant aux tronçons de sentier en valeurs absolues et on applique ensuite le même principe de calcul que pour l'évaluation de la pente pondérée expliquée plus haut.

La pente pondérée d'un secteur est la moyenne arithmétique des pentes pondérées pour tout le voyage chronométré dans un secteur. Cette valeur pourra être utile à la prédiction.

#### 3.4 Évaluation du volume du bois récolté

Le volume brut (V) des billes est calculé en mesurant le diamètre des deux extrémités ainsi que la longueur de chaque bille selon la formule de SMALIAN :

$$V = \frac{(D^2 + d^2) \times \pi \times L}{8 \times 100\,000}$$

où :

V = volume (m<sup>3</sup>) arrondi à la quatrième décimale

D = diamètre au gros bout (cm)

d = diamètre au fin bout (cm)

L = longueur de la bille (dm).

Le volume des réductions (ex. pourriture que l'on doit soustraire) est calculé de la même façon que pour le volume brut. Le volume des tiges fourchues débardées à la jetée comprend le volume de la tige principale et celui de toutes les branches jusqu'à 10 cm sous écorce. Les tiges dont le diamètre est plus petit que 10 cm sont laissées sur le parterre de coupe. Le volume d'un voyage (valeur nécessaire pour calculer la productivité) est la somme du volume de toutes les billes faisant partie de la même charge.



## Chapitre quatre

### Productivité des opérations

Les opérations sylvicoles considérées ici sont liées à la coupe de jardinage et de préjardinage, soit l'abattage et l'ébranchage des arbres martelés à l'aide d'une scie à chaîne, et le transport du bois de la souche à la jetée.

Habituellement, les équipes sont composées de deux hommes ; parfois un homme a travaillé seul et dans deux cas ils étaient trois.

Au cours des expériences, nous avons rencontré plusieurs modèles de machines, mais le rendement de machines n'est pas évalué selon le modèle ; seule la puissance du moteur est considérée comme variable explicative.

On peut donner plusieurs définitions de la productivité, selon les circonstances et ce qui doit être mesuré et évalué. Voici quelques indices pour mieux comprendre la productivité, qu'on définit le plus souvent comme suit :

- 1 – rapport entre la quantité de travail produit et la quantité de temps productif consacré à faire du travail (ex.  $m^3/h$ ) ;
- 2 – rapport entre le temps productif consacré à la production d'une unité de produit et les conditions qui influencent cette production (ex.  $min/m^3$  en fonction de la distance d'approvisionnement, la qualité de la ressource, les conditions atmosphériques, etc. ;
- 3 – rapport entre une production donnée et l'ensemble des facteurs qui peuvent influencer la productivité (ex. le niveau de compétence, la motivation, l'organisation du travail, l'équipement et la technologie utilisés) (ex.  $tonne/kW$ ) ;

- 4 – quantité annuelle de produits que l'on peut prélever dans un milieu naturel sans l'épuiser (ex.  $m^3/ha \cdot an$ ).

Depuis nombre d'années, les sylviculteurs et les chercheurs analysent la productivité de la forêt, c'est-à-dire l'accroissement des arbres et des peuplements. La productivité de diverses essences et de diverses stations forestières est alors mesurée.

Dans les lignes qui suivent, on présente les résultats de la productivité de la récolte du bois lors de coupes de jardinage et de préjardinage. Il est bon de souligner qu'il s'agit de la productivité de la coupe ; on parle donc ici du rapport entre le temps d'exécution de l'abattage et du débardage et la quantité de bois débardé à la jetée. L'abattage et le débardage se déroulent presque toujours simultanément ; il

suffit donc de chronométrer le débardage pour être en mesure d'évaluer la productivité de la récolte. C'est pourquoi une attention particulière était apportée à observer, mesurer, analyser et évaluer cet élément de travail. Afin d'évaluer la productivité de la récolte du bois lors de la coupe de jardinage, les éléments de travail suivants ont été enregistrés :

- temps total prévu pour effectuer les opérations (heures) ;
- temps productif de travail (heures) ;
- volume du bois récolté ( $m^3$  solides).

De plus, les variables concernant le terrain et le peuplement qui peuvent affecter la productivité des travailleurs et de l'équipement sont mesurées dans tous les secteurs d'études.

Les observations ont été réalisées dans toutes les unités de gestion du MRN où des coupes sélectives sont pratiquées ; au total, 379 voyages de débusqueuse (un voyage = un cycle aller à vide et retour en charge) ont été chronométrés, ce qui représente 103 886 m de déplacement en charge. Pour tenir compte des différentes conditions selon les saisons de l'année qui peuvent influencer le rythme normal des travailleurs, les observations ont été effectuées en été (11 secteurs), en automne (29 secteurs) et en hiver (huit secteurs). Pour de multiples raisons, la durée du projet s'est échelonnée sur quatre saisons d'opération sur le terrain (de 1993 à 1996).

Mais cette situation a permis :

- 1) d'améliorer la méthode de prise des données à la suite des analyses préliminaires et par une nouvelle expertise accrue ;
- 2) de tenir compte (involontairement) des variations atmosphériques (sécheresse, pluie, neige, température) qui surviennent d'une année à l'autre ;
- 3) de réaliser et superviser la prise de données par le même personnel. En conséquence, les événements sont toujours interprétés de la même façon, ce qui devrait diminuer beaucoup « l'effet de l'observateur ».

Pour réaliser la cueillette des données, on a pu profiter d'une bonne collaboration de 25 bénéficiaires de contrat d'approvisionnement et d'aménagement forestier et de leur participation à cette recherche. Ils ont partagé avec nous leur expérience, leur organisation du travail et leur vision de l'aménagement de la forêt feuillue. Leurs remarques sur les avantages et les inconvénients du travail dans différentes conditions de terrain ont été très précieuses, surtout lors des analyses statistiques.

Avant de procéder aux analyses à l'aide de graphiques et de méthodes statistiques, nous avons calculé en premier lieu la productivité du débardage pour chaque voyage. Le temps total productif en minutes pour réaliser un cycle peut se diviser par le volume total ( $m^3$  solides) de la charge de ce même voyage. Ensuite, ce nombre de minutes est multiplié par le nombre d'hommes dans l'équipe. La productivité ainsi obtenue est exprimée en minutes productives par mètre cube solide de bois mesuré en bordure du chemin et par homme ( $min/m^3 \cdot homme$ ).

$$PROD. OBSERVÉE (min/m^3 \cdot hom.) = \frac{TEMPS PROD. (min)}{VOLUME (m^3)} \times N.HOM.$$

Si deux hommes travaillent simultanément et consacrent 10 minutes à produire  $1 m^3$  de bois, il faudrait donc 20 minutes à un seul employé pour effectuer le même travail.

La productivité des opérations dans un secteur d'études est la moyenne arithmétique de la productivité pour tous les voyages qui ont été effectués dans le secteur en question.

Un extrait de résultats des observations est présenté au tableau 2 ci-dessous. On y trouve la productivité minimale, moyenne et maximale pour les deux traitements. La productivité la plus élevée par secteur,  $5,98 min/m^3 \cdot homme$  a été atteinte dans un peuplement jardiné où la pente pondérée est de 11,52 %, le volume moyen par arbre (20 cm et plus de DHP) est de  $0,7059 m^3$  solide et le bois est débardé sur une distance maximale de 657 m. Les opérations d'abattage et de débardage ont été effectuées par un seul homme qui était particulièrement habile et bien organisé pour ce type de travail. La productivité la plus faible ( $22,35 min/m^3 \cdot homme$ ) a été réalisée dans la coupe de préjardinage dont les paramètres sont les suivants : pente pondérée de 0,07 %, volume par arbre de  $0,5698 m^3$  (20 cm et plus de DHP) et distance de débardage de 500 m.

**Tableau 2. Productivité de la coupe de jardinage et de préjardinage**

	Nombre de secteurs	Productivité ( $min/m^3 \cdot homme$ )		
		maximum	moyenne	minimum
Jardinage	41	5,98	12,88	22,02
Préjardinage	7	16,15	17,80	22,35

---

## Chapitre cinq

### Analyses statistiques

#### 5.1 Généralités

En foresterie, on observe une grande variété de conditions biotiques et abiotiques qui peuvent influencer la productivité des travailleurs forestiers et, par conséquent, celle des opérations sylvicoles. Ces conditions ne changent pas seulement d'une région à l'autre ou d'un peuplement à l'autre; à l'intérieur d'un territoire relativement petit, deux ou trois hectares, il arrive parfois qu'on rencontre un peuplement homogène, même si la topographie de ce terrain est très diversifiée. Par ailleurs, sur un terrain ayant un relief uniforme, les hauteurs, les diamètres, les volumes et la qualité des arbres peuvent être très hétérogènes. Les valeurs des variables observées se modifient continuellement, ce qui donne une multitude de possibilités de leurs combinaisons. L'utilisation d'analyses mathématiques simples (ex. moyenne ou pourcentage) et l'extrapolation des conclusions basées sur un nombre restreint de mesures ne donnent généralement pas de résultats adéquats.

L'élaboration et le traitement de ces données nécessitent donc l'emploi de méthodes d'analyses statistiques. Celles-ci permettent d'apporter diverses constatations et de répondre correctement à plusieurs questions :

- 1- Quelle est l'importance de la relation entre les variables ?
- 2- Quelles variables influencent la productivité d'une façon significative ?
- 3- Peut-on extrapoler les résultats sur toute la population ?
- 4- Si oui, quelle en est la précision ?

Les analyses statistiques présentées dans les lignes qui suivent nous permettront d'obtenir des réponses à ces questions.

#### 5.2 Données sur la productivité

Le but de cette analyse est de créer un modèle pour prédire le temps d'exécution des opérations sylvicoles en fonction des facteurs de station et de peuplement ; plus précisément, on tente de prédire la productivité de la récolte du bois dans la coupe de jardinage. La variable dépendante est la productivité des travailleurs qui est mesurée en minutes par mètre cube et par homme. Pour rendre possible la comparaison de la productivité, on la ramène à un homme, car les équipes sont formées de trois (deux cas), de deux (42 cas) ou d'un seul homme (cinq cas) ; il est donc difficile d'analyser la productivité des équipes.

Des mesures concernant les conditions de terrain et du peuplement traité ont été recueillies dans chacun des 48 secteurs choisis. En tout, 379 voyages de débardage ont été chronométrés dans les secteurs répartis dans différentes régions du Québec où la coupe de jardinage est pratiquée dans des peuplements feuillus (voir la carte, figure 3). Le nombre de voyages observés varie d'un secteur à l'autre, mais l'objectif était de chronométrer au minimum cinq voyages par secteur.

Un modèle de prédiction de la productivité a été conçu au printemps 1996 à partir des données provenant de 41 secteurs. Toutefois, un doute subsistait à savoir si ce modèle est valide pour la prédiction de la productivité dans les secteurs où la pente est particulièrement abrupte et où le terrain semblait assez difficile à parcourir.

C'est pour répondre à cette interrogation que des mesures ont été prises dans sept nouveaux secteurs répondant à ces critères spécifiques (tableau 3).

Les observations de ces sept secteurs ont été ajoutées aux données précédentes et un nouveau modèle de prédiction de la productivité a été établi. Parmi les variables disponibles dans l'ensemble des données, seules celles pouvant être mesurées avant le début des travaux ont été considérées pour expliquer la productivité.

À l'automne 1996, les études étaient concentrées dans les peuplements situés sur une pente abrupte, c'est-à-dire seulement 7,9 % sur une pente de 0 %, mais 20,4 % sur une pente de 30 % et 14,7 % sur une pente de -10 %.

Le tableau que l'on trouve à l'annexe A présente les variables étudiées.

Il est important de remarquer que certaines informations sont propres aux secteurs dans lesquels les cycles de débardage ont eu lieu (ex. surface terrière par hectare, volume par arbre, etc.) et qu'il n'est pas possible de les calculer par voyage. Par contre, d'autres variables sont propres aux voyages eux-mêmes (ex. la productivité, la distance, la pente pondérée), mais il est facile d'obtenir les valeurs de ces variables par secteur.

Pour la construction d'un modèle prédictif de la productivité des travailleurs, deux ensembles de données étaient disponibles. Le premier contenait

deux types de renseignements: ceux propres aux voyages et les autres caractérisant les secteurs en général. Le deuxième ensemble ne contenait pas d'informations sur les voyages mais uniquement sur les secteurs. Une seule observation par secteur était disponible dans ce dernier ensemble. Ces deux ensembles de données nécessitent d'être analysés différemment.

