RAPPORT FINAL

Productivité de cinq traitements sylvicoles favorisant le développement du bouleau jaune et des épinettes en forêt mélangée, en Mauricie

Présenté à :

Jean-Marc Guay, ing.f.
Ministère des Ressources naturelles du Québec
Unité de gestion du Bas-St-Maurice

et

Luc Richard, ing.f.
Pierre Breton, ing.f.
Gérard Crête et fils inc.

et

Jean-François Desbiens, ing.f.
Léon Bélanger, ing.f.
Kruger inc.

Préparé par :

Tadek Rycabel, ing.f., M.Sc.
Donald Blouin, ing.f., M.Sc.
Guy Lessard, ing.f., M.Sc.

CERFO
Centre d'enseignement et de recherche en foresterie de Sainte-Foy inc.

En collaboration avec :

France Savard, stat.
MRNQ

Juin 1999

© CERFO 99-04

TABLE DES MATIÈRES

LISTE DES TABLEAUX iii
LISTE DES FIGURES iii
REMERCIEMENT iv
RÉSUMÉ v
INTRODUCTION vi

Chapitre 1 - Revue de littérature 1
1.1 Méthodes de prise de données 1
1.2 Relations observées entre la productivité et les variables explicatives 2

Chapitre 2 – Objectif et hypothèses 5

Chapitre 3 – Méthode 6
3.1 Site de l'étude 6
3.2 Inventaire du peuplement 6
3.3 Implantation du dispositif 8
3.4 Martelage 8
3.5 Méthodes de coupe de régénération étudiées 10
3.6 Description des opérations 11
3.7 Prise de données 11
3.8 Compilation des données 13
3.8.1 Estimation du volume de bois sur pied avant les traitements 14
3.8.2 Estimation du volume du bois récolté 14
3.8.3 Distance de débardage et la pente du terrain 15
3.8.4 Productivité des opérations 16
3.9 Traitement statistique des données 17

Chapitre 4 - Résultats 18
4.1 Statistique générale sur la productivité 18
4.2 Résultats des analyses statistiques 25
4.2.1 Modèles de prédiction de productivité 25
4.2.1.1 Modèle avec tous les traitements et une sélection de variables mesurables avant la coupe 25
4.2.1.2 Modèle avec une sélection des traitements et de variables mesurables avant la coupe 27
4.2.1.3 Modèle en sélectionnant l'ensemble des variables mesurées 27
4.3 Comparaison des traitements selon la productivité des travailleurs 28
4.4 Comparaison de la productivité des traitements à l'étude avec la productivité de coupe de jardinage 31

TABLE DES MATIÈRES (suite)

Chapitre 5 - Recommandations 35

CONCLUSION.....37
BIBLIOGRAPHIE 38

ANNEXE 1 – CARTE ÉCOFORESTIÈRE
ANNEXE 2 – SECTEUR NUMÉRISÉ
ANNEXE 3 – PHOTOS

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1. Bois sur pied 7
Tableau 2. Nombre de tiges de gaules de 2 à 9 cm 7
Tableau 3. Distribution de la régénération préétablie 7
Tableau 4. Variables mesurées lors des opérations et calculées pour chaque traitement 17
Tableau 5. Valeurs moyennes des variables selon les traitements. 22
Tableau 6. Productivité prédite des opérations de récolte du bois selon le modèle(1) 28
Tableau 7. Productivité prédite des opérations de récolte du bois selon le modèle(2) 29
Tableau 8. Productivité observée et productivité prédite selon les trois modèles. 30
Tableau 9. Productivité observée et prédite selon les coupes. 31

LISTE DES FIGURES

Figure 1. Dispositif de comparaison de traitements 9
Figure 2. Productivité de récolte du bois en fonction du volume à l'hectare. 18
Figure 3. Productivité de récolte du bois en fonction du volume par voyage. 18
Figure 4. Productivité de récolte du bois en fonction du volume moyen par bille. 19
Figure 5. Productivité de récolte du bois en fonction du volume moyen de l'arbre 20
Figure 6. Productivité de récolte du bois en fonction de la distance moyenne de débardage par bloc et par traitement. 20
Figure 7. Productivité de récolte du bois en fonction de la pente pondérée du terrain. 21

REMERCIEMENTS

La réalisation de cette recherche a été possible grâce à la collaboration et à l'engagement financier de la compagnie Gérard Crête et fils. Spécialement, nous voulons remercier Messieurs Luc Richard, Pierre Breton et Pierre Paquin, représentants de la compagnie qui ont tous contribué à la planification et au bon déroulement de prise des mesures sur le terrain. Nous désirons également remercier Messieurs Jean-François Desbiens et Louis Vachon de la compagnie Kruger inc. pour la recherche des secteurs d'étude.

Deuxièmement, nous désirons remercier le personnel du MRN, qui a appuyé la demande et permis de mettre sur pied un dispositif sur des méthodes de coupes favorisant la régénération des espèces peu tolérantes à l'ombre. Messieurs Jean-Marc Guay, Georges Blais, Réal Paris, Marc-André Bernier et Jean-Claude Drolet méritent d'être mentionnés ici.

Enfin, nous remercions M. Martin Côté, stagiaire, pour sa collaboration tout au long du projet, M^{me} Annie Lelièvre pour le traitement de texte et M^{me} Claire Demers pour la révision de ce rapport.

RÉSUMÉ

Dans un peuplement mixte à dominance feuillue de la réserve Mastigouche (aire commune 41-02), la coupe par parquet, la coupe par parquet avec semenciers, la coupe de jardinage par petites trouées (500 m^2), la coupe de jardinage par grandes trouées (1500 m^2) et la coupe progressive par trouées ont été mises à l'essai afin de comparer leur productivité. Cette étude s'inscrit à l'intérieur d'un projet plus vaste visant à valider les hypothèses d'installation et de croissance de la régénération des différents traitements.

Deux modèles de régression différents ont d'abord été construits à partir uniquement des variables mesurables avant la coupe. Ensuite, dans le but de connaître les variables pouvant expliquer la productivité, un autre modèle fut bâti en utilisant toutes les variables mesurées.

L'analyse de covariance servant à comparer la productivité des cinq traitements n'a pas permis d'identifier de différences significatives entre les traitements. L'utilisation des covariables du volume par voyage et du volume par bille débardée a un effet important sur la productivité des travaux.

Tous les modèles de régression ont démontré les mêmes tendances, soit que pour un volume à l'hectare moyen de 160 m^3/ha, la coupe progressive par trouées est moins productive et que la coupe de jardinage par grandes trouées est la plus productive. La productivité moindre observée dans la CPE par trouées s'explique par le faible volume moyen d'arbres prélevé (arbres semenciers de forte dimension laissés en bordure des trouées), par la complexité des opérations et par le manque d'expérience chez les travailleurs dans l'application des nouvelles coupes, alors que la plus forte productivité dans le jardinage par grandes trouées s'expliquerait par la plus forte dimension des arbres prélevés et la localisation des trouées dans les zones ayant moins de vigueur généralement composé de tiges de fort volume. Un conflit potentiel existe entre le maintien des semenciers et la rentabilité des opérations. Il faut mentionner que l'ensemble des résultats obtenus par la présente étude ne s'applique qu'au secteur étudié. Il ne serait pas possible de les généraliser à la grandeur de la province sans procéder à des études comparables dans d'autres secteurs.

Le choix des tiges à prélever ou à conserver est déterminant sur la productivité des traitements. Dans ce contexte, le jardinage par trouées est apparu dans le secteur étudié comme plus productif que la coupe progressive. Le choix final des traitements à prioriser devra attendre les résultats de l'installation et de la croissance de la régénération

INTRODUCTION

Dans les forêts mélangées du centre du Québec, le bouleau jaune ainsi que les épinettes rouge et blanche sont des essences très convoitées. Par contre, leurs conditions de germination, leur faible résistance à la compétition et leur tolérance moyenne à faible à l'ombre en font des espèces plus difficiles à régénérer.
La compagnie Gérard Crête et fils exploite des secteurs présentant cette problématique dans des peuplements mixtes de la réserve de Mastigouche (A. C. 41 – 02). Les traitements qu'elle applique actuellement dans les forêts mélangées à prédominance feuillue sont les coupes de jardinage et de préjardinage qui favorisent les essences d'ombre et sont moins bien adaptées aux espèces à tolérance moyenne à faible. Il est donc important de procéder à l'essai d'autres types de coupe qui seraient mieux adaptés à ce type de forêt et aux objectifs visés.

Les travaux ont permis de procéder à l'étude de cinq traitements dans les peuplements mélangés à dominance feuillue soit; la coupe par parquet, la coupe par parquet avec réserve de semenciers, la coupe de jardinage par petite et grande trouées et la coupe progressive d'ensemencement par trouées. Afin de déterminer lequel de ces traitements est le plus adéquat, il faut d'une part comparer leur capacité de régénérer les essences voulues et d'autre part comparer leur coût d'exécution.

Ce rapport présente la démarche et les résultats de l'étude de productivité des opérations de récolte. Il s'inscrit dans le cadre d'un projet de plus grande envergure qui vise également à valider les hypothèses d'installation et de croissance de la régénération de même que l'impact des différents traitements sur la qualité et la croissance des tiges résiduelles.

1. REVUE DE LITTÉRATURE

1.1 MÉTHODES DE PRISE DE DONNÉES

Les études de productivité visent à évaluer le rendement des travailleurs en fonction des conditions de terrain et de peuplement et du type de travail qu'ils exercent. Ces études peuvent être réalisées de différentes manières selon l'objectif poursuivi et selon le type de travail à évaluer. Ainsi, plusieurs variables explicatives peuvent être prises en considération.

Certaines études concernant les opérations forestières ont porté à la fois sur la productivité de l'abattage et du débardage. Par exemple, dans l'étude de Brock *et al.* (1986) portant sur le coût des opérations d'éclaircie dans le bois franc, trois intensités de prélèvement (25, 40 et 55%) ont été comparées, les deux phases de récolte ayant été traitées distinctement. Pour évaluer les deux phases, le travail fut divisé en cycles, le volume récolté fut noté ainsi que les temps productifs et improductifs de chacun d'eux. Chacune de ces opérations était subdivisée en différents éléments de travail. Lors de l'abattage, on distingue le déplacement d'un arbre à l'autre, l'abattage, l'ébranchage et le tronçonnage. Pour le débardage, les temps de déplacement à vide et en charge, le chargement et le déchargement, l'empilage et le désencrouage ont été notés. Les délais (pause, attente, délais causés par un bris mécanique ou par l'entretien de la machine) sont notés mais ne sont pas utilisés pour le calcul de la productivité.

Dans la plupart des cas d'études d'un système de récolte mécanisé, les opérations d'abattage et d'ébranchage sont évaluées. Ainsi, Lortz *et al.* (1997) ont relié les temps de déplacement entre les arbres, de nettoyage, d'abattage, d'ébranchage et d'étêtage avec le DHP et l'intensité de prélèvement des coupes dans des peuplements de pin. Gingras (1988) a défini sept éléments de cycle de travail d'une abatteuse-groupeuse afin de déterminer l'influence des facteurs de site sur sa productivité : le déplacement pour coupe, le débroussaillage, le positionnement, la coupe, le déplacement pour empiler, l'empilement et les délais.

Dans le cas de coupes manuelles, plusieurs études ne s'intéressent qu'à la phase de débusquage puisque celle-ci suit de près la phase d'abattage. De plus, chronométrer l'abatteur est une tâche ardue, risquée et ajoute au stress des travailleurs (Phillips, 1996). Dans ce type de coupe, tous les arbres abattus sont débardés immédiatement, contrairement aux opérations mécanisées où un certain inventaire est

conservé entre l'abatteuse et le débusqueur. Donc, dans le cas d'une coupe manuelle, la productivité globale de l'équipe est bien représentée par celle du débusqueur. Ainsi, dans l'étude de Brock *et al.* (1986), les différentes tâches du débardeur sont chronométrées et séparées en temps productifs et improductifs. Dans l'étude de Rycabel (1998) portant sur la productivité des opérations dans des coupes manuelles de jardinage et de préjardinage de peuplements feuillus, on sépare généralement les cycles de travail comme suit : déplacement à vide, chargement, déplacement en charge, déchargement, empilage, désencrouage, ainsi que des délais mécaniques, personnels, opérationnels et de service. Dans la plupart des études, un chronométrage continu est utilisé. En cas de besoin, on peut s'aider de systèmes électroniques comme une caméra vidéo (Robe *et al.* 1989) ou un programme informatique adapté (Rycabel, 1998).

