

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL

ÉTUDE DE LA RENTABILITÉ DE DIFFÉRENTES STRATÉGIES D'AMÉNAGEMENT
FORESTIER EN FORÊT BORÉALE DU NORD DE L'ABITIBI

MÉMOIRE

PRÉSENTÉ

COMME EXIGENCE PARTIELLE

DE LA MAÎTRISE EN SCIENCES DE L'ENVIRONNEMENT

PAR

THIBAUT PASTUREL

FÉVRIER 2013

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL
Service des bibliothèques

Avertissement

La diffusion de ce mémoire se fait dans le respect des droits de son auteur, qui a signé le formulaire Autorisation de reproduire et de diffuser un travail de recherche de cycles supérieurs (SDU-522 - Rév.01-2006). Cette autorisation stipule que «conformément à l'article 11 du Règlement no 8 des études de cycles supérieurs, [l'auteur] concède à l'Université du Québec à Montréal une licence non exclusive d'utilisation et de publication de la totalité ou d'une partie importante de [son] travail de recherche pour des fins pédagogiques et non commerciales. Plus précisément, [l'auteur] autorise l'Université du Québec à Montréal à reproduire, diffuser, prêter, distribuer ou vendre des copies de [son] travail de recherche à des fins non commerciales sur quelque support que ce soit, y compris l'Internet. Cette licence et cette autorisation n'entraînent pas une renonciation de [la] part [de l'auteur] à [ses] droits moraux ni à [ses] droits de propriété intellectuelle. Sauf entente contraire, [l'auteur] conserve la liberté de diffuser et de commercialiser ou non ce travail dont [il] possède un exemplaire.»

REMERCIEMENTS

Je tiens tout d'abord à remercier mon directeur de recherche, Yves Bergeron, pour m'avoir donné l'opportunité de réaliser cette maîtrise et ce, dans les meilleures conditions. Je tiens également à remercier mes co-directeurs Osvaldo Valeria et Ahmed Koubaa, pour leur soutien, leurs conseils et leur disponibilité tout au long de mon travail de recherche. Enfin, je remercie la chaire industrielle CRSNG UQAT-UQAM en Aménagement Forestier Durable ainsi que le Fond Québécois de Recherche sur la Nature et les Technologies (FQRNT) pour leur soutien financier, notamment par l'attribution d'une bourse de recherche en milieu pratique (BMP).

Je remercie également toute l'équipe de la compagnie Tembec (partenaire financier de mon projet), pour leur accueil chaleureux et leur soutien durant les mois passés dans leurs locaux de La Sarre. Mes remerciements s'adressent particulièrement à mon superviseur, Marc Paré, pour son aide et sa disponibilité. Je tiens également à remercier chaleureusement Louis Dumas pour sa collaboration et sa patience tout au long de mon travail de recherche. Merci à toi pour ces nombreuses heures passées à m'aider sur mon projet et merci de m'avoir permis de bénéficier de ta riche expérience. Je remercie par ailleurs Grégory Paradis ainsi que la firme Stavibel pour leur collaboration technique.

Enfin, je tiens à remercier mes proches pour leur soutien inconditionnel durant ces deux années de maîtrise. Je pense particulièrement à ma conjointe, Dorothée, qui m'a accompagné et soutenu de Montréal en Abitibi, ainsi qu'à mon fils Elliott. Merci également à mes parents et à mes frères et sœurs.

TABLE DES MATIÈRES

LISTE DES FIGURES	vi
LISTE DES TABLEAUX.....	ix
LISTE DES ACRONYMES.....	xi
RÉSUMÉ	xiii
CHAPITRE I	
L'AMÉNAGEMENT ÉCOSYSTÉMIQUE AU QUÉBEC.....	1
1.1 Introduction.....	1
1.2 Question de recherche, objectifs et hypothèses.....	5
1.3 Revue de littérature.....	7
1.3.1 Les pratiques sylvicoles au Québec.....	7
1.3.2 La modélisation de l'évolution de la forêt à long terme	10
1.3.3 Analyse financière de projets d'investissement.....	15
CHAPITRE II	
MATÉRIELS ET MÉTHODES.....	25
2.1 Aire d'étude	25
2.1.1 Localisation.....	25
2.1.2 Superficies	27
2.2 Mise en contexte	27
2.3 Synthèse de la méthodologie.....	30
2.4 Description des scénarios.....	30
2.4.1 Données communes à tous les scénarios	31
2.4.2 Scénario RNI	34
2.4.3 Scénarios AMEC	36
2.4.4 Réponses stratégiques des scénarios AMEC aux enjeux et objectifs d'aménagement écosystémique définis pour l'UAF 85-51	42
2.4.5 Modélisation de la croissance.....	44
2.5 Structure des coûts et revenus.....	46

2.5.1 Coûts	46
2.5.2 Revenus	68
2.6 Calcul de la Valeur Actualisée Nette (VAN).....	71
2.6.1 Horizon de simulation et période d'analyse de rentabilité.....	71
2.6.2 Choix du taux d'actualisation	71
2.6.3 Analyse de risque avec une approche multi-scénarios	72
CHAPITRE III	
RÉSULTATS ET ANALYSES	73
3.1 Résultats en volumes et superficies récoltées	73
3.1.1 Résultats de possibilité forestière et de coupe partielle par scénario.....	73
3.1.2 Résultats du volume récolté.....	74
3.1.3 Résultats de la surface récoltée.....	77
3.2 Autres résultats.....	79
3.3 Résultats des calculs de coûts et revenus	80
3.3.1 Coûts	80
3.3.2 Revenus	82
3.3.3 Résultat d'exploitation.....	83
3.4 Résultats des calculs de Valeur Actualisée Nette	84
3.5 Discussion.....	86
3.5.1 Méthodologie et résultats de l'analyse de rentabilité.....	86
3.5.2 Méthodologie de modélisation	90
3.5.3 Retombées de l'étude.....	95
CONCLