

AS, L'AIDE SYLVICULTEUR (VERSION 1.1) :
MISE EN APPLICATION DANS LE CADRE D'UN AMENAGEMENT
MULTI-RESSOURCES DES LOTS INTRA-MUNICIPAUX DE LA MRC DE PAPINEAU

Projet réalisé par :

Pascale Sabbagh, M.Sc., Ing. agr.

Philippe Nolet, M.Sc.



Institut Québécois d'Aménagement
de la Forêt Feuillue

présenté à



Produits Forestiers Turpin



MRC de Papineau



MRN, Unité de gestion 72

mars 2002

Résumé

Ce rapport a pour objet la mise en application d'un logiciel d'aide à la décision pour les coupes sélectives dans les forêts feuillues de l'Outaouais, dans le contexte de l'aménagement des lots intra-municipaux de la MRC de Papineau. Ce logiciel, appelé l'Aide-Sylviculteur (AS), est applicable à des peuplements dans lesquels l'érable à sucre (*Acer saccharum* Marsh.) est une essence désirée, cultivés en accord avec les principes de l'aménagement durable pour la production de bois feuillu de qualité, et pour lesquels un des objectifs est l'apport financier.

Au Québec, le jardinage se résume la plupart du temps à prélever 30 % de la surface terrière d'un peuplement tous les 20 ans en veillant à augmenter le pourcentage de tiges vigoureuses et de qualité dans le peuplement résiduel. Ainsi, les mêmes directives de martelage sont constamment suivies en forêt feuillue, indépendamment des objectifs visés, avec le risque d'appliquer dans certains cas un traitement inapproprié. Le logiciel AS vise à l'instauration d'un martelage mieux adapté à la variabilité des objectifs (démarche de sylviculture par objectifs) et des peuplements (sylviculture «fine»). Ses deux principales utilisations sont 1) la production d'indications précises pour un martelage adapté à l'hétérogénéité des situations rencontrées, et 2) la simulation de différents scénarios de récolte à des fins de comparaisons. Les prescriptions de récolte du logiciel AS sont basées sur la structure des peuplements, la qualité des tiges et les objectifs poursuivis. Le principe fondamental est la récolte immédiate des arbres « à risque », les plus susceptibles de perdre de la valeur dans un futur proche, ainsi que des tiges de qualité ayant atteint le diamètre d'exploitabilité.

À l'aide du logiciel AS, on a simulé deux scénarios de récolte susceptibles d'être appliqués aux lots intra-municipaux : un scénario avec conservation d'une surface terrière minimale (fixée à 16 m²/ha), correspondant à la prise en compte d'objectifs de maintien de la qualité visuelle des paysages et de protection des sols, et un scénario sans conservation d'une surface terrière minimale. Des outils de projection et d'évaluation de la valeur des récoltes ont ensuite permis de comparer les revenus apportés par ces deux scénarios.

L'application sur le terrain des prescriptions de AS nécessite une traduction par le sylviculteur en directives de martelage. C'est pourquoi on a testé sur le terrain l'applicabilité de trois séries de directives de martelage issues des prescriptions de AS, correspondant à trois scénarios : « longues rotations (20 ans) sans surface terrière minimale », « longues rotations avec surface terrière minimale de 16 m²/ha » et « courtes rotations (10 ans) sans surface terrière minimale ». La légère baisse de productivité de ce type de martelage comparé au «jardinage 30 %» traditionnel serait avantageusement compensée par une meilleure adaptation du martelage à la forêt et aux objectifs.

Remerciements

Ce projet a été réalisé grâce au Programme de Mise en Valeur des Ressources du Milieu Forestier (Volet II) du Ministère des Ressources naturelles, avec l'appui de Produits Forestiers Turpin et de la MRC de Papineau.

Nous tenons à remercier Daniel Lavergne, qui a mis sa forêt à notre disposition pour les tests de martelage. Nos remerciements s'adressent également à Martin Poirier, pour la qualité du travail de terrain effectué et ses remarques pertinentes concernant l'applicabilité des directives de martelage, ainsi qu'à Éric Forget pour ses commentaires sur la méthodologie et son aide concernant la méthode d'évolution de la qualité des tiges utilisée dans le cadre de la comparaison économique des différents scénarios de récolte. Céline Trépanier, de la MRC de Papineau, nous a obligeamment aidé à préciser les besoins de la MRC en termes de choix de traitements pour les lots intra-municipaux. Nous souhaitons témoigner notre reconnaissance à Michel Letarte (MRN, Direction des Programmes Forestiers) et à François Trottier (MRN, Direction de l'Assistance Technique), qui ont fourni des données indispensables à la comparaison économique des scénarios de récolte. Enfin, nous remercions Frédéric Doyon et Éric Forget pour la relecture du texte.

Table des matières

LISTE DES TABLEAUX	V
LISTE DES FIGURES	V
LISTE DES ANNEXES	VI
LISTE DES ABRÉVIATIONS	VII
INTRODUCTION	1
PRÉSENTATION DU LOGICIEL AS	2
CONTEXTE ET DOMAINE D'APPLICATION.....	2
PRINCIPES DIRECTEURS DE LA MÉTHODOLOGIE UTILISÉE.....	3
CONCEPTION DE L'OUTIL.....	6
EXPLICITATION DES QUESTIONS PERMETTANT DE CIBLER LA MODALITÉ DE RÉCOLTE APPROPRIÉE	9
FACTEURS NON INCORPORÉS DIRECTEMENT DANS LE LOGICIEL.....	11
FONCTIONNEMENT DU LOGICIEL.....	12
COMPARAISON ÉCONOMIQUE DE DEUX SCÉNARIOS DE RÉCOLTE	17
BASE DE DONNÉES INITIALE.....	17
CARACTÉRISTIQUES DES DEUX SCÉNARIOS ÉTUDIÉS	17
PRINCIPES ET MÉTHODOLOGIE DE L'ANALYSE DES SCÉNARIOS.....	18
MODÉLISATION DE L'ÉVOLUTION D'UN PEUPEMENT	19
CALCUL DES REVENUS.....	24
MOYENS INFORMATIQUES EMPLOYÉS.....	25
RÉSULTATS.....	25
DISCUSSION ET MODIFICATION APPORTÉE AU LOGICIEL	27
MISE EN APPLICATION DES PRESCRIPTIONS DE AS SUR LE TERRAIN	28
CHOIX DU SITE D'ÉTUDE.....	28
DESCRIPTION DES PEUPEMENTS MARTELÉS ET DISPOSITIF DE MARTELAGE.....	28
PROBLÉMATIQUE.....	29
DES MODALITÉS DE RÉCOLTE AUX DIRECTIVES DE MARTELAGE.....	29
EXPLICITATION DES CONSIGNES DE MARTELAGE DES TROIS SCÉNARIOS.....	30
APPORTS DE LA PHASE DE TERRAIN.....	31
PRODUCTIVITÉ DU MARTELAGE.....	32
VULGARISATION DE LA MÉTHODOLOGIE EMPLOYÉE	33
CONCLUSION.....	34
GLOSSAIRE.....	35
RÉFÉRENCES CITÉES	36

Liste des tableaux

TABLEAU 1.	STRATÉGIES ET MODALITÉS DE RÉCOLTE ASSOCIÉES AUX DIFFÉRENTS OBJECTIFS DE MISE EN VALEUR.....	7
TABLEAU 2.	CARACTÉRISTIQUES DES DEUX SCÉNARIOS ÉTUDÉS.....	18
TABLEAU 3.	RÉPARTITION DES ESSENCES FEUILLUES DE LA BASE DE DONNÉES SELON LE MODÈLE D'ÉVOLUTION DE LA QUALITÉ APPLIQUÉ.....	21
TABLEAU 4.	RÉPARTITION DES ESSENCES FEUILLUES EN FONCTION DE LA GRILLE DE RÉPARTITION DES QUALITÉS « DÉROULAGE », « SCIAGE » ET « PÂTE » APPLIQUÉE	24
TABLEAU 5.	COMPARAISON DES PRIX DE LA RÉCOLTE ET DES COEFFICIENTS DE MAINTIEN DU CAPITAL SUR PIED ENTRE LES DEUX SCÉNARIOS.....	26
TABLEAU 6.	COMPARAISON DES PRÉLÈVEMENTS EN SURFACE TERRIÈRE ENTRE LES DEUX SCÉNARIOS	26

Liste des figures

FIGURE 1 :	SCHEMA SIMPLIFIE DE L'ALGORITHME DECISIONNEL ABOUTISSANT AU CHOIX D'UNE MODALITE DE RECOLTE.....	7
FIGURE 2 :	FENETRE D'ACCUEIL DE AS.....	13
FIGURE 3 :	FENETRE « PARAMETRES » DE AS.....	13
FIGURE 4 :	RUBRIQUE D'AIDE CONCERNANT LE DIAMETRE D'EXPLOITABILITE.....	14
FIGURE 5 :	FENETRE « RESULTATS » DE AS.....	15
FIGURE 6 :	AFFICHAGE DE LA TABLE DE RESULTATS.....	16
FIGURE 7 :	REPÉRAGE DANS LE TEMPS DES ÉTAPES DE LA PROCÉDURE À SUIVRE POUR L'ANALYSE D'UN SCÉNARIO.	22
FIGURE 8 :	DÉTAIL DES ÉTAPES DE LA PROCÉDURE À SUIVRE POUR L'ANALYSE D'UN SCÉNARIO.....	23
FIGURE 9 :	COMPARAISON DES COEFFICIENTS DE MAINTIEN DU CAPITAL SUR PIED, EN VALEUR (À GAUCHE) ET EN VOLUME (À DROITE) ENTRE LES DEUX SCÉNARIOS.....	26

Liste des annexes

ANNEXE 1.	CLASSIFICATION DES TIGES EN TERMES DE VIGUEUR ET DE QUALITÉ.....	II
ANNEXE 2.	ORDRE DE PRIORITÉ DESTIGES RÉCOLTÉES PAR AS.....	IV
ANNEXE 3.	FORMAT DE TABLE D'INVENTAIRE REQUIS PAR LE LOGICIEL AS.....	V
ANNEXE 4.	LISTE DES ESSENCES COMMERCIALES PRÉSENTES DANS LES LOTS INTRA-MUNICIPAUX DE LA MRC DE PAPINEAU.....	VI
ANNEXE 5.	LISTE DES HYPOTHÈSES ET APPROXIMATIONS EFFECTUÉES POUR LA COMPARAISON DES DIFFÉRENTS SCÉNARIOS DE RÉCOLTE.....	VII
ANNEXE 6.	ÉQUATIONS LINÉAIRES DE LA CROISSANCE ANNUELLE EN DHP EN FONCTION DU DHP ET DE LA SURFACE TERRIÈRE.....	VIII
ANNEXE 7.	EXEMPLE DE RÉSULTATS FOURNIS PAR LA MACRO EXCEL SIMULANT L'ÉVOLUTION DE LA QUALITÉ DES TIGES.....	IX
ANNEXE 8.	DONNÉES UTILISÉES POUR LES CALCULS DE VALEUR DE RÉCOLTE.....	X
ANNEXE 9.	LOCALISATION DE LA FORÊT UTILISÉE POUR LES TESTS DE TERRAIN.....	XVIII
ANNEXE 10.	DONNÉES FOURNIES AU MARTELEUR.....	XIX
ANNEXE 11.	POSTER DE PRÉSENTATION DE AS.....	XXIV

Liste des abréviations

AS : Aide-Sylviculteur

CRPF : Centre Régional de la Propriété Forestière (en France)

CGFA : Corporation de Gestion de la Forêt de l'Aigle

CR : courtes rotations

CRSTM : courtes rotations avec conservation d'une surface terrière minimale

DHP : diamètre à hauteur de poitrine

DHPex : diamètre d'exploitabilité

ERFT : strate dominée par des érables et des feuillus tolérants

ERPE : strate dominée par des érables et des peupliers

FT : strate dominée par des feuillus tolérants

IQAFF : Institut Québécois d'Aménagement de la Forêt Feuillue

LR : longues rotations

LRSTM : longues rotations avec conservation d'une surface terrière minimale

MRC : Municipalité Régionale de Comté

MRN : Ministère des Ressources naturelles (du Québec)

ONF : Office National des Forêts (de France)

ST : surface terrière

STM : surface terrière minimale

USDA : United States Department of Agriculture

Introduction

Au cours d'un projet précédent (Nolet *et al.*, 2001), l'Institut Québécois d'Aménagement de la Forêt Feuillue a développé une première version d'un logiciel d'aide à la décision pour les coupes sélectives dans les forêts feuillues dominées par l'érable à sucre de l'Outaouais : l'Aide-Sylviculteur (AS). Le présent projet vise à montrer l'utilité de ce logiciel, et plus généralement de la méthodologie de sylviculture fine par objectifs, dans le cadre de la planification sylvicole relative aux lots intra-municipaux de la MRC de Papineau.

La première partie de ce document présente le contexte, les objectifs et le champ d'application du logiciel AS, les principes directeurs utilisés pour sa conception ainsi les grandes lignes de son fonctionnement. On y apporte aussi les éléments-clé de la sylviculture par objectifs¹ et de la sylviculture fine*, fondements de la méthodologie du logiciel. La deuxième partie de ce rapport se présente sous la forme d'une analyse comparative, d'un point de vue économique, de deux scénarios de récolte* appliqués à des lots de la MRC de Papineau. La troisième partie décrit la phase de mise au point de directives de martelage* à partir des prescriptions du logiciel, les tests de terrain effectués pour tester l'applicabilité de ces directives ainsi que les modifications apportées au logiciel à la lumière de la phase de terrain.

¹ Les termes suivis de * sont définis dans le glossaire (p.35)

Présentation du logiciel AS

Contexte et domaine d'application

Le logiciel AS est applicable à des peuplements dans lesquels l'érable à sucre (*Acer saccharum* Marsh.) est une essence désirée, en tant qu'essence-objectif ou essence d'accompagnement. Ce logiciel est destiné en premier lieu au sylviculteur. Toutefois, il a été conçu pour donner matière à une réflexion commune entre le sylviculteur et l'aménagiste, ce dernier étant amené à mieux appréhender les répercussions au niveau de la sylviculture des choix faits lors de l'aménagement (objectifs*). Dans tous les cas, ce guide s'adresse à un technicien ou à un ingénieur forestier, c'est-à-dire à une personne possédant des connaissances sylvicoles en matière de classement des tiges en termes de vigueur, de régénération des essences, etc.

Nous nous sommes placés dans un cadre d'aménagement durable de la forêt. Quels que soient les autres objectifs, on tient pour acquis que tout utilisateur souhaite :

- la régénération de la forêt,
- la stabilité des peuplements (résistance aux chablis et aux maladies),
- l'obtention d'un revenu, la stratégie retenue pour atteindre cet objectif consistant à produire le maximum de bois de qualité.

Les prescriptions de récolte du logiciel AS sont basées sur la structure des peuplements, la qualité des tiges et les objectifs poursuivis. La première utilité du logiciel est la traduction des objectifs d'aménagement en prescriptions de récolte : AS renseigne le sylviculteur sur les modalités de récolte à appliquer en fonction des objectifs et des situations forestières rencontrées. Le travail du sylviculteur consiste alors à traduire les prescriptions de récolte fournies par AS en directives de martelage applicables sur le terrain.

Il importe de préciser que la coupe telle que définie par les directives issues de AS ne constitue pas obligatoirement le seul traitement à appliquer au peuplement. En d'autres termes, AS ne préjuge pas de la nécessité éventuelle de traitements complémentaires à la récolte (scarifiage par exemple).

La seconde utilité de AS est de permettre au sylviculteur de vérifier l'effet de ses objectifs (ou de ceux du propriétaire) sur la récolte et sur le peuplement résiduel. Avec AS, le sylviculteur peut tester divers scénarios et déterminer lequel d'entre eux correspond le mieux à ses attentes. Il est notamment possible de comparer l'impact financier de différents scénarios (démarche suivie dans la deuxième partie de ce rapport, voir p.17).

Principes directeurs de la méthodologie utilisée

Assouplissement des contraintes de type normatif

? Pas de maintien des proportions d'essences

À long terme, tout traitement par coupes sélectives de faible intensité amène un peuplement à une dominance d'essences tolérantes à l'ombre. Quant aux essences intolérantes, leur régénération peut être favorisée par la création de trouées de faible superficie. La conservation des proportions de la composition forestière actuelle telle que prescrite par les « Instructions Relatives » du Ministère des Ressources naturelles (MRN, 1999) n'est pas appliquée par le logiciel AS.

? Pas de répartition en classes de diamètre optimale

L'un des principes directeurs de la méthodologie proposée est la prise en compte de l'existant ; il s'agit de travailler avec la forêt en place, de tirer parti du potentiel présent, sans tendre vers une structure prédéfinie. La structure du peuplement apparaît non pas comme un objectif, mais comme un moyen permettant d'atteindre les objectifs fixés ; il n'y a pas de structure idéale (Paillereau, 2001). Rappelons que la majorité des guides d'aide à la décision existant pour les coupes de jardinage sont basés sur le respect d'une répartition déterminée (conforme à une courbe dite « en J inversé ») des individus selon les différentes classes de diamètre (Marquis *et al.*, 1992 ; Smith et Lamson, 1982). La variable utilisée pour traduire cette répartition est le facteur q , expression de la structure d'un peuplement inéquienne, égal à la moyenne des ratios entre le nombre d'arbres dans une classe de diamètre et le nombre d'arbres dans la classe de diamètre immédiatement supérieure. La méthode de coupe sélective par régulation de la distribution des diamètres repose sur le concept d'une structure inéquienne théorique parfaitement équilibrée, dans laquelle chaque classe d'âge occupe la même superficie et qui procure un rendement soutenu (Davis et Johnson, 1987).