Le choix des variables explicatives, correspondant au type de travail et aux conditions d'exécution est plus varié, elles dépendent principalement des besoins de l'étude. La pente et les données dendrométriques sont les plus utilisées. Pour ce qui est de la pente, elle est souvent évaluée de façon différente. Il peut s'agir de la pente moyenne du bloc de coupe (Tufts et Stokes, 1986) et dans les cas de faible variation, celle-ci n'est souvent pas tenue en compte. Rycabel (1998) a utilisé la pente moyenne pondérée en notant l'inclinaison et la distance de plusieurs tronçons ayant une pente constante sur le sentier de débardage. Les caractéristiques dendrométriques du peuplement sont généralement prises avant le traitement par un inventaire systématique lorsqu'on utilise des blocs délimités. Dans les cas où on n'utilise pas de blocs expérimentaux prédéfinis, on procède à l'inventaire directement devant les opérations en cour (Gingras, 1988; Rycabel, 1998).

1.2 RELATIONS OBSERVÉES ENTRE LA PRODUCTIVITÉ ET LES VARIABLES EXPLICATIVES

L'étude expérimentale s'intéresse aux relations de cause à effet. Elle vise la vérification d'hypothèses se rapportant aux effets de variables (dites indépendantes) sur d'autres variables (dites dépendantes) (Collin, 1994). Plus spécifiquement, la présente étude vise à expliquer les variations de la productivité d'après les variables de terrain et les traitements étudiés. Comme vu précédemment, la distance de débardage, le volume par voyage, la pente du terrain, la dimension des arbres, l'intensité de coupe, l'expérience de l'équipe et l'intensité de prélèvement sont des variables couramment utilisées.

Tufts et Stokes (1986), dans une étude sur la productivité des débardeurs à grappin en coupe mécanisée, ont conclu que la productivité était davantage expliquée par le volume transporté à chaque voyage que par la distance de débardage. Il est donc particulièrement important d'optimiser la charge de la débusqueuse afin d'obtenir de bons rendements. En 1988, dans une étude sur la productivité des débardeurs, Tufts *et al.* ont noté une importance semblable entre ces deux facteurs, la distance de débardage et le volume par voyage étant des variables importantes à mesurer.

Très peu de chercheurs ont noté une relation de la productivité avec la pente, ne la mentionnant souvent même pas. Par contre, Rycabel (1998) et Lessard *et al.* (1998) ont noté une amélioration de la productivité avec une augmentation de la pente favorable au débardage lorsque celle-ci passe de 10 à 30 %. Cette relation est attribuable au fait que la vitesse de déplacement d'une débusqueuse non-chargée n'est pas affectée par ces pentes. Par contre, lorsqu'elle est chargée, une pente favorable aidera son déplacement alors qu'une pente adverse lui nuira considérablement.

Pour ce qui est de l'intensité des coupes, certains auteurs semblent y accorder peu ou pas d'importance directe. Certaines études se sont par contre penchées sur la question. Richardson et Gingras (1995) ont noté une meilleure productivité dans la coupe progressive que dans la coupe rase. Ils ont attribué cette relation à la plus forte dimension des tiges récoltées dans la coupe progressive et ils ont présagé qu'un rendement aurait été le même si la dimension des arbres avait été constante dans les deux traitements. Favreau (1995) est arrivé à la même conclusion dans sa comparaison entre la coupe de jardinage et la coupe à blanc. Il a observé que les travailleurs passaient plus de temps sur chaque arbre en coupe jardinatoire mais que la plus grande dimension des arbres récoltés compensait pour le calcul de la productivité. Lessard *et al*. (1998) ont noté une productivité plus faible dans les coupes progressives. Ce résultat a été expliqué par le fait que le martelage a été concentré sur les petites tiges afin de conserver les arbres de plus forte dimension comme semenciers. Dans cette étude, la coupe par parquet fut la plus productive comparativement aux autres coupes. Lortz *et al.* (1997) ont aussi relevé que la productivité de l'abatteur était influencée par la dimension des arbres, la distance entre ces derniers et l'intensité de la coupe. Ils concluent qu'il aurait fallu plus de temps pour abattre les arbres en coupe partielle, mais que la dimension accrue des arbres coupés en aménagement inéquienne améliore la productivité même dans les secteurs à faible intensité de coupe (20 à 30 %). Il faut retenir que l'intensité de coupe influence négativement la productivité mais que la dimension des tiges coupées est une variable tout aussi importante ayant un effet dans le sens inverse.

Tufts *et al.* (1988) n'ont pas trouvé de relation entre la puissance du moteur et la productivité d'une équipe lors de coupes conventionnelles, c'est-à-dire lorsque l'abattage est réalisé à l'aide d'une scie à chaîne et le débardage à l'aide d'un débardeur. Ils ont conclu que la méthode de travail et l'expérience de l'équipe avaient une plus grande influence sur la productivité que la puissance du moteur.

La productivité des opérations sylvicoles dépend de plusieurs variables. Celles-ci peuvent être mesurées avant le traitement (caractéristiques dendrométriques du peuplement), au cours d'opérations (la pente du terrain dans le sentier de débardage, la rugosité du terrain, le nombre d'arbres ou de billes acheminées vers le chemin) et pour certaines après les opérations (volume du bois récolté). Il faut retenir que, 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, 1986, Tufts, 1988, Bailey, 1993, Delémont, 1970). La productivité du débardage quant à elle est influencée par plusieurs facteurs : distance de débardage, volume par bille, volume par voyage, pente du terrain, etc.

2. OBJECTIF ET HYPOTHÈSES

L'objectif a été de vérifier la productivité des différents types d'opération de récolte. Plus spécifiquement, il est visé de :

- Classer les traitements étudiés en ordre de productivité.
- Créer un modèle mathématique afin de prédire la productivité des opérations en fonction :
  - du traitement;
  - des caractéristiques dendrométriques du peuplement;
  - des caractéristiques biophysiques du terrain.

Les hypothèses suivantes concernant divers aspects d'intervention en forêts mixtes sont prises en considération afin d'être vérifiées :

1. Les coupes partielles sont moins productives que la coupe par parquet.
2. La coupe progressive par trouées est plus compliquée à exécuter et moins productive que les autres coupes partielles.

3. MÉTHODE

3.1 SITE DE L'ÉTUDE

Le site choisi devait avant tout refléter la problématique régionale fréquemment observée, soit le manque de régénération du bouleau jaune et de l'épinette dans des peuplements mélangés. Le territoire étudié devait aussi se trouver dans la zone de coupes prévue au plan annuel d'intervention forestière 1998 de Gérard Crête et fils.

Le peuplement choisi devait être à dominance feuillue (50 à 75 % de feuillus), contenir une bonne proportion de bouleau jaune et de tiges de bonne vigueur et avoir une superficie supérieure à dix hectares.

Après l'examen des cartes forestières, des données d'inventaire d'exploitation et des photographies aériennes, des visites de terrain ont été effectuées afin de vérifier l'homogénéité des caractéristiques des sites retenus pour l'installation des dispositifs expérimentaux. Il est à noter que la réserve Mastigouche étant relativement près des grands centres urbains, les peuplements qu'on y retrouve sont souvent d'origine de multiples coupes. D'ailleurs, on y retrouve plusieurs signes évidents de coupes assez récentes à l'intérieur même du dispositif, comme des souches ou des chemins par exemple. Cette situation semble toutefois refléter la réalité rencontrée dans la région.

3.2 INVENTAIRE DU PEUPLEMENT

Un inventaire systématique, constitué de quatre placettes par hectare, fut complété dans les secteurs sélectionnés. Dans chaque placette, le bois sur pied est évalué à l'aide de prisme en notant l'essence, le DHP, la qualité, la vigueur et la hauteur de trois arbres dominants. De plus, autour du point de prisme, huit placettes satellites de 1.13 mètre de rayon sont établies, où la régénération et les gaules sont inventoriées.

Les tableaux 1, 2 et 3 présentent les caractéristiques moyennes du bois sur pied, du nombre de tiges de gaules et de la distribution de la régénération dans le secteur d'expérimentation.

TABLEAU 1. BOIS SUR PIED

Surface terrière	23,4 m^2		% feuillus	63 %
Volume moyen	160 m^3/ha		% bouleau jaune	33 %
Nb tiges marchandes	582 ti/ha		% vigueur 1	33 %
Diamètre moyen	26,7 cm		% résineux	37 %
Structure	Inéquienne		% épinette	21 %

TABLEAU 2. NOMBRE DE TIGES DE GAULES DE 2 À 9 CM

BOP	BOJ	ERR	ERS	EPR	SAB	THO	Total
118	94	576	497	469	642	73	**2 483**

TABLEAU 3. DISTRIBUTION DE LA RÉGÉNÉRATION PRÉÉTABLIE

BOP	**BOJ**	**ERR**	**ERS**
2 %	23 %	77 %	65 %
SAB	**EPR**	**THO**	
39 %	18 %	72 %	
COC	**ERE**	**ERP**	**VIA**
8 %	63 %	45 %	9 %

Afin de connaître l'intensité de coupe de chaque traitement, les données concernant les arbres martelés sont compilées séparément.

3.3 IMPLANTATION DU DISPOSITIF

Le dispositif constitue une superficie de 27 hectares situés dans les aires d'intervention 1214-016, 1214-009 et 1214-021 du secteur du Lac Marcotte (voir carte à l'annexe 1).

Les caractéristiques du terrain (haut, milieu et bas de pente) de même que les caractéristiques dendrométriques du peuplement (DHP moyen) ont permis de subdiviser le dispositif en trois blocs servant de répétitions pour chacun des traitements. L'utilisation de blocs vise à augmenter l'uniformité à l'intérieur de ceux-ci et distribuer les différences entre eux en vue d'analyses statistiques valables. Le schéma de dispositif est présenté à la figure 1. Les traitements et les témoins ont été distribués aléatoirement à l'intérieur des répétitions.

3.4 MARTELAGE

Une fois le dispositif installé et les traitements délimités, l'identification des arbres à préserver (semenciers dans parquets) et le martelage des arbres à couper sont effectués en respectant les prescriptions de chacun des traitements. Pour faciliter la tâche des travailleurs et la supervision des opérations, les arbres à l'intérieur des trouées et des parquets sont tous martelés.

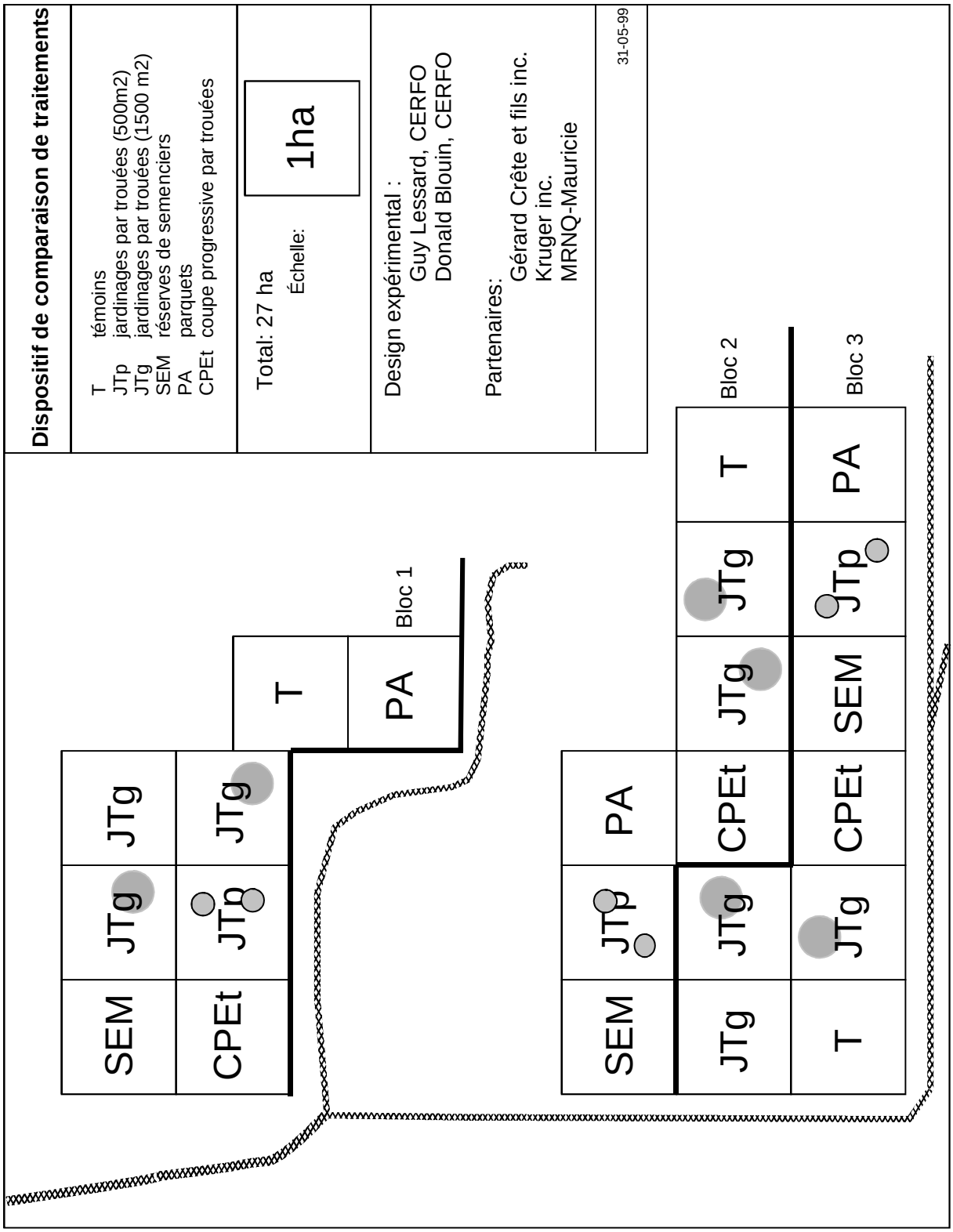


FIGURE 1. DISPOSITIF DE COMPARAISON DE TRAITEMENTS

3.5 MÉTHODES DE COUPE DE RÉGÉNÉRATION ÉTUDIÉES

Les cinq traitements qui ont été étudiés font l'objet d'une description sommaire.

Futaie irrégulière

- **Jardinage par grandes trouées (JTg) :**
  Des trouées de 1500 m^2 sont utilisées et représentent 10 % de la superficie à traiter. Ces trouées sont placées dans les endroits représentant le moins de qualité sur pied et le moins de régénération au sol. Par la suite, on procède à un martelage par pied d'arbre à 20 % dans le reste du peuplement pour atteindre un total de 30 % de surface terrière à récolter.

- **Jardinage par petites trouées (JTp) :**
  Elles sont semblables à la coupe précédente, à la seule différence que les trouées sont plus petites (500 m^2). La surface des trouées occupe encore 10 % de la surface totale et un martelage à 20 % entre celles-ci est fait pour atteindre un prélèvement total moyen de 30 %.

Futaie régulière

- **Coupe progressive d'ensemencement par trouées (CPEt) :**
  Contrairement aux coupes précédentes, cette coupe et les suivantes visent un aménagement équienne du territoire. L'étude s'est portée sur la première intervention de cette coupe, soit la récolte de 40 % du couvert forestier sous forme de trouées de 500 m^2 réparties systématiquement sur le territoire. À part les arbres récoltés dans les trouées et dans les sentiers, aucun arbre n'est abattu. On favorise la présence de semenciers de bouleaux jaunes et d'épinettes en bordure des trouées.

- **Coupe par parquet (PA) :**
  Stratégie de coupe de jardinage incorporant des secteurs (parquets) de un à trois hectares où tous les arbres sont récoltés. La superficie des parquets doit représenter environ 20 % de la superficie globale du secteur de coupe. Les parquets sont placés en fonction de la qualité du site, c'est-à-dire les parties de qualité inférieure sont récoltées en premier lieu. L'étude a porté seulement sur la récolte des parquets, soit une coupe totale de 1 hectare.

- **Coupe par parquet avec réserve de semenciers (SEM) :**
  Coupe par parquet avec la sauvegarde d'une trentaine de semenciers par hectare. Ici, des bouleaux jaunes (≈ 25 tiges/ha) et des épinettes rouges (≈ 12 tiges/ha) répartis régulièrement sur la surface du parquet sont conservés.

3.6 DESCRIPTION DES OPÉRATIONS

Les opérations ont eu lieu pendant les mois de septembre, octobre et novembre 1998. Il n'y avait donc pas de contraintes météorologiques importantes, la température se maintenait près de 0° C et il n'y avait pas d'accumulation de neige au sol. Au cours de l'expérience, on a observé souvent des pluies mélangées avec de la neige, à certaines endroits le sol était humide et boueux car il n'était pas encore gelé. Généralement, il n'y avait pas de problème notable d'enlisement ou de tout autre ralentissement causé par les conditions de terrain lors des opérations.

Le procédé de la récolte du bois utilisé couramment dans la région est celui d'arbres entiers pour les résineux et de troncs entiers pour les feuillus. Dans les deux cas, l'abattage est réalisé à l'aide d'une scie à chaîne et le débardage à l'aide d'un débardeur à câbles. L'ébranchage et l'étêtage des résineux sont effectués à l'aide d'une ébrancheuse à flèche en bordure de chemin alors que les feuillus sont ébranchés sur le parterre de coupe à l'aide d'une scie à chaîne avant d'être débusqués. Généralement, les résineux sont coupés en premier pour éviter l'encombrement de terrain par des branches de feuillus. Les débardeurs doivent généralement utiliser les sentiers raisonnablement espacés et localisés selon les exigences de différentes techniques sylvicoles.

3.7 PRISE DE DONNÉES

La méthode d'évaluation de la productivité est composée de trois étapes de prises de mesures; le chronométrage lors du débardage de bois, le mesurage de la distance et de la pente dans les sentiers de débardage et finalement le mesurage du bois récolté à la jetée. Les données prises à ces trois étapes sont indispensables afin de calculer la productivité des travailleurs et de créer un modèle de prédiction de productivité selon les conditions de travail ainsi que les traitements appliqués.

Parmi les variables mesurables avant les opérations servant à bâtir un modèle de prédiction, il y a :

- distance de débardage;
- pente de terrain;
- rugosité du terrain;
- volume moyen par arbre;
- volume moyen à l'hectare.

Les variables mesurables pendant et après les opérations servant à créer un modèle pour comparer les traitements sont :

- nombre d'arbres par voyage;
- volume par bille débardée;
- volume par voyage.

Pour des raisons pratiques, il a été choisi de n'observer que le débardage. D'une part, sa productivité représente bien la productivité de l'équipe au complet puisque le bois que l'abatteur a coupé est immédiatement transporté. D'autre part, effectuer l'étude de temps d'un tracteur forestier représente moins de risques de blessures pour l'observateur que lors du chronométrage de l'abattage. Cette façon de procéder ne dérange pas le déroulement normal des opérations, chose très importante lors d'études de productivité. De plus, les cycles de transport étant plus longs que les cycles d'abattage, il est plus facile de prendre la mesure de chaque élément du cycle de débardage que de chronométrer l'abattage et de mesurer en même temps les arbres récoltés. Les activités liées au débardage sont séparées en deux groupes, soit les temps productif et improductif. Le temps productif est composé des activités suivantes :

- le déplacement à vide, le temps utile à se déplacer entre le chemin et le premier arrêt pour charger;
- le chargement, temps utile à attacher les arbres et les tirer vers la machine à l'aide du treuil;
- le déplacement en charge, le temps de transport des arbres abattus de la souche à la jetée;
- le déchargement, temps nécessaire à détacher les arbres et à replacer les élingues;
- l'empilage, temps nécessaire pour placer les arbres dans la pile;
- le désencrouage, lorsque la débusqueuse est utilisée pour libérer un arbre coupé emprisonné dans les branches d'un autre;
- autres, toutes les autres activités servant directement à la production, comme abattre des arbres à la scie à chaînes pour aider le bûcheron.

Les temps improductifs que l'on retrouve lors du débardage se divisent en quatre groupes :

- les délais mécaniques, délais engendrés par un bris mécanique de la machine (réparation du bris);
- les délais opérationnels, délais causés par la planification du travail, l'attente après l'abatteur, etc.;
- les délais personnels, comme une pause par exemple;
- les délais de service, comme un plein d'essence, vérifier l'huile, etc.

Tous ces temps sont chronométrés et notés sur un formulaire dont un exemple est présenté en annexe. Ce formulaire renferme, en plus des différentes activités déjà nommées, les informations nécessaires pour identifier chaque cycle et son traitement correspondant.

En même temps que le chronométrage est effectué, la distance et la pente de débardage sont mesurées. Les distances et pentes ainsi que les informations servant à identifier le cycle sont recueillies sur le formulaire prévu dans ce but (voir annexe). Une deuxième personne est nécessaire afin de mesurer les bois transportés au chemin à chaque cycle chronométré. Chaque formulaire destiné au mesurage du bois porte un numéro de cycle afin de conserver la relation entre le temps d'exécution du travail et le volume de bois produit. Dès l'arrivée de la débusqueuse à la jetée, les arbres transportés sont marqués à la sanguine afin de ne pas les mélanger avec les autres arbres de la pile. Une fois l'empilage terminé, chaque arbre est mesuré comme suit : l'essence et le DHP des résineux sont notés, ensuite, la longueur totale des tiges selon les classes de DHP et selon les essences est prédite à l'aide d'une régression et finalement un tarif de cubage local sera utilisé pour calculer le volume. Pour les bois feuillus, étant donné qu'ils sont déjà ébranchés et étêtés, le diamètre des deux bouts et la longueur de toutes les billes sont mesurés. Dans le cas de billes fourchues ou de changement brusque de dimension (de diamètre), la prise des mesures est effectuée par tronçons réguliers dont les volumes seront additionnés.

3.8 COMPILATION DES DONNÉES

Afin de rendre possible l'analyse statistique des données, les informations ont été regroupées par répétition, par traitement et par cycle de débardage pour l'ensemble des opérations. Les valeurs de volume à l'hectare, le volume moyen de l'arbre et le volume moyen de l'arbre martelé ont été calculés en utilisant les données d'inventaire du peuplement prises avant la coupe. De plus, les données concernant

la productivité de récolte du bois pour tous les cycles de débardage selon la répétition et le type de coupe ont été compilées.

3.8.1 Estimation du volume de bois sur pied avant les traitements

Les tarifs de cubage locaux sont construits selon la méthode à deux étapes habituellement utilisée; il s'agit de la prédiction de la hauteur moyenne des arbres selon les classes de DHP et de l'évaluation du volume marchand brut à l'aide des équations connues.

Les courbes de hauteur sont établies séparément (individuellement) pour chaque essence d'arbre et ce, pour chacun des blocs d'études. Lorsque les prévisions des hauteurs sont obtenues par classe de DHP, l'évaluation du volume est réalisée en utilisant la régression générale du volume (selon l'essence) développée par Perron (1983) qui donne une excellente précision.

À partir de ces tarifs de cubage locaux, un volume est attribué à chaque arbre pour calculer le volume moyen par tige, le volume moyen par tige martelée et le volume à l'hectare avant traitement. Afin de calculer le volume et le nombre de tiges par hectare, les facteurs d'arbre définis dans le cahier du MER (1980) pour parcelle au prisme sont utilisés.

3.8.2 Estimation du volume de bois récolté

Pour évaluer le volume des bois feuillus, la formule de Smalian est utilisée. Dans le cas d'arbres fourchus, le volume marchand des branches de la fourche est également pris en considération. Lorsqu'une bille est mesurée par section, les volumes de sections sont additionnés afin d'obtenir le volume total de la tige.

L'équation de Smalian

$$V = ((d^2 + D^2) \times \pi \times L)/800\,000$$

Où : V = volume (m^3) arrondi à la quatrième décimale

D = diamètre au gros bout (cm)

d = diamètre au fin bout (cm)

L = longueur de la bille (dm).

Les résineux étant débusqués en arbres entiers, il est difficile de mesurer la longueur de chaque tige. Les données dendrométriques de l'inventaire du peuplement ont servi à établir les tarifs de cubage locaux et à évaluer le volume du bois récolté des essences résineuses. Ainsi, les mêmes tarifs de cubage locaux sont utilisés pour évaluer le volume de bois récolté et transporté en bordure de route.