L'objectif est de prédire la productivité des travailleurs pour un secteur donné et non pour un voyage en particulier. Pour cette raison, seule l'analyse des données caractérisant les secteurs sera présentée ici.

### 5.2.1 Statistiques globales

À première vue, selon les prochains graphiques, la variable qui influence le plus la productivité des travailleurs (variable dépendante Y) est la distance de débardage (variable indépendante X, en m). On observe qu'avec l'augmentation de la distance, le temps nécessaire pour apporter 1 m<sup>3</sup> à la jetée augmente aussi. La variabilité est très grande ( $R^2 = 20\%$ ) et il est facile de déduire que la productivité ne s'expliquera pas par une seule variable (figures 10 et 11). Le graphique suivant (figure 12) présente la relation entre la productivité ( $R^2 = 18\%$ ) et le volume moyen (m<sup>3</sup>) des tiges de 20 cm ou plus de DHP avant la coupe par secteur. Le graphique présenté à la figure 13 illustre la productivité ( $R^2 = 10\%$ ) en fonction de la pente (%) pondérée par la distance de débardage.

**Tableau 3. Répartition relative (%) de la distance selon la pente du terrain**

Période	1996		1993-1996	
	Distance (m)	Répartition (%) automne	Distance (m)	Répartition (%) (sans automne 1996)
-50	40	<b>0,23</b>	0	<b>0,00</b>
-40	129	<b>0,74</b>	39	<b>0,05</b>
-30	475	<b>2,72</b>	849	<b>0,98</b>
-20	820	<b>4,69</b>	3 529	<b>4,08</b>
-10	2 566	<b>14,69</b>	17 355	<b>20,08</b>
0	1 386	<b>7,93</b>	15 005	<b>17,36</b>
10	3 878	<b>22,20</b>	25 633	<b>29,66</b>
20	3 303	<b>18,91</b>	17354	<b>20,08</b>
30	3573	<b>20,45</b>	5683	<b>6,58</b>
40	970	<b>5,55</b>	561	<b>0,65</b>
50	330	<b>1,89</b>	30	<b>0,03</b>
60			378	<b>0,44</b>
<b>Somme</b>	<b>17 470</b>	100,00	<b>86 416</b>	100,00

Fait particulier : dans l'intervalle des mesures prises lors de la coupe de jardinage, la productivité des opérations augmente avec l'augmentation de la valeur de la pente pondérée. Ainsi, sur une pente de +10 %, moins de temps est nécessaire pour transporter 1 m<sup>3</sup> du bois de la souche jusqu'à la zone d'emplacement que sur une pente de -10 %. Ceci est sans doute dû au fait que la machine, munie de chaînes aux quatre roues motrices et d'un puissant moteur, n'a pas de difficulté à circuler sans charge même si la pente est forte. Évidemment, plus la pente est forte, plus il est facile de traîner la charge vers le bas du versant.

Les études ont été réalisées au Québec lors des travaux effectués à l'aide d'une débusqueuse dans les peuplements composés principalement d'érable à sucre et de bouleau jaune. En conséquence, les terrains inaccessibles (marécages, montagnes) ne sont pas compris dans cette recherche. Par contre, les opérations se sont déroulées souvent en forêt sur une pente allant de -40 % jusqu'à +60 % !

Les relations entre la productivité et les autres variables mesurées sur le terrain, mais qui ne sont pas retenues dans le modèle, sont présentées à l'annexe B à l'aide de graphiques (figures 16 à 22).

### 5.3 Formulation et validation du modèle

#### 5.3.1 Modèle avec la distance moyenne

Une régression linéaire multiple a été utilisée sur l'ensemble des variables présentées au tableau 4 en utilisant la procédure de sélection automatique pas à pas (*stepwise*), c'est-à-dire une régression par étape. Les seuils d'entrée et de sortie utilisés sont respectivement de 0,1 et 0,15. Il est possible d'utiliser

un critère plus sévère pour l'entrée d'une variable mais, en régression, l'estimation de chacun des paramètres est conditionnelle à la présence des autres paramètres dans le modèle. L'entrée d'une variable peut permettre d'en éliminer une autre et d'ainsi obtenir un meilleur modèle.

Les variables explicatives retenues sont la distance moyenne de débardage, le volume moyen des tiges de 20 cm et plus de DHP, la pente du terrain pondérée par la distance, la présence d'un seul homme par équipe et la présence du préjardinage comme traitement.

Le coefficient de détermination ajusté ( $R_{aj}^2$ ) de ce modèle est de 60 % tandis que l'écart-type résiduel ( $\sigma$ ) est de 2,69 minutes par mètre cube. Des graphiques ont permis de vérifier l'hypothèse de linéarité entre la variable « productivité » et chacune des variables explicatives (voir les graphiques). De plus, l'option « collinéarité » de SAS n'a montré aucun problème de multicollinéarité parmi les variables du modèle.

Ensuite, seules les interactions entre la distance moyenne du débardage, la pente pondérée du terrain et le volume des tiges de 20 cm et plus de DHP ont été étudiées, puisque celles qui supposent les variables présence d'un homme et présence du préjardinage ne semblent pas pertinentes. Une seule interaction a été retenue par la procédure *stepwise*, soit celle entre la distance et la pente. Le  $R^2$  ajusté est alors augmenté à 62 % et l'écart-type résiduel est diminué à 2,62 minutes par mètre cube. Voici le premier modèle construit:

$$\text{PROD}(\text{min./m}^3/\text{h}) = 14,254126 + 0,014267(\text{DIST-MOY}) - 0,009541 (\text{PEN-PON}) - 6,209657(\text{TIGE-20}) \\ - 0,000546(\text{DIST-MOY} \times \text{PEN-PON}) - 3,100535(\text{NH}) + 4,485584(\text{PREJAR})$$

$$R^2 = 67 \%$$

$$R_{aj}^2 = 62 \%$$

où :

DIST-MOY = distance moyenne de débardage dans un secteur (m)

PENPON = pente pondérée (%)

TIGE-20 = volume moyen par tige > 20 cm au DHP (m<sup>3</sup>)

NH = cas où l'abattage et le débardage sont effectués par un seul homme, NH = 1 ; si non, NH = 0

PREJAR = présence de la coupe de préjardinage, PREJAR = 1 ; si non, PREJAR = 0.

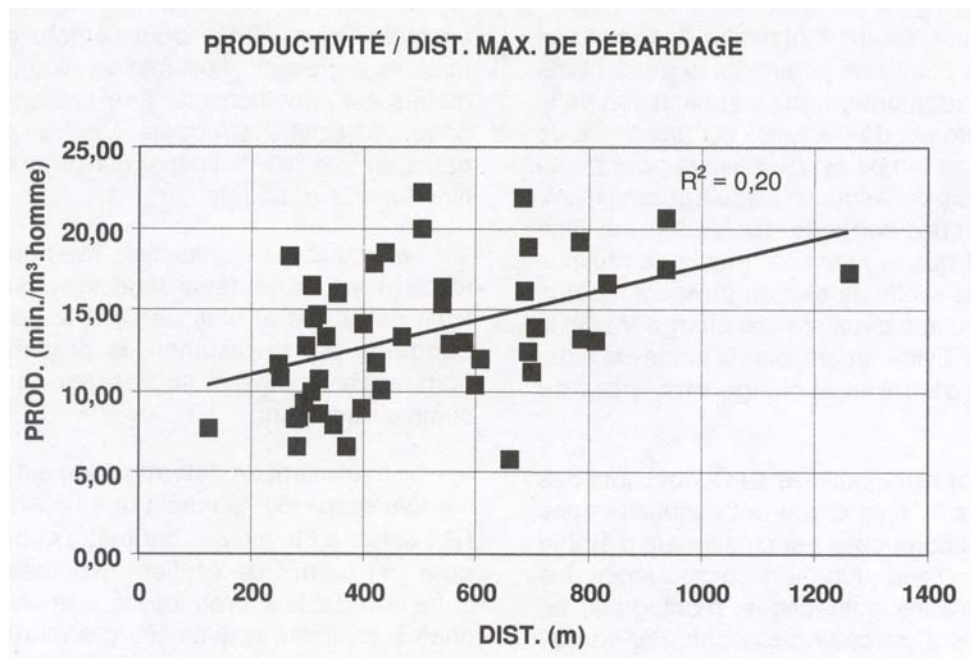


Figure 10. Productivité de la coupe de jardinage en fonction de la distance maximale de débardage par secteur d'étude. La productivité diminue avec l'augmentation de la distance.

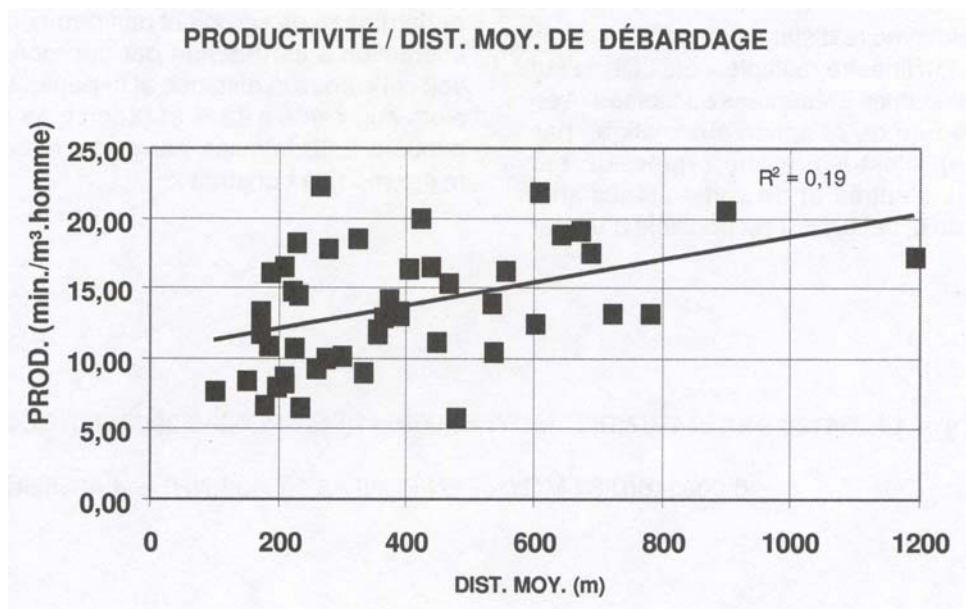


Figure 11. Productivité de la coupe de jardinage en fonction de la distance moyenne de débardage par secteur d'étude.

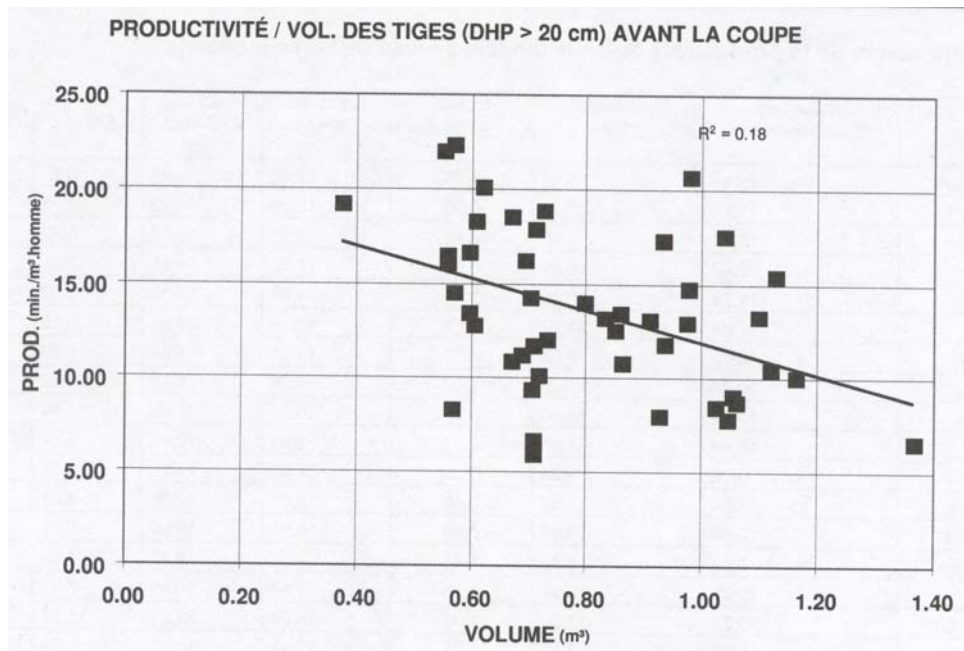


Figure 12. Productivité de la coupe de jardinage en fonction du volume moyen des tiges de 20 cm et plus de DHP avant la coupe. La productivité augmente avec l'augmentation du volume moyen des arbres de DHP  $\geq$  20 cm.