Or, le fait de récolter les tiges dans les classes de diamètre où il existe un surplus d'arbres et de laisser en place les tiges appartenant aux classes de diamètre en déficit n'est pas toujours compatible avec l'obtention de la meilleure qualité possible. Dans l'Outaouais, les peuplements sont souvent si perturbés qu'on ne peut, lors de la coupe initiale, récolter tous les arbres « à risque » et en même temps équilibrer le nombre de tiges par classe de diamètre (MRN, 1995, p.315-316). En théorie, cette difficulté peut être contournée en faisant varier le facteur q en fonction de la qualité, par exemple en visant une distribution à q élevé (proportion importante de petites tiges) dans les peuplements écrémés, où les grosses tiges de mauvaise qualité sont nombreuses (Majcen *et al.*, 1991, p.34). Toutefois, lorsque l'objectif est la production de bois d'œuvre, comme c'est généralement le cas dans les érablières, l'accent mis sur la production de tiges de fortes dimensions

incite à l'utilisation d'un facteur q faible (Majcen *et al.*, 1991). Il devient alors difficile de concilier les différentes contraintes en employant la méthode de la courbe en J. De plus, cette méthode présente l'inconvénient majeur d'être difficilement applicable sur le terrain, et ce, malgré les grilles d'aide au marteleur fournies par Smith et Lamson (1982). Enfin, la méthode de la courbe en J possède des failles au plan théorique (Smith *et al.*, 1997, p.371-381).

? Atténuation des normes d'intensité de prélèvement

Les « Instructions Relatives » (MRN, 1999) imposent les conditions suivantes pour une coupe de jardinage :

- la surface terrière prélevée doit être comprise entre 25 % et 35 % de la surface terrière initiale,
- la surface terrière résiduelle doit être supérieure ou égale à 16 m² par hectare.

Les modalités de récolte prescrites par AS n'utilisent pas de norme systématique de surface terrière minimale. En revanche, la conservation d'une surface terrière minimale peut être spécifiée par l'utilisateur afin de répondre à des objectifs spécifiques, tels la stabilité du peuplement, l'esthétique du paysage ou la qualité du bois, et ce en conformité avec la démarche de sylviculture par objectifs. Après examen des forts prélèvements proposés par la première version de AS, la possibilité d'appliquer une contrainte portant sur le pourcentage maximal de prélèvement en surface terrière a également été ajoutée.

Utilisation de la proportion en petites, moyennes et grosses tiges

Si la récolte ne vise pas à atteindre une structure en classes de diamètre supposée optimale, en revanche elle s'appuie sur le classement en petites tiges (diamètre compris entre 10 et 24 cm, désignées dans la suite par la lettre P), tiges moyennes (diamètre compris entre 24 cm et le diamètre d'exploitabilité, notées M) et grosses tiges (diamètre supérieur au diamètre d'exploitabilité, notées G), démarche inspirée des typologies structurales utilisées en France (Asael, 1999 ; Paillereau, 2001).

Absence de sacrifice d'exploitabilité

Les notions de diamètre d'exploitabilité* et de sacrifice d'exploitabilité* sont nouvelles au Québec. Le diamètre d'exploitabilité correspond au diamètre de récolte permettant d'atteindre les objectifs fixés de façon optimale. En effet, passé un certain diamètre, les risques de détérioration de la qualité et le ralentissement de la croissance ne justifient plus le maintien sur pied des tiges. En revanche, la récolte d'une tige en deçà du diamètre d'exploitabilité équivaut à renoncer à un gain de valeur parfois considérable ; ainsi, l'absence de sacrifice d'exploitabilité (récolte d'une tige d'avenir de diamètre inférieur au diamètre d'exploitabilité) est un des points-clé de la méthodologie du logiciel développé. Le logiciel admet cependant la possibilité de retarder la récolte d'un arbre de vigueur 1 et de diamètre supérieur au diamètre d'exploitabilité, ce qui est une option intéressante pour certains

individus à fort potentiel de semencier ou jouant un rôle de protection de la régénération. Étant donné le manque d'informations relatif aux diamètres d'exploitabilité des différentes essences, ceux-ci ont été fixés de façon relativement arbitraire dans le cadre de ce projet.

Priorité à la croissance en qualité

Dans la plupart des guides sylvicoles élaborés pour le nord-est américain, la variable « qualité » n'intervient que pour moduler le choix des tiges, qui dépend en premier lieu de l'ajustement à la structure visée. Dans le guide de Smith et Lamson (1982), par exemple, il est mentionné que l'on pourra déroger légèrement aux prescriptions en fonction de l'état de santé de certains individus, mais la qualité ne figure pas en tant que variable. Il en va de même dans le guide de Marquis *et al.* (1992), où le nombre d'arbres à retirer dans chaque classe de diamètre est soumis à un ajustement en fonction de la qualité.

Or, étant donnée l'importance du facteur « qualité » pour le bois de feuillus, un guide de martelage pour les forêts feuillues Outaouaises doit nécessairement prendre en compte la classification des tiges en termes de vigueur². Ceci est d'autant plus indispensable que la qualité des tiges est globalement assez mauvaise dans la région, suite à des prélèvements historiquement axés sur les tiges de bonne qualité. Ainsi, dans la méthodologie employée, le classement « petite tige/tige moyenne/grosse tige » est couplé avec le statut des tiges en termes de vigueur et de qualité. Par rapport à nombre de guides existants qui accordent la priorité à la croissance en volume au détriment de la qualité des tiges, le présent guide privilégie la croissance en qualité. On peut donner comme exemple la récolte prioritaire des arbres « à risque » (arbres de vigueur 3 ou T3³, c'est-à-dire comportant actuellement une bille de sciage mais dont la faible vigueur laisse présager une détérioration au cours de la prochaine rotation), préconisée dans le guide de martelage pour les feuillus tolérants de l'Ontario (Anderson et Rice, 1993, p.117) et appliquée de façon systématique par AS afin de prévenir les pertes de qualité.

Il importe de préciser que les directives du logiciel, à elles seules, ne permettent pas l'optimisation de la croissance en qualité. Celle-ci s'effectue sur le terrain, par l'intermédiaire des choix du marteleur. Ainsi, dans une situation où la modalité de récolte fournie par le logiciel comprend le prélèvement d'une certaine proportion de tiges de vigueur 3, AS prélève les tiges de vigueur 3 par ordre de diamètre décroissant (Annexe 2). Or, c'est la sélection des tiges de vigueur 3 récoltées qui garantira l'obtention de la meilleure croissance en qualité. Cette sélection

² Il est fait référence ici au système de classification des tiges feuillues de 1 à 4, combinant la vigueur et la qualité (MRN, 1999) (Annexe 1). Pour des raisons de simplification, les tiges de vigueur 2 ont été amalgamées aux tiges de vigueur 4 (voir p.22), ces deux types de tiges ne comportant pas de qualité « sciage ».

³ Dans la suite du texte, on désignera par T3 les tiges de vigueur 3 et par T4 les tiges de vigueur 4.

doit être opérée par le marteleur en fonction du degré d'urgence associé à chaque tige et de son éventuel impact négatif sur des arbres d'avenir, en suivant des directives élaborées par le sylviculteur (voir la troisième partie de ce rapport, consacrée à l'élaboration des directives de martelage).

Une sylviculture par objectifs

L'objectif de production, en termes de produits désirés, d'essences à favoriser et de fonction de la forêt, est un paramètre actuellement négligé. De par la multitude de facteurs à prendre en compte lors d'une coupe sélective en forêt feuillue, la sélection des tiges à récolter peut se révéler relativement complexe. Obtenir un revenu à court terme, maintenir un capital sur pied, produire des billes de la meilleure qualité possible, favoriser la régénération, assurer la protection du sol forestier, préserver l'esthétique du paysage, encourager la biodiversité...sont autant d'objectifs qui peuvent se combiner pour dicter le choix d'un traitement. Pour prescrire un traitement adapté, il est nécessaire de déterminer quels sont les objectifs poursuivis, en établissant si possible une hiérarchie entre eux ; le traitement prescrit doit alors résulter d'un compromis entre les différents objectifs. En cela, la sylviculture par objectifs s'oppose à la sylviculture normative, selon laquelle les traitements prescrits résultent de la confrontation des paramètres de structure du peuplement avec une grille de normes. Or, dans l'état actuel des choses, les mêmes directives de martelage sont constamment suivies en forêt feuillue, indépendamment de l'objectif visé, avec le risque d'appliquer dans certains cas un traitement inapproprié. Par ailleurs, l'absence de hiérarchisation entre les divers objectifs oblige le marteleur à faire face à de multiples contraintes simultanément. Dans certains cas, l'application normative de l'ensemble de ces contraintes est tout simplement impossible. Le logiciel AS sélectionne la modalité de récolte* appropriée à l'aide d'une série de questions qui permettent de cibler avec précision les objectifs poursuivis.

Conception de l'outil

Le programme d'aide à la décision développé est basé sur un parcours à travers une série de quatre questions, aboutissant à une modalité de récolte, c'est-à-dire à une prescription concernant les arbres à récolter. Le cheminement s'effectue de façon dichotomique, le critère de décision étant la réponse oui ou non à chacune des questions. La figure 1 traduit sous forme graphique l'algorithme décisionnel aboutissant aux choix des modalités de récolte.

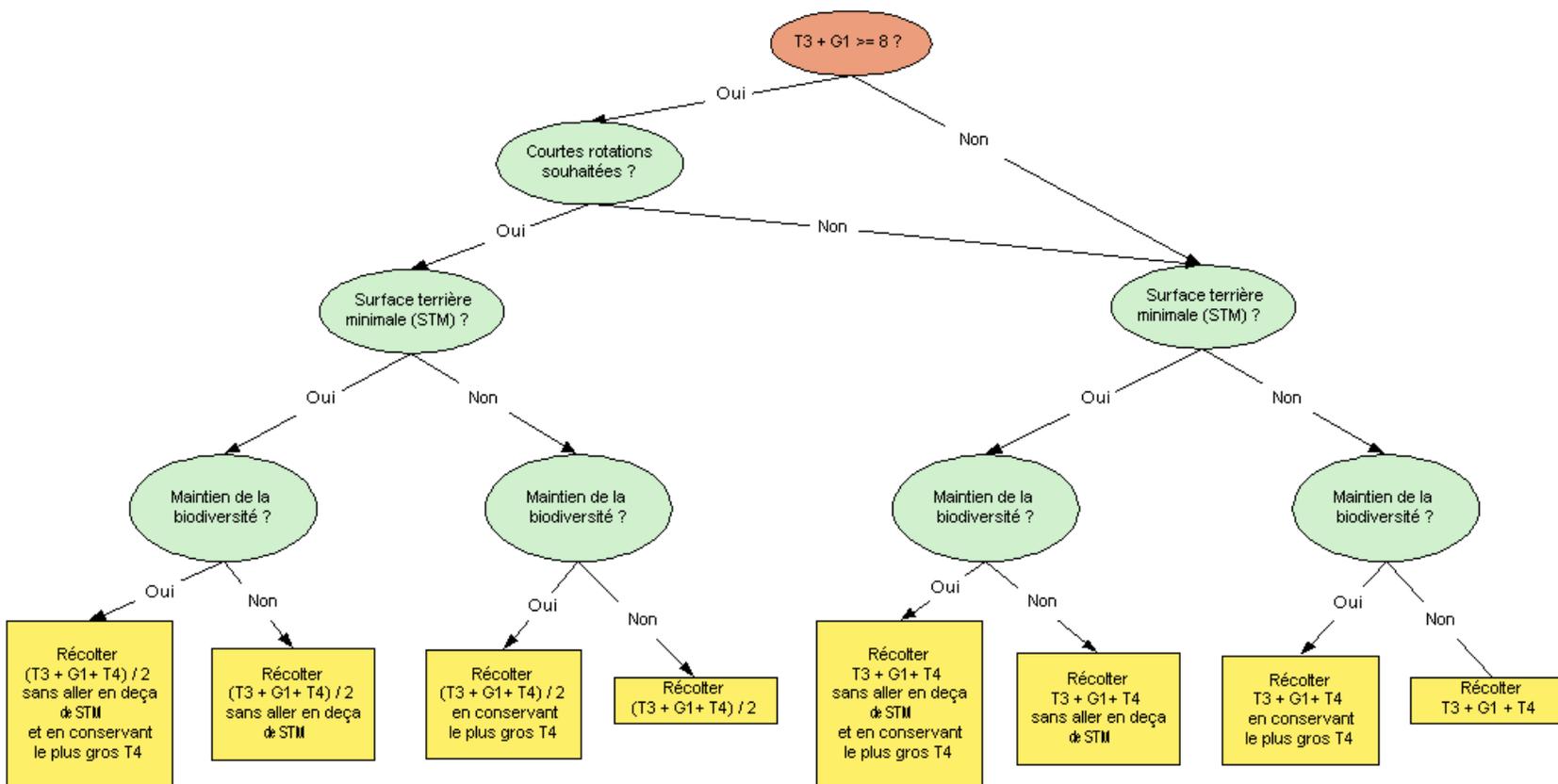


Figure 1 : Schéma simplifié de l'algorithme décisionnel aboutissant au choix d'une modalité de récolte

* L'ensemble des modalités de récolte doivent être appliquées en respectant l'intensité maximale de prélèvement.

La conception de l'outil s'est effectuée selon les trois étapes suivantes (Tableau 1) :

- identification des principaux objectifs d'aménagement possibles,
- élaboration de stratégies* permettant d'atteindre ces objectifs,
- traduction des stratégies retenues en modalités de récolte.

Tableau 1. Stratégies et modalités de récolte associées aux différents objectifs de mise en valeur (la partie grisée du tableau regroupe les objectifs correspondant aux hypothèses de base du logiciel, que l'on cherche à atteindre indépendamment des autres objectifs fixés par l'utilisateur)

Objectif	Stratégie(s)	Modalité(s) de récolte
Régénération	Conservation de semenciers	Conservation d'un semencier par placette
Stabilité	Maintien d'un couvert suffisant	Prélèvement ? 45 % ⁴ de la surface terrière initiale
Croissance en qualité	Pas de sacrifice d'exploitabilité	Pas de récolte des P1M1
	Pas de perte de qualité	Récolte des T3 et des G1
Maintien de la qualité visuelle du paysage	Maintien d'un couvert suffisant	Surface terrière ? STM
Protection des sols contre l'érosion	Maintien d'un couvert suffisant	Surface terrière ? STM
Maintien de la biodiversité	Conservation d'arbres utilisés par la faune	Conservation de la plus grosse tige de vigueur 4 ⁵ dans chaque placette
Régénération prioritaire de certaines essences	Conservation prioritaire de semenciers des essences-objectif	Conservation prioritaire d'un semencier d'une essence-objectif par placette

⁴ Valeur par défaut, susceptible d'être modifiée par l'utilisateur.

⁵ Les tiges de vigueur 2 sont considérées comme des tiges de vigueur 4 (voir p.22).

Sélection des objectifs

Les objectifs considérés par le logiciel sont au nombre de sept, dont quatre objectifs de production et trois objectifs de conservation. Parmi les objectifs de production, trois sont poursuivis par le logiciel dans tous les cas, indépendamment des autres objectifs définis par l'utilisateur (voir p.2 et Tableau 1) :

- régénération,
- stabilité du peuplement (résistance aux chablis et aux maladies),
- croissance en qualité (production du maximum de bois d'œuvre possible).

Un quatrième objectif de production peut être spécifié par l'utilisateur : il s'agit de la régénération prioritaire de certaines essences. Les objectifs de conservation susceptibles d'être spécifiés par l'utilisateur sont les suivants :

- conservation de la biodiversité animale,
- protection des sols contre l'érosion,
- maintien de la qualité visuelle du paysage.

Définition des stratégies

L'étape suivante a consisté à définir une ou des stratégie(s) permettant d'atteindre chaque objectif. Aux objectifs « stabilité », « maintien de la qualité visuelle du paysage » et « protection des sols contre l'érosion » correspondent une stratégie de conservation d'un couvert minimal. La stratégie retenue pour atteindre l'objectif de conservation de la biodiversité animale est la préservation d'arbres utilisés par la faune (chicots). Afin de favoriser la régénération, on laisse sur pied des tiges ayant un bon potentiel de semencier. Enfin, deux stratégies visent l'objectif de croissance en qualité : l'absence de sacrifice d'exploitabilité, c'est-à-dire l'interdiction de récolter des tiges vigoureuses de qualité susceptibles d'augmenter rapidement de valeur (tiges appartenant à la catégorie P1M1), et la récolte des tiges à risque, c'est-à-dire les tiges dont la qualité risque d'être perdue si on les laisse sur pied (tiges de vigueur 3).

On s'est volontairement limité à l'utilisation de stratégies simples, afin de faciliter la compréhension de la logique de martelage et de ne pas augmenter démesurément le nombre de modalités de récolte.

Élaboration des modalités de récolte

À chaque stratégie est associée une modalité de récolte, qui spécifie les orientations en matière de martelage.

Du fait de l'absence de données concernant la régénération (autre que les perches, comptabilisées dans les petites tiges) dans les inventaires, il est difficile d'estimer le potentiel de renouvellement d'un peuplement. Or on a fait l'hypothèse de base que l'on souhaite favoriser la

régénération de la forêt. C'est pourquoi AS prévoit la conservation d'un semencier dans chaque placette. Le choix du semencier se fait d'une part en respectant l'ordre de priorité des essences défini par l'utilisateur (question 4, voir p.19), d'autre part en respectant l'ordre de priorité suivant pour les catégories de tiges : M1>G1>M3>G3. En effet, on considère que les meilleurs semenciers sont généralement des tiges de vigueur forte et de bonne qualité, et que les tiges moyennes sont à préférer aux grosses tiges, pour lesquelles existe un risque de diminution du potentiel de semencier.