Le volume total de chaque voyage a été obtenu en additionnant le volume de tous les arbres contenus dans chaque voyage. Le nombre de billes par voyage et le volume moyen de ces arbres ont également été notés et calculés.

3.8.3 Distance de débardage et pente du terrain

Pour connaître la distance de débardage des voyages, il suffit d'additionner les longueurs des tronçons du sentier mesurés sur le parcours du débardeur.

La pente doit être exprimée en une seule valeur. Comme le terrain n'est pas régulier, c'est-à-dire que le débardeur peut se déplacer en montant ou en descendant avec la charge selon l'endroit où il se retrouve, il y a plusieurs méthodes pour représenter la pente. Rycabel (1998) a identifié trois méthodes : la pente pondérée, la pente dominante et la pente absolue. C'est la pente pondérée qui a été utilisée parce qu'elle explique mieux la productivité (R^2 plus élevé) et parce qu'elle donne un modèle plus simple à appliquer.

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

où : i = le nombre de tronçons

Si la pente pondérée ainsi obtenue est positive, ceci veut dire que le bois a été déplacé soit tout le temps vers le bas, 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.

3.8.4 Productivité des opérations

Les opérations sylvicoles considérées ici sont liées aux diverses coupes mises à l'essai lors de cette expérience, soit l'abattage à l'aide d'une scie à chaîne, l'ébranchage des arbres feuillus martelés et le transport du bois de la souche à la jetée. Au cours de l'expérience, plusieurs modèles de machines ont été utilisés, mais le rendement de machines n'est pas évalué ici et n'influence habituellement pas la productivité des travaux (Rycabel 1998, Favreau 1995). Par contre, les équipes des travailleurs étaient toujours composées de deux hommes.

Dans les lignes qui suivent, on présente les résultats de la productivité de la récolte du bois lors de la coupe. Il s'agit du rapport entre le temps d'exécution de l'abattage et du débardage et de la quantité de bois débardée à la jetée. Dans le cas d'opération avec abattage manuel, le débardage se déroule 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 pour observer, mesurer, analyser et évaluer cet élément de travail. Afin d'évaluer la productivité de la récolte du bois, les éléments de travail suivants ont été enregistrés :

- Temps total pour effectuer les opérations (heures);
- Temps productif de travail (heures);
- Volume du bois récolté (m^3 solide).

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, le nombre de minutes est multiplié par le nombre de personnes dans l'équipe. La productivité ainsi obtenue est exprimée en minutes productives par mètre cube solide du bois mesuré en bordure du chemin et par personne (min/m^3·personne).

PROD. OBSERVÉ (min/m^3·personne) = TEMPS PROD (min.) / VOLUME (m^3) x NOMBRE DE PERSONNES

Si deux personnes travaillent simultanément et consacrent 10 minutes pour produire 1 m^3 de bois, il faudrait 20 minutes à un seul employé pour effectuer le même travail. La productivité des opérations pour un traitement dans un bloc d'études est la moyenne arithmétique de la productivité pour tous les voyages qui ont été effectués dans le bloc pour le traitement en question.

3.9 TRAITEMENT STATISTIQUE DES DONNÉES

Le secteur à l'étude a été divisé en trois blocs dans chacun desquels on a appliqué les cinq traitements suivants.

1- Jardinage par petites trouées de 500 m^2 (JTp)
2- Jardinage par grandes trouées de 1500 m^2 (JTg)
3- Coupe par parquet (PA)
4- Coupe par parquet avec semenciers (SEM)
5- Coupe progressive par trouées (CPEt)

Le tableau 1 présente la liste des variables mesurées lors de cette étude. Pour la majorité de ces variables, on possède une mesure par voyage et le nombre de voyages varie de 2 à 19 par traitement dans chacun des blocs. Cependant, on ne dispose que d'une seule mesure par traitement pour la distance maximale ainsi que pour les volumes moyens par arbre, par hectare et par tige de 20 cm et plus.

TABLEAU 4. VARIABLES MESURÉES LORS DES OPÉRATIONS ET CALCULÉES POUR CHAQUE TRAITEMENT

VARIABLE	DESCRIPTION
PROD1_H	Productivité moyenne des travailleurs (en minute par mètre cube)
DISTANCE	Distance du voyage (en mètre)
DIST_MAX	Distance maximale (en mètre)
PENTE PON	Pente pondérée moyenne (en %)
VOL_ARB	Volume moyen des arbres (en mètre cube)
TIGE_20	Volume moyen des tiges avec un dhp de 20 cm et plus (en mètre cube)
NB_BIL	Nombre de billes par voyage
VOL_BIL	Volume moyen par bille transportée (en mètre cube)
VOL_VOY	Volume moyen par voyage (en mètre cube)
VOL_HA	Volume moyen par hectare (en mètre cube)

L'analyse statistique des données est effectuée en poursuivant deux objectifs : premièrement, il s'agit de comparer la productivité des cinq traitements entre eux à partir des variables mesurables avant, pendant et après les opérations et un second objectif est de créer un modèle de prédiction de productivité en fonction de différents facteurs de terrain et de peuplement mesurables avant le traitement.

4. RÉSULTATS

4.1 STATISTIQUE GÉNÉRALE SUR LA PRODUCTIVITÉ

Les relations entre la productivité et les variables explicatives sont illustrées à l'aide des graphiques (figures 2 à 4) qui sont créés en utilisant les valeurs moyennes des variables selon les blocs et les traitements.

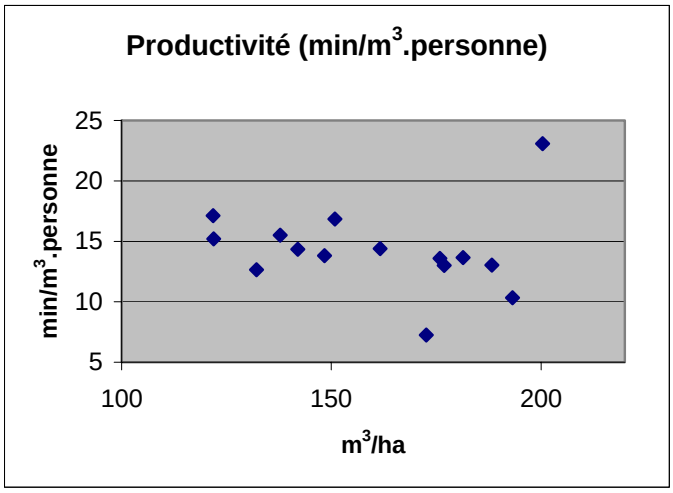


FIGURE 2. PRODUCTIVITÉ DE RÉCOLTE DU BOIS EN FONCTION DU VOLUME À L'HECTARE.

La productivité augmente avec l'augmentation du volume à l'hectare, c'est la variable explicative retenue dans le modèle pour comparer les traitements selon leur productivité (Prod. (min./m^3.personne) = 23,235 – 0,061 x (m^3/ha); R^2 = 0,34).

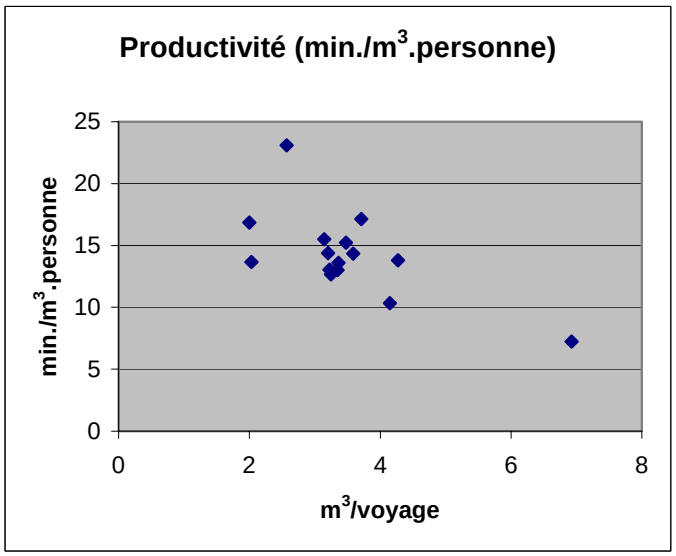


FIGURE 3. PRODUCTIVITÉ DE RÉCOLTE DU BOIS EN FONCTION DU VOLUME PAR VOYAGE.

La productivité augmente avec l'augmentation du volume par voyage, la relation est forte mais cette variable n'est pas mesurable avant la coupe (Prod.(min./m^3.personne) = 19,353 – 1,6138 x (m^3/voyage); R^2 = 0,55).

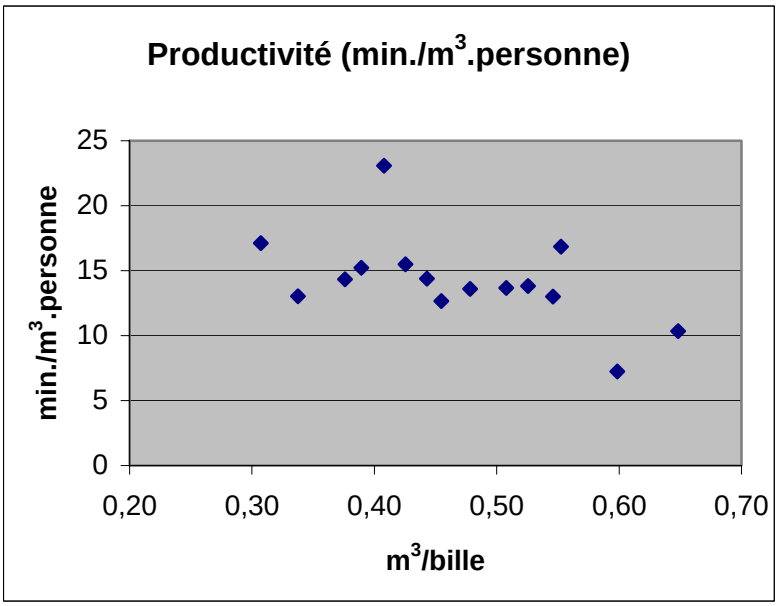


FIGURE 4. PRODUCTIVITÉ DE RÉCOLTE DU BOIS EN FONCTION DU VOLUME MOYEN PAR BILLE.
La productivité augmente avec l'augmentation du volume moyen par bille débardée (Prod. (min./m^3.personne) = 20,819 – 15,277 x (m^3/bille); R^2 = 0,36).

La dispersion des valeurs de variables est relativement restreinte, car les blocs expérimentaux sont divisés en parcelles (sections) ayant une superficie d'un hectare (100 m x 100 m), donc il y a moins de variabilité des conditions de terrain (la distance de débardage, la pente de terrain) que sur une grande superficie. La variabilité de terrain et de peuplement est limitée volontairement afin de déceler l'influence de traitements sur la productivité des travailleurs. Une telle procédure permet de décrire plus précisément l'impact de différents systèmes de récolte sur la productivité, par contre la variabilité réduite des valeurs de variables indépendantes rend plus difficile la conceptualisation d'un modèle de prédiction de la productivité à l'aide de variables mesurables avant le traitement. Pour cette raison, en observant les graphiques (figures 5 à 7), qui présentent les relations entre la productivité (variable dépendant Y) et les autres variables (variables indépendantes X), le volume de l'arbre moyen, la distance du débardage et la pente du terrain, on s'aperçoit que les relations sont faibles, dû à la faible variation de ces facteurs à l'intérieur du dispositif de mesure et que la productivité ne s'expliquera pas à l'aide de ces variables.