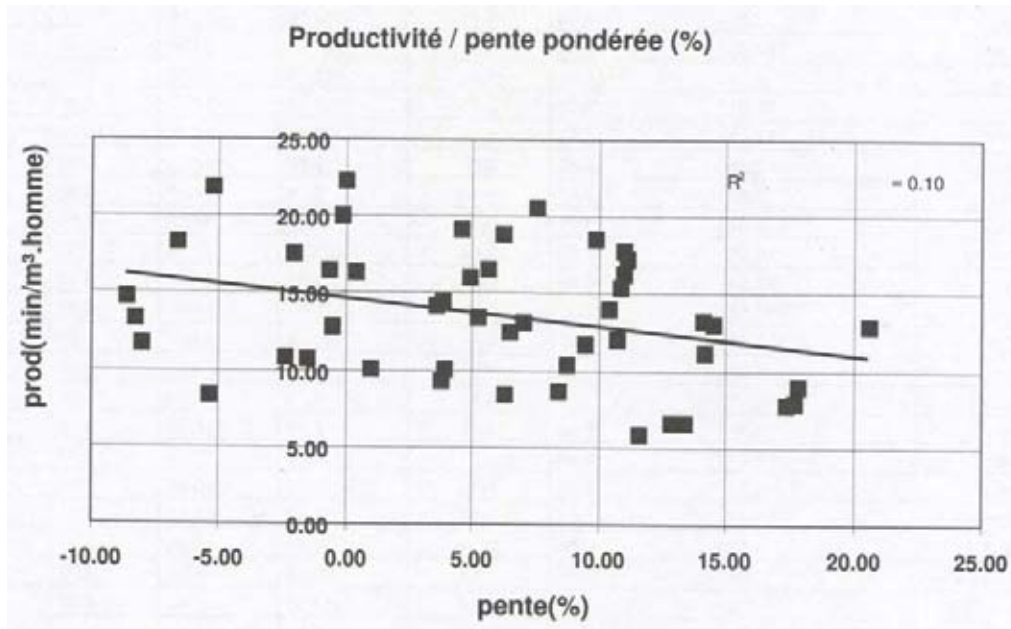


Figure 13. Productivité de la coupe de jardinage en fonction de la pente pondérée du terrain. L'influence de la pente du terrain sur la productivité est moins importante qu'on le croit d'habitude, comme l'indique le  $R^2$  de 10 %. De plus, avec des mesures comprises entre -10 et 22 % pour la pente pondérée et entre -50 et 60 % par tronçon de sentier de débardage, la productivité augmente avec l'augmentation de la valeur de la pente.

Tableau 4. Prédiction de la productivité selon le modèle avec la distance moyenne

N°	Secteur	Productivité observée	Productivité prédite	Erreur-type	Limite inf. 95% sect.	Limite sup. 95% sect.	Limite inf. 95% voy.	Limite sup. 95% voy.
1	Esprit-Saint	13,46	13,83	1,07	11,68	15,99	8,13	19,54
2	Portneuf 1	11,29	12,77	0,86	11,03	14,52	7,21	18,34
3	Portneuf 2	13,02	9,12	0,92	7,26	10,97	3,52	14,72
4	St-Ubald	9,42	13,01	0,55	11,90	14,11	7,61	18,41
5	Armagh	11,78	10,03	1,52	6,96	13,09	3,92	16,14
6	Perdrix	22,02	21,27	1,52	18,19	24,35	15,16	27,39
7	Matawin	12,09	12,57	0,63	11,31	13,84	7,15	18,01
8	Megantic	19,26	16,72	1,50	13,68	19,75	10,62	22,81
9	Lac Felix	13,25	17,16	0,79	15,55	18,76	11,64	22,68
10	Macaza	15,48	11,05	0,71	9,61	12,48	5,57	16,52
11	Bear	8,04	9,24	0,95	7,32	11,15	3,62	14,86
12	Lac Piscat.	11,84	11,59	0,48	10,61	12,57	6,22	16,96
13	Cayamant	12,56	15,36	0,56	14,21	16,50	9,95	20,76
14	Lac Cayam	6,69	7,33	1,20	4,91	9,76	1,52	13,14
15	Pinceau	10,97	12,97	0,75	11,44	14,49	7,47	18,46
16	Poisson B11	20,71	17,22	1,00	15,20	19,23	11,56	22,87
17	Poisson B12	13,50	13,29	0,94	12,41	14,18	7,94	18,65
18	Poisson B13	7,87	8,10	1,16	5,75	10,45	2,32	13,88
19	Lac Senac	17,63	18,44	1,61	15,18	21,70	12,23	24,65
20	Lecointre 1	22,35	18,98	1,13	16,69	21,27	13,22	24,74
21	Lecointre 2	16,29	18,91	1,17	16,54	21,29	13,12	24,71
22	Lecointre 3	18,94	21,15	1,21	18,69	23,60	15,32	29,97
23	Temis 1	20,11	16,47	0,70	15,06	17,89	11,00	21,95
24	Temis 2	10,12	10,75	0,99	8,75	12,76	5,10	16,41
25	Restiaauche	14,83	12,44	1,15	10,11	14,77	6,66	18,21
26	Baker	17,35	18,14	1,71	14,68	21,59	11,82	24,45
27	Germain	14,58	13,48	0,75	11,96	14,99	7,98	18,97
28	Gundy	8,39	14,34	0,88	12,57	16,12	8,77	19,92
29	Aubin	10,21	13,38	0,51	12,35	14,42	8,00	18,77
30	Henri	17,89	16,50	1,14	14,19	18,81	10,73	22,27
31	Howard	18,36	14,60	0,86	12,86	16,33	9,03	20,16
32	Raquette	13,33	12,07	1,14	9,76	14,38	6,30	17,84
33	Ouelle	12,84	13,01	0,78	11,44	14,58	7,50	18,52
34	Alexandre	16,66	15,39	0,69	13,99	16,78	9,92	20,85
35	Landry	13,14	10,95	0,64	9,66	12,23	5,51	16,38
36	Mc Cracken	10,53	12,32	0,73	10,84	13,80	6,83	17,80
37	Mc Cracken2	10,85	12,31	0,67	10,94	13,67	6,85	17,76
38	Achille	5,98	10,46	1,27	7,90	13,02	4,59	16,32
39	Chartier 1	16,15	17,39	1,15	15,06	19,71	11,61	23,16
40	Chartier 2	16,56	15,23	1,54	12,11	18,35	9,10	21,37
41	Mousseau	16,46	16,46	0,74	14,96	17,96	10,97	21,95
42	Isabel 97	6,73	7,87	1,38	5,09	10,65	1,90	13,84
43	Matabi3 97	18,58	12,88	0,69	11,48	14,27	7,41	18,34
44	Matabi1 97	9,13	9,05	0,79	7,44	10,65	3,53	14,57
45	St-Michel 97	14,05	13,77	0,58	12,59	14,95	8,36	19,18
46	Brumasse 97	14,29	14,46	0,52	13,41	15,49	9,07	19,84
47	Matabi2 97	8,80	9,62	0,71	8,19	11,05	4,15	15,09
48	Riv. Noire 97	8,56	9,47	0,72	8,02	10,93	3,99	14,95

La présence de données prépondérantes (influentes) dans le modèle a été examinée à l'aide de diverses statistiques comme les *DFFITS\**, les *DFBETAS\*\**, les éléments de la diagonale de la matrice H et les résidus standardisés. Les secteurs Achille (rég. 8, U.G. 81) et Gundy (rég. 7, U.G. 74) semblaient assez influents mais, en les examinant en détail, il a été convenu de les conserver dans les analyses. Les résidus de ce modèle ont été examinés afin de vérifier s'ils respectaient les hypothèses de normalité et d'homogénéité de la variance.

L'hypothèse de normalité a été vérifiée par le test de Shapiro-Wilk ( $p = 0,9191$ ) et la droite de HENRI (*normal probability plot*) alors que le graphique des résidus en fonction des valeurs prédites ne montre aucun signe d'hétéroscédasticité (hétérogénéité).

Le modèle conçu en ajoutant les données prises dans les peuplements situés sur une pente abrupte aux données prises antérieurement est fort semblable au modèle trouvé précédemment dans ces secteurs. Les variables qui composent les deux modèles sont presque identiques ; la différence majeure entre les deux s'exprime par la présence dans le dernier d'une seule interaction entre les variables. On peut donc conclure que la pente forte affecte peu la productivité et que, par conséquent, le modèle prédictif de la productivité se comporte sensiblement de la même façon que le modèle élaboré pour les terrains dont les pentes sont plus douces.

Les valeurs observées de la productivité, les valeurs prédites par le modèle, les écarts-types de ces prédictions et les intervalles de confiance d'une prédiction par secteur et par voyage sont présentés au tableau 5. Dans les circonstances, les intervalles de confiance pour la productivité moyenne prédite par secteur sont particulièrement intéressants puisque nous cherchons à prédire la productivité des travailleurs dans un secteur donné où plusieurs voyages seront effectués dans les mêmes conditions.

L'intervalle de confiance à 95 % autour d'une valeur prédite est donné par les colonnes 5 et 6 du tableau 4. Si on reprend l'exemple du secteur Esprit-Saint, cet intervalle est de [11,68 ; 15,99]. Ceci signifie que dans ce secteur en particulier, lorsque plusieurs cycles de débardage ont lieu dans des conditions similaires, la productivité moyenne prédite par le modèle se situe 19 fois sur 20 à l'intérieur de cet intervalle.

Par contre, si on ne s'intéresse pas à la prédiction moyenne de plusieurs voyages mais plutôt à une seule prédiction, c'est-à-dire à la productivité d'un seul voyage dans un secteur, l'intervalle de confiance à 95 % autour de cette valeur est donné dans les deux dernières colonnes du tableau 4 et correspond à [8,13 ; 19,54] pour le secteur Esprit-Saint.

Comme on l'a mentionné ci-dessus, nous n'avons pas constaté de problème de linéarité entre la variable dépendante et les variables explicatives ; cependant, en se basant sur l'expertise acquise lors des analyses préliminaires, nous avons décidé d'utiliser une transformation logarithmique sur la variable de la distance moyenne de débardage en espérant améliorer la linéarité de cette relation et ainsi créer un meilleur modèle.

La nouvelle variable, le logarithme de la distance moyenne, remplace donc la distance moyenne dans le modèle. Le modèle retenu par le logiciel SAS est presque identique à celui conçu précédemment ; la seule différence s'exprime par la présence d'une nouvelle variable du volume moyen par tige marchande ( $m^3$ ) dans le peuplement avant le traitement. Elle remplace le volume moyen des arbres de plus de 20 cm de DHP.

---

\* *DFFITS* mesure le changement que l'on observe dans la valeur prédite lorsqu'on enlève l'observation.

\*\* *DFBETAS* mesure le changement que l'on observe dans l'estimation des coefficients de régression lorsqu'on enlève l'observation.