La conservation de la biodiversité est prise en compte par le maintien du plus gros arbre de vigueur 4 par placette lorsque celui-ci est un G4 ou un M4.

Le logiciel AS récolte seulement la moitié des tiges prioritaires* lorsque l'on effectue des rotations de 10 ans, par opposition à la récolte de l'ensemble des tiges prioritaires pour des rotations de 20 ans. Cette récolte de la moitié ou de la totalité des tiges prioritaires peut être réduite si elle entre en conflit avec l'intensité de prélèvement maximal ou la surface terrière minimale à conserver. Parmi les tiges récoltables (tiges prioritaires et tiges de vigueur 4), le logiciel suit l'ordre de prélèvement suivant : tiges de vigueur 3, puis grosses tiges de vigueur 1, puis tiges de vigueur 4 ; à l'intérieur d'une catégorie de tiges, la récolte se fait par ordre de diamètre décroissant (Annexe 2).

Les rotations de 10 ans ne sont pas adaptées à tous les types de peuplements. En effet, dans les peuplements où la proportion de tiges à récolter prioritairement est faible, il ne serait pas concevable, pour des raisons de rentabilité des opérations, de récolter seulement la moitié des tiges de ce type. Ainsi, le seuil à partir duquel on donne l'option d'effectuer des rotations de 10 ans a été fixé à 8 m²/ha pour la surface terrière des tiges de vigueur 3 et des grosses tiges de vigueur 1.

Explicitation des questions permettant de cibler la modalité de récolte appropriée

Les informations suivantes sont également accessibles dans la rubrique d'Aide de AS.

? Question 1: souhaite-t-on effectuer des courtes rotations ?

Les coupes de jardinage basées sur des rotations d'une durée inférieure à 20 ans sont peu fréquentes au Québec. Or, de telles rotations permettent d'effectuer des prélèvements plus faibles à chaque passage en coupe et donc de moins déstabiliser le peuplement résiduel. Elles limitent également les à-coups de croissance qui diminuent la qualité du bois. De plus, des passages fréquents diminuent les pertes dues à la mortalité. Les courtes rotations vont donc de pair avec une

sylviculture plus « fine », mieux adaptée aux peuplements en place. Remarquons que l'option « Courtes rotations » peut constituer une stratégie optionnelle intéressante pour atteindre la quasi-totalité des objectifs, qui peut avec profit s'ajouter à la ou les stratégie(s) « de base » mise(s) en œuvre par AS en réponse aux différents objectifs (Tableau 1). Ce type de rotation serait particulièrement adapté au cas des petits propriétaires privés, qui peuvent se permettre d'intervenir plus souvent en coupant moins de tiges à chaque passage.

? Question 2: y a-t-il une surface terrière minimale ?

La conservation d'une surface terrière minimale peut être imposée par un règlement d'une MRC ou d'une autre instance décisionnelle. Par ailleurs, différentes raisons peuvent inciter un aménagiste ou un propriétaire à la conservation d'une surface terrière minimale. La raison la plus couramment évoquée est d'ordre esthétique : des considérations liées aux aspects paysagers interdisent souvent une ouverture trop importante du peuplement. Il existe aussi des raisons plus directement liées à la sylviculture : en dessous d'un certain seuil de surface terrière, des problèmes de stabilité peuvent survenir, en particulier si une forte proportion de la surface terrière d'un peuplement est récoltée en une fois. Par ailleurs, l'éducation des tiges d'avenir du peuplement résiduel est favorisée par la conservation de tiges-compagnes, qui encouragent le phénomène d'élagage naturel.

? Question 3: veut-on conserver les chicots en devenir ?

Les chicots contiennent des cavités appréciées par la faune. Les gros chicots sont les plus utiles à laisser en place car ils abritent souvent plusieurs espèces d'oiseaux et/ou de petits mammifères simultanément (beaucoup d'espèces requièrent des chicots de diamètre supérieur à 50 cm) et sont souvent les plus durables. Ainsi, l'utilisateur possède l'option de laisser sur pied les plus gros arbres de vigueur 4.

? Question 4: au sein de la régénération, veut-on privilégier certaines essences ?

L'utilisateur peut indiquer trois essences, avec l'ordre de priorité dans lequel il désire privilégier leur régénération. Lorsque l'utilisateur répond non à cette question, le logiciel utilise par défaut l'ordre de priorité suivant : ERS>BOJ>CHR⁶.

Facteurs non incorporés directement dans le logiciel

Le facteur « qualité de site » n'a pas été pris en compte en tant que tel, et ce pour deux raisons. La première est que les peuplements concernés par le logiciel sont généralement situés sur sols riches, comme en témoigne la présence de l'érable à sucre en tant qu'essence désirée. Deuxièmement, la

⁶ Voir Annexe 4 pour la signification des codes des essences.

qualité du site est renseignée de façon indirecte par le diamètre d'exploitabilité : les utilisateurs devraient choisir des diamètres d'exploitabilité plus élevés sur les bons sites.

En ce qui concerne la régénération, les perches sont comptabilisées dans la catégorie des petites tiges. En revanche, les gaules et les semis ne sont pas pris en compte. La raison en est que les inventaires couramment réalisés au Québec ne recensent pas les tiges de DHP inférieur à 9,1 cm. Par ailleurs, dans la majorité des peuplements, l'érable à sucre se régénère bien.

Fonctionnement du logiciel

Il est nécessaire de disposer d'un inventaire réalisé avec la méthode des placettes à rayon variable. Cet inventaire doit être disponible sous la forme d'une table au format dbf (Annexe 3).

La fenêtre d'accueil du logiciel AS est présentée à la figure 2. La première opération consiste à ouvrir la table d'inventaire. Le logiciel demande ensuite le nom et l'emplacement de la table de sortie, c'est-à-dire la table (appartenant à une base de données Access) dans laquelle seront enregistrés les résultats. À chaque modalité de récolte peut être attribué un nom, ce qui permet de retrouver facilement les résultats relatifs à une modalité de récolte donnée. L'utilisateur est alors amené à répondre à une série de questions permettant de mieux cerner les objectifs de mise en valeur poursuivis ainsi que les contraintes (Figure 2). Des précisions sur les questions et des conseils pour y répondre sont accessibles en cliquant sur les boutons d'Aide.

En cliquant sur le bouton « Paramètres », on ouvre une deuxième fenêtre, qui donne accès aux paramètres de structure du peuplement (Figure 3). Dans cette fenêtre, l'utilisateur est libre de fixer les valeurs de diamètres d'exploitabilité désirées pour chaque essence en utilisant la colonne « DHPex ».

Une rubrique d'Aide fournissant des explications sur la notion de diamètre d'exploitabilité est également accessible (Figure 4).

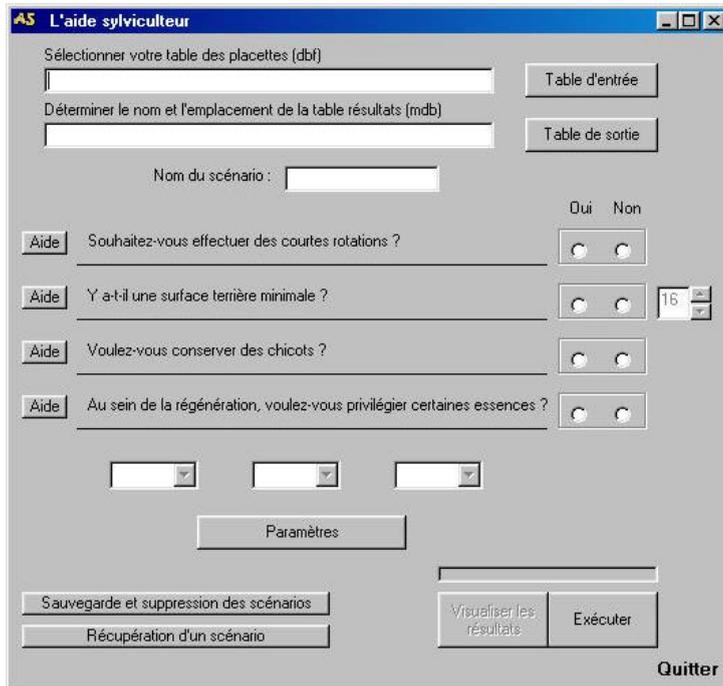


Figure 2 : Fenêtre d'accueil de AS

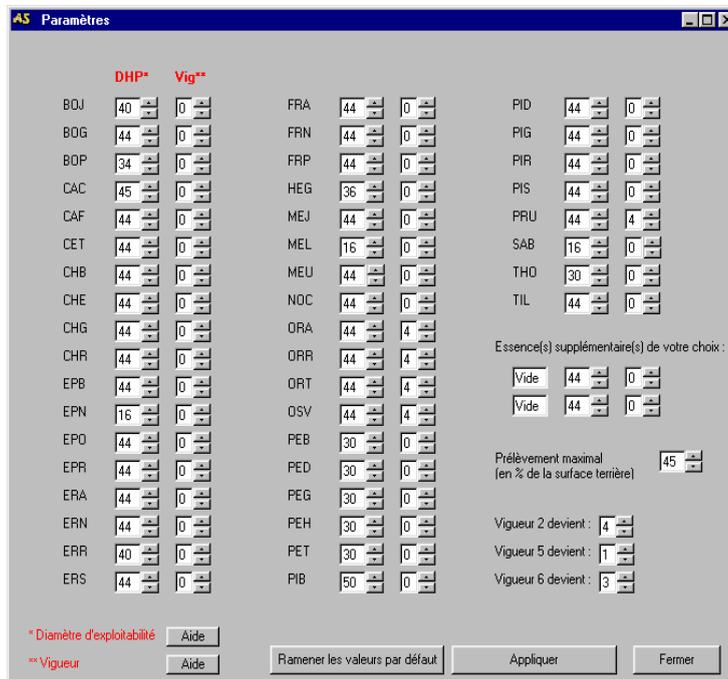


Figure 3 : Fenêtre « Paramètres » de AS

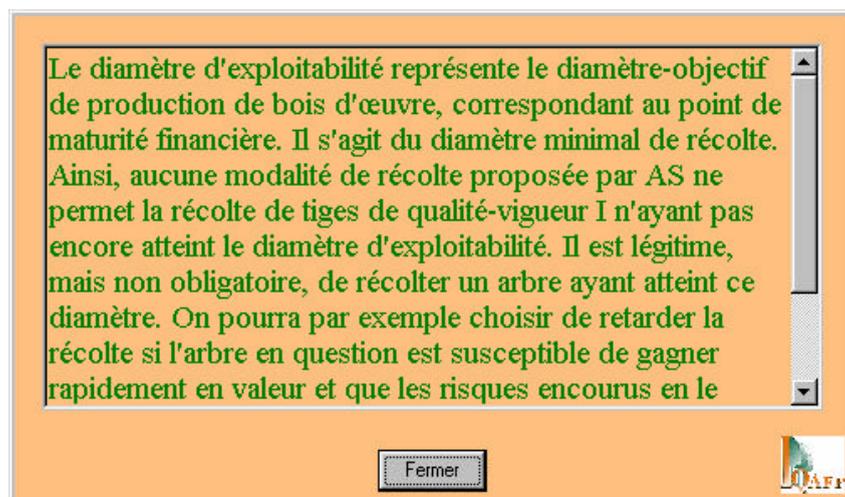


Figure 4 : Rubrique d'aide concernant le diamètre d'exploitabilité

Le bouton « Prélèvement maximal » permet à l'utilisateur de choisir un pourcentage de prélèvement maximal. Par défaut, le prélèvement maximal est fixé à 45 % de la surface terrière initiale. L'utilisateur peut également ajouter des essences absentes de la liste, avec leur diamètre d'exploitabilité.

Par défaut, toutes les valeurs de la colonne «Vig » sont fixées à 0, ce qui signifie que le logiciel utilise les classes de vigueur indiquées dans la table d'inventaire. Il est possible d'imposer l'application d'une même classe de vigueur à tous les individus de certaines essences, et ce, quelle que soit la classe de vigueur indiquée pour ces individus dans la table d'inventaire. Par exemple, on peut imposer une vigueur égale à 4 aux essences pour lesquelles les conditions de marché sont mauvaises ou qui n'atteignent jamais de forts diamètres, comme l'orme, la pruche ou l'ostryer. Un rappel de la nomenclature de classification des tiges en termes de vigueur et de qualité est disponible en cliquant sur le bouton « Aide ».

Le logiciel n'utilise pas les classes de vigueur 2, 5 et 6 (Annexe 2) ; par défaut, il effectue les correspondances suivantes :

classe 2 ? classe 4

classe 5 ? classe 1

classe 6 ? classe 3

Une fois que l'on a répondu aux questions et que l'on a fixé les paramètres, le bouton « Exécuter » démarre la simulation. Il est alors possible soit de visualiser les résultats, soit de construire un autre scénario de récolte.

Le programme fournit, pour chaque placette, une prescription concernant les arbres à récolter (modalité de récolte). Le bouton « Visualiser les résultats » donne accès à la fenêtre « Résultats » (Figure 5), qui permet de choisir entre différentes options de présentation. Les résultats désirés peuvent être affichés par surface terrière initiale, surface terrière prélevée et/ou surface terrière résiduelle. De plus, les essences dominantes dans chacune de ces trois catégories peuvent être affichées.

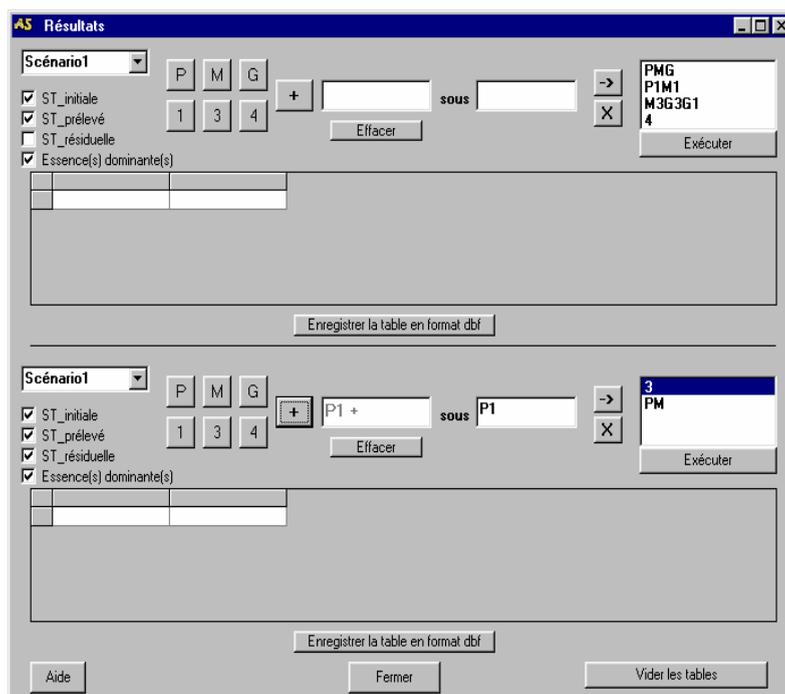


Figure 5 : Fenêtre « Résultats » de AS

Par défaut, la surface terrière est décomposée en quatre groupes de tiges (Figure 5, haut) :

- PMG : total des tiges,
- P1M1 : petites tiges et tiges moyennes de vigueur 1,
- M3G3G1 : tiges moyennes et grosses tiges de vigueur 3 et grosses tiges de vigueur 1,
- 4 : tiges de vigueur 4.

Rappelons que les termes « petites tiges », « tiges moyennes » et « grosses tiges » correspondent aux diamètres à hauteur de poitrine suivants :

- Petites tiges : DHP compris entre 10 et 24 cm,
- Tiges moyennes : DHP compris entre 24 cm et DHPex,
- Grosses tiges : DHP supérieur à DHPex.

L'utilisateur a la possibilité de visualiser les résultats d'un deuxième scénario à des fins de comparaisons rapides (Figure 5, bas).

Le bouton « Exécuter » conduit à l'affichage de la table de résultats (Figure 6). Les tables de résultats peuvent être enregistrées au format dbf, puis récupérées avec plusieurs logiciels, dont Excel, Visual FoxPro et Access, à des fins d'analyse plus poussée. De plus, le format dbf permet une liaison directe avec des placettes géoréférencées dans ArcView.