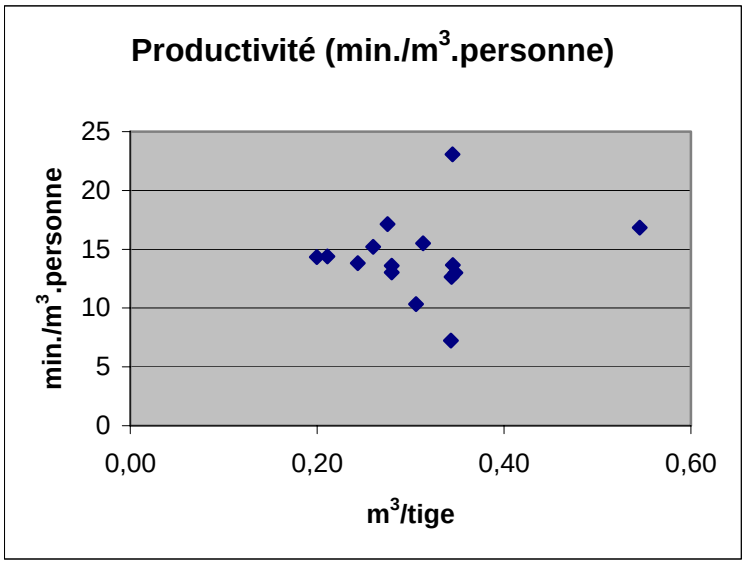


FIGURE 5. PRODUCTIVITÉ DE RÉCOLTE DU BOIS EN FONCTION DU VOLUME MOYEN DE L'ARBRE.

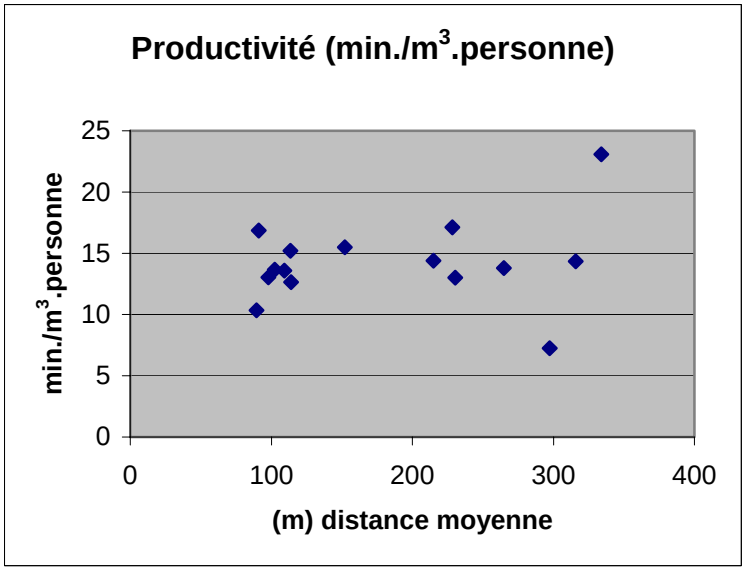


FIGURE 6. PRODUCTIVITÉ DE RÉCOLTE DU BOIS EN FONCTION DE LA DISTANCE MOYENNE DE DÉBARDAGE PAR BLOC ET PAR TRAITEMENT.

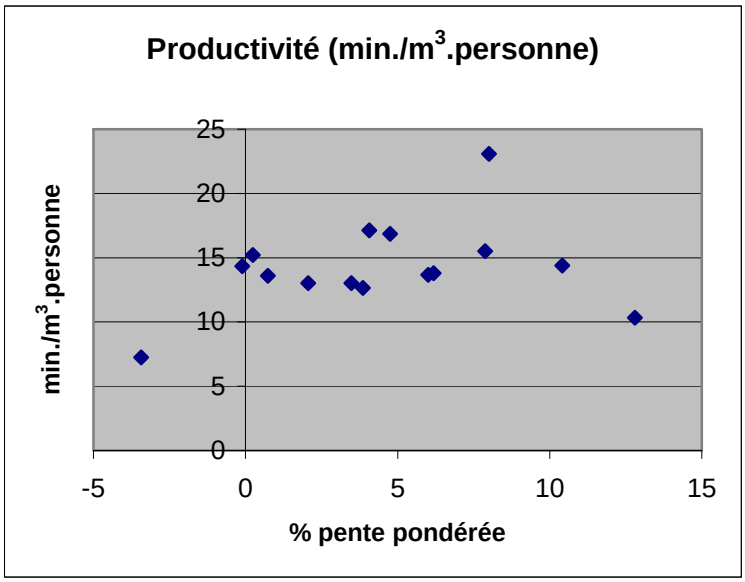


FIGURE 7. PRODUCTIVITÉ DE RÉCOLTE DU BOIS EN FONCTION DE LA PENTE PONDÉRÉE DU TERRAIN.

Les résultats des observations des opérations montrent que le temps productif représente 89,65 % du temps total et le délai se limite à 10,35 %. Les études se sont déroulées pendant une courte période de temps et en conséquence les observateurs n'ont pas eu possibilité d'évaluer certaines tâches que l'opérateur exécute périodiquement (ex. changement de roues, pose de chaînes, changement de l'huile, etc.). Il est facile d'obtenir ces informations auprès des opérateurs et des fabricants d'équipement. De plus, on veut mentionner que la distance totale de déplacement des débardeurs en charge lors des études est égale à 22 432 mètres. Un résumé des données et des résultats obtenus lors d'expérience est présenté dans le tableau 2.

TABLEAU 5. VALEURS MOYENNES DES VARIABLES SELON LES TRAITEMENTS.

N°	Bloc	Traitement	N. de voyage	Temps prod (min.)	Écart-type	Temps improd (min.)	Écart-type	Temps total (min.)	Écart-type	Distance moyenne (m)	Écart-type
1	1	CPE	8	22,09	8,08	3,49	4,29	25,59	11,15	152	43,11
2	2	CPE	2	26,79	0,19	8,70	12,31	35,49	12,50	334	42,43
3	3	CPE	5	15,61	3,04	2,91	2,45	18,52	5,04	91	47,85
4	**Moyenne**			**21,50**	**7,14**	**5,03**	**5,05**	**26,53**	**10,55**	**192**	**88,09**
5	1	JTG	10	29,12	4,89	3,75	3,13	32,87	4,92	265	39,66
6	2	JTG	4	22,79	1,97	0,69	0,47	23,49	1,94	215	16,83
7	3	JTG	7	24,67	5,74	1,11	2,40	25,78	5,82	297	47,83
8	**Moyenne**			**25,53**	**5,34**	**1,85**	**2,87**	**27,38**	**6,22**	**259**	**47,96**
9	1	JTP	8	20,69	7,54	2,37	2,91	23,06	9,69	109	38,24
10	2	JTP	9	21,14	5,10	2,86	1,97	23,99	6,20	230	50,29
11	3	JTP	3	19,69	3,13	3,03	5,25	19,72	8,35	89	28,10
12	**Moyenne**			**19,51**	**5,95**	**2,75**	**2,78**	**22,26**	**7,77**	**143**	**76,87**
13	1	PA	17	22,04	7,68	2,37	2,45	24,41	8,91	114	36,43
14	2	PA	12	24,68	4,42	3,17	3,12	27,85	5,68	316	42,16
15	3	PA	3	20,49	4,60	1,97	2,87	22,46	6,48	114	53,56
16	**Moyenne**			**22,40**	**5,45**	**2,51**	**2,86**	**24,91**	**6,66**	**181**	**117,73**
17	1	SEM	8	30,50	3,58	5,58	4,83	36,08	6,71	228	36,30
18	2	SEM	19	19,61	5,56	1,16	1,59	20,77	6,32	98	33,97
19	3	SEM	15	11,63	4,82	O,65	1,20	12,27	5,13	102	50,11
20	**Moyenne**			**20,58**	**8,34**	**2,46**	**3,01**	**23,04**	**10,31**	**143**	**64,82**
21	**MOYENNE TOTALE**			**21,90**	**7,36**	**2,92**	**3,20**	**24,82**	**9,11**	**184**	**91,93**

TABLEAU 5. VALEURS MOYENNES DES VARIABLES SELON LES TRAITEMENTS (SUITE)

N°	Bloc	Traitement	Distance maximale (m)	Pente pondérée (%)	Écart-type	Volume par tige (m^3)	Volume par tige 20 (m^3)	Volume à hectare (m^3)	Volume par bille (m^3)	Volume par voyage (m^3)	Écart-type
1	1	CPE	189	7,9	1,91	0,31	0,63	137,83	0,43	3,14	1,62
2	2	CPE	364	8,0	2,94	0,34	0,60	200,39	0,41	2,57	1,14
3	3	CPE	147	4,8	4,53	0,54	0,82	150,84	0,55	2,00	0,61
4	**Moyenne**		**233**	**6,9**	**3,26**	**0,40**	**0,68**	**163,02**	**0,46**	**2,57**	**1,34**
5	1	JTG	310	6,2	2,78	0,24	0,52	148,41	0,53	4,27	0,77
6	2	JTG	240	10,4	3,11	0,21	0,51	161,64	0,44	3,20	0,40
7	3	JTG	386	-3,4	2,11	0,34	0,69	172,63	0,60	6,92	1,43
8	**Moyenne**		**312**	**4,4**	**6,01**	**0,26**	**0,57**	**160,89**	**0,52**	**4,80**	**1,76**
9	1	JTP	155	0,7	3,92	0,28	0,54	175,87	0,48	3,36	1,57
10	2	JTP	321	2,1	1,64	0,35	0,47	176,87	0,55	3,35	0,71
11	3	JTP	116	12,8	6,86	0,30	0,61	193,19	0,65	4,15	2,28
12	**Moyenne**		**197**	**5,2**	**5,43**	**0,31**	**0,54**	**181,98**	**0,56**	**3,62**	**1,33**
13	1	PA	163	0,2	3,48	0,26	0,55	121,96	0,39	3,47	1,80
14	2	PA	375	-0,1	1,60	0,20	0,44	142,01	0,38	3,58	0,85
15	3	PA	169	3,9	3,62	0,34	0,67	132,18	0,45	3,24	0,75
16	**Moyenne**		**235**	**1,3**	**2,97**	**0,27**	**0,56**	**132,05**	**0,41**	**3,43**	**1,03**
17	1	SEM	309	4,1	1,63	0,27	0,58	121,78	0,31	3,71	0,83
18	2	SEM	134	3,5	3,32	0,28	0,55	188,25	0,34	3,23	1,01
19	3	SEM	175	6,0	4,65	0,34	0,81	181,37	0,51	2,03	1,29
20	**Moyenne**		**206**	**4,5**	**3,75**	**0,30**	**0,64**	**163,80**	**0,39**	**2,99**	**1,26**
21	**MOYENNE TOTALE**		**237**	**4,5**	**4,67**	**0,31**	**0,60**	**160,35**	**0,47**	**3,48**	**1,57**

TABLEAU 5. VALEURS MOYENNES DES VARIABLES SELON LES TRAITEMENTS (FIN)

N°	Bloc	Traitement	Productivité (m^3/heure.p)	Écart-type	Productivité observée (min/m^3.p)	Écart-type	Productivité prédite pour jardinage	Différence (min.)	Différence (%)
1	1	CPE	3,87	1,12	15,50	4,79	10,83	4,67	43,14
2	2	CPE	2,60	1,26	23,08	10,12	12,66	10,42	82,33
3	3	CPE	3,56	1,27	16,85	6,60	10,02	6,83	68,17
4	**Moyenne**		**3,25**	**2,55**	**16,96**	**6,15**	**11,17**	**5,79**	**51,83**
5	1	JTG	4,35	0,80	13,81	2,31	12,91	0,90	6,94
6	2	JTG	4,17	0,59	14,39	1,96	11,46	2,93	25,58
7	3	JTG	8,28	1,95	7,25	1,55	14,61	-7,36	-50,37
8	**Moyenne**		**5,08**	**2,89**	**11,73**	**3,78**	**12,99**	**-1,26**	**-9,69**
9	1	JTP	4,41	1,55	13,59	4,79	12,33	1,27	10,30
10	2	JTP	4,61	1,28	13,01	3,74	14,09	-1,08	-7,68
11	3	JTP	5,81	3,34	10,34	6,52	9,23	1,11	12,02
12	**Moyenne**		**4,87**	**0,92**	**12,84**	**4,48**	**11,88**	**0,96**	**8,08**
13	1	PA	3,94	1,65	15,21	6,80	12,44	2,77	22,27
14	2	PA	4,18	1,32	14,34	3,35	15,17	-0,83	-5,44
15	3	PA	4,74	0,25	12,65	0,65	11,17	1,48	13,25
16	**Moyenne**		**4,25**	**1,37**	**14,65**	**5,40**	**12,93**	**1,72**	**13,30**
17	1	SEM	3,50	0,70	17,13	4,02	12,98	4,15	31,94
18	2	SEM	4,60	1,90	13,03	4,25	11,57	1,46	12,62
19	3	SEM	4,39	1,54	13,66	5,82	10,09	3,57	35,36
20	**Moyenne**		**4,11**	**0,56**	**14,04**	**4,96**	**11,55**	**2,49**	**21,56**
21	**MOYENNE TOTALE**		**4,21**	**1,79**	**14,05**	**5,11**	**12,10**	**1,95**	**16,12**

4.2 RÉSULTATS DES ANALYSES STATISTIQUES

4.2.1 Modèles de prédiction de productivité

Tout d'abord, quatre variables dichotomiques ont été créées afin de représenter les cinq traitements. Les variables T_1 à T_4 prennent les valeurs 0 ou 1 selon la règle suivante :

$T_1 = 1$ si le traitement est CPEt et 0 sinon
$T_2 = 1$ si le traitement est JTg et 0 sinon
$T_3 = 1$ si le traitement est JTp et 0 sinon
$T_4 = 1$ si le traitement est PA et 0 sinon
Lorsque les variables T_1 à T_4 prennent les valeurs 0, le traitement est SEM.