Tableau 5. Prédiction de la productivité selon le modèle avec la distance maximale

N°	Secteur	Productivité observée	Productivité prédite	Erreur-type	Limite inf. 95% sect.	Limite sup. 95% sect.	Limite inf. 95% voy.	Limite sup. 95% voy.
1	Esprit-Saint	13,46	15,51	0,91	13,68	17,35	9,73	21,30
2	Portneuf 1	11,29	14,25	0,86	12,51	16,00	8,50	20,01
3	Portneuf 2	13,02	10,07	0,91	8,23	11,90	4,28	15,85
4	St-Ubald	9,42	12,22	0,64	10,91	13,52	6,58	17,85
5	Armagh	11,78	11,01	1,49	8,00	14,02	4,75	17,27
6	Perdrix	22,02	18,58	0,92	16,71	20,44	12,78	24,37
7	Matawin	12,09	13,79	0,64	12,50	15,09	8,16	19,43
8	Mégantic	19,26	15,59	1,48	12,59	18,58	9,34	21,84
9	Lac Félix	13,25	15,98	0,68	14,61	17,36	10,33	21,64
10	Macaza	15,48	10,99	0,73	9,52	12,47	5,32	16,68
11	Bear	8,04	8,85	0,89	7,04	10,66	3,08	14,63
12	Lac Piscat.	11,84	11,15	0,52	10,09	12,21	5,57	16,74
13	Cayamant	12,56	14,81	0,54	13,72	15,61	9,22	20,41
14	Lac Cayam	6,69	7,66	1,19	5,25	10,08	1,67	13,66
15	Pinceau	10,97	13,17	0,74	11,67	14,68	7,49	18,86
16	Poisson BI1	20,71	16,30	0,93	14,44	18,17	10,51	22,10
17	Poisson BI2	13,50	12,80	0,45	11,90	13,71	7,24	18,36
18	Poisson BI3	7,87	6,12	1,12	3,86	8,38	0,19	12,05
19	Lac Senac	17,63	17,86	1,30	15,25	20,49	11,78	23,95
20	Lecointre 1	22,35	20,02	1,17	17,65	22,39	14,05	26,00
21"	Lecointre 2	16,29	19,04	1,20	16,63	21,45	13,05	25,03
22	Lecointre 3	18,94	19,83	1,19	17,44	22,23	13,85	25,82
23	Témis 1	20,11	15,47	0,65	14,17	16,78	9,83	21,11
24	Témis 2	10,12	10,46	1,04	8,36	12,56	4,58	16,33
25	Restigouche	14,83	13,40	1,15	11,08	15,72	7,44	19,35
26	Baker	17,35	19,05	1,38	16,27	21,83	12,89	25,20
27	Germain	14,58	13,10	0,82	11,46	14,75	7,38	18,83
28	Gundy	8,39	14,58	0,87	12,84	16,33	8,83	20,34
29	Aubin	10,21	13,46	0,52	12,40	14,52	7,87	19,05
30	Henri	17,89	16,31	1,19	13,91	18,70	10,32	22,29
31	Howard	18,36	14,51	0,87	12,75	16,27	8,74	20,27
32	Raquette	13,33	12,96	0,83	11,29	14,64	7,23	18,70
33	Ouelle	12,84	13,62	0,75	12,12	15,13	7,93	19,31
34	Alexandre	16,66	17,91	0,88	15,93	19,49	11,94	23,48
35	Landry	13,14	11,84	0,64	10,56	13,13	6,21	17,48
36	Mc Cracken	10,53	12,02	0,75	10,51	13,53	6,33	17,71
37	Mc Cracken2	10,85	12,66	0,68	11,29	14,04	7,01	18,32
38	Achille	5,98	11,25	1,35	8,57	13,92	5,14	17,35
39	Chartier 1	16,15	17,67	1,19	15,28	20,07	11,69	23,66
40	Chartier 2	16,56	15,28	1,60	12,04	18,51	8,91	21,65
41	Mousseau	16,46	16,04	0,73	14,56	17,52	10,35	21,72
42	Isabel 97	6,73	7,19	1,41	4,35	10,03	1,01	13,37
43	Matabi3 97	18,58	12,64	0,73	11,16	14,11	6,96	18,32
44	Matabi 1 97	9,13	8,63	0,66	6,90	10,36	2,88	14,38
45	St-Michel 97	14,05	14,46	0,61	13,23	15,69	8,84	20,08
46	Brumasse 97	14,29	13,29	0,55	12,17	14,41	7,69	18,89
47	Matabi2 97	8,80	9,70	0,71	8,27	11,14	4,03	15,37
48	Riv. Noire 97	8,56	9,93	0,70	8,51	11,35	4,26	15,60

Voici le nouveau modèle :

$$\text{Prod (min/m}^3\cdot\text{h)} = -13,547662 + 5,516960(\text{LDISTMOY}) - 7,565443(\text{VOLTIGM}) \\ + 0,873827(\text{PENPON}) - 0,188800(\text{LDISTMOY} \times \text{PENPON}) + 4,197318(\text{PREJAR}) - 3,038333(\text{NH})$$

$$R^2 = 67 \%$$

$$R^2_{aj} = 63 \%$$

où :

LDISTMOY = logarithme de la distance

VOLTIGM = volume moyen par tige marchande (m<sup>3</sup>)

PENPON = pente pondérée de terrain (%)

PREJAR = présence de préjardinage, PREJAR = 1 ; si non, PREJAR = 0

NH = cas d'un seul homme par chantier, NH = 1 ; si non, NH = 0.

Le  $R^2$  et le  $R^2_{aj}$  s'élèvent respectivement à 67 et 62,6 % ; on n'a donc pas obtenu le gain espéré ni par rapport au coefficient de détermination ni par rapport à la simplicité du modèle.

### 5.3.2 Modèle avec la distance maximale

Étant donné que la distance moyenne de débardage de tous les cycles de travail qui sont effectués dans un secteur demeure une mesure assez difficile à évaluer, il a été convenu de tenter de créer un modèle en utilisant la variable de la distance maximale par secteur, qui est plus facile à déterminer. À nouveau, les mêmes étapes d'analyse ont été reprises en remplaçant la distance moyenne par la distance maximale.

Le modèle final ( $R^2_{aj} = 59 \%$ ) est le suivant :

$$\text{Prod (min/m}^3\cdot\text{h)} = 13,849736 + 0,009768(\text{DIST\_MAX}) - 0,193635(\text{PENPON} - 5,325761 (\text{TIGE\_20}) \\ - 3,030658(\text{NH}) + 4,311098(\text{PREJAR})$$

$$R^2 = 63\%$$

$$R^2_{aj} = 59 \%$$

$$\hat{\sigma} = 2,72$$

où :

DIST\_MAX = distance maximale de débardage dans un secteur (m)

PENPON = pente pondérée par la distance (%)

TIGE\_20 = volume moyen (m<sup>3</sup>) pour les tiges ayant un DHP<sup>3</sup> à 20 cm

NH = nombre de travailleurs par équipe  
(cas où l'abattage et le débardage sont effectués par un seul homme), NH = 1 ; si non, NH = 0

PREJAR = coupe de préjardinage. PREJAR = 1 ; si non, PREJAR = 0.

Tableau 6. Comparaison entre la productivité prédite et la productivité réelle selon les secteurs

A	B	C	D	E	F	G	H
Numéro	Région	Unité gestion	Secteur	Productivité réelle	Productivité prédite	Différence %	Pourcentage trié
1	01	11	ESPRIT-SAINT	13,46	<b>15,51</b>	15,23	<b>1,36</b>
2	03	31	PORTNEUF1	11,29	<b>14,25</b>	26,22	<b>2,55</b>
3	03	31	PORTNEUF2	13,02	<b>10,07</b>	22,66	<b>2,78</b>
4	03	31	ST-UBALD	9,42	<b>12,22</b>	29,72	<b>2,92</b>
5	03	35	ARMAGH	11,78	<b>11,01</b>	6,54	<b>3,26</b>
6	03	35	PERDRIX	22,02	<b>18,58</b>	15,62	<b>4,86</b>
7	04	41	MATAWIN	12,09	<b>13,79</b>	14,06	<b>5,19</b>
8	05	51	MEGANTIC	19,26	<b>15,59</b>	19,06	<b>5,48</b>
9	06	61	LAC FELIX	13,25	<b>15,96</b>	20,45	<b>5,83</b>
10	06	61	MACAZA	15,48	<b>10,99</b>	29,01	<b>6,07</b>
11	06	62	BEAR	8,04	<b>8,85</b>	10,07	<b>6,30</b>
12	06	64	LAC PISCATOSINE	11,84	<b>11,15</b>	5,83	<b>6,54</b>
13	07	71	CAYAMANT	12,56	<b>14,81</b>	17,91	<b>6,84</b>
14	07	71	LAC CAYAMANT	6,69	<b>7,66</b>	14,50	<b>7,00</b>
15	07	71	PINCEAU	10,97	<b>13,17</b>	20,05	<b>7,73</b>
16	07	72	POISSON BLANC1	20,71	<b>16,31</b>	21,25	<b>8,83</b>
17	07	72	POISSON BLANC2	13,50	<b>12,8</b>	5,19	<b>9,41</b>
18	07	72	POISSON BLANC3	7,87	<b>6,12</b>	22,24	<b>9,64</b>
19	07	73	LAC SENACK	17,63	<b>17,87</b>	1,36	<b>9,80</b>
20	07	76	LECOINTRE1	22,35	<b>20,02</b>	10,43	<b>9,89</b>
21	07	76	LECOINTRE2	16,29	<b>19,04</b>	16,88	<b>10,07</b>
22	07	76	LECOINTRE3	18,92	<b>19,84</b>	4,86	<b>10,08</b>
23	08	81	TEMIS 1	20,11	<b>15,47</b>	23,07	<b>10,23</b>
24	08	81	TEMIS 2	10,12	<b>10,45</b>	3,26	<b>10,43</b>
25	11	111	RESTIGOUCHE	14,83	<b>13,4</b>	9,64	<b>14,06</b>
26	07	72	BAKER	17,35	<b>19,05</b>	9,80	<b>14,15</b>
27	07	71	GERMAIN	14,58	<b>13,11</b>	10,08	<b>14,50</b>
28	07	74	GUNDY	8,39	<b>14,58</b>	<b>73,78</b>	<b>15,23</b>
29	04	41	AUBIN	10,21	<b>13,46</b>	31,83	<b>15,62</b>
30	04	41	HENRI	17,89	<b>16,31</b>	8,83	<b>16,00</b>
31	06	64	HOWARD	18,36	<b>14,51</b>	20,97	<b>16,68</b>
32	06	64	RAQUETTE	13,33	<b>12,96</b>	2,78	<b>16,88</b>
33	03	35	OUELLE	12,84	<b>13,62</b>	6,07	<b>17,91</b>
34	03	31	ALEXANDRE	16,66	<b>17,71</b>	6,30	<b>19,06</b>
35	01	11	LANDRY	13,14	<b>11,84</b>	9,89	<b>20,05</b>
36	08	81	MCCRACKEN	10,53	<b>12,02</b>	14,15	<b>20,45</b>
37	08	81	MCCRACKEN2	10,85	<b>12,66</b>	16,68	<b>20,97</b>
38	08	81	ACHILLE	5,98	<b>11,25</b>	<b>88,13</b>	<b>21,25</b>
39	05	51	CHARTIER1	16,15	<b>17,67</b>	9,41	<b>22,24</b>
40	05	51	CHARTIER2	16,56	<b>15,28</b>	7,73	<b>22,66</b>
41	06	64	MOUSSEAU	16,46	<b>16,04</b>	2,55	<b>23,07</b>
42	7	72	ISABEL_97	6,73	<b>7,19</b>	6,84	<b>26,22</b>
43	6	64	MATABI3_97	18,58	<b>12,64</b>	31,97	<b>29,01</b>
44	6	64	MATABI1_97	9,13	<b>8,63</b>	5,48	<b>29,72</b>
45	6	62	MT. ST-MICHEL_97	14,05	<b>14,46</b>	2,92	<b>31,83</b>
46	6	61	BRUMASSE_97	14,29	<b>13,29</b>	7,00	<b>31,97</b>
47	6	64	MATABI2_97	8,80	<b>9,7</b>	10,23	73,78
48	7	71	RIV. NOIRE_97	8,56	<b>9,93</b>	16,00	88,13
				moy. 13,60	moy. 13,60	<b>moy.%16,34</b>	<b>(46)13,53</b>

Le principal changement apporté au modèle est l'absence d'interaction. Ce modèle ne montre aucun signe de multicollinéarité et les hypothèses de base sont toutes respectées. Les valeurs prédites par le modèle ainsi que les intervalles de confiance à 95 % pour une prédiction et pour une moyenne de prédictions sont présentés au tableau 5.

Le tableau 6 présente une comparaison de la productivité réelle par secteur avec la productivité prédite. La valeur absolue du pourcentage se retrouve dans la colonne G. Dans deux secteurs (Gundy et Achille), la prédiction est inexacte à 73,78 et 88,13 % et l'écart moyen de la prédiction pour tous les blocs d'études s'élève à 16,34 %. Même si nous n'avons pas trouvé une explication valable pour considérer ces données comme aberrantes, la colonne H montre que l'écart diminue à 13,53 % après l'élimination de ces deux valeurs. Pour compléter l'information sur l'influence des données provenant des secteurs Gundy et Achille sur les résultats finaux, un modèle a été créé sur la base de 46 secteurs et son coefficient de détermination a augmenté à  $R^2 = 69\%$  et  $R^2_{aj} = 65\%$ . Le nouveau modèle ne sera pas présenté ici car on ne peut éliminer définitivement des données prises dans ces secteurs.

Le graphique de la distance moyenne en fonction de la distance maximale (figure 14) montre que ces deux variables sont très liées ( $R^2 = 90\%$ ) ; le modèle de prédiction est semblable en présence de l'une ou l'autre de ces variables.