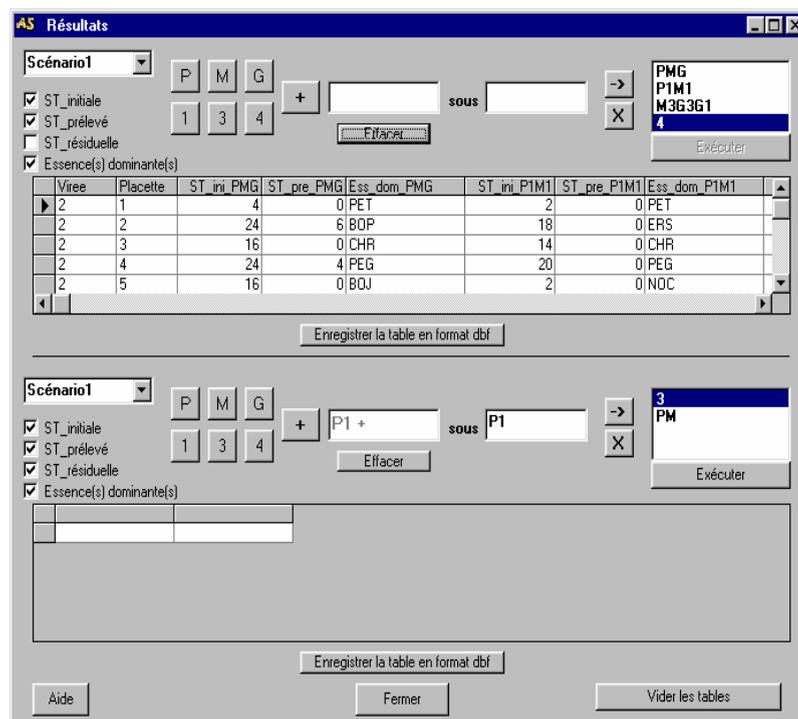


Figure 6 : Affichage de la table de résultats

Comparaison économique de deux scénarios de récolte

Remarque importante :

Cette analyse a été effectuée avec la première version du logiciel AS, qui n'incluait pas de pourcentage maximal de prélèvement. C'est pourquoi les intensités de prélèvement pourront paraître élevées.

Base de données initiale

La base de données ayant servi à l'étude est issue d'un inventaire intensif (quatre placettes à l'hectare) réalisé au prisme en octobre 1999 dans les lots intra-municipaux de la MRC de Papineau (Beauchesne, 2000).

Les lots sont constitués en majorité de forêts feuillues dominées par l'érable à sucre, le chêne rouge, le hêtre à grandes feuilles, le peuplier à grandes dents et la pruche du Canada (Annexe 4). En raison de la taille importante des bases de données, on a choisi de limiter l'analyse aux peuplements appartenant aux strates de groupements d'essences à base d'érable et de feuillus tolérants, type de peuplement particulièrement bien adapté à une analyse par le logiciel AS. Il s'agit majoritairement de peuplements inéquiennes constitués de groupements « érables et feuillus tolérants » (ERFT), « érables et peupliers » (ERPE) et « feuillus tolérants » (FT).

Caractéristiques des deux scénarios étudiés

Au moment de la réalisation de ce projet, les objectifs de mise en valeur des lots intra-municipaux n'avaient pas pu être clairement hiérarchisés. Il ressortait cependant que, en plus de la nécessité d'un apport financier pour la MRC, des orientations autres qu'économiques allaient devoir être prises en considération si la MRC décidait d'assumer la gestion de ces lots. Nous avons donc privilégié, pour l'analyse, des scénarios de production de matière ligneuse couplée à des orientations non économiques légères. Nous avons plus particulièrement exploré l'effet sur les revenus de la conservation d'une surface terrière minimale (fixée à 16 m²/ha), correspondant à des objectifs de maintien de la qualité visuelle des paysages et de protection des sols (Tableau 2).

Tableau 2. Caractéristiques des deux scénarios étudiés

Nom du scénario	Possibilité de courtes rotations (10 ans)	Conservation de chicots	Surface terrière minimale de 16 m ² /ha	Objectifs paysager et de protection des sols
LRSTM	non	non	oui	oui
LR	non	non	non	non

Principes et méthodologie de l'analyse des scénarios

Calcul des revenus

On s'est attaché uniquement aux revenus procurés par les scénarios (et non aux coûts associés). On a comparé les deux scénarios sur une période de référence de 20 ans (correspondant à une rotation unique). En outre, on a fait l'hypothèse simplificatrice que la récolte s'effectue à mi-rotation. C'est donc à partir d'une estimation du peuplement à mi-rotation que s'effectuent les prescriptions de AS et le calcul de la valeur de la récolte. Ainsi, on simule l'évolution des peuplements pendant une période de 10 ans, correspondant à la moitié d'une rotation de 20 ans, avant de soumettre le peuplement obtenu au traitement par AS (Figures 7 et 8).

Étant donné que la récolte a lieu au même moment (soit à $t = 10$ ans) dans chaque scénario, il n'est pas nécessaire de procéder à l'actualisation de la valeur monétaire de la récolte pour comparer les revenus dégagés par les deux scénarios⁷.

En raison du manque d'informations disponibles, de nombreuses approximations et hypothèses ont dû être effectuées lors de l'analyse (Annexe 5). Celles-ci entachent les résultats en valeur absolue d'imprécision. En revanche, ces approximations étant identiques pour les deux scénarios et affectant a priori chaque scénario de la même façon, elles ne portent pas atteinte à la valeur relative d'un scénario par rapport à l'autre. Nous nous attacherons donc à comparer les valeurs relatives des scénarios plutôt que leur valeur absolue. D'une manière plus générale, la démarche consiste à tirer partie de l'information existante, même incomplète, afin d'arriver à la meilleure estimation possible.

⁷ En revanche, une actualisation aurait été requise afin de comparer entre eux des scénarios pour lesquels les revenus des récoltes sont répartis dans le temps de façon différente, à avoir des scénarios de type « Longues rotations » et des scénarios de type « Courtes rotations ».

Analyse de l'évolution du capital sur pied

On fait ensuite évoluer le peuplement résiduel issu de la première récolte (à $t = 10$ ans) jusqu'au moment où s'effectuerait la récolte suivante (c'est-à-dire à $t = 30$ ans), ceci afin d'être en mesure de comparer le capital sur pied juste avant la première récolte et le capital sur pied 20 ans plus tard, juste avant la récolte future, et ce pour les deux scénarios (Figures 7 et 8).

On a choisi comme indicateur de l'évolution du capital un coefficient de « maintien du capital sur pied » (MCP), en valeur monétaire ou en volume, calculé selon les formules suivantes :

$$\text{MCP}_{\text{valeur}} = \text{valeur}_{P_{30}} / \text{valeur}_{P_{10}} * 100$$

$$\text{MCP}_{\text{volume}} = \text{volume}_{P_{30}} / \text{volume}_{P_{10}} * 100,$$

où : P_{10} = peuplement à $t = 10$, juste avant la récolte,

P_{30} = peuplement résiduel à $t = 30$, juste avant la récolte suivante.

Modélisation de l'évolution d'un peuplement

Quelles variables du peuplement faire évoluer ?

La croissance des tiges étant fonction de la surface terrière résiduelle et celle-ci variant en fonction du scénario, la comparaison entre les différents scénarios impose de simuler la croissance des peuplements pendant la durée de la rotation. Il est également nécessaire de tenir compte de l'évolution de la qualité⁸ des tiges, dont certaines seront laissées sur pied dans un scénario et récoltées dans un autre.

Du fait de l'absence de remesurages de la vigueur (variable introduite depuis une dizaine d'années seulement dans les inventaires) sur les placettes permanentes du MRN, on ne dispose d'aucune information directe sur l'évolution de la vigueur au cours du temps. Par conséquent, on fait l'hypothèse que la vigueur des tiges est constante au cours du temps.

Croissance

Le calcul des croissances en diamètre s'est fait à partir de la base de données de suivi des placettes d'inventaire permanentes du MRN pour la région de l'Outaouais. Des modèles de régression linéaire, utilisant comme variable dépendante la croissance annuelle en diamètre et comme variables indépendantes le diamètre à hauteur de poitrine et la surface terrière totale de la placette, ont été développés pour chaque essence (Annexe 6). Les valeurs de croissance en diamètre

⁸ Le terme de qualité est employé au sens de la classification des arbres feuillus sur pied selon leur potentiel pour la production de bois d'oeuvre (Forintek Canada Corporation, 1982).

obtenues à l'aide des régressions linéaires ont été appliquées afin de faire évoluer le peuplement jusqu'à mi-rotation. Lorsque pour une essence le nombre de données était insuffisant pour effectuer une régression, on a appliqué la croissance moyenne calculée pour cette essence à partir de la base de données du MRN.

Les modèles de régression linéaire utilisés pour prédire la croissance en diamètre n'avaient pas une bonne validité pour des périodes plus longues que dix ans ; ces modèles ont donc été appliqués sur deux périodes consécutives de dix ans (entre $t = 10$ et $t = 20$ ans puis entre $t = 20$ et $t = 30$ ans) pour l'analyse de l'évolution du capital sur pied.

Évolution de la qualité

Pour faire évoluer la qualité des tiges, on disposait de deux outils. Le premier de ces outils est la matrice de transition de qualité du Manuel d'Aménagement Forestier (Ministère des Ressources naturelles du Québec, 1997), développée à l'échelle provinciale et construite à partir d'une image fixe de la forêt. Une étude de l'IQAFF a démontré que l'évolution de la qualité selon cette matrice de transition est relativement peu conforme à la réalité (Forget *et al.*, 2001). Ainsi, à titre d'exemple, la matrice de transition du MRN ignore la possibilité de détérioration de la qualité d'un arbre. Par ailleurs, toujours selon cette même matrice de transition, la qualité des arbres de DHP supérieur à 40 cm est constante.

Le deuxième outil disponible, celui que nous avons retenu, est un modèle d'évolution de la qualité des tiges pour la région de l'Outaouais, développé par l'IQAFF à partir de régressions logistiques⁹ polythétiques effectuées sur des données de remesurage de la qualité sur des placettes permanentes (Forget *et al.*, 2001). Ce type de modèle, qui se présente sous la forme d'une macro Excel, fournit des probabilités de passage d'une classe de qualité à une autre en fonction de la qualité initiale, du diamètre à hauteur de poitrine, de la période d'évolution et de la croissance en diamètre sur la période d'évolution considérée (Annexe 7). Ces modèles existent uniquement pour le bouleau jaune, l'érable à sucre et les peupliers ; en effet, en raison du nombre insuffisant de données disponibles à l'échelle régionale, des modèles suffisamment fiables du même type n'ont pu être développés pour les autres essences. L'élaboration de tels modèles nécessiterait d'élargir la base de données utilisée aux régions voisines, et ce en dépit d'éventuelles différences interrégionales. Pour certaines espèces comme le chêne rouge, présent en très faibles quantités ailleurs que dans l'Outaouais, l'élargissement de la base de données ne suffirait d'ailleurs pas à obtenir suffisamment de données pour bâtir un modèle fiable. On a donc

⁹ La régression logistique est appropriée lorsque la variable dépendante est catégorique (dans notre exemple la qualité peut prendre les valeurs A, B, C, D ou $< 23,9$, Annexe 7), dichotomique ou polychotomique, et suppose que la distribution des erreurs est de type binomial, et non normal comme dans le cas d'une régression linéaire (Trexler et Travis, 1993).

choisi de simuler l'évolution de la qualité des diverses essences présentes dans la base de données étudiée à l'aide des modèles disponibles, en utilisant pour chaque essence le modèle le plus adapté (Tableau 3).

Tableau 3. Répartition des essences feuillues de la base de données selon le modèle d'évolution de la qualité appliqué

Essence-type ¹⁰	Bouleau jaune	Érable à sucre	Peupliers
Essences assimilées	BOJ, BOP	ERS, ERR, CHR, CET, PET, PEB, PEG, NOC, FRN, FRA, TIL	HEG, ORA, OSV

Il s'est avéré que le modèle de régression logistique développé pour les peupliers ne permettait pas d'arriver à des résultats satisfaisants (du fait de l'absence de convergence du modèle pour cette essence). On a donc eu recours, pour les essences de ce groupe (Tableau 3), à une méthode simplifiée: les probabilités de passage d'une classe de qualité à une autre ont été calculées manuellement à partir des données des placettes permanentes du MRN, en tenant compte uniquement de la qualité initiale.

Comme pour les modèles de croissance, les modèles d'évolution de la qualité ont été appliqués sur deux périodes de dix ans (afin de ne pas s'écarter de leur domaine de validité) pour l'analyse de l'évolution du capital sur pied entre $t = 10$ et $t = 30$ ans.

¹⁰ Voir Annexe 4 pour la signification des codes des essences.

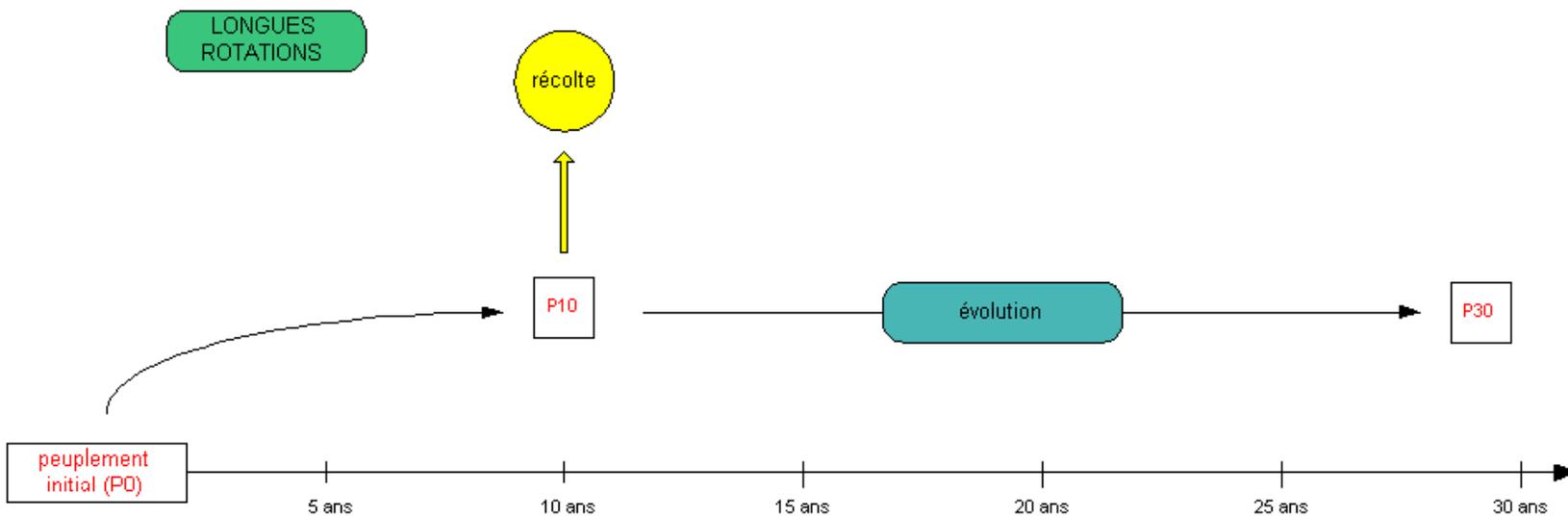


Figure 7 : Repérage dans le temps des étapes de la procédure à suivre pour l'analyse d'un scénario

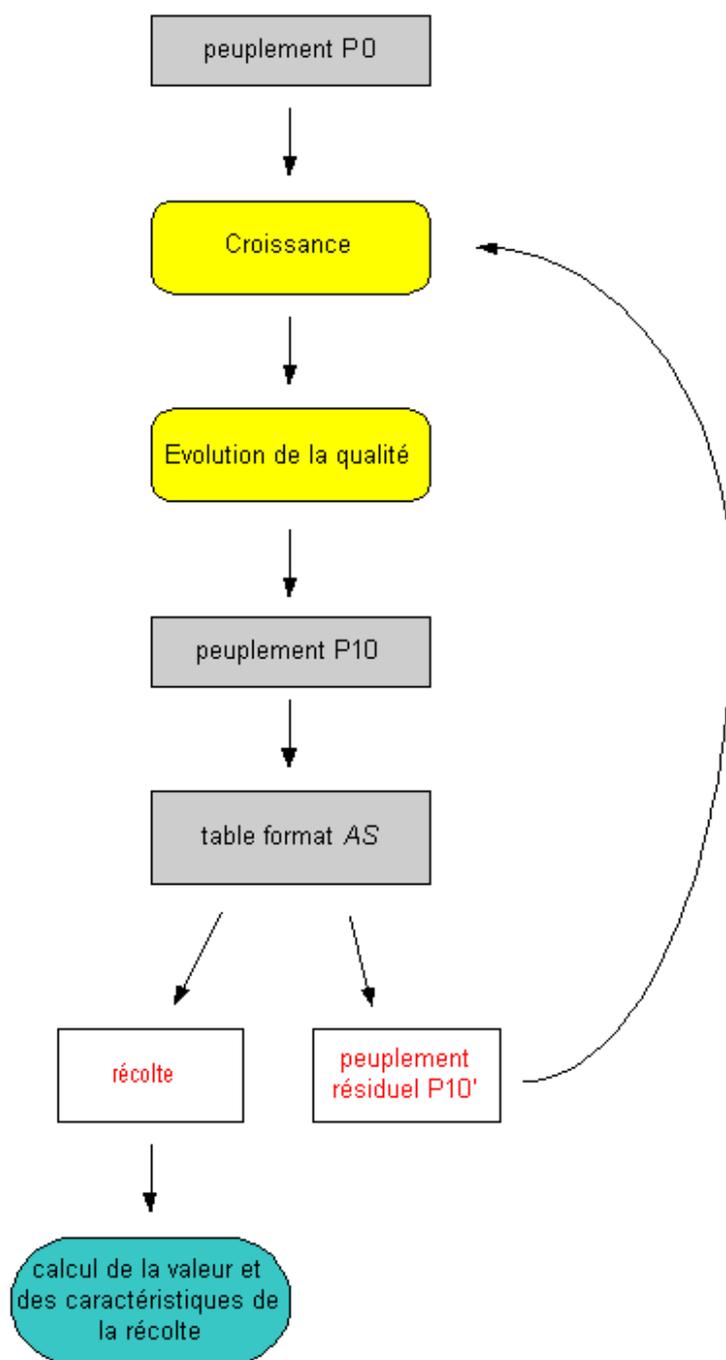


Figure 8 : Détail des étapes de la procédure à suivre pour l'analyse d'un scénario

Calcul des revenus

Données disponibles

Faute de données sur le prix du bois en fonction de la qualité pour les forêts privées, on a utilisé des données provenant du Ministère des Ressources naturelles, portant sur les prix des bois en forêt publique. Par ailleurs, en raison de l'absence de données sur les prix des bois en fonction de la qualité sur pied, il a fallu utiliser les prix en fonction de la qualité du bois tronçonné et effectuer des correspondances entre qualité du bois sur pied et qualité du bois tronçonné¹¹.