Étant donné que le modèle recherché a pour but de prédire la productivité des travailleurs avant l'application des traitements, les variables du modèle doivent être mesurables avant la coupe. Le tableau 1 présente la liste de toutes les variables mesurées et parmi elles, le volume par voyage, le nombre d'arbres par voyage ainsi que le volume par bille sont des variables qu'il est impossible de mesurer avant l'application du traitement.

Dans un premier temps, deux modèles de régression différents ont été construits à partir uniquement des variables mesurables avant la coupe. Ensuite, dans le but de connaître les variables qui peuvent expliquer la productivité, un modèle a été bâti en utilisant toutes les variables mesurées.

4.2.1.1 Modèle avec tous les traitements et une sélection de variables mesurables avant la coupe

Le premier modèle est composé des quatre variables dichotomiques représentant les cinq traitements ainsi que des variables mesurables avant l'application du traitement. La première étape consiste à faire une régression linéaire simple sur l'ensemble des variables mesurables avant l'application du traitement en utilisant la procédure de sélection automatique pas à pas (*stepwise*) mais tout en l'obligeant à garder les quatre variables dichotomiques représentant les traitements dans le modèle.

Outre les quatre variables représentant les traitements, cette première sélection a retenu la variable volume par hectare (VOL_HA) dans le modèle de régression. L'option «collinéarité» de la procédure régression de SAS a permis de vérifier qu'il n'y avait aucun problème de multicollinéarité parmi les variables explicatives du modèle. La présence de valeurs influentes a été vérifiée par diverses statistiques telles que les DFFITS (Dffits mesure le changement que l'on observe dans la valeur prédite lorsqu'on enlève l'observation), les DFBETAS (Dfbetas mesure le changement que l'on observe dans l'estimation des coefficients de régression lorsqu'on enlève l'observation), les éléments de la diagonale de la matrice H et les résidus standardisés. Aucune donnée aberrante n'a été décelée.

Le modèle final (R^2_{aj}=0,13 ; $\hat{\sigma}$ =4,76) est

(1)

$$\text{PROD (min./m}^3\text{.pers.)} = 24{,}81 + 2.0(T_1) - 3.45(T_2) - 0{,}84\,(T_3) - 2{,}05\,(T_4) - 0{,}062\,(\text{VOL_HA})$$

Le coefficient de détermination ajusté (R^2_{aj}) de 13 % nous indique que le modèle ne s'ajuste pas bien aux données. Précisons que l'erreur de prédiction ($\hat{\sigma}$), qui est de 4,76 min/m^3, représente l'écart-type moyen autour d'une prédiction de productivité pour un seul voyage. Si on veut prédire la productivité moyenne pour plusieurs voyages l'erreur sera beaucoup plus petite que $\hat{\sigma}$. Par exemple, si on prédit la productivité pour une moyenne de dix voyages, l'erreur moyenne de prédiction sera de 1,91 min/m^3 alors que pour 30 voyages, elle devient 1,47 min/m^3 pour aller jusqu'à 1,18 min/m^3 pour un très grand nombre de voyages. Habituellement, lors de la planification des travaux en forêt, les intervenants ont intérêt à connaître (prédire) la productivité moyenne de plusieurs centaines de cycles de débardage afin de prévoir et de calculer correctement les coûts correspondants à ces opérations. Donc, même si le R^2 de la régression proposée est faible, on suppose que le modèle conçu peut trouver une application pratique dans la planification des traitements sylvicoles mentionnés plus haut. Il est logique et normal que les sylviculteurs et les industriels ne s'intéressent pas à la productivité d'un seul voyage, mais qu'ils ont plutôt besoin d'un outil fiable de prédiction de la productivité de l'ensemble des opérations de récolte du bois dans un secteur de coupes.

4.2.1.2 Modèle avec une sélection de traitements et de variables mesurables avant la coupe

Le deuxième modèle a été construit en utilisant la procédure de sélection automatique *stepwise* sur les variables dichotomiques représentant les traitements ainsi que sur les autres variables mesurables avant l'application du traitement. Les variables retenues dans le modèle sont T_1, T_2 et VOL_HA. Aucun problème de multicollinéarité ni donnée aberrante n'a été décelé.

dans ce modèle final (R^2_{aj}=0,13 ; $\hat{\sigma}$ =4,75) qui correspond à

(2)

$$PROD\ (min./m^3.pers.) = 20,39 + 2,9(T_1) - 2,55(T_2) - 0,04(VOL_HA)$$

Ce modèle ne s'ajuste pas mieux aux données que le modèle précédent avec un R^2_{aj} de 13 %. L'erreur moyenne de prédiction $\hat{\sigma}$ est de 4,75 min/m^3 pour un seul voyage mais elle diminue à 1,82 min/m^3 pour dix voyages. Cette erreur est de 1,34 min/m^3 pour une moyenne de 30 voyages et descend jusqu'à 1,02 min/m^3 pour un très grand nombre de voyages.

4.2.1.3 Modèle en sélectionnant l'ensemble des variables mesurées

Dans ce troisième modèle, la sélection a été faite parmi toutes les variables du tableau 1 peu importe qu'elles soient mesurables ou pas avant la coupe. La procédure de sélection *stepwise* a inclus les variables T_1, DISTANCE, VOL_HA, VOL_BIL et VOL_VOY dans le modèle de régression. Ensuite, une seconde sélection a été réalisée sur les interactions entre ces variables et le terme VOL_BIL*VOL_VOY a été ajouté au modèle. Ce modèle ne montrait aucune multicollinéarité et il n'y avait pas présence de données aberrantes.

Le modèle final (R^2_{aj}=0,63 ; $\hat{\sigma}$ =3,13) est donc

(3)

$$PROD\ (min/m^3.pers) = 32,27 + 1,94(T_1) + 0,0088(DISTANCE) - 0,042(VOL_HA) - 14,95(VOL_BIL) - 3,06(VOL_VOY) + 2,35(VOL_BIL*VOL_VOY)$$

Le R^2_{aj} de ce troisième modèle est de 63 % ce qui montre bien que les variables VOL_BIL et VOL_VOY, qui ne sont pas mesurables avant la coupe, expliquent une grande partie de la productivité. Rappelons que ce modèle ne peut pas être utilisé pour prédire la productivité avant l'application du traitement puisqu'il contient des variables qui ne sont mesurables qu'après la coupe.

4.3 COMPARAISON DES TRAITEMENTS SELON LA PRODUCTIVITÉ DES TRAVAILLEURS

Le premier objectif était de comparer les traitements et de les classer selon leur productivité. Pour ce faire, nous utilisons les trois modèles de prédiction de la productivité élaborés à l'aide des analyses statistiques. Les valeurs moyennes des variables observées sur le terrain sont introduites dans les modèles afin de calculer la productivité selon le traitement (pour les rendre comparables).

Dans le première modèle, on retrouve une seule variable mesurable sur le terrain, c'est-à-dire le volume moyen à l'hectare et les quatre variables dichotomiques indiquant le traitement. Les résultats obtenus nous indiquent, que la productivité de quatre traitements (JTg, PA, JTp, SEM) varie peu d'un traitement à l'autre, mais en même temps, on observe que la productivité réalisée dans la coupe progressive par trouées (CPE) semble être moins performante et elle est estimée à 16,98 min./m^3.personne pour un volume moyen de 160 m^3/ha tandis que celle de coupe de jardinage par grandes trouées est la plus productive et elle est égale à 11,44 min./m^3.personne.

TABLEAU 6. PRODUCTIVITÉ PRÉDITE DES OPÉRATIONS DE RÉCOLTE DU BOIS SELON LE MODÈLE[1]
Prod(min./m^3.pers.) = $24{,}8+2{,}0(T_1)-3{,}45(T_2)-0{,}84(T_3)-2{,}05(T_4)-0{,}062$(vol/ha)

Traitement	Volume m^3/ha	Productivité min./m^3.p	Volume m^3/ha	Productivité min./m^3.p	Volume m^3/ha	Productivité min./m^3.p
JTg	220	7,72	160	11,44	120	13,92
PA	220	9,12	160	12,84	120	15,32
JTp	220	10,33	160	14,05	120	16,53
SEM	220	11,17	160	14,89	120	17,37
CPE	220	13,17	160	16,89	120	19,37

Les valeurs du tableau 6 montrent que le plus grand écart de productivité entre deux traitements est de l'ordre de 5,45 min/m^3.pers. (1,69 m^3/h.pers.) et les données dont nous disposons n'ont pas permis à l'analyse de considérer cette différence comme étant statistiquement significative. On remarque même que la productivité varie un peu d'un traitement à l'autre.

TABLEAU 7. PRODUCTIVITÉ PRÉDITE DES OPÉRATIONS DE RÉCOLTE DU BOIS SELON LE MODÈLE(2)
Prod(min./m^3.p) = $20,39+2,9(T_1)-2,55(T_2)-0,04$(vol/ha)

Traitement	Volume m^3/ha	Productivité min./m^3.h	Volume m^3/ha	Productivité min./m^3.h	Volume m^3/ha	Productivité min./m^3.h
JTg	220	9,04	160	11,44	120	13,04
PA	220	11,59	160	13,99	120	15,59
JTp	220	11,59	160	13,99	120	15,59
SEM	220	11,59	160	13,99	120	15,59
CPE	220	14,49	160	16,89	120	18,49

Le tableau 7 contient les résultats sur la productivité obtenus à l'aide de modèle construit en utilisant la procédure de sélection automatique des variables. En observant les valeurs de productivité, on constate que la coupe de jardinage par grandes trouées est la plus productive et que la coupe progressive d'ensemencement est la plus lente. Toutefois, on peut noter qu'il n'y a pas de différence significative entre les autres méthodes de récolte de bois.

Le tableau 8 présente une comparaison de la productivité réelle (observée) selon les blocs et les traitements obtenus lors des coupes par rapport à la productivité prédite selon trois modèles élaborés dans ce but. La valeur positive du pourcentage de la différence entre la productivité prédite et la productivité réelle indique, que la productivité réelle est supérieure à celle prédite.

TABLEAU 8. PRODUCTIVITÉ OBSERVÉE ET PRODUCTIVITÉ PRÉDITE SELON LES TROIS MODÈLES.