Aussi, la figure 10 représente-t-elle bien la relation linéaire entre la distance maximale et la productivité. Afin de s'assurer que la distribution de la distance parcourue pour chaque voyage est assez symétrique dans un même secteur et que la distance maximale représente bien cette distribution, la moyenne et la médiane de cette variable ont été comparées (figure 15).

### 5.3.3 Modèle avec toutes les variables mesurées

Finalement, un modèle a été créé à partir de toutes les variables mesurées y compris celles qui n'étaient pas mesurables avant le début de l'expérience. Le modèle, présenté ci-après, contient deux interactions qui sont la « distance maximale multipliée par la vitesse moyenne par voyage » et le « volume par tige de 20 cm et plus de DHP multiplié par le volume moyen par voyage ».

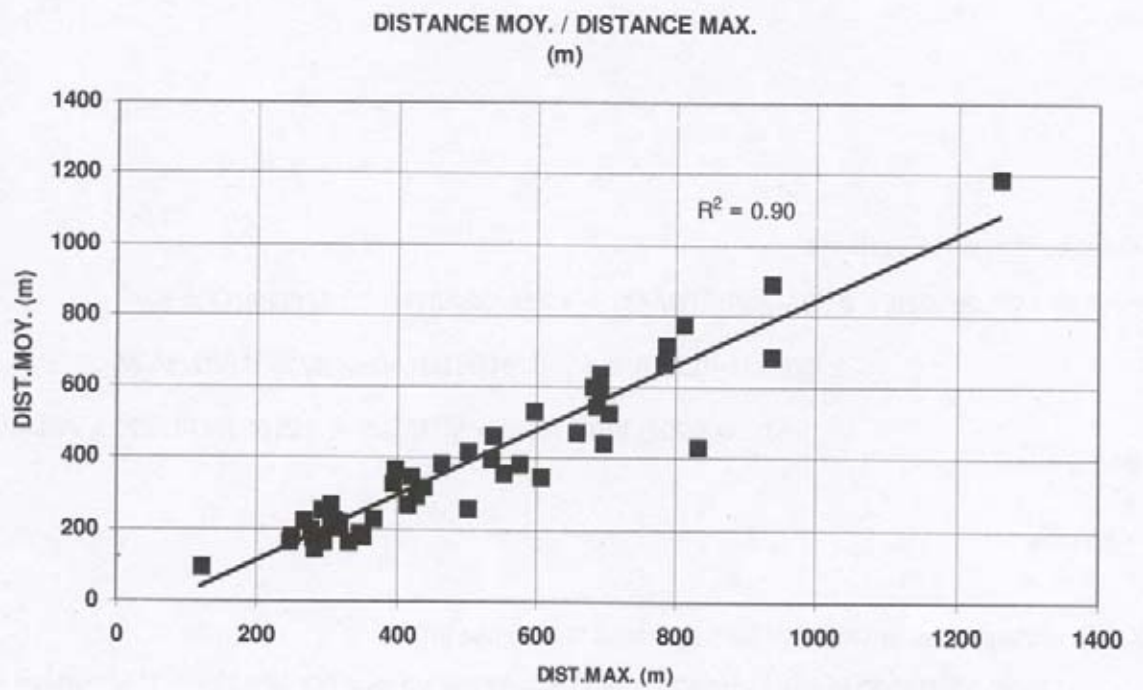


Figure 14. Distance moyenne en fonction de la distance maximale de débardage. La distance maximale de débardage est utilisée pour créer le modèle de prédiction de la productivité car les deux variables ont une forte corrélation.

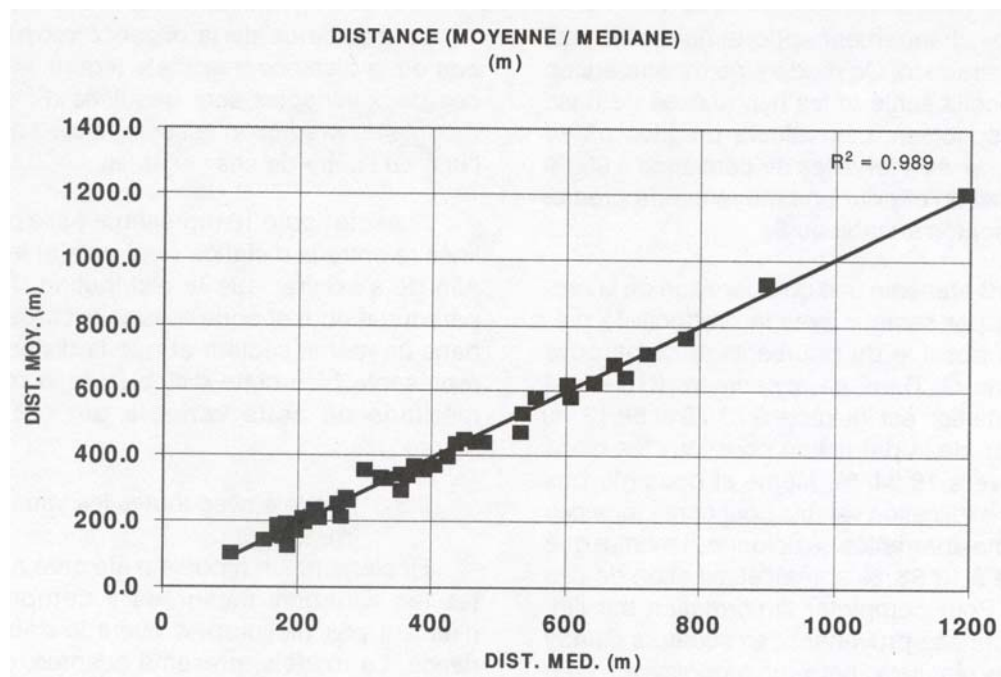


Figure 15. Distance moyenne de débardage en fonction de la médiane. Le  $R^2$  de 99 % indique que les mesures sont relativement symétriques autour de la moyenne.

Modèle avec toutes les variables :

$$\begin{aligned} \text{Prod (min/m}^3\text{.h)} = & 22,261930 + 0,020486(\text{DISTMAX}) + 4,789102(\text{NH1}) - 20,278629(\text{TIGE20}) \\ & - 2,009554(\text{REMU}) + 0,020781 (\text{VITMOV}) - 4,879551 (\text{VOLMOV}) \\ & - 0,000099218(\text{DISTMAX} \times \text{VITMOV}) + 3,250032(\text{TIGE20} \times \text{VOLMOV}) \end{aligned}$$

$$R^2 = 84 \%$$

$$R^2_{\text{aj}} = 81 \%$$

$$\hat{\sigma} = 1,83 \text{ min/m}^3$$

où :

DISTMAX = distance maximale de débardage dans un secteur (m)

NH = cas où l'abattage et le débardage sont effectués par un seul homme, NH = 1 ; si non NH = 0

TIGE20 = volume moyen par tige <sup>3</sup> 20 cm au DHP (m<sup>3</sup>)

REMU = rémunération à l'heure (présence) REMU = 1 ; si non, REMU = 0

VITMOV = vitesse de déplacement en charge (m/min)

VOLMOV = volume moyen du bois par voyage (m<sup>3</sup>).

Le modèle, conçu avec toutes les variables mesurées avant et après le traitement, permet de tirer quelques conclusions :

- le  $R^2$  ajusté s'élevant à 81 % indique que la prise des données a été réalisée minutieusement et avec une grande précision car l'étude est réalisée dans le milieu naturel où le chercheur ne peut pas manipuler ou changer l'environnement ;
- la méthode de prise des données est bien choisie pour les conditions de terrain rencontrées ;
- la pente de terrain n'influence pas la productivité d'une façon aussi significative qu'on le croit habituellement (cette variable n'est pas retenue dans le modèle) ;
- les résultats (modèle) sont comparables avec ceux d'autres chercheurs.

Il y a donc trois modèles qui pourraient servir à prédire la productivité des opérations de coupe de jardinage et de préjardinage, mais nous sommes convaincus que le modèle avec la distance maximale est supérieur aux autres pour les applications pratiques.

Il possède les avantages suivants : 1) il contient cinq variables, mais seulement trois à évaluer sur le terrain ; 2) il ne contient aucune transformation compliquée des données et il est donc facile à utiliser ; 3) le  $R^2$  de 63 % est très acceptable et de plus, pour un  $R^2$  comparable, il est plus simple à alimenter que les autres.

#### 5.4 Application pratique du modèle

En général, un modèle est rarement parfait. Lors de la formulation du modèle, plusieurs difficultés peuvent se présenter. Souvent, il est impossible de quantifier certains facteurs influençant la productivité (par exemple : la force, la résistance à la fatigue et l'habileté des travailleurs) ou d'identifier certaines interactions entre les variables. Parfois même, il est impossible d'identifier certaines variables.

Lors de la conceptualisation du modèle, nous avons tenté de respecter le principe fondamental de la modélisation, c'est-à-dire capter l'essence du problème en gardant le modèle à sa plus simple expression.

Habituellement la cueillette des données est une tâche très dispendieuse, elle peut également demander beaucoup de temps. Pour cette raison, le modèle suggéré pour les applications pratiques de prédiction de la productivité ne contient qu'une variable, le volume des tiges de la classe 20 cm et plus de DHP, dont la valeur ne peut être évaluée que sur le terrain. Les autres variables, la distance et la pente, peuvent être quantifiées à l'aide des cartes forestières.

Nous croyons que l'implantation des solutions proposées par le modèle sera acceptée sans difficulté par les utilisateurs de la forêt car ils ont été impliqués dans la recherche d'une façon active et continue du début à la fin du projet (choix des secteurs et des équipes). L'établissement des taux variables de redevance et la création d'une tarification équitable augmenteront certainement la rentabilité de ces traitements chez plusieurs intervenants et encourageront l'application du traitement sur l'ensemble du territoire.

Finalement, il faut mentionner que le modèle est conçu sur la base des données provenant de la zone entière de forêts feuillues ; à notre avis, cet ensemble d'informations englobe une grande majorité des conditions et des facteurs qui peuvent affecter la productivité des travailleurs forestiers. En conséquence, il semble évident que l'on peut extrapoler les résultats de cette recherche partout au Québec sur des terrains semblables (le modèle n'est pas validé pour les secteurs non accessibles, ni pour la forêt boréale, ni pour certaines conditions très spécifiques).



---

## Chapitre six

### Discussion

La réalisation du projet de 1993 à 1996 s'est déroulée strictement selon le plan élaboré au départ. Nous avons mis au point une méthode scientifique de prise de données grâce à l'expérience et aux antécédents dans ce domaine et à l'expertise acquise lors de l'essai préliminaire pratique réalisé à l'automne 1992. Un excellent programme informatique de saisie de données a ensuite été mis au point en collaboration avec les spécialistes en informatique de la Direction de la recherche forestière du MRN.

En ce qui concerne la campagne de mesurage, nous avons réalisé les études de temps dans différentes régions du Québec et nous avons reçu une collaboration exemplaire de la part du personnel des unités de gestion et des contractants.

Quelques modifications ont été apportées à la méthode à la suite de l'essai pratique. Entre autres, l'établissement des dispositifs expérimentaux avec des limites fixes prévu initialement a été abandonné car la préparation des sentiers de débardage pour nous rendre uniquement dans les blocs expérimentaux nuisait au déroulement normal des opérations.

Le traitement des données recueillies et la production des premiers résultats ont été réalisés à l'hiver 1994 ; un modèle préliminaire de coupe de

jardinage a été élaboré, mais il était basé sur les données provenant de sept secteurs seulement. Ce modèle renferme les trois variables qui influencent le plus la productivité de la récolte du bois dans le peuplement feuillu, c'est-à-dire la distance de débardage dans un sens, la pente du terrain et le volume moyen par arbre marchand ( $dhp > 9$  cm) avant la coupe.

Les saisons 1994 et 1995 nous ont apporté des observations de 34 secteurs additionnels. Le traitement de cet ensemble de données et les analyses statistiques ont permis d'élaborer un modèle de productivité des coupes de jardinage et de préjardinage. Les mêmes variables ont été retenues, mais le modèle a pris une autre allure.

Les analyses statistiques ont démontré également que la relation entre la productivité et la pente n'est pas celle que l'on imagine habituellement. Notamment, elle augmente avec l'augmentation de la valeur de la pente ; cela signifie que la productivité du débardage sur une pente égale à 5 % est inférieure à celle réalisée sur une pente de 15 %. Pour vérifier ces résultats inattendus, des mesures additionnelles ont été réalisées, à l'automne 1996, sur des pentes particulièrement abruptes. Ces nouvelles données ont confirmé les résultats précédents.