Procédure de calcul du revenu dégagé par une récolte

Les volumes totaux récoltés, par essence et par classe de qualité sur pied, ont été obtenus au moyen des tarifs de cubage¹² (Annexe 8a). On a ensuite utilisé les grilles de correspondance entre classes de qualité sur pied et pourcentages de qualité « déroulage », « sciage » et « pâte » (Annexes 8b et 8c). Ces grilles de correspondance n'étaient disponibles que pour les groupes d'essences suivants : pins blanc et rouge, thuya occidental, pruche de l'est, épinettes blanche et rouge, sapin baumier, bouleau jaune, bouleau à papier, érables et peupliers. Pour les autres essences feuillues, on s'est servi de la grille de l'essence la plus proche en termes d'architecture de l'arbre et d'utilisation du bois (Tableau 4).

Tableau 4. Répartition des essences feuillues en fonction de la grille de répartition des qualités « déroulage », « sciage » et « pâte » appliquée

Essence-type	Érables	Bouleau jaune	Bouleau à papier	Peupliers
Essences assimilées	ERS, ERR, TIL, HEG, OSV	BOJ, CHR, NOC, ORA	BOP, CET, FRA, FRN	PET, PEG, PEB

En ce qui concerne les résineux, pour lesquels il n'existe pas de classification de la qualité sur pied, la répartition des volumes en qualité « déroulage », « sciage » et « pâte » est fonction uniquement du diamètre à hauteur de poitrine (Annexes 8c et 8d).

¹¹ La nomenclature comporte une ambiguïté en ce qui concerne la classification des bois en fonction de la qualité : les niveaux de classification A, B, C et D peuvent s'appliquer aussi bien aux tiges sur pied qu'aux bois tronçonnés (Annexe 8a). Dans la suite du texte, pour lever cette ambiguïté, les niveaux de qualité sur pied seront désignés par les lettres A, B, C et D tandis que la qualité des bois tronçonnés sera notée a, b, c ou d.

¹² Pour les essences rares au sein du peuplement étudié (comme le noyer cendré ou l'orme d'Amérique), des estimations extrêmement précises ne se justifiaient pas en raison des très faibles volumes récoltés. Ainsi, certaines approximations ont été faites ; par exemple, le tarif de cubage du bouleau jaune a servi pour le noyer cendré, etc.

On a fait l'approximation que la qualité «déroutage » équivaut au bois tronçonné de qualité a et la qualité « pâte » au bois tronçonné de qualité d. Quant au bois de qualité « sciage », il se répartit en qualité b et c de bois tronçonné (Annexe 8e).

Pour chaque tige, le volume de bois de qualité a vaut :

$\text{Vol a} = \text{vol total} * (\%a,A * \text{probA} + \%a,B * \text{probB} + \%a,C * \text{probC} + \%a,D * \text{probD})$, où :

volume total = volume total de la tige (obtenu au moyen des tarifs de cubage),

$\%x,Y$ = pourcentage de qualité « bois tronçonné » x dans une tige de qualité sur pied Y,

probY = probabilité que la tige soit de qualité sur pied Y après évolution de la qualité,

x = a, b, c ou d (classe de qualité « bois tronçonné ») et Y = A, B, C ou D (classe de qualité « bois sur pied »).

On aurait des formules analogues pour les volumes de qualité b, c et d. On utilise ensuite la grille de prix du bois en fonction de l'essence et de la classe de qualité « bois tronçonné » (Annexe 8f). Le prix d'une tige correspond à la somme des prix des volumes de qualité a, b, c et d compris dans cette tige. Les parcelles ayant été délimitées au prisme, le prix et le volume de chaque tige ont été multipliés par le facteur d'arbre afin de se ramener à des valeurs par hectare. On a ensuite calculé la somme par placette des prix et des volumes par hectare et on a fait une moyenne des résultats obtenus.

Moyens informatiques employés

Les liaisons entre les différentes informations ont été réalisées grâce à la construction de bases de données avec le logiciel Visual FoxPro 6.0. On a eu recours à une macro Excel pour l'évolution de la qualité des tiges. Enfin, un programme écrit en Visual Basic a servi pour la modélisation de la croissance en surface terrière.

Résultats

De façon prévisible, le scénario « Longues rotations avec surface terrière minimale de 16 m²/ha » est le moins avantageux en termes de revenu sur la période de 20 ans considérée. Il procure un revenu de 18 % plus faible que le scénario sans surface terrière minimale.

En ce qui concerne l'évolution du capital sur pied, les deux scénarios décapitalisent le peuplement sur la période de 20 ans considérée (Tableau 5 et Figure 9).

Tableau 5. Comparaison des valeurs de récolte et des coefficients de maintien du capital sur pied entre les deux scénarios (LR = Longues rotations sans surface terrière minimale ; LRSTM : Longues rotations avec surface terrière minimale de 16 m²/ha)

Scénario	LRSTM	LR
Prix récolte (\$/ha/an)	67	82
MCP _{valeur} (%)	85	78
MCP _{volume} (%)	90	78

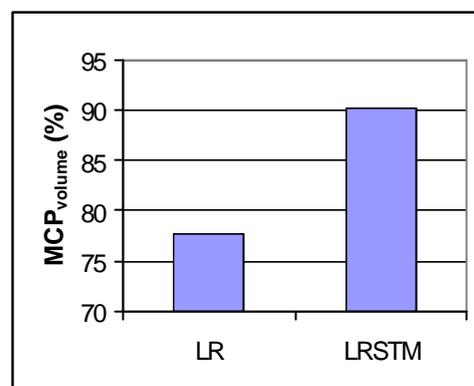
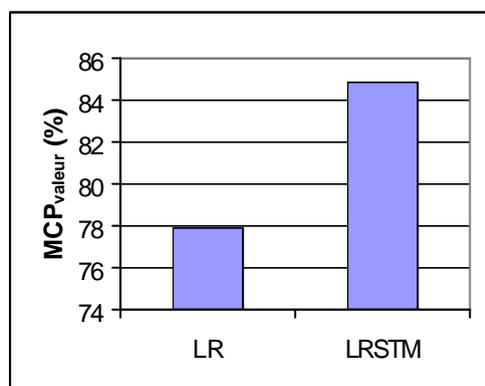


Figure 9 : Comparaison des coefficients de maintien du capital sur pied, en valeur (à gauche) et en volume (à droite) entre les deux scénarios (LR = Longues rotations sans surface terrière minimale ; LRSTM : Longues rotations avec surface terrière minimale de 16 m²/ha)

Les pourcentages de la surface terrière récoltée sont de 68 % pour le scénario sans surface terrière minimale et de 45 % pour le scénario avec surface terrière minimale de 16 m²/ha (Tableau 6).

Tableau 6. Comparaison des prélèvements en surface terrière entre les deux scénarios

Scénario	Prélèvement en surface terrière (%)
LR	68
LRSTM	45

Discussion et modification apportée au logiciel

Les prélèvements en surface terrière dépassent de beaucoup l'intervalle 25-35 % autorisé par les normes relatives à la coupe de jardinage. De plus, le principe de la coupe de jardinage consiste à prélever un volume approximativement égal à l'accroissement, de façon à assurer un rendement soutenu (MRN, 1995). Or, sur la période de 20 ans considérée, aucun des scénarios envisagés n'assure un rendement soutenu.

À la lumière de ces résultats, on a choisi d'ajouter une restriction au prélèvement autorisé par AS (voir p.4). Faute de temps, les scénarios n'ont pu être analysés de nouveau avec cette modification. Par ailleurs, il serait souhaitable d'effectuer la simulation sur une plus longue période, ce qui requiert une automatisation des étapes de l'analyse effectuée. En raison de la récolte privilégiée des tiges de vigueur 3 au cours de la première rotation et de l'augmentation de la qualité du peuplement, on s'attend à une réduction de l'intensité des prélèvements effectués par AS au cours des rotations suivantes.

Mise en application des prescriptions de AS sur le terrain

Choix du site d'étude

Pour des raisons d'ordre pratique, l'application de la méthodologie sur le terrain s'est faite non sur les lots intra-municipaux de la MRC de Papineau mais dans une forêt privée située près de Ripon (Annexe 9). Le choix de cette forêt a été motivé par son accessibilité, ainsi que par la position favorable du propriétaire par rapport à des visites sur le terrain et à la conservation des peuplements-test en l'état à des fins de démonstration et de formation. Dans la portion de sa forêt à vocation non acéricole, le propriétaire désire effectuer un aménagement réfléchi en combinant différents objectifs, démarche qui correspond bien à la vocation de AS.

Description des peuplements martelés et dispositif de martelage

La majorité des tests se sont déroulés dans des peuplements relativement jeunes (quasi absence de tiges G1), dominés par l'érable à sucre et l'érable rouge. Les espèces commerciales suivantes étaient également présentes : hêtre, chêne rouge, bouleau jaune, bouleau blanc, cerisier tardif, orme, ostryer, tilleul, pruche et sapin. On a délimité deux secteurs de deux hectares, dans chacun desquels le martelage a été effectué selon deux scénarios de récolte différents (en utilisant une couleur de ruban différente pour les arbres récoltés selon chacun des scénarios). Les deux comparaisons ainsi effectuées étaient :

- ? Courtes rotations (10 ans, noté CR)/ Longues rotations (20 ans, noté LR), afin de mettre en évidence l'importance du facteur « longueur de la rotation » (secteur 1),
- ? Longues rotations avec surface terrière minimale de 16 m²/ha (noté LRSTM)/Longues rotations (noté LR), qui permet de montrer l'impact sur le martelage de la conservation d'une surface terrière résiduelle minimale de 16 m²/ha (secteur 2).

On trouvera en Annexe 10a les caractéristiques des trois scénarios comparés.

Les arbres d'avenir à conserver (identiques dans les deux scénarios) ont été identifiés à l'aide de ruban de couleur rouge. Ce martelage « positif », coûteux en temps, a l'avantage de limiter au maximum les blessures occasionnées aux tiges d'avenir lors de la récolte ; de plus, la mise en évidence des tiges d'avenir rend possible un choix plus raisonné des tiges à marteler.

Par manque de temps, les deux secteurs n'ont pas été martelés entièrement. A la fin de la phase de terrain, la surface martelée dans chaque secteur était d'environ 0,8 hectares, ce qui est amplement suffisant à des fins d'expérimentation et de démonstration.

Problématique

Cette phase consiste à mettre au point l'application sur le terrain des modalités de martelage fournies par le logiciel. En effet, celles-ci constituent des prescriptions schématiques, à l'échelle de la placette d'inventaire, qui ne peuvent être appliquées telles quelles sur le terrain. C'est au sylviculteur de traduire les prescriptions de AS en consignes de martelage d'application relativement simple sur l'ensemble d'un peuplement.

Les modalités de martelage obtenues à l'aide des objectifs (Figure 1), et donc les directives de martelage qui en découlent, se déclinent différemment selon les peuplements. Ainsi, par exemple, la modalité « récolter $(T3+G1)/2 + T4$ » peut impliquer ou non la récolte de tiges de vigueur 4, selon la surface terrière initiale (puisque la récolte est limitée par le pourcentage maximal de prélèvement), la proportion de tiges T3 et G1 ainsi que l'état de santé des T4. À titre d'exemple, dans le secteur 2, la très forte densité de tiges d'avenir a conduit à la récolte de la quasi-totalité des T4, alors que seulement la moitié environ des T4 ont été martelés dans le secteur 1.

S'il dispose d'un inventaire, le marteleur sera en mesure de prévoir les catégories de tiges à récolter dans les différents secteurs. En l'absence d'inventaire, le marteleur devra s'adapter à la variabilité des peuplements (sylviculture fine). Par ailleurs, les situations non prévues devraient être rapportées par le marteleur au sylviculteur, donnant lieu à d'éventuelles adaptations des directives. Rappelons que, même dans le cas où l'on dispose d'un inventaire, le martelage doit toujours s'adapter, de façon très locale, au peuplement rencontré (Anonyme, 1999, p.48).

Des modalités de récolte aux directives de martelage

On a tout d'abord procédé à la rédaction de fiches de consignes de martelage propres à chaque scénario (Annexe 10b). Ces consignes sont des indications pour le choix des arbres à récolter. En effet, une modalité de récolte peut être appliquée de différentes manières et implique des choix. On peut par exemple réaliser la modalité de récolte « récolter $(T3+G1)/2 + T4$ sans aller en deçà de STM » différemment selon le choix des tiges de vigueur 3 et des grosses tiges de vigueur 1 récoltées. C'est le rôle du sylviculteur d'anticiper ces choix et de formuler des directives explicites à l'intention du marteleur, afin d'obtenir un martelage cohérent. La fiche de martelage se veut donc un guide d'aide au marteleur pour effectuer ses choix. A titre d'exemple, dans les fiches de martelage ci-jointes (Annexe 10b), on a choisi de privilégier la récupération des arbres à risque par rapport à la croissance des jeunes tiges, en indiquant de récolter une tige de vigueur 3 dont la valeur décroît

rapidement de préférence à une tige de vigueur 3 dont la valeur décroît moins rapidement mais qui gêne la croissance d'une tige appartenant au groupe P1M1.

Explication des consignes de martelage des trois scénarios

On trouvera ci-dessous l'explication des consignes correspondant aux trois scénarios testés. Les fiches de consignes proprement dites figurent à l'Annexe 10b. Outre les fiches de consignes de martelage, le marteleur disposait d'une fiche de données comportant entre autres les diamètres d'exploitabilité des différentes essences (Annexe 10c), ainsi que d'un tableau présentant les principaux objectifs et contraintes propres à chaque scénario (Annexe 10a).

Scénario LR

On récolte le maximum de tiges de vigueur 3 et de tiges G1 compatible avec le pourcentage maximal de prélèvement, en donnant la priorité aux tiges de vigueur 3 les plus « à risque » et aux G1 très mûres. Parmi les tiges de vigueur 4, on récolte préférentiellement celles qui ne survivront pas jusqu'à la prochaine récolte (arbres pourris ou déstabilisés par le vent par exemple), ainsi que celles qui gênent la croissance de régénération en essences désirées ou de tiges d'avenir (P1M1). Dans le cas d'un scénario à objectif faunique plus important (réponse oui à la question « veut-on conserver des chicots ? »), le critère d'intérêt pour la biodiversité aurait pu être considéré lors du choix de récolte entre plusieurs tiges T4.

Scénario CR

On suppose dans ce scénario que les prélèvements pourront être réalisés à intervalles plus rapprochés (10 ans en moyenne au lieu de 20 pour les rotations longues traditionnelles). L'intensité de récolte est donc plus légère. On récolte environ la moitié des G1 et des T3, en donnant la priorité aux tiges de vigueur 3 les plus « à risque » et aux G1 très mûres. Si le respect du pourcentage maximal de prélèvement le permet, on récolte des tiges de vigueur 4 en utilisant les mêmes critères de choix que pour le scénario précédent.

Scénario LRSTM

On récolte le maximum de tiges de vigueur 3 et de tiges G1 compatible avec le pourcentage maximal de prélèvement et la conservation de la surface terrière minimale de 16 m²/ha, en donnant la priorité aux tiges de vigueur 3 les plus « à risque » et aux G1 très mûres. Si le respect du pourcentage maximal de prélèvement et de la conservation de la surface terrière minimale de 16 m²/ha le permet, on récolte des T4 en respectant les critères mentionnés pour les scénarios précédents.

Remarque :

Les consignes élaborées ne suppriment pas la nécessité pour le marteleur de faire des choix. Certains critères de récolte demeurent mal définis, comme par exemple « probabilité de survie jusqu'à la prochaine récolte faible », où l'interprétation du terme « faible » est laissée à l'appréciation de l'utilisateur. En tout état de cause, il est impossible d'établir des directives totalement univoques, et ce d'autant plus que la variabilité des conditions locales nécessite de la part du marteleur la prise de décisions individuelles.

Apports de la phase de terrain

La phase de terrain a permis de mettre en évidence quelques précisions à apporter dans l'étape d'élaboration des directives de martelage à partir des prescriptions de AS.

Conflit entre le respect de la surface terrière minimale et la récolte des tiges T3 « urgentes »

Il est arrivé à plusieurs reprises, au cours des essais de martelage, que le maintien d'une surface terrière supérieure ou égale à 16 m²/ha en tout point oblige à laisser sur pied une tige de vigueur 3 « urgente » (c'est-à-dire dont la valeur décroît de façon très rapide) et à récolter à la place une tige de vigueur 3 dont la récolte était beaucoup moins pressante, du fait des positions spatiales de ces deux tiges. Il paraît nécessaire que le sylviculteur s'interroge sur l'échelle à laquelle doit être appliqué le critère de surface terrière minimale. En d'autres termes, est-il acceptable d'avoir, de façon très locale, une surface terrière légèrement inférieure à la surface terrière minimale fixée (dans notre exemple, 14 m²/ha au lieu de 16 m²/ha) après récolte d'une tige de vigueur 3 « urgente » ?