Bloc	Trait.	N.voyages	Prod.observée par équipe	Prod. observée par personne	Prod. prédite modèle 1	Différence (préd.-observée)	Prod. prédite modèle 2	Différence (préd.-observée)	Prod. prédite modèle 3	Différence (préd.-observée)
			(min./m^3.équi.)	(min./m^3.p.)	(min./m^3.p.)	%	(min./m^3.p.)	%	(min./m^3.p.)	%
1	cpe	8	7,75	15,50	18,26	17,80	17,78	14,65	16,92	9,14
1	jtg	10	6,90	13,81	12,16	-11,93	11,90	-13,78	12,71	-7,93
1	jtp	8	6,80	13,59	13,07	-3,89	13,35	-1,76	12,19	-10,34
1	pa	17	7,61	15,21	15,20	-0,10	15,51	1,96	14,87	-2,26
1	sem	8	8,56	17,13	17,26	0,76	15,52	-9,40	15,90	-7,18
2	cpe	2	11,54	23,08	14,39	-37,67	15,27	-33,82	17,23	-25,33
2	jtg	4	7,20	14,39	11,34	-21,23	11,37	-20,98	14,29	-0,75
2	jtp	9	6,51	13,01	13,00	-0,07	13,32	2,32	12,76	-1,97
2	pa	12	7,17	14,34	13,96	-2,70	14,71	2,56	15,66	9,19
2	sem	19	6,52	13,03	13,14	0,80	12,86	-1,33	12,87	-1,29
3	cpe	5	8,42	16,85	17,46	3,61	17,26	2,41	16,89	0,25
3	jtg	7	3,62	7,25	10,66	47,00	10,93	50,84	7,24	-0,13
3	jtp	3	5,17	10,34	11,99	16,03	12,66	22,51	8,88	-14,10
3	pa	3	6,33	12,65	14,56	15,09	15,10	19,35	14,46	14,28
3	sem	15	6,83	13,66	13,57	-0,71	13,14	-3,86	14,17	3,73

4.4 COMPARAISON DE LA PRODUCTIVITÉ DES TRAITEMENTS À L'ÉTUDE AVEC LA PRODUCTIVITÉ DE COUPE DE JARDINAGE

Il est important de comparer les traitements faisant l'objet d'étude avec un autre traitement couramment pratiqué dont la productivité et la méthode d'évaluation sont déjà bien connues. La coupe de jardinage correspond avec cette définition et elle sera utilisée pour la comparaison de la productivité de nouvelles coupes. Également, il est bon de mentionner que c'est la coupe de jardinage qui a été déjà prescrite pour l'ensemble du territoire où l'expérience a eu lieu.

Afin de comparer la productivité des coupes appliquées lors d'expériences avec la coupe de jardinage, un modèle «provincial» de prédiction de la productivité a été utilisé. Le modèle de prédiction (Rycabel 1998) contient trois variables dont les valeurs sont facilement mesurables avant le traitement et son coefficient de détermination s'élève à 63 %. Voici le modèle :

Prod (min/m^3.pers.) = 13,849736 + 0,009768(distmax) – 0,193635(penpon) – 5,325761(tige20)

R^2 = 63%

Où :

DIST_MAX	=	distance maximale de débardage dans un secteur (m)
PENPON	=	pente pondérée par la distance (%)
TIGE_20	=	volume moyen (m^3) pour les tiges ayant un DHP ≥ à 20 cm

TABLEAU 9. PRODUCTIVITÉ OBSERVÉE ET PRÉDITE SELON LES COUPES.

Traitements	Pente pondérée (%)	Volume tige 20 (m^3)	Distance maximale (m)	Product. observée (min/m^3.p)	Product. prédite (min/m^3.p)	Différence (minutes)	Différence (%)
JTG	3,78	0,5735	312	11,73	13,11	-1,38	-10,5
JTP	3,14	0,5424	197	12,84	12,28	0,56	4,5
PA	0,45	0,5557	235	14,65	13,10	1,55	11,8
SEM	4,50	0,6453	206	14,04	11,55	2,49	21,5
CPE	6,85	0,6811	233	16,96	11,17	5,79	51,8
MOY	3,74	0,5996	237	14,05	12,25	1,80	14,7

Où :

Pente pondérée – la pente pondérée moyenne pour tous les sentiers de débardage selon

Volume tige 20 – le volume moyen (m^3) pour les tiges ayant un DHP égal ou plus grand à 20 cm

Distance maximale – la distance maximale (m) de débardage en charge

Productivité observée – la productivité obtenue lors de chronométrage

Productivité prédite – la productivité probablement obtenue si le jardinage avait eu lieu

Différence – la différence entre la productivité réelle et prédite

Selon l'étude de Rycabel (1998), la productivité moyenne de coupe de jardinage observée pour le Québec est égale à 12,88 (min./m^3) par travailleur, la productivité moyenne prédite à l'aide de modèle de jardinage pour le secteur d'études s'élève à 12,25 (min./m^3.hom.) selon les valeurs des mêmes variables que l'on retrouve dans le modèle. Donc, on suppose que le modèle s'ajuste bien aux conditions biophysiques du bloc expérimental. En conséquence, les conclusions tirées de cette comparaison seront suffisamment valables et exactes afin d'être utilisées pour la planification de ce type de travaux. À notre avis, cette démarche fournira l'information fiable si les coupes mises à l'essai sont plus ou moins productives que la coupe de jardinage.

Voici quelques constatations :

1. La coupe progressive d'ensemencement est de 51,8 % moins productive que la coupe de jardinage exécutée dans les mêmes conditions. Le manque d'expérience chez les travailleurs dans ce type de travaux a certainement influencé la productivité. Il est évident, que l'organisation du travail est plus complexe dans la coupe progressive par trouées que dans la coupe de jardinage. De plus, les arbres de forte dimension sont laissés en bordure des trouées comme semenciers.

2. La productivité de la coupe par parquet avec la réserve des semenciers, qui est de 21,5 % plus basse que celle prédite pour la coupe de jardinage, peut s'expliquer par le fait que 37 arbres à l'hectare de forte dimension sont conservés comme les semenciers et que le volume moyenne de l'arbre récolté diminué considérablement.

3. La meilleure productivité de tous les traitements est sans doute celle de la coupe de jardinage par grandes trouées. Probablement, elle était influencée par le volume moyen des billes récoltées relativement élevé, 0,52 m^3 par bille, par la récolte de bois dans les trouées, lesquelles sont placées aux endroits où les arbres sont de faible vigueur et souvent de forte dimension et finalement le volume moyen par voyage réalisé ici est supérieur qu'ailleurs, il est égal à 4,8 m^3.

4. Normalement, la productivité de la coupe à blanc (par parquet) dans un peuplement inéquienne composé des arbres de différentes dimensions est inférieure à celle réalisée dans la coupe de jardinage où les arbres de faible vigueur et souvent de forte dimension sont récoltés en priorité.

5. La productivité de la coupe de jardinage par petites trouées ne diffère pas de la productivité estimée selon le modèle de prédiction pour la coupe de jardinage.

Lors de la comparaison des traitements réalisés par l'analyse de covariance, on a décelé aucune différence significative entre les cinq traitements. On a tout de même observé que les productivités moyennes de la coupe progressive par trouées semblaient moins bonnes que celles des autres traitements. Probablement, la productivité était affectée par les facteurs suivants : manque d'expérience chez les travailleurs, mauvais fonctionnement du débardeur (la transmission ne fonctionnait pas normalement et elle a été remplacée), méthode plus complexe que les autres coupes (localisation des sentiers de débardage, localisation des trouées, visualisation difficile de l'ensemble du traitement par les travailleurs).

L'analyse a démontré également que la productivité réalisée lors de la coupe de jardinage par des grandes trouées est un peu meilleure par rapport aux autres méthodes de coupe. La récolte de grosses tiges dans l'ensemble du peuplement et la localisation des trouées aux endroits où les arbres atteignaient déjà la maturité, ont certainement pu augmenter la productivité, car il y a moins de manutention lors du débardage des billes de forte dimension (pour plus de volume) que des petites billes (pour moins de volume).

Si on s'intéresse maintenant à la construction d'un modèle de prédiction, les graphiques représentant la productivité en fonction de chacune des variables mesurées (présentés à la section 4.1) montrent que la productivité des travailleurs pour un voyage est surtout expliquée par les volumes par voyage et par bille.

Malheureusement, ces deux variables ne sont mesurables qu'après la coupe et ne peuvent donc pas être incluses dans un modèle de prédiction. C'est justement l'absence de ces deux variables dans les premier et deuxième modèles de la section 4.2.1.1 et 4.2.1.2 du rapport qui explique le pauvre coefficient de détermination ajusté (R^2_{aj}) de 13 % pour les deux modèles. L'utilisation du diamètre moyen quadratique dans le modèle de prédiction pourrait certainement permettre d'augmenter la précision de celui-ci, le diamètre étant corrélé au volume individuel des billes. Notons quand même, que l'erreur moyenne de prédiction pour la productivité moyenne d'un grand nombre des voyages (plus que 30) est de 1,18 et 1,02 min/m^3.pers. respectivement pour le premier et le deuxième modèles, ce qui est acceptable et de plus les modèles sont simples à alimenter. Pour ce qui est du troisième modèle, il ne peut être utilisé comme modèle de prédiction puisqu'il comprend des variables qui ne sont mesurables qu'après la coupe.

De plus, la classification actuelle des méthodes de coupe selon leur productivité du plus élevé au plus faible n'est probablement pas définitive. Toutefois, ces derniers résultats nous confirment les résultats sur la productivité des mêmes traitements appliqués dans un secteur situé dans la région de Lac Mégantic (Lessard et al., 1998) où la coupe par parquet et la coupe de jardinage ont été les plus performantes, et où la coupe progressive d'ensemencement est moins productive que les autres coupes. À la lumière des résultats de ces deux secteurs, il est évident qu'on peut construire un modèle de prédiction de la productivité valable pour les peuplements dont les conditions biophysiques sont semblables à celles rencontrées dans les blocs expérimentaux. La fiabilité du modèle sera testée lors de la prochaine étude sur le terrain et éventuellement, il sera ajusté aux besoins en utilisant des nouvelles données.

5. RECOMMANDATIONS

La complexité et la nouveauté des prescriptions sylvicoles mises à l'essai dans ces peuplements mixtes ayant une structure irrégulière auraient demandé quelques modifications dans l'organisation du déroulement des expériences. Dans les lignes qui suivent, on présente quelques suggestions qui peuvent être apportées lors de répétition des expériences afin d'améliorer la qualité mais surtout la quantité (le nombre) des données prises sur le terrain. Voici les suggestions :

1. Former les opérateurs afin de permettre de bien comprendre les objectifs des différentes prescriptions sylvicoles.

2. Désigner les travailleurs qui participeront d'une façon ininterrompue à la recherche du début jusqu'à la fin du projet.

3. Prendre des mesures (effectuer le chronométrage) une fois que les travailleurs ont développé des bonnes habitudes et habiletés de travail. Autrement, les résultats obtenus ne représentent que la période d'apprentissage.

4. Réaliser tous les traitements à l'aide de la même équipe de travailleurs afin d'éliminer l'influence de différents travailleurs sur la productivité. En cours d'expérience, cinq équipes ont réalisé les travaux en utilisant plusieurs marques de débardeurs. Ainsi, il est difficile d'obtenir des fortes relations entre la productivité et les variables explicatives.

5. La différence dans la productivité en volume entre les traitements est principalement expliquée par la variation du volume à l'hectare (m^3/ha) mais on suppose qu'en partie, elle est liée aux habitudes et performances des opérateurs.

6. Une seule équipe de chercheurs composée de deux personnes (un ingénieur et un étudiant) est largement insuffisante pour évaluer la productivité avec précision (réaliser le chronométrage, mesurer la pente et la distance dans les sentiers de débardage et évaluer le volume du bois à la jetée) comparé à plusieurs équipes d'opérateurs travaillant simultanément. Ainsi, le nombre des mesures prises par traitement est faible, c'est-à-dire à la limite acceptable pour effectuer les analyses statistiques. Finalement, il est important de mentionner que l'engagement de deux techniciens forestiers bien expérimentés en étude de temps est indispensable pour réaliser la prise des données sur le terrain ainsi que pour assurer la saisie, la validation et certains traitements de ces mêmes données.

7. Sensibiliser l'ensemble des gestionnaires de terrain sur l'importance des résultats de la recherche pour l'entreprise lors de la planification de travaux et de prévision des coûts des opérations. Un modèle de prédiction de la productivité fiable, précis et facile à alimenter est habituellement apprécié par les gestionnaires.

CONCLUSION

La présente étude de temps et mouvement a permis d'établir deux modèles qui, selon le cas, ont permis de prédire ou d'évaluer la productivité des opérations dans les conditions du dispositif d'expérimentation. La coupe progressive par trouées est moins productive que les autres coupes en raison principalement du manque d'expérience des travailleurs et d'un volume prélevé par bille et par voyage plus faible dans ce type de coupe. Le jardinage par grandes trouées serait plus productif en raison du type de prélèvement, les arbres de faible vigueur ayant habituellement une forte dimension, et dû à la simplification de l'opération, les grandes trouées étant localisées aux endroits de faible vigueur contenant habituellement des tiges de forte dimension.

Le choix d'un traitement doit faire l'objet d'un diagnostic sylvicole rigoureux et bien documenté. Le martelage est un facteur stratégique de l'avenir du peuplement et de la productivité du traitement faisant l'objet d'un conflit potentiel entre le maintien des semenciers et la rentabilité des opérations. On devra prendre une décision quant aux critères à utiliser pour le choix des semenciers ou pour la localisation des trouées. La structure irrégulière des peuplements amenant un élément de difficulté supplémentaire.