---

## Conclusion

La coupe de jardinage est une opération complexe, qui varie selon l'état et la composition du peuplement. Elle englobe plusieurs champs d'activité et elle est économiquement importante. Notre projet portait uniquement sur l'évaluation de la productivité de la récolte du bois ; plus précisément, on cherchait une relation entre la productivité et les conditions où le traitement était appliqué.

Cette étude a fournie une somme considérable d'informations sur la coupe sélective, que l'on pourra utiliser pour planifier les travaux et établir les droits de coupe variables. Certaines constatations peuvent servir comme information de base aux spécialistes en récolte de bois. À notre connaissance, cette étude est la plus actuelle et, surtout, elle est réaliste. La cueillette des données a été réalisée lors des opérations courantes sans l'influence des chercheurs sur leur déroulement.

On n'est certainement pas en mesure de donner des réponses à toutes les questions concernant les traitements des peuplements feuillus. Pour cette raison, il est important d'observer l'évolution de la technologie et des méthodes de travail, d'entreprendre de nouveaux travaux de recherche si nécessaire, d'ajouter rapidement toute nouvelle information aux données existantes et d'ajuster les résultats finaux (modèle) en conséquence.

L'analyse des données effectuée au début de l'année 1997 a permis d'élaborer un modèle de prévision de la productivité des coupes de jardinage et de préjardinage. La productivité de ces deux traitements s'explique principalement par la distance maximale de débardage dans un secteur, la pente du terrain pondérée par la distance et le volume moyen par arbre de 20 cm et plus de DHP avant le traitement. Le modèle permet d'expliquer 63 % de la variation totale de la productivité ( $R^2 = 63\%$ ).



---

## Bibliographie

- BAILEY, E., 1989. *Worker productivity in merchantable thinning, shelterwood and remnant removal operations*. Nova Scotia, Dept. Lands and Forests. For. Res. Rep. No. 16. 8 p.
- BAILEY, E., 1991. *Worker productivity in remnant removal operations – Part II*. Nova Scotia, Dept. Nat. Ress., For. Branch. For. Res. Rep. No. 32. 8 p.
- BAILEY, E., 1993. *Worker productivity in commercial thinnings – Part III*. Nova Scotia, Dept. Nat. Ress., For. Branch. For. Res. Rep. No. 44. 16 p.
- BROCK, S.M., K.D. JONES et G.W. MILLER, 1986. *Felling and skidding costs associated with thinning a commercial appalachian hardwood stand in Northern WestVirginia*. North. J. Appl. For. : 159-163.
- DELÉMONT, D.R., 1970. *Étude comparative des prix de revient d'une récolte en forêt régulière et en forêt jardinée*. J. for. suisse 4 : 215-238.
- FRAUENHOLZ, O., 1981. *Work studies in forestry*. ONU alim. agric. (FAO), Vienne. 28 p.
- JANĚO, J. a kolektiv, 1988. *Technika a technológia v tazbe dreva*. Vydala Priroda, Bratislava. 204 p.
- LINDQUIST, B., 1948. *Genetics in Swedish forestry practice*. Stockholm, Svenska Skogsvårdsföreningens Förlag. 173 p.
- MAJCEN, Z., 1994. *Historique des coupes de jardinage dans les forêts inéquiennes au Québec*. Rev. for. fr. XLVI(4) : 375-384.
- MAJCEN, Z., Y. RICHARD, M. MÉNARD et Y. GRENIER, 1990. *Choix des tiges à marquer pour le jardinage d'érablières inéquiennes. Guide technique*. Québec, min. de l'Énergie et des Ress., Dir. de la rech. et du dév. Mémoire n° 96. 96 p.

- MARTEL, A. 1979. *Techniques et applications de la recherche opérationnelle*. Gaëtan Morin éditeur, Chicoutimi : 26-31.
- MILLER, G.W., 1984. *Costs of reducing sapling basal area in thinned cherry - maple stands in West Virginia*. U.S.D.A. Forest Service, Northeastern For. Exp. Stat., Upper Darby, Penn. Research Paper NE-540. 6 p.
- MIYATA, E.S., H. STEINHILB et M. WINSAUER S., A. 1981. *Using work sampling to analyze logging operations*. U.S.D.A. Forest Serv., North Cent. For. Exp. Stat., St. Paul, Minnesota. 8 p.
- MELLGREN, P.G., 1980. *Classification du terrain pour la foresterie du Canada*. Ass. can. prod. pâtes et papiers, Montréal. 13 p.
- PERRON, J.-Y., 1983. *Tarif de cubage général. Volume marchand brut*. Min. de l'Énergie et des Ress., Serv. de l'inv. for. 52 p.
- QUÉBEC, MIN. DES FORÊTS, 1992. *Méthode de mesurage des bois. Instruction*. Gouv. du Québec, min. des Forêts, S. du mesurage et de la facturation : 5-16.
- RICHARDS F.J., 1959. *A flexible growth function for empirical use*. J. Exp. Bot. 10(29) : 290-300.
- RONDEUX J., 1993. *La mesure des arbres et des peuplements forestiers*. Presses agronomiques de Gembloux, Belgique. 521 p.
- TUFTS, R.A., B.J. STOKES et B.L. LANFORD, 1988. *Productivity of grapple skidders in southern pine*. For. Prod. J. 38(9) : 24-30.
- TUFTS, R.A. et B.J. STOKES, 1986. *Productivity of rubber-tired, grapple skidders performing gate delimiting*. Proceedings, Society of American Foresters Annual Meeting, Birmingham, Alabama, octobre : 348-352.
- WOLEK, J., 1992. *Vademecum statystyki dla biologów*. Académie des Sciences de Pologne, Cracovie. 137 p.

## Annexe A - Valeurs des variables

Tableau 7. Valeurs des variables selon les secteurs

Numéro	Coordonnées			N. de voyages selon le secteur	N. d'hommes par équipe
	Région	Unité de gestion	Secteur		
1	01	11	ESPRIT SAINT	15	3
2	03	31	PORTNEUF 1	5	2
3	03	31	PORTNEUF 2	8	2
4	03	31	ST UBALD	5	2
5	03	35	ARMAGH	11	1
6	03	35	PERDRIX	5	2
7	04	41	MATAWIN	12	2
8	05	51	MÉGANTIC	5	1
9	06	61	LAC FELIX	5	2
10	06	61	MACAZA	5	2
11	06	62	BEAR	15	2
12	06	64	LAC PISCATOSINE	9	2
13	07	71	CAYAMANT	5	2
14	07	71	LAC CAYAMANT	10	2
15	07	71	PINCEAU	8	2
16	07	72	POISSON BLANC1	7	2
17	07	72	POISSON BLANC2	9	2
18	07	72	POISSON BLANC3	13	2
19	07	73	LAC SENACK	9	2
20	07	76	LECOINTRE1	6	2
21	07	76	LECOINTRE2	3	2
22	07	76	LECOINTRE3	3	2
23	08	81	TEMIS 1	5	2
24	08	81	TEMIS 2	4	2
25	11	111	RESTIGOUCHE	17	2
26	07	72	BAKER	6	2
27	07	71	GERMAIN	8	2
28	07	74	GUNDY	8	2
29	04	41	AUBIN	10	2
30	04	41	HENRI	10	2
31	06	64	HOWARD	11	3
32	06	64	RAQUETTE	6	2
33	03	35	OUELLE	6	2
34	03	31	ALEXANDRE	6	2
35	01	11	LANDRY	13	2
36	08	81	MCCRACKEN	6	2
37	08	81	MCCRACKEN2	8	2
38	08	81	ACHILLE	6	1
39	05	51	CHARTIER1	4	2
40	05	51	CHARTIER2	4	1
41	06	64	MOUSSEAU	10	2
42	07	72	ISABEL_97	6	1
43	06	64	MATABI3_97	11	2
44	06	64	MATABI1_97	10	2
45	06	62	MT. ST-MICHEL_97	8	2
46	06	61	BRUMASSE_97	6	2
47	06	64	MATABI2_97	9	2
48	07	71	RIV. NOIRE_97	8	2

Tableau 7 (suite). Valeurs des variables selon les secteurs

Numéro	Débusqueuse (équipement)			Temps (min et min/100)			
	marque	puissance (HP, kW)		vitesse (km/h)	prod.	improd.	total
1	INTERNATIONAL	130	97	39,89	25,73	5,64	31,37
2	T240A "113"	113	84	37,24	37,46	0,59	38,10
3	T240A "113"	113	84	49,21	41,37	1,67	43,04
4	T450A "177"	177	132	53,41	23,72	3,35	27,08
5	T230D "90"	90	67	38,21	26,78	1,93	28,70
6	TREE FARM "70"	70	52	50,72	42,59	3,03	45,62
7	T230D "90"	90	67	61,30	28,90	2,21	31,11
8	T230D "90"	90	67	43,24	72,70	7,79	80,49
9	T450A "177"	177	132	43,16	54,69	6,22	60,91
10	T240E "125"	125	93	42,42	35,54	4,72	40,26
11	T380 "150"	150	112	46,10	20,06	4,08	24,14
12	T240 "113"	113	84	46,45	24,24	2,31	26,59
13	HEWITT, CATERPILLAR 95	95	71	63,08	36,55	1,36	37,91
14	T240E "113"	113	84	50,53	17,85	1,45	19,30
15	TREE FARM 125	125	93	47,44	19,98	0,63	20,61
16	T240A "113"	113	84	79,71	39,32	7,49	46,81
17	PETITE CLARK	70	52	58,46	25,25	4,55	29,82
18	RANGER 664B	80	60	47,93	13,91	4,67	18,58
19	T350 132	131	98	53,54	37,16	3,49	40,65
20	JOHN DEERE 100	101	75	34,41	26,79	9,05	35,84
21	T350 132	131	98	46,44	34,32	4,66	38,98
22	T350 132	131	98	57,28	36,54	6,51	43,04
23	JOHN DEERE 100	101	75	47,19	38,52	5,26	43,79
24	CATERPILLAR 518 145	145	108	45,24	24,18	2,03	26,21
25	TREE FARM "80"	80	60	44,70	20,85	1,32	22,17
26	T 240 <sup>E</sup>	125	93	101,05	43,34	2,05	45,39
27	T 380D TURBO	160	119	27,86	33,03	2,30	35,53
28	JOHN DEERE 640D	130	97	43,94	22,86	2,89	25,76
29	T 240A 1986	113	84	26,77	29,45	9,36	38,81
30	CATERPILLAR 518	145	108	31,12	32,95	4,20	37,15
31	T 230D	90	67	40,19	22,13	4,10	26,23
32	T 240E ALLONGE	125	93	54,97	45,63	3,85	49,48
33	T 230D	90	67	35,16	18,63	3,66	22,29
34	JOHN DEERE 640D	130	97	31,25	47,10	2,80	49,90
35	T 207D 1960	70	52	51,38	30,58	5,45	36,03
36	JOHN DEERE 640D	130	97	48,07	40,86	6,18	47,04
37	RANGER 664	80	60	39,23	19,10	2,73	21,82
38	RANGER 666	80	60	50,11	33,07	0,70	33,77
39	TREE FARMER (C6D)	80	60	27,37	21,09	6,68	27,76
40	TREE FARMER (C6D)	80	60	45,46	24,98	8,07	33,04
41	TREE FARMER (C6D)	80	60	48,68	33,21	3,56	36,77
42	JOHN DEERE 640D	130	97	23,91	31,08	1,13	32,21
43	T,230D	90	67	38,10	24,14	1,59	25,73
44	T,240 <sup>E</sup>	125	93	46,92	22,38	1,61	23,99
45	JOHN DEERE 640D	130	97	39,73	36,35	4,02	40,40
46	TREEFARMER (C-5)	80	60	24,85	29,90	2,08	32,01
47	CATERPILLAR 518	145	108	33,05	23,29	12,22	35,51
48	JOHN DEERE 640D ALL.	130	97	21,24	20,80	7,55	28,36