Choix des tiges de vigueur 4 à récolter dans les scénarios de type « Longues rotations »

Dans le cas des scénarios de type « Longues rotations », le critère « probabilité de survie jusqu'à la prochaine récolte faible », qui avait initialement été choisi comme critère n°1 pour sélectionner les tiges de vigueur 4 à récolter, s'est révélé difficile d'utilisation, les hypothèses faites sur une période de 20 ans étant trop hasardeuses. Ainsi, dans ce type de scénario, il semble préférable de choisir les tiges T4 à récolter en fonction de leur impact négatif sur la régénération en essences désirées et/ou sur des tiges d'avenir.

Détermination du degré d'urgence associé aux tiges de vigueur 3

En vue de faciliter le choix entre plusieurs tiges de vigueur 3, il serait utile de consulter la littérature afin de préciser les connaissances sur le degré d'urgence associé aux différentes blessures (chancre, champignons...).

Traitement des bouquets de tiges P1M1

AS ne prévoit pas la récolte de tiges de type P1M1. Or, si l'on rencontre un bouquet de tiges de type P1M1 très proches les unes des autres, il pourrait être avantageux de récolter une ou plusieurs de ces tiges, notamment dans le cas des scénarios de type « Longues rotations » et en l'absence de conflit avec les contraintes de prélèvement. Les conditions pour récolter de telles tiges pourraient être les suivantes : elles devraient nuire à la croissance de plusieurs tiges de vigueur 1 ; de plus, la perte de croissance de la tige récoltée devrait être compensée par le gain de croissance des tiges restantes. En pratique, cette dernière condition est particulièrement difficile à estimer ; des recherches supplémentaires pourraient avec profit être menées sur ce sujet. Mentionnons que le guide de martelage pour les feuillus tolérants de l'Ontario (Andersen et Rice, 1993) préconise de marquer certaines tiges d'avenir défavorables à la survie de tiges d'avenir supérieures. Il est généralement bénéfique de concentrer la croissance sur un nombre plus faible de tiges ; par ailleurs, la récolte d'une tige à l'intérieur d'un bouquet a l'avantage de procurer un revenu immédiat. Dans un tel cas, on récoltera des M1 de préférence à des P1 (le sacrifice d'exploitabilité étant plus important pour des P1 qui n'ont pas encore atteint les dimensions de sciage).

Les aspects de régénération : une lacune à combler

Le logiciel AS ne tient pas compte de la présence ou de l'absence de régénération (semis et gaulis) en essences désirées. Dans l'état actuel des choses, les modalités de récolte prescrivent la conservation de semenciers dans tous les cas. Une adaptation de AS serait utile pour les cas où l'on dispose d'un inventaire de régénération.

Productivité du martelage

Lors de la mise au point sur le terrain des directives correspondant aux différents scénarios, on a martelé environ un hectare par jour, par homme et par scénario. Cependant, comparé à un martelage opérationnel, des pertes de temps importantes ont été occasionnées par la démarche d'adaptation au terrain des prescriptions du logiciel, les explications données au marteleur, l'utilisation de ruban au lieu de peinture et le passage d'un scénario à l'autre dans la même journée. On estime qu'un marteleur habitué à la méthode et martelant à la peinture en fonction d'un scénario unique pourrait marteler environ 3 hectares par jour, à comparer avec 4 à 5 hectares par jour pour un martelage « traditionnel » (« jardinage 30 % »). La perte de productivité serait largement compensée par une meilleure adaptation du martelage à la forêt et aux objectifs.

Vulgarisation de la méthodologie employée

L'une des vocations principales de ce projet était de diffuser un message en vue d'une évolution vers une sylviculture plus fine dans les forêts feuillues du Québec. Par conséquent, la phase de vulgarisation auprès des différents partenaires constituait une étape-clé. Rappelons à ce propos l'aspect novateur du type de martelage présenté par rapport à la coupe de «jardinage 30 %» couramment employée.

La méthodologie employée a été exposée lors d'une journée de terrain dans la forêt ayant servi aux tests de martelage. Cette sortie regroupait des représentants de Municipalités Régionales de Comté, de l'Agence de Mise en Valeur de la Forêt Privée Outaouaise, du Ministère des Ressources naturelles, de groupements forestiers, de l'Industrie forestière ainsi que des conseillers forestiers.

Un poster de présentation du logiciel AS a été réalisé (Annexe 11) et présenté une première fois lors des Journées Forestières organisées par le Syndicat des Producteurs de Bois de la Mauricie (Québec). Par ailleurs, il est prévu de diffuser la version définitive du logiciel AS sous forme de « package » comprenant également une formation sur le terrain.

Conclusion

L'intérêt de cette étude porte essentiellement sur la méthodologie développée, qui, à terme, permettra de comparer de nombreux scénarios de récolte établis en fonction de combinaisons d'objectifs variées. En particulier, la comparaison entre scénarios de type « Longues rotations » et « Courtes rotations » devrait être riche d'enseignements : elle pourrait permettre d'ouvrir le débat sur la longueur des rotations et éventuellement d'introduire une alternative aux rotations de 20 ans dans la région. La difficulté principale réside dans le fait que, par manque de temps, la démarche d'évaluation des revenus produits par les différents scénarios sylvicoles n'a pas pu être automatisée dans le cadre de ce projet. Par conséquent, il n'a pas été possible d'effectuer des simulations sur une durée supérieure à 20 ans. Dans le futur, une automatisation de l'ensemble des étapes de l'analyse pour aboutir à un logiciel intégrant prescription, projection à long terme et évaluation économique devrait permettre une comparaison rapide entre les scénarios. L'utilisation d'un modèle de croissance plus évolué (faisant par exemple intervenir le logiciel Jabowa III) pourrait permettre d'affiner la méthode. L'évaluation des revenus effectuée par le logiciel devrait être complétée par une analyse des coûts respectifs des différents scénarios simulés, afin de pouvoir comparer leurs bénéfices nets. En ce qui concerne l'application au terrain, des activités de formation de marteleurs à la sylviculture par objectifs, par opposition à la sylviculture de normes, ont été mises en place. Le logiciel AS a d'ores et déjà confirmé sa capacité d'aide aux décideurs pour effectuer des choix de traitements sylvicoles. Une meilleure prise en compte des objectifs d'aménagement et de la variabilité des peuplements devrait favoriser l'introduction d'une sylviculture plus « fine » dans les forêts feuillues du Québec.

Glossaire

- Diamètre d'exploitabilité : diamètre optimal de récolte en fonction des objectifs fixés.
- Directives (de martelage) : ensemble des consignes fournies au marteleur, résultant de la traduction et de l'adaptation au terrain des modalités de récolte* provenant de AS par le sylviculteur.
- Modalité (de récolte) : prescription de AS correspondant à un scénario et à des données de structure du peuplement.
- Objectif : ce terme désigne tout objectif de mise en valeur d'une forêt ou d'un peuplement.
- Sacrifice d'exploitabilité : récolte d'une tige vigoureuse et de bonne qualité dont le diamètre est inférieur au diamètre d'exploitabilité*.
- Scénario (de récolte) : un scénario est défini par une combinaison d'objectifs*, c'est-à-dire une série de réponses aux questions permettant au logiciel AS de définir les objectifs d'aménagement.
- Stratégie : action ou ensemble d'actions mis(e) en œuvre pour atteindre un objectif*, et qui se traduit par une ou des modalité(s) de récolte*.
- Sylviculture fine : sylviculture selon laquelle l'adaptation du traitement au peuplement (structure, composition...) a lieu à plus petite échelle que selon la sylviculture traditionnelle.
- Sylviculture par objectifs : sylviculture selon laquelle le choix du traitement est dicté par les objectifs poursuivis.
- Tiges prioritaires : ce terme désigne les tiges de vigueur 3 ainsi que les tiges de vigueur 1 dont le diamètre est supérieur au diamètre d'exploitabilité* (voir Annexe 1 pour la classification des tiges en termes de vigueur).

Références citées

- Anderson, H. W. et J. A. Rice. 1993. A tree-marking guide for the tolerant hardwoods working group in Ontario. Ministry of Natural Resources, Ontario. Forest Resources Branch. Science and Technology Series, Vol. 8. 227 p.
- Anonyme. 1999. Sylviculture en futaie irrégulière : les typologies de peuplements. Résumés des interventions de la table d'hôte organisée par l'ENGREF-Nancy, 23-24 novembre 1999, 59 p.
- Asael, S. 1999. Typologie des peuplements forestiers du massif vosgien (Alsace et Lorraine). Référentiel de sylviculture. CRPF Lorraine, CRPF Alsace, ONF. 99 p. + Annexes.
- Beauchesne, P. 2000. Caractérisation des lots forestiers intra-municipaux, MRC de Papineau.
- Davis, L. S. et N. Johnson. 1987. Forest management. Third ed. McGraw-Hill, New York. 790 p.
- Forget, E., F. Doyon et P. Nolet. 2001. L'évolution de la qualité des tiges : une évaluation régionale. IQAFF. 28 p.
- Forintek Canada Corporation. 1982. Manuel de classification des tiges pour les essences feuillues et les pins blanc et rouge. Québec. 52 p.
- Leak, W. B., D. S. Salomon et P. S. DeBald. 1987. Silvicultural Guide for Northern Hardwood Types in the Northeast (revised). USDA Forest Service. Northeastern Forest Experiment Station. Research Paper NE-603. 40 p.
- Majcen, Z, Y. Richard, M. Ménard et Y. Grenier. 1991. Choix des tiges à marquer pour le jardinage d'érablières inéquiennes. Guide technique. Ministère de l'Énergie et des ressources (forêts), Direction de la Recherche et du développement, Service de la Recherche appliquée. Mémoire numéro 96. 96 p.
- Majcen, Z. et Y. Richard. 1995. Coupe de jardinage dans six régions écologiques du Québec. Accroissement quinquennal en surface terrière. Gouvernement du Québec, Ministère des Ressources naturelles, Direction de la Recherche forestière. Mémoire de recherche numéro 120. 22 p.
- Majcen, Z. 1997. Coupe de jardinage et coupe de succession dans trois secteurs forestiers : accroissement décennal en surface terrière et état de la régénération. Ministère des

Ressources naturelles, Direction de la Recherche forestière. Mémoire de recherche numéro 129. 48 p.

Marquis, D. A., R. L. Ernst et S. L. Stout. 1992. Prescribing Silvicultural Treatments in Hardwood Stands of the Alleghenies (revised). USDA Forest Service. Northeastern Forest Experiment Station. Research Paper NE-96. 102 p.

Ministère des Ressources naturelles Canada. 1995. Terminologie de la sylviculture au Canada. 2^{ème} édition. Ottawa. 114 p.

Ministère des Ressources naturelles Québec. 1995. L'érable à sucre : caractéristiques, écologie et aménagement. 394 p.

Ministère des Ressources naturelles Québec. 1997. Manuel d'Aménagement Forestier. 3^{ème} édition. Québec. 121 p. + Annexes.

Ministère des Ressources naturelles Québec. 1999. Instructions relatives à l'application du règlement sur la valeur des traitements sylvicoles admissibles en paiement des droits, exercice 1999-2000. Forêt Québec. Direction de l'Assistance technique. Division des Traitements sylvicoles. 69 p.

Paillereau, D. 2001. Typologie des peuplements alluviaux Alsace, volume 1. Cahier Scientifique. CRPF Lorraine-Alsace, ONF Alsace, Conseil Régional Alsace, Ministère de l'Agriculture et de la Pêche. 148 p. + Annexes.

Smith, H. C et N. I. Lamson. 1982. Number of Residual Trees : A Guide for Selection Cutting. USDA Forest Service. Northeastern Forest Experiment Station. Research Paper NE-80. 30 p.

Smith, D. M., B. C. Larson, M. J. Kely et P. M. S. Ashton. 1997. The Practice of Silviculture : Applied Forest Ecology. Ninth ed. John Wiley and Sons, Inc. 537 p.

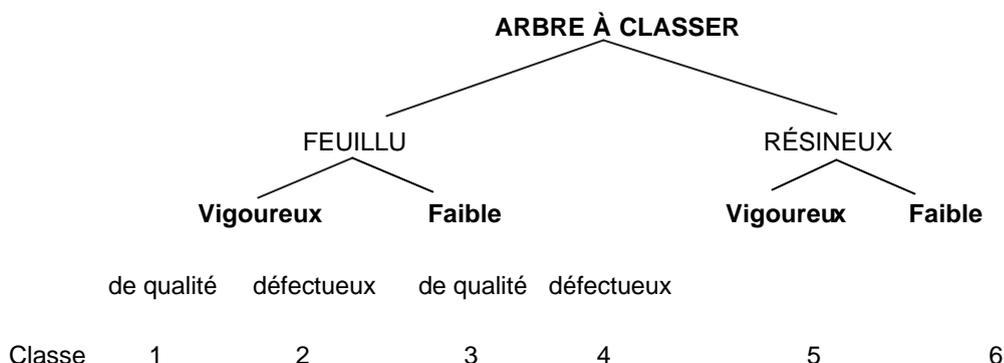
Trexler, J. C. et J. Travis. 1993. Nontraditional Regression Analyses. Ecology 74(6). p. 1629-1637.

Données fournies par Michel Letarte, MRN, Direction des Programmes forestiers, Québec.

<http://www.mrn.gouv.qc.ca/3/30/304/intro.asp> (site du Ministère des Ressources naturelles, Direction des Programmes forestiers, Tarification)

ANNEXES

Annexe 1. Classification des tiges en termes de vigueur et de qualité (Source : Ministère des Ressources naturelles, 1999)



Le classement des arbres feuillus selon leur vigueur et leur qualité s'appuie sur les classes descriptives suivantes (couramment désignées par le terme « classes de vigueur ») :

Classe	Description
1	Arbre vigoureux de qualité possédant actuellement au moins une bille de bois d'œuvre ou ayant le potentiel de fournir au moins une bille de bois d'œuvre à la prochaine rotation
2	Arbre vigoureux mais défectueux, ne possédant aucune bille de bois d'œuvre et destiné à la pâte ou au bois de chauffage
3	Arbre de qualité mais peu vigoureux, possédant actuellement au moins une bille de bois d'œuvre mais n'ayant pas le potentiel de fournir une bille de bois d'œuvre à la prochaine rotation
4	Arbre faible et défectueux ne possédant aucune bille de bois d'œuvre et destiné à la pâte ou au bois de chauffage

- Vigoureux :** Arbre qui n'a aucune blessure importante ; sa cime et son feuillage sont bien développés ; il ne présente aucune grosse branche morte ou mourante, à l'exception de celle située dans la partie inférieure de la cime en autant que celle-ci ne présente aucune pourriture. Les chances de survie, du maintien de la qualité et de la croissance de l'arbre jusqu'à la prochaine rotation sont considérées comme bonnes. Le critère « maintien de la qualité d'une tige » est défini comme le maintien d'une bille de bois d'œuvre (qualité « sciage » ou « déroulage »), c'est-à-dire qu'il n'y a pas détérioration suffisante pour passer d'une bille de qualité « bois d'œuvre » à une bille de qualité « pâte ».
- Faible :** Arbre affecté par une ou des blessure(s) importante(s) ; arbre dépérissant, ayant la cime abîmée ou portant de grosses branches mortes ou en cours de séchage, etc. Arbre montrant des fentes non cicatrisées, des champignons et des chancres qui diminuent sa qualité. La qualité de cet arbre est susceptible de se détériorer fortement et ses chances de survie jusqu'à la prochaine rotation sont considérées comme faibles.
- De qualité :** Arbre qui possède au moins une bille de bois d'œuvre (qualité « sciage » ou « déroulage ») ou qui est susceptible d'en acquérir une au cours d'une rotation ultérieure.
- Défectueux :** Arbre qui ne possède aucune bille de bois d'œuvre. Le bois de cet arbre est destiné à la pâte ou au chauffage. Cette catégorie comprend aussi les tiges destinées au bois de palette.

Annexe 2. Ordre de priorité des tiges récoltées par AS

L'ordre de priorité des arbres à récolter est basé sur une combinaison de deux variables : le « poids », qui dépend de la vigueur et de la catégorie (petite, moyenne ou grosse tige), et le DHP. AS récolte les tiges par ordre de poids décroissant puis de DHP décroissant. Rappelons que les tiges de vigueur 2 sont considérées comme des tiges de vigueur 4.