Les trouées devraient-elles être localisées dans les zones ayant moins de vigueur sur pied, dans les zones ayant moins de régénération pour en installer, ou dans les zones ayant plus de régénération préétablie pour la libérer? La première méthode devrait fournir plus de volume avec, cependant, une plus forte proportion de bois à pâte. Afin de mieux localiser les trouées, l'intensification de l'inventaire serait préférable. Dans l'optique où une stratégie d'aménagement par trouées est envisagée, le positionnement systématique des trouées sera la méthode la plus simple.

Le choix final de la coupe de régénération la plus appropriée doit tenir compte, outre la productivité des opérations, du choix du régime d'aménagement équienne et inéquienne et des effets des traitements sur l'installation de la régénération, la proportion de bois de pâte produit et le développement des tiges résiduelles.

BIBLIOGRAPHIE

BROCK, S. M., K. D. JONES et G. W. MILLER, 1986. Felling and skidding cost associated with thinning a commercial appalachian hardwood stand in Northern West Virginia. North. J. Appl. For. 3(4) : 159-163 p.

FAVREAU, J. 1995. Productivité comparée en coupe jardinatoire et totale en forêt feuillue. Communiqué technique. FERIC. 2 p.

GINGRAS, J. F. 1988. L'influence des facteurs de site et de peuplement sur le rendement des abatteuses-groupeuses. FERIC. rapport technique n° RT-84. 18 p.

LESSARD, G., D. BLOUIN, T. RYCABEL et F. SAVARD. 1998. Étude comparative de différents traitements sylvicoles favorisant le développement du bouleau jaune. Rapport. Programme de mise en valeur du milieu forestier. p. 45-57

LORTZ, D., R. KLUENDER, W. McCOY, B. STOKES et J. KLEPAC. 1997 Manual felling time and productivity in southern pine forests. For. Prod. J. 47 (10). P. 59-63

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.

PILLIPS, E.J. 1996. Comparing silvicultural systems in a coastal montane forest : Productivity and cost of harvesting operations. FERIC. Special report N° SR-109. 42 p.

RICHARDSON, R. et J. F. GINGRAS. 1995. Récolte par coupe progressive ou par coupe rase de peuplements résineux du Nouveau-Brunswick. Communiqué technique. FERIC. 2 p.

ROBE, S. C., R. M. SHAFFER et W. B. STUART. 1989. Comparison of large and small grapple skidders for corridor thinning of pine plantations. For. Prod. J. 39(2) : 66-68

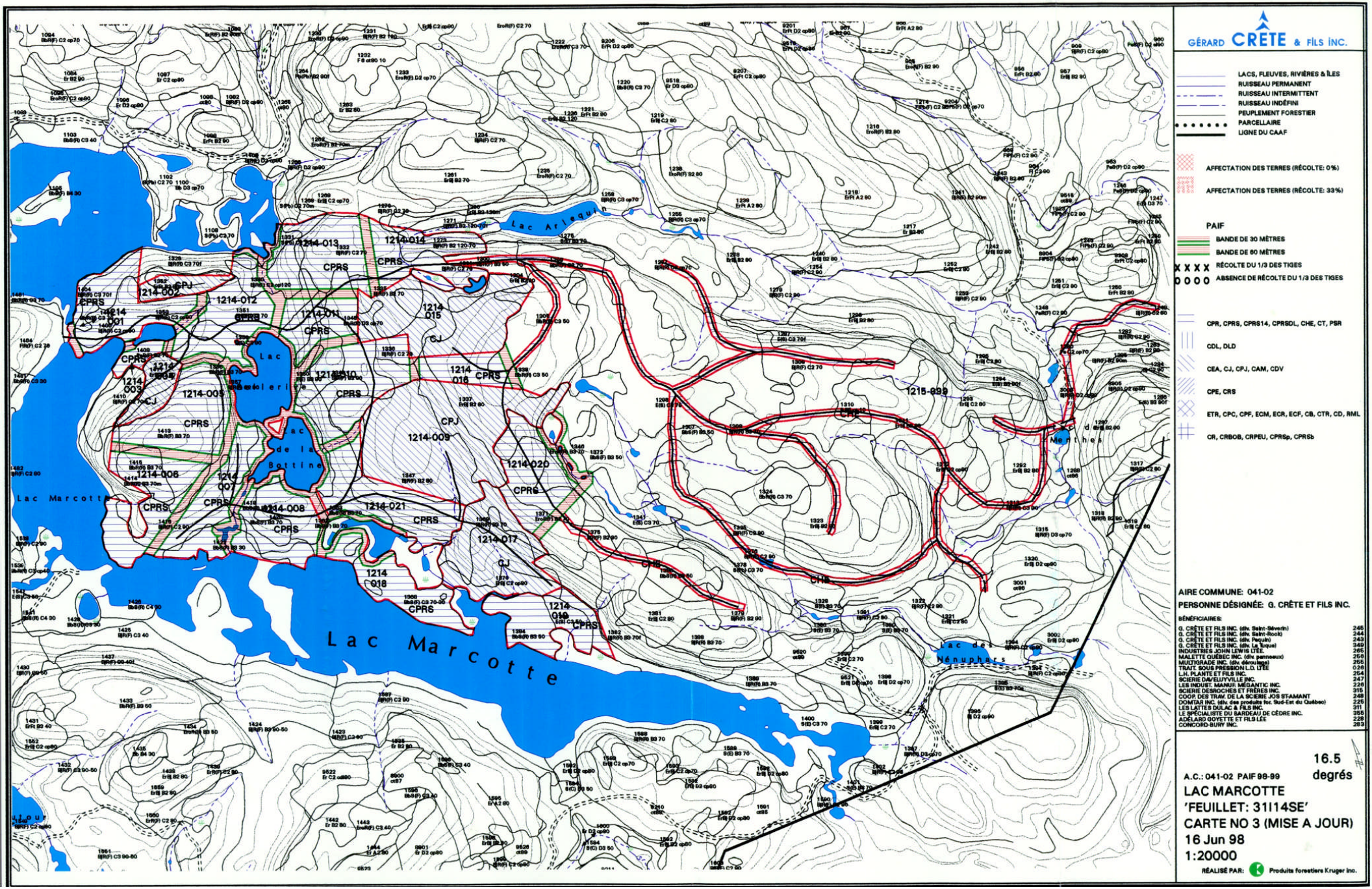
RYCABEL, T. 1998. Productivité des travailleurs forestiers dans des coupes de jardinage et de préjardinage de peuplements feuillus. Mémoire de recherche forestière. Québec, min. des ressources naturelles, Dir. De la rech. Forestière. Mémoire n°132. 37 p.

TUFTS, R. A. et B. J. STOKES. 1986. Productivity of rubber tired, grapple skidders performing gate delimbing. Proceedings, Society of American Foresters Annual Meeting, Birmingham, Alabama, octobre : 348-352

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

Annexe I

Carte écoforestière



GÉRARD CRÊTE & FILS INC.

LACS, FLEUVES, RIVIÈRES & ÎLES
RUISSEAU PERMANENT
RUISSEAU INTERMITTENT
RUISSEAU INDÉFINI
PEUPLEMENT FORESTIER
PARCELLAIRE
LIGNE DU CAAF

AFFECTATION DES TERRES (RÉCOLTE: 0%)
AFFECTATION DES TERRES (RÉCOLTE: 33%)

PAIF
BANDE DE 30 MÈTRES
BANDE DE 60 MÈTRES
X X X X RÉCOLTE DU 1/3 DES TIGES
0 0 0 0 ABSENCE DE RÉCOLTE DU 1/3 DES TIGES

CPR, CPRS, CPRS14, CPRSDL, CHE, CT, PSR
CDL, DLD
CEA, CJ, CPJ, CAM, CDV
CPE, CRS
ETR, CPC, CPF, ECM, ECR, ECF, CB, CTR, CD, RML
CR, CRBOB, CRPEU, CPRSp, CPRSb

AIRE COMMUNE: 041-02
PERSONNE DÉSIGNÉE: G. CRÊTE ET FILS INC.

BÉNÉFICIAIRES:

G. CRÊTE ET FILS INC. (div. Saint-Séverin)	245
G. CRÊTE ET FILS INC. (div. Saint-Rock)	244
G. CRÊTE ET FILS INC. (div. Pequin)	243
G. CRÊTE ET FILS INC. (div. La Tuque)	249
INDUSTRIES JOHN LEWIS LTÉE.	265
MALETTE QUÉBEC INC. (div panneaux)	259
MULTIGRADE INC. (div. déroulage)	255
TRAIT. SOUS PRESSION L.C. LTÉE	026
L.H. PLANTE ET FILS INC.	264
SCIERIE DAVELUYVILLE INC.	247
LES INDUST. MANUF. MÉGANTIC INC.	226
SCIERIE DESROCHES ET FRÊNES INC.	315
COOP. DES TRAV. DE LA SCIERIE JOS STAMANT	248
DONTAIN INC. (div. des produits for. Sud-Est du Québec)	225
LES LATTES DULAC & FILS INC.	311
LE SPÉCIALISTE DU BARDEAU DE CÈDRE INC.	355
ADÉLARD GOYETTE ET FILS LÉE	228
CONCORD-BURY INC.	283

16.5 degrés

A.C.: 041-02 PAIF 98-99
LAC MARCOTTE
'FEUILLET: 31I14SE'
CARTE NO 3 (MISE A JOUR)
16 Jun 98
1:20000

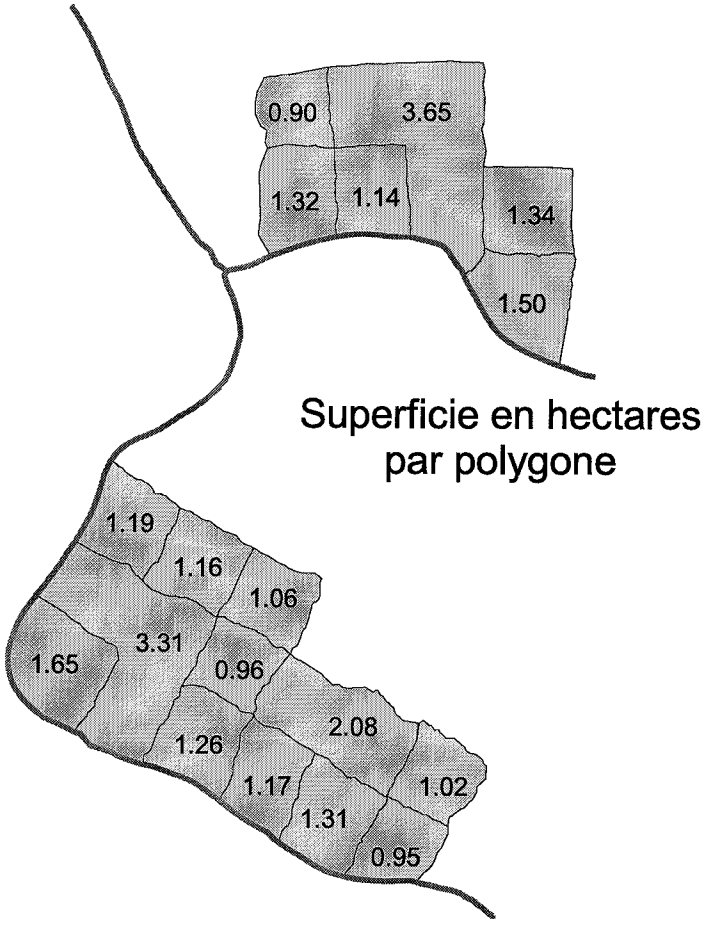
RÉALISÉ PAR: Produits forestiers Kruger inc.

Annexe 2

Secteur numérisé

RÉSERVE MASTIGOUCHE

Échelle 1 : 10 000



20 novembre 1998

CERFO

réf: projet - 3337

Annexe 3

Photos

Peuplement avant le traitement

Jardinage par trouées

Coupe progressive par trouées

Coupe par parquet. Au fond, l'andain de résidus de coupe

Coupe par parquet avec semenciers

Récolte de bois, débardage

Chronométrage des opérations

Évaluation du volume de bois récolté