Tableau 7 (suite). Valeurs des variables selon les secteurs

Numéro	Distance de débarbage (m)					Pente (%)		
	minimum	maximum	Ln dist. max.	moyenne	médiane	pondérée	absolue	dominante
1	50	330	5,799	170	190,0	-8,33	8,33	-8,33
2	187	696	6,545	446	456,0	14,10	14,61	16,62
3	307	551	6,312	363	345,0	20,58	21,15	22,24
4	206	290	5,670	258	259,0	3,72	4,19	8,16
5	110	245	5,501	171	160,0	-8,09	8,09	-8,85
6	572	679	6,521	605	582,0	-5,31	5,72	-7,71
7	135	605	6,405	352	297,5	10,71	11,50	12,89
8	497	782	6,662	672	687,0	4,50	6,57	9,81
9	750	810	6,697	778	767,0	7,00	7,00	7,00
10	375	536	6,284	465	445,0	10,83	12,18	15,64
11	50	344	5,841	196	175,0	17,67	17,67	17,67
12	300	420	6,040	354	350,0	9,44	9,44	9,44
13	484	690	6,537	600	625,0	6,47	7,73	8,02
14	75	365	5,900	231	212,5	12,80	12,80	12,80
15	86	247	5,509	182	195,5	-2,42	7,61	-11,03
16	836	934	6,839	896	934,0	7,49	8,55	14,48
17	344	463	6,138	386	369,0	5,17	5,82	10,60
18	60	120	4,787	100	105,0	17,31	17,31	17,31
19	500	935	6,841	688	645,0	-2,12	2,12	-2,12
20	60	500	6,215	264	219,5	-0,07	3,62	10,68
21	390	685	6,529	553	585,0	10,94	11,88	13,46
22	606	690	6,537	641	627,0	6,20	6,78	11,33
23	362	500	6,215	422	402,0	-0,19	4,40	-6,39
24	230	305	5,720	271	275,0	0,92	0,92	5,00
25	117	314	5,749	219	218,0	-8,68	9,32	-10,71
26	1116	1260	7,139	1191	1207,5	11,10	11,19	11,15
27	156	309	5,733	229	225,0	3,76	8,31	6,04
28	76	276	5,620	206	213,5	-5,42	7,43	-6,43
29	143	427	6,057	297	362,0	3,87	8,19	5,87
30	114	414	6,026	274	267,5	10,92	14,50	12,71
31	128	266	5,583	226	240,0	-6,67	8,51	-7,59
32	683	785	6,666	720	720,0	14,04	15,55	14,79
33	70	294	5,684	171	160,5	-0,58	4,00	-2,29
34	119	830	6,721	435	442,5	5,57	10,00	7,79
35	245	576	6,356	387	361,0	14,45	14,45	14,45
36	484	595	6,389	535	537,0	8,71	11,34	10,03
37	96	316	5,756	223	241,0	-1,58	6,49	-4,04
38	382	657	6,488	476	445,5	11,52	12,80	12,16
39	129	350	5,858	185	130,0	4,85	5,00	4,93
40	125	305	5,720	208	201,0	-0,69	3,81	-2,29
41	290	535	6,282	403	375,0	0,37	8,16	4,26
42	75	278	5,628	177	157,5	13,33	15,67	17,00
43	236	436	6,078	323	338,0	9,81	14,82	15,00
44	265	393	5,974	331	335,5	17,80	20,10	21,00
45	372	703	6,555	531	478,0	10,38	15,25	17,00
46	345	395	5,979	372	372,5	3,50	12,33	14,00
47	75	318	5,762	208	201,0	8,33	15,33	15,00
48	75	280	5,635	150	146,5	6,25	9,63	7,00

Tableau 7 (suite). Valeurs des variables selon les secteurs

N°	N. billes/voy.	Volume (m <sup>3</sup> )		Surf. terr. (m <sup>2</sup> /ha)		Qualité des arbres (%)			
		billes/voyage	voyages	avant	coupée	Qualité 1	Qualité 2	Qualité 3	Qualité 4
1	12	0,3381	6,037	29,7	12,0	49,18	32,46	5,25	13,11
2	12	0,4970	6,930	28,0	11,4	44,00	25,00	8,00	23,00
3	11	0,6439	6,611	26,5	6,5	44,00	29,00	12,00	15,00
4	6	0,8433	5,505	30,0	13,1	26,00	9,00	12,00	53,00
5	6	0,1585	2,534	25,3	7,3	45,00	7,00	11,00	37,00
6	10	0,4645	3,904	24,0	7,2	27,00	30,00	6,00	37,00
7	10	0,7007	4,894	25,8	8,6	59,00	24,00	6,00	11,00
8	10	0,3783	3,794	25,6	9,7	40,00	22,00	9,00	29,00
9	11	0,8274	6,693	27,2	9,6	46,38	14,49	17,39	21,74
10	5	0,7516	4,865	30,1	11,8	50,00	6,00	21,00	23,00
11	6	0,6583	4,820	23,3	6,0	23,31	26,32	17,29	33,08
12	9	0,3060	4,922	27,0	8,8	57,78	17,78	5,55	18,89
13	10	0,4393	5,894	32,0	-	55,00	10,00	5,00	30,00
14	4	1,6820	5,430	26,5	7,5	40,35	21,05	15,79	22,81
15	5	0,3862	3,903	23,3	8,8	39,00	6,00	15,00	40,00
16	4	0,9316	4,285	23,0	8,3	43,00	20,00	9,00	28,00
17	5	0,5456	4,159	24,1	9,6	58,00	4,00	28,00	10,00
18	3	2,4201	3,603	24,2	8,4	36,51	12,70	23,81	26,98
19	4	1,0435	4,176	28,0	10,0	43,55	12,90	14,52	29,03
20	5	0,3785	2,673	26,1	8,1	48,00	12,00	11,00	29,00
21	8	0,5722	4,241	23,5	7,0	34,00	16,00	19,00	31,00
22	6	0,9014	4,299	23,0	3,0	43,00	10,00	23,00	24,00
23	10	0,8414	4,497	26,5	10,6	48,00	14,00	10,00	28,00
24	6	0,6087	5,133	22,6	8,2	61,00	15,00	11,00	13,00
25	3	0,8002	2,802	30,9	11,1	49,00	19,00	4,00	28,00
26	8	0,6933	5,315	27,0	12,0	31,00	1,00	0,00	68,00
27	7	0,6528	4,733	27,5	9,0	70,00	1,00	8,00	21,00
28	11	0,5195	5,585	31,0	13,0	61,00	7,00	14,00	18,00
29	7	0,8817	5,907	28,0	11,0	41,00	10,00	11,00	38,00
30	8	0,5103	3,827	26,0	7,0	66,00	0,00	18,00	16,00
31	8	0,4721	3,777	32,0	10,0	51,00	7,00	20,00	22,00
32	8	0,8840	6,925	30,0	8,0	73,00	2,00	8,00	17,00
33	13	0,2300	2,951	33,0	16,0	35,00	10,00	8,00	47,00
34	14	0,4110	5,891	26,0	9,0	80,00	13,00	2,00	5,00
35	6	0,7898	4,678	27,0	3,0	80,00	3,00	10,00	7,00
36	8	0,9909	7,927	32,0	12,0	58,00	2,00	18,00	22,00
37	4	0,9330	3,732	28,0	9,0	65,00	1,00	18,00	16,00
38	8	0,6986	5,705	28,5	7,0	72,00	0,00	18,00	10,00
39	7	0,4516	3,161	22,0	6,0	42,00	18,00	18,00	22,00
40	9	0,1704	1,534	22,0	6,0	42,00	18,00	18,00	22,00
41	7	0,5818	4,189	27,0	8,0	43,00	12,00	6,00	39,00
42	8	0,5819	4,792	29,5	11,7	51,00	15,00	5,00	29,00
43	6	0,4701	2,739	30,1	9,0	26,00	16,00	22,00	36,00
44	7	0,7851	5,297	28,6	10,0	47,00	10,00	12,00	31,00
45	10	0,5431	5,303	23,6	9,9	48,00	12,00	5,00	35,00
46	6	0,8037	4,252	30,5	16,2	51,00	10,00	7,00	32,00
47	6	0,9882	5,148	24,7	6,2	31,00	11,00	17,00	41,00
48	6	1,3398	4,922	30,0	13,8	47,00	7,00	13,00	33,00

Tableau 7 (fin). Valeurs des variables selon les secteurs

Numéro	Volume des arbres (m <sup>3</sup> )			Volume (m <sup>3</sup> /ha)	Productivité (min/m <sup>3</sup> .h)	
	moyen	DHP > 20 cm	martelé		moy./voy.	d'un secteur
1	0,3454	0,5955	0,7230	263,2900	13,46	12,79
2	0,4342	0,6879	0,6196	246,9462	11,29	10,81
3	0,5915	0,9723	0,9823	251,3862	13,02	12,51
4	0,4983	0,7031	1,3541	267,8562	9,42	8,62
5	0,3723	0,7079	0,6821	232,7100	11,78	10,57
6	0,3370	0,5504	0,6464	176,9437	22,02	21,82
7	0,4178	0,7304	0,9415	227,1706	12,09	11,81
8	0,2195	0,3749	0,3603	141,3212	19,26	19,16
9	0,5966	0,8301	1,5111	205,8300	13,25	16,34
10	0,7016	1,1251	1,9972	271,8643	15,48	14,61
11	0,6046	0,9265	2,0696	223,3580	8,04	8,32
12	0,5394	0,9335	1,2395	242,7250	11,84	9,85
13	0,5462	0,8493	1,2463	341,3600	12,56	12,40
14	0,9246	1,3656	1,8465	329,3130	6,69	6,57
15	0,3970	0,6679	1,4509	193,5968	10,97	10,24
16	0,5218	0,9798	1,9494	212,0019	20,71	18,35
17	0,5727	0,8576	1,4289	329,3175	13,50	12,14
18	0,6776	1,0422	2,3103	213,4400	7,87	7,72
19	0,6717	1,0380	1,7086	260,2750	17,63	17,80
20	0,2838	0,5698	0,5744	196,1475	22,35	20,05
21	0,3916	0,6934	0,7600	198,2668	16,29	16,19
22	0,4660	0,7257	1,5958	171,8563	18,92	17,00
23	0,3467	0,6192	1,1548	238,3593	20,11	17,13
24	0,4722	1,1627	1,9751	156,4150	10,12	9,42
25	0,6566	0,9760	1,2175	283,1544	14,83	14,89
26	0,3887	0,9314	1,1086	213,8062	17,35	16,34
27	0,2447	0,5699	0,8030	235,5125	14,58	13,96
28	0,3686	0,5653	0,7350	184,2950	8,39	8,18
29	0,5378	0,7156	0,8757	245,3812	10,21	9,96
30	0,4250	0,7100	1,1423	185,9187	17,89	17,22
31	0,3878	0,6069	0,5201	247,2063	18,36	17,58
32	0,6981	1,0954	1,4412	261,7812	13,33	13,18
33	0,3412	0,6029	0,5008	234,6000	12,84	12,62
34	0,2546	0,5951	0,5508	155,9125	16,66	15,98
35	0,6093	0,9079	1,2466	278,1125	13,14	13,08
36	0,7191	1,1176	1,4144	319,0875	10,53	10,30
37	0,4448	0,8593	1,7936	233,5437	10,85	10,24
38	0,4430	0,7059	0,8175	227,0312	5,98	5,79
39	0,2131	0,5570	0,4220	170,5075	16,15	13,34
40	0,2131	0,5570	0,4220	170,5075	16,56	16,27
41	0,4072	0,5826	0,8275	213,7631	16,46	15,86
42	0,3137	0,7070	1,0668	215,6888	6,73	6,49
43	0,4722	0,6703	1,0785	228,2269	18,58	17,63
44	0,7921	1,0534	0,9828	297,0546	9,13	8,45
45	0,5416	0,7969	1,1191	253,8717	14,05	13,71
46	0,3878	0,7023	1,1922	213,2802	14,29	14,06
47	0,9418	1,0590	1,3467	294,3213	8,80	9,05
48	0,6278	1,0222	1,2080	298,2275	8,56	8,45



## Annexe B - Relations entre la productivité et les variables mesurées sur le terrain mais qui n'ont pas été retenues dans le modèle

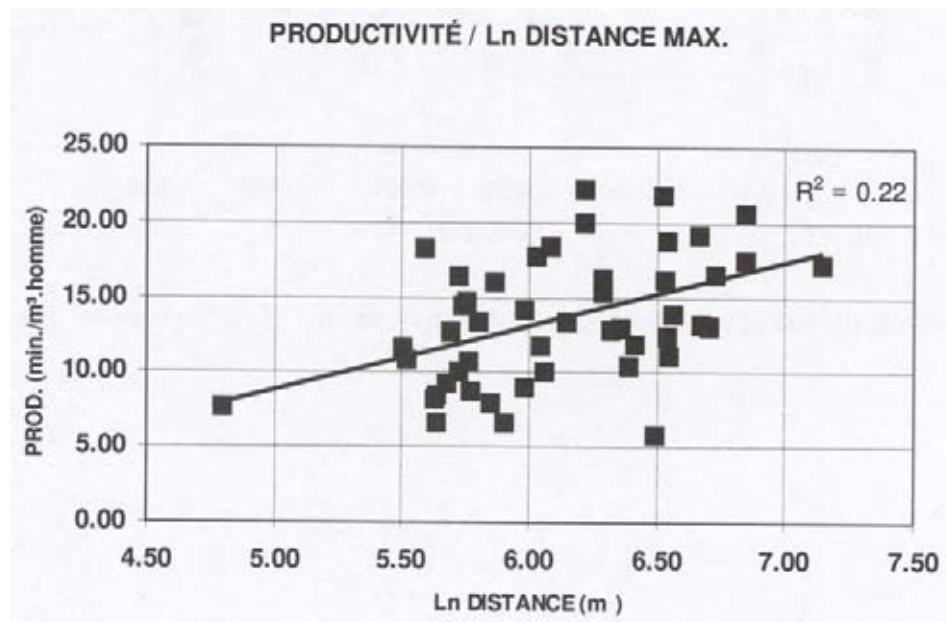


Figure 16. Productivité de la coupe de jardinage en fonction du logarithme de la distance maximale de débardage. Le coefficient de détermination ( $R^2 = 22\%$ ) de cette relation est plus élevé que celui entre la productivité et la distance maximale ( $R^2 = 20\%$ ) mais, en présence des autres variables du modèle, il devient moins important.