Statut	Poids
T3	3
G1	2
T4	1
P1M1	0

Annexe 3. Format de table d'inventaire requis par le logiciel AS

Nom du champ	Type	Nombre de décimales
Viree	Caractère	x
Placette	Caractère	x
No	Numérique	0
Essence	Caractère	x
DHP	Numérique	0
Vig_reel	Numérique	0
ST	Numérique	0
Viree_pla	Caractère	x

Viree = numéro ou code de la virée

Placette = numéro ou code de la placette

No = numéro de la tige dans la virée

Essence = code de l'essence

DHP = diamètre à hauteur de poitrine (cm)

Vig_reel = classe de vigueur de la tige (Annexe 1)

ST = surface terrière de la tige dans la placette (entrent dans le calcul de la surface terrière les arbres de diamètre supérieur ou égal à 9,1 cm)

Viree_pla = association des champs Virée et Placette

Annexe 4. Liste des essences commerciales présentes dans les lots intra-municipaux de la MRC de Papineau (les essences non commerciales ont été éliminées de la base de données)

Nom commun	Nom latin	Code
Bouleau jaune	<i>Betula alleghaniensis</i>	BOJ
Bouleau à papier	<i>Betula papyrifera</i>	BOP
Cerisier tardif	<i>Prunus serotina</i>	CET
Chêne rouge	<i>Quercus rubrum</i>	CHR
Épinette blanche	<i>Picea glauca</i>	EPB
Épinette rouge	<i>Picea rubens</i>	EPR
Érable rouge	<i>Acer rubrum</i>	ERR
Erable à sucre	<i>Acer saccharum</i>	ERS
Frêne d'Amérique	<i>Fraxinus Americana</i>	FRA
Frêne noir	<i>Fraxinus nigra</i>	FRN
Hêtre à grandes feuilles	<i>Fagus grandifolia</i>	HEG
Noyer cendré	<i>Juglans cinerea</i>	NOC
Orme d'Amérique	<i>Ulmus americana</i>	ORA
Ostryer de Virginie	<i>Ostrya virginiana</i>	OSV
Peuplier baumier	<i>Populus balsamifera</i>	PEB
Peuplier à grandes dents	<i>Populus grandidentata</i>	PEG
Peuplier faux-tremble	<i>Populus tremuloides</i>	PET
Pin blanc	<i>Pinus strobus</i>	PIB
Pin rouge	<i>Pinus resinosa</i>	PIR
Pruche de l'est	<i>Tsuga canadensis</i>	PRU
Sapin baumier	<i>Abies balsamea</i>	SAB
Thuya de l'Est	<i>Thuya occidentalis</i>	THO
Tilleul américain	<i>Tilia americana</i>	TIL

Annexe 5. Liste des hypothèses et approximations effectuées pour la comparaison des différents scénarios de récolte

- ? La valeur du peuplement et donc les revenus dégagés lors d'une rotation sont calculés sur la base du peuplement « moyen », à mi-rotation.
- ? On suppose que la mortalité et le recrû sont identiques pour tous les scénarios. Ainsi, à des fins de comparaison entre les scénarios, il n'a pas été nécessaire de tenir compte de ces deux variables.
- ? La croissance en diamètre ne dépend que du diamètre à hauteur de poitrine initial et de la surface terrière de la placette. En outre, cette relation est supposée linéaire.
- ? L'évolution dans le temps de la qualité des tiges est identique à l'intérieur des groupes d'essences suivants :
 - bouleau à papier et bouleau jaune,
 - peuplier faux-tremble, peuplier baumier, peuplier à grandes dents, orme d'Amérique, ostryer de Virginie, hêtre américain et noyer cendré,
 - érable à sucre, érable rouge, chêne rouge, cerisier tardif, frêne d'Amérique, frêne noir et tilleul.
- ? L'ensemble des données relatives aux prix des bois en fonction de la qualité « bois tronçonné » et à la correspondance entre classes de qualité des bois sur pied et classes de qualité « bois tronçonné » proviennent de forêts publiques, en raison du manque d'informations de ce type concernant la forêt privée.
- ? L'utilisation de correspondances entre qualité sur pied et qualité des billots de bois tronçonné entraîne nécessairement des approximations, en raison notamment du passage obligé par la répartition suivant les catégories « déroulage », « sciage » et « pâte ». Par ailleurs, les tables de correspondances n'étant disponibles que pour le bouleau jaune, l'érable à sucre et les peupliers, on a utilisé ces tables pour les autres essences, en choisissant pour chaque essence la grille la plus adaptée.

Annexe 6. Équations linéaires de la croissance annuelle en DHP en fonction du DHP et de la surface terrière (établies à partir de la base de données de suivi des placettes permanentes du MRN pour la région de l'Outaouais)

Essence	Équation de la croissance annuelle (mm)	R ²
BOJ	3,65-(0,0487* ST)	0,06
BOP	3,723-(0,0707* ST)	0,12
CET	6,091-(0,241* ST)+(0,01285*DHP)	0,39
CHR	2,278-(0,0425* ST)+(0,00555*DHP)	0,11
EPB	3,618-(0,0859* ST)+(0,005422*DHP)	0,12
EPR	2,43	
ERR	2,326-(0,0446* ST)+(0,005574*DHP)	0,08
ERS	2,500-(0,0549* ST)+(0,005087*DHP)	0,15
FRA	2,957-(0,0692* ST)+(0,006028*DHP)	0,12
FRN	3,363-(0,0581* ST)	0,07
HEG	2,834-(0,0494* ST)+(0,00418*DHP)	0,11
NOC	2,5	
ORA	2,835	-
OSV	0,998-(0,0319* ST)+(0,005192*DHP)	0,09
PEB	6,75	
PEG	4,511-(0,00530* ST)+(0,003341*DHP)	-
PET	4,996-(0,0469* ST)	0,03
PIB	2,217+(0,007788*DHP)	0,23
PIR	2,655	-
PRU	4,110-(0,0959* ST)+(0,00379*DHP)	0,20
SAB	2,649-(0,0420* ST)+(0,006772*DHP)	0,06
TIL	1,544-(0,0368* ST)+(0,008502*DHP)	0,15
THO	2,718-(0,0322* ST)+(0,001900*DHP)	0,07

Annexe 7. Exemple de résultats fournis par la macro Excel simulant l'évolution de la qualité des tiges

Essence	Qualité initiale	DHP (mm)	Période (ans)	Croissance en DHP (mm)	État final (probabilités)				
					A	B	C	D	<23,9 cm
ERS	C	319,1	10	44,07	1,1%	17,3%	71,9%	9,7%	0,0%
ERS	D	319,1	10	44,07	0,3%	4,2%	23,2%	72,2%	0,0%
ERS	C	288,4	10	61,82	0,8%	24,1%	66,6%	8,5%	0,0%
ERS	D	288,4	10	61,82	0,3%	6,5%	23,8%	69,5%	0,0%
ERS	A	468,9	10	85,01	58,4%	38,9%	2,7%	0,0%	0,0%
ERS	B	468,9	10	85,01	10,4%	86,9%	2,5%	0,2%	0,0%
ERS	C	468,9	10	85,01	6,2%	56,0%	31,7%	6,0%	0,0%
ERS	D	468,9	10	85,01	2,6%	19,3%	14,5%	63,5%	0,0%
ERS	C	288,4	10	61,82	0,8%	24,1%	66,6%	8,5%	0,0%
ERS	D	288,4	10	61,82	0,3%	6,5%	23,8%	69,5%	0,0%
ERS	A	482,7	10	81,97	62,7%	34,8%	2,5%	0,0%	0,0%
ERS	B	482,7	10	81,97	12,3%	85,0%	2,5%	0,2%	0,0%
ERS	C	482,7	10	81,97	7,3%	54,6%	31,8%	6,2%	0,0%
ERS	<23,9 cm	226,2	10	26,41	0,2%	0,1%	81,0%	18,5%	0,2%

Qualité	A	B	C	D
DHP minimal requis (mm)	439	339	239	239

Annexe 8. Données utilisées pour les calculs de valeur de récolte (en l'absence de précisions, la source est : Ministère des Ressources naturelles du Québec, 1997)

- a) Tarifs de cubage
- b) Matrices de répartition du volume marchand brut par produits pour les feuillus
- c) Matrices de répartition du volume marchand brut par produits pour les résineux
- d) Estimation du volume de la tige apte au sciage pour les essences résineuses
- e) Répartition des volumes de qualité « sciage » en qualité b et c de bois tronçonné (source : données fournies par Michel Letarte, MRN)
- f) Taux unitaires de la valeur marchande des bois sur pied
(source : <http://www.mrn.gouv.qc.ca/3/30/304/intro.asp>)

Annexe 8a. Tarif de cubage pour l'unité de gestion 72

essence	k	b	c	Equation du volume marchand brut (dm ³)
BOJ	8,6255	0,5648	-0,0053	$1,4011602*D - 0,0509565*D^2 - 1,6089497*H - 0,109785*D*H + 0,0381859*D^2*H$
BOP	-3,0521	1,5859	-0,0264	$1,2173 - 2,7952299*H + 0,127597*D*H + 0,0327843*D^2*H$
CET	3,5590	0,7508	-0,0073	$- 1,8224401*H + 0,034424*D^2*H$
CHR	0,9294	0,8520	-0,0088	$- 7,6298 - 0,0911019*H^2 + 0,035163*D^2*H$
EPB	0,2707	0,8064	-0,0081	$- 24,9889 + 4,90312*D - 0,21366*D^2 - 4,6912003*H + 0,33143*D*H$
EPR	-3,9978	1,4622	-0,0219	$1,5134 - 4,3801899*H + 0,36715*D*H + 0,02595*D^2*H$
ERR	5,9793	0,7985	-0,0099	$- 1,1724901*H - 0,03843*D*H + 0,03287*D^2*H$
ERS	8,3034	0,5836	-0,0045	$7,5092 - 2,3793097*H + 0,0336075*D^2*H$
FRA	0,9720	0,9854	-0,0099	$6,9773 - 2,3424301*D + 0,21663*D^2 - 0,14065*D*H + 0,02777*D^2*H$
FRN	-1,0524	1,2878	-0,0187	$0,4784 - 0,52712*D + 0,101104*D^2 - 0,27414*D*H + 0,03885*D^2*H$
HEG	4,8367	0,8035	-0,0070	$- 2,5705099*H + 0,0986*D*H + 0,03382*D^2*H$
NOC	5,0990	0,6679	-0,0085	$0,7829 + 0,132188*H - 0,271184*D*H + 0,039585*D^2*H$
ORA	4,7630	0,6172	-0,0034	$0,7829 + 0,132188*H - 0,271184*D*H + 0,039585*D^2*H$
OSV	1,6124	1,0679	-0,0163	$0,09197*D^2 - 4,7163801*H + 0,40091*D*H + 0,01579*D^2*H$
PEB	3,4421	0,8876	-0,0107	$- 1,2628202*H + 0,0318047*D^2*H$
PEG	0,5125	1,1541	-0,0118	$- 1,2628202*H + 0,0318047*D^2*H$
PET	-0,8428	1,3074	-0,0159	$- 1,5881596*H + 0,0358535*D^2*H$
PIB	0,1679	0,8318	-0,0061	$- 5,1688604*H + 0,489927*D*H + 0,0238182*D^2*H$
PIR	-0,6362	1,0440	-0,0110	$- 0,04629*D^2 - 2,1198797*H + 0,19273*D*H + 0,03051*D^2*H$
PRU	1,0276	0,8175	-0,0074	$- 3,0448503*H + 0,213098*D*H + 0,0272291*D^2*H$
SAB	-1,9978	1,3237	-0,0185	$12,5379 - 0,07977*D^2 - 7,7592402*H + 0,73319*D*H + 0,01852*D^2*H$
THO	1,7796	0,6708	-0,0070	$0,03224*D^2 - 4,14505*H + 0,39731*D*H + 0,01995*D^2*H$
TIL	2,9210	0,8513	-0,0072	$- 2,1279802*H + 0,0339905*D^2*H$

H = hauteur (m), D = diamètre à hauteur de poitrine (cm)

$$H=k+bD+cD^2$$

Annexe 8b.

Matrices de répartition du volume marchand brut par produits pour les feuillus

Matrice standard nord

Classes de DHP (cm)	Peupliers																			
	Produits par classe de qualité des tiges de l'inventaire (%)																			
	A					B					C					D				
	Dér	Sc	Pâte	Déch.	Carie	Dér	Sc	Pâte	Déch.	Carie	Dér	Sc	Pâte	Déch.	Carie	Dér	Sc	Pâte	Déch.	Carie
10 à 16																		95	1	4
18 à 22																		95	1	4
24											21	30	45	2	2	19	37	40	1	3
26											21	30	45	2	2	19	37	40	1	3
28											21	30	45	2	2	19	37	40	1	3
30 à 32											21	30	45	2	2	19	37	40	1	3
34 à 38											37	30	29	1	3	12	40	41	1	6
40 à 48	45	26	25	2	2	45	26	25	2	2	29	31	35	2	3	12	40	41	1	6
50 à 58	45	26	25	2	2	45	26	25	2	2	29	31	35	2	3	12	40	41	1	6
60 à 98	45	26	25	2	2	45	26	25	2	2	29	31	35	2	3	12	40	41	1	6

Matrice standard sud

Classes de DHP (cm)	Peupliers																			
	Produits par classe de qualité des tiges de l'inventaire (%)																			
	A					B					C					D				
	Dér	Sc	Pâte	Déch.	Carie	Dér	Sc	Pâte	Déch.	Carie	Dér	Sc	Pâte	Déch.	Carie	Dér	Sc	Pâte	Déch.	Carie
10 à 16																		95	1	4
18 à 22																		95	1	4
24											3	30	34	1	4	6	37	39	1	6
26											3	30	34	1	4	6	37	39	1	6
28											6	59	28	3	9	13	76	1	10	
30 à 32											6	59	28	3	9	13	76	1	10	
34 à 38						17	49	33	3	4	7	59	31	4	4	19	67	2	13	
40 à 48	37	37	32	2	2	12	62	18	4	4	15	58	19	4	4	22	58	2	16	
50 à 58	37	37	32	2	2	12	62	18	4	4	15	58	19	4	4	22	58	2	16	
60 à 98	37	37	32	2	2	12	62	18	4	4	15	58	19	4	4	22	58	2	16	

Dér : partie utilisable pour le déroulage ; Sc : partie utilisable pour la sciage ; Pâte : partie destinée à la production de pâte ; Déch. : perte due aux déchets de coupe ; Carie : perte due à la carie des tiges.

Matrices standard nord et sud

Bouleau jaune																					
Classes de DPH (cm)	Produits par classe de qualité des tiges de l'inventaire (%)																				
	A					B					C					D					
	Dér	Sc	Pâte	Déch.	Carie	Dér	Sc	Pâte	Déch.	Carie	Dér	Sc	Pâte	Déch.	Carie	Dér	Sc	Pâte	Déch.	Carie	
10 à 16																	95	4	1		
18 à 22																	95	4	1		
24																	9	86	3	2	
26																	9	86	3	2	
28																	19	68	6	7	
30 à 32																	19	68	6	7	
34 à 38						11	54	28	6	1							22	59	10	9	
40 à 48	14	45	30	8	3	10	44	34	7	5							2	26	50	10	12
50 à 58	18	32	36	7	7	8	29	44	8	11							2	13	57	10	18
60 à 98	13	23	40	11	13	5	28	44	7	16							2	13	57	9	9

Bouleau à papier																					
Classes de DPH (cm)	Produits par classe de qualité des tiges de l'inventaire (%)																				
	A					B					C					D					
	Dér	Sc	Pâte	Déch.	Carie	Dér	Sc	Pâte	Déch.	Carie	Dér	Sc	Pâte	Déch.	Carie	Dér	Sc	Pâte	Déch.	Carie	
10 à 16																		94	4	2	
18 à 22																		94	4	2	
24																		18	73	6	3
26																		18	73	6	3
28																		18	73	6	3
30 à 32																		18	73	6	3
34 à 38																		18	73	6	3
40 à 48	9	55	20	4	4	13	45	29	7	6							18	63	8	13	
50 à 58	13	35	48	13	9		49	31	3	15							17	53	10	20	
60 à 98	29	24	24	14	9		49	31	3	15							17	53	10	20	

Érables																					
Classes de DPH (cm)	Produits par classe de qualité des tiges de l'inventaire (%)																				
	A					B					C					D					
	Dér	Sc	Pâte	Déch.	Carie	Dér	Sc	Pâte	Déch.	Carie	Dér	Sc	Pâte	Déch.	Carie	Dér	Sc	Pâte	Déch.	Carie	
10 à 16																		94	4	2	
18 à 22																		94	4	2	
24																		28	70	8	2
26																		28	70	8	2
28																		28	70	8	2
30 à 32																		28	70	8	2
34 à 38																		28	70	8	2
40 à 48		64	28	6	3		61	38	6	3							31	51	7	9	
50 à 58		64	30	6	3		56	36	9	6							24	54	8	14	
60 à 98		54	34	5	3		58	35	6	9							14	52	13	24	

Annexe 8c.

Matrices de répartition du volume marchand brut par produits pour les résineux

Sapin, épinettes, pin gris et mélèzes					
Classes de DHP (cm)	Déroulage	Sciage	Pâte	Perte pour déchets de coupe	Carie
10 à 98	-	3 (100 % - (1+2)) x % (Tableau 6)	100 % - (1+2+3)	1 2,5 % ou une étude d'utilisation	2 % (Tableau 1)

Pins blanc et rouge					
Classes de DHP (cm)	Déroulage	Sciage	Pâte	Perte pour déchets de coupe	Carie
10 à 22	-	-	90	8	2
24 à 26	-	63	32	3	2
28 à 28	-	77	20	1	2
30 à 32	-	87	10	1	2
34 à 48	-	90	7	1	2
50 à 98	-	90	5	1	4

Pruche de l'est					
Classes de DHP (cm)	Déroulage	Sciage	Pâte	Perte pour déchets de coupe	Carie
10 à 28	-	-	98	8	2
30 à 98	-	50	48	8	2

Thuya occidental					
Classes de DHP (cm)	UTILISATION AXÉE VERS L'USINE DE SCIAGE				
	Bardeaux	Sciage	Pâte	Perte pour déchets de coupe	Carie
10 à 24	-	-	98	6	4
26 à 98	-	50	33	8	9

Annexe 8d. Estimation du volume de la tige apte au sciage pour les essences résineuses

Région administrative	Unité de gestion	Zone socio-économique	Utilisation sciage (%)	Région administrative	Unité de gestion	Zone socio-économique	Utilisation sciage (%)	
01	11	Banlieue ¹	82,5	07	71	Banlieue	92,5	
	12	Banlieue	82,5			Sciage	92,5	
	13	Banlieue	82,5			72	Banlieue	92,5
	14	Banlieue	82,5			73	Banlieue	92,5
	15	Banlieue	82,5			74	Banlieue	92,5
02	21	Banlieue	77,5			75	Sciage	92,5
	22	Banlieue	77,5			76	Sciage	92,5
	23	Banlieue	77,5		77	Banlieue	92,5	
		Sciage ¹	77,5		Sciage	87,5		
		Pâte ¹	62,5	08	81	Banlieue	92,5	
	24	Banlieue	82,5			Sciage	92,5	
	Sciage	82,5			82	Banlieue	82,5	
		Pâte	62,5			83	Banlieue	82,5
	25	Banlieue	77,5			Sciage	92,5	
	26	Sciage	77,5		84	Banlieue	82,5	
Banlieue		67,5		Sciage	82,5			
Sciage		77,5		85	Banlieue	77,5		
Sciage		77,5		Sciage	77,5			
27	Banlieue	77,5		86	Banlieue	82,5		
	Sciage	82,5		Sciage	77,5			
	Pâte	62,5		Pâte	62,5			
	Pâte	62,5		87	Sciage	82,5		
03	30	Banlieue	82,5	09	91	Banlieue	92,5	
	32	Banlieue	77,5			92	Banlieue	82,5
	33	Banlieue	82,5			Sciage	82,5	
	34	Banlieue	92,5			93	Banlieue	92,5
	35	Banlieue	82,5			Sciage	82,5	
04	41	Banlieue	92,5			Pâte	67,5	
	52	Banlieue	92,5			94	Banlieue	87,5
		Sciage	87,5			Sciage	87,5	
43	Banlieue	92,5			Pâte	62,5		
05	51	Banlieue	92,5			95	Banlieue	67,5
	Sciage	87,5		Pâte	67,5			
06	61	Banlieue	92,5					
	62	Banlieue	92,5					

Annexe 8e. Répartition des volumes de qualité « sciage » en qualité b et c de bois tronçonné dans la région de l'Outaouais, année 2000

essence	sciage b (%)	sciage c (%)
BOJ	72,32	27,68
BOP	51,61	48,39
CET	63,13	36,87
CHE	71,76	28,24
ERS	58,37	41,63
ERR	53,72	46,28
FRA	65,74	34,26
FRN	61,88	38,12
HET	40,88	59,12
NOC	83,93	16,07
ORA	75,60	24,40
OSV	15,36	84,64
PEU	100,00	0,00
TIL	73,70	26,30
THO	99,75	0,25
PIB	97,17	2,83
PIR	70,23	29,77
PRU	21,97	78,03

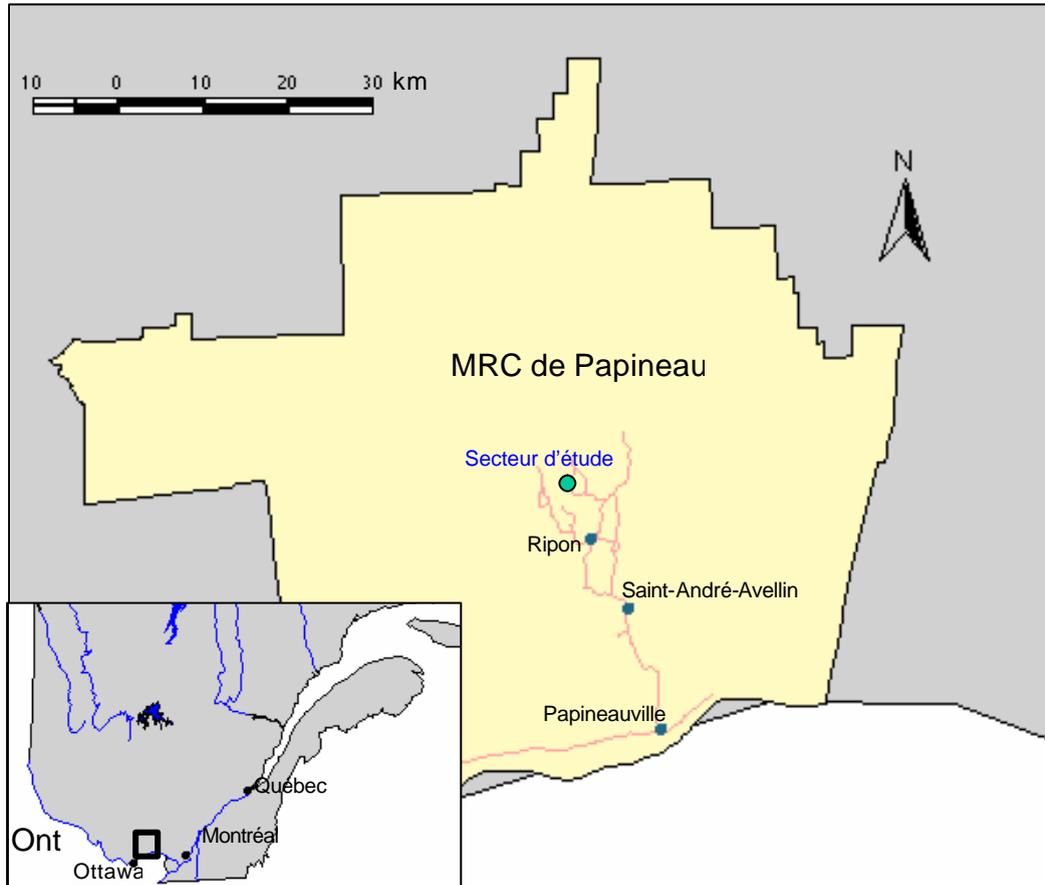
Annexe 8f. Valeur marchande des bois sur pied en fonction de l'essence et de la qualité « bois tronçonné » (les calculs ont été effectués avec les chiffres de la région administrative 701)

**TAUX UNITAIRES DE LA VALEUR MARCHANDE DES BOIS SUR PIED DES FORÊTS DU DOMAINE DE L'ÉTAT
PAR ZONE DE TARIFICATION FORESTIÈRE POUR LA PÉRIODE DU 1^{er} AVRIL 2001 AU 30 JUIN 2001**

Essences	Qualité*	Valeur marchande (\$/m3)															
		Zones															
		701	702	703	704	705	706	707	708	709	710	711	712	801	802	803	804
<i>Sapin, épinettes, pin gris, mélèze</i>	A	21,25	18,00	13,80	15,60	16,05	14,40	13,75	13,55	12,25	12,90	12,10	12,85	10,60	11,25	12,70	11,05
	B	17,50	11,15	9,70	11,10	9,45	5,95	8,15	11,15	6,65	6,00	3,75	3,75	6,65	7,15	9,80	6,95
<i>Pin blanc</i>	B	16,80	17,60	16,55	17,00	17,15	16,70	16,55	14,20	13,75	13,00	12,35	12,70	15,95	16,05	15,90	16,00
<i>Pin rouge</i>	A	26,95	26,95	24,45	25,55	26,05	25,00	24,45	21,50	20,55	20,25	18,25	19,65	23,55	23,60	23,05	23,55
	B	12,30	12,50	11,75	12,10	12,20	11,90	11,75	10,50	10,20	9,90	9,35	9,65	11,40	11,45	11,35	11,45
<i>Pruche, cèdre</i>	B	4,00	4,00	3,55	3,75	3,85	3,65	3,55	3,00	2,75	2,75	2,30	2,65	3,35	3,40	3,25	3,40
<i>Pin blanc, pin rouge, pruche, cèdre</i>	C	2,20	2,15	1,85	1,95	2,05	1,90	1,85	1,55	1,45	1,45	1,25	1,40	1,75	1,75	1,65	1,75
<i>Chênes, cerisier, noyers, caryers</i>	A	85,95	72,60	64,35	56,65	44,85	51,00	41,05	47,45	17,15	13,35	13,35	13,35	59,45	53,55	71,45	56,70
	B	34,55	25,70	23,25	24,80	19,70	19,95	14,00	16,75	8,10	3,05	1,35	3,00	23,00	19,90	30,20	26,25
	C	13,20	9,80	8,85	9,45	7,50	7,60	5,35	6,40	3,10	1,55	1,35	1,55	8,75	7,60	11,50	10,00
<i>Bouleau jaune, frênes, tilleul, ormes</i>	A	71,80	58,50	50,30	44,25	35,05	39,85	32,10	37,10	13,40	10,45	10,45	10,45	46,45	41,85	58,30	45,85
	B	27,00	20,05	18,20	19,35	15,40	15,60	10,95	13,10	6,35	2,40	1,35	2,35	17,95	15,55	23,60	20,50
	C	10,30	7,65	6,95	7,40	5,85	5,95	4,15	5,00	2,40	1,55	1,35	1,55	6,85	5,95	9,00	7,80
<i>Bouleau blanc</i>	A	62,95	58,20	50,30	44,25	35,05	39,85	32,10	37,10	13,40	10,45	10,45	10,45	38,15	41,85	45,60	45,85
	B	25,15	22,15	19,55	19,50	16,85	12,30	10,15	13,55	4,85	2,55	1,35	2,10	9,50	13,95	14,20	17,40
	C	10,70	9,50	7,80	8,05	6,70	4,90	4,15	5,40	1,95	1,55	1,35	1,55	4,75	6,45	6,55	7,90
<i>Érable à sucre</i>	A	76,40	63,70	54,30	52,15	41,35	45,40	37,65	42,40	25,80	12,05	10,45	12,05	42,10	45,05	58,20	46,45
	B	30,45	21,00	17,20	17,15	16,80	17,15	14,20	13,85	7,10	3,30	1,45	2,70	16,15	13,50	21,35	17,85
	C	7,85	5,40	4,40	4,40	4,30	4,40	3,65	3,55	2,10	1,70	1,45	1,70	4,15	3,90	5,50	4,60
<i>Autres feuillus</i>	B	10,80	8,05	7,25	7,75	6,15	6,25	4,35	5,25	2,55	1,55	1,35	1,55	7,20	6,20	9,45	8,20
	C	4,85	3,85	4,05	3,25	2,80	2,65	2,50	3,25	1,95	1,55	1,35	1,55	3,25	3,60	4,05	3,80
<i>Peupliers</i>	B	4,35	3,30	3,90	3,10	2,50	1,80	2,35	3,70	2,35	2,75	1,90	1,60	4,35	5,15	5,25	4,75
<i>Tous les feuillus (sauf peupliers)</i>	D	4,55	3,60	3,80	3,05	2,60	2,50	2,35	3,05	1,85	1,45	1,25	1,45	3,05	3,40	3,80	3,55

*Les lettres A, B, C et D correspondent à des niveaux de qualité résultant de l'évaluation de pièces de bois selon l'essence, le diamètre, la longueur et les imperfections observées sur les découpes et le tronc.

Annexe 9. Localisation de la forêt utilisée pour les tests de terrain



Annexe 10. Données fournies au marteleur

Annexe 10a : contexte des trois scénarios de récolte testés

Nom du scénario	Courtes rotations	Surface terrière minimale de 16 m ² /ha	Conservation de chicots	Régénération à favoriser
LRSTM	non	oui	non	CET>BOJ>ERS
LR	non	non	non	CET>BOJ>ERS
CR	oui	non	non	CET>BOJ>ERS

Prélèvement maximal : 45 %

Annexe 10b : consignes de martelage pour les trois scénarios de récolte testés

i) Scénario LRSTM

LRSTM = longues rotations (20 ans) et surface terrière minimale de 16 m²/ha

- ? Récolter le maximum de T3 et de G1 sans descendre en dessous de 16 m²/ha de surface terrière ni dépasser 45 % de prélèvement.
 - ? *Récolter les T3 les plus « à risque » et les G1 les plus mûres.*
 - ? *En cas d'hésitation entre deux arbres, toujours récolter prioritairement celui qui risque le plus de perdre de la valeur durant les 20 prochaines années.*
 - ? *Lors d'un choix entre deux T3, récolter prioritairement la tige*
 - 1) *qui compromet la survie d'une tige d'avenir (P1M1)*
 - 2) *dont la valeur décroît le plus rapidement*
 - 3) *qui gêne la croissance d'une tige d'avenir (P1M1)*
 - ? *Lors d'un choix entre deux G1, récolter prioritairement la tige*
 - 1) *la plus mûre (vérifier les diamètres d'exploitabilité)*
 - 2) *qui compromet la survie d'une tige d'avenir (P1M1)*
 - 3) *qui gêne la croissance d'une tige d'avenir (P1M1)*

- ? Récolter certains T4 sans descendre en dessous de 16 m²/ha de surface terrière ni dépasser 45 % de prélèvement.
 - ? *Récolter prioritairement les tiges*
 - 1) *qui gênent la régénération en essences désirées et/ou des tiges d'avenir (P1M1)*
 - 2) *dont la probabilité de survie jusqu'à la prochaine récolte est faible*

- ? Si la régénération (P1M1 ou tiges de DHP inférieur à 10 cm) en essences désirées est insuffisante, laisser 3 à 4 semenciers à l'hectare.
 - ? *Le choix du meilleur semencier se fera selon l'ordre de priorité suivant :*
 - 1) *CET>BOJ>ERS*
 - 2) *M1>G1>M3>G3.*

ii) Scénario LR

LR = longues rotations (20 ans) sans surface terrière minimale

- ? Récolter tous les T3 et tous les G1 sans dépasser 45 % de prélèvement.
 - ? *Récolter les T3 les plus « à risque » et les G1 les plus mûres.*
 - ? *En cas d'hésitation entre deux arbres, toujours récolter prioritairement celui qui risque le plus de perdre de la valeur durant les 20 prochaines années.*
 - ? *Lors d'un choix entre deux T3, récolter prioritairement la tige*
 - 4) *qui compromet la survie d'une tige d'avenir (P1M1)*
 - 5) *dont la valeur décroît le plus rapidement*
 - 6) *qui gêne la croissance d'une tige d'avenir (P1M1)*
 - ? *Lors d'un choix entre deux G1, récolter prioritairement la tige*
 - 4) *la plus mûre (vérifier les diamètres d'exploitabilité)*
 - 5) *qui compromet la survie d'une tige d'avenir (P1M1)*
 - 6) *qui gêne la croissance d'une tige d'avenir (P1M1)*

- ? Récolter certains T4 sans dépasser 45 % de prélèvement.
 - ? *Récolter les tiges*
 - 1) *qui gênent la régénération en essences désirées et/ou des tiges d'avenir (P1M1)*
 - 2) *dont la probabilité de survie jusqu'à la prochaine récolte est faible*

- ? Si la régénération (P1M1 ou tiges de DHP inférieur à 10 cm) en essences désirées est insuffisante, laisser 3 à 4 semenciers à l'hectare.
 - ? *Le choix du meilleur semencier se fera selon l'ordre de priorité suivant :*
 - 1) *CET>BOJ>ERS*
 - 2) *M1>G1>M3>G3.*

iii) Scénario CR

CR = courtes rotations (10 ans) sans surface terrière minimale

- ? Récolter environ la moitié des T3 et des G1 sans dépasser 45 % de prélèvement.
 - ? *Récolter les T3 les plus « à risque » et les G1 les plus mûres.*
 - ? *En cas d'hésitation entre deux arbres, toujours récolter prioritairement celui qui risque le plus de perdre de la valeur durant les 10 prochaines années.*
 - ? *Lors d'un choix entre deux T3, récolter prioritairement la tige*
 - 1) *qui compromet la survie d'une tige d'avenir (P1M1)*
 - 2) *dont la valeur décroît le plus rapidement*
 - 3) *qui gêne la croissance d'une tige d'avenir (P1M1)*
 - ? *Lors d'un choix entre deux G1, récolter prioritairement la tige*
 - 1) *la plus mûre (vérifier les diamètres d'exploitabilité)*
 - 2) *qui compromet la survie d'une tige d'avenir (P1M1)*
 - 3) *qui gêne la croissance d'une tige d'avenir (P1M1).*

- ? Récolter certains T4 sans dépasser 45 % de prélèvement.
 - ? *Récolter les tiges*
 - 1) *dont la probabilité de survie jusqu'à la prochaine récolte est faible*
 - 2) *qui gênent la régénération en essences désirées et/ou des tiges d'avenir (P1M1)*

- ? Si la régénération (P1M1 ou tiges de DHP inférieur à 10 cm) en essences désirées est insuffisante, laisser 3 à 4 semenciers à l'hectare.
 - ? *Le choix du meilleur semencier se fera selon l'ordre de priorité suivant :*
 - 1) *CET>BOJ>ERS*
 - 2) *M1>G1>M3>G3.*

Annexe 10c : Données

? **Classes de taille**

P = petites tiges = DHP compris entre 10 et 24 cm

M = moyennes tiges = DHP compris entre 24 cm et le diamètre d'exploitabilité pour l'essence considérée

G = grosses tiges = DHP supérieur au diamètre d'exploitabilité pour l'essence considérée

? **Ordre de priorité des essences désirées à régénérer** : CET>BOJ> ERS

? **Essences dont toutes les tiges sont considérées comme de qualité 4** :

ORA, OSV, PRU

? **Diamètres d'exploitabilité**

C'est le diamètre minimum de récolte. Attention : on ne récolte pas systématiquement les arbres ayant atteint ce diamètre !

essence	DHP _{ex} (cm)
BOJ	40
BOP	34
CET	34
CHE	44
EPB	44
EPN	20
EPR	44
ERR	40
ERS	44
FRA	44
FRN	34
HEG	34
NOC	44
ORA	44
OSV	44
PEU	30
PIB	50
PIG	44
PIR	44
PRU	50
SAB	20
THO	30
TIL	44

Pour une sylviculture intelligente : AS