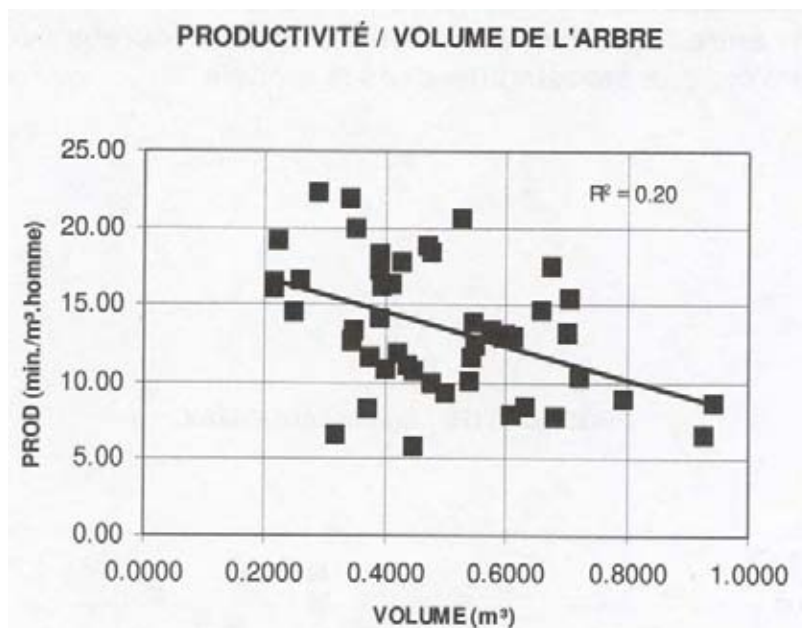


Figure 17. Productivité de la coupe de jardinage en fonction du volume de l'arbre marchand avant le traitement.

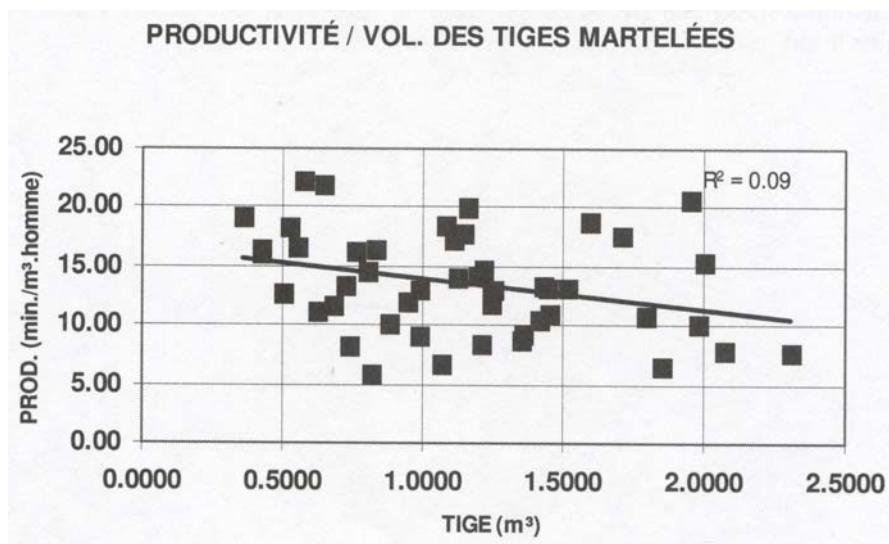


Figure 18. Productivité de la coupe de jardinage en fonction du volume moyen des tiges martelées. Contrairement aux prévisions, la corrélation est très faible entre ces deux variables.

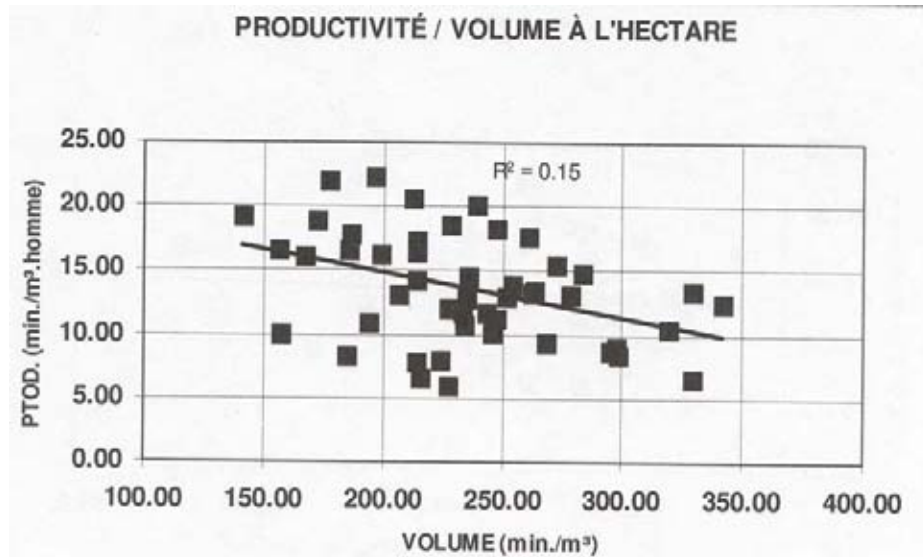


Figure 19. Productivité de la coupe de jardinage en fonction du volume moyen à l'hectare par secteur avant la coupe. Les études ont été réalisées dans des peuplements dont le volume est compris entre 150 et 350 m<sup>3</sup>/ha.

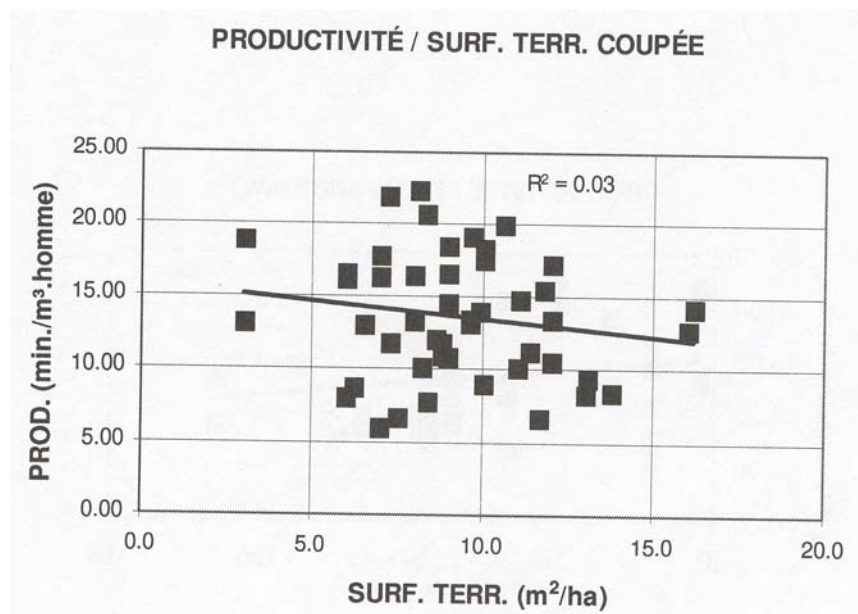


Figure 20. Productivité des opérations de récolte du bois en fonction de la surface terrière coupée.

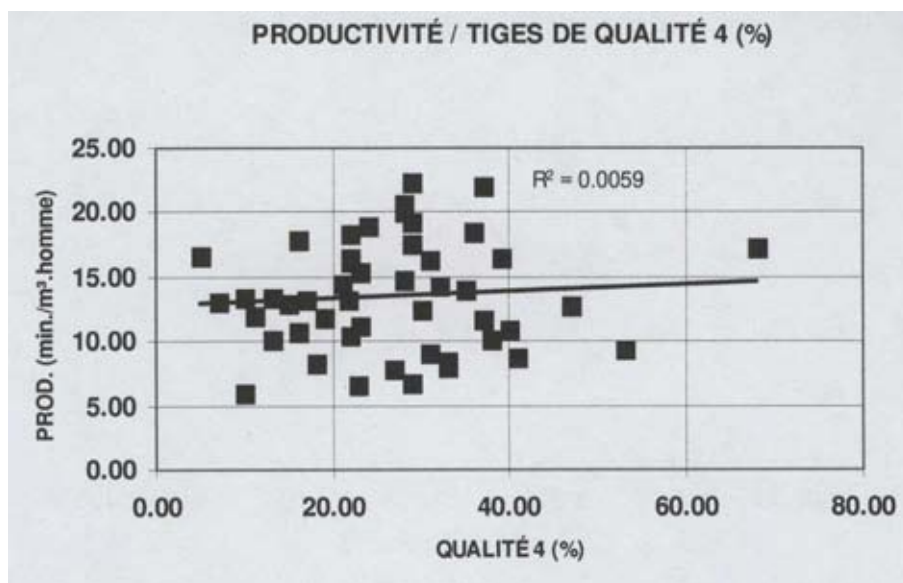


Figure 21. Productivité de la coupe de jardinage en fonction de la proportion des tiges de qualité 4 dans le peuplement avant la coupe.

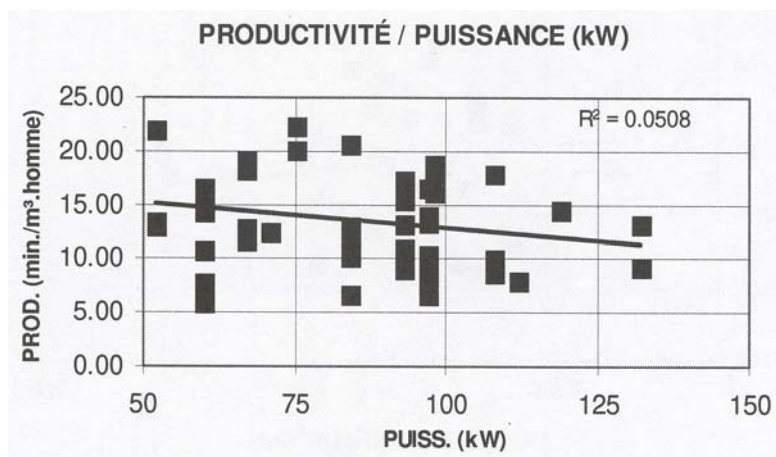


Figure 22. Productivité de la coupe de jardinage en fonction de la puissance du moteur de la machine.



La Loi sur les forêts permet aux bénéficiaires de contrats d'approvisionnement et d'aménagement forestier (CAAF) de rembourser une partie de leurs droits de coupe (redevances) en effectuant des travaux sylvicoles. Pour établir de façon équitable la valeur de ces droits, il manquait un modèle mathématique fiable pour prédire la productivité du travail sylvicole en fonction des variables de terrain. C'est à la demande du Service de l'aménagement forestier que la Direction de la recherche forestière a réalisé la mise au point de ce modèle.

ISBN 2-550-33680-1  
F.D.C. 662(047.3)(714)  
L.C. SD 537



Gouvernement du Québec  
**Ministère des Ressources  
naturelles**

**RN98-3089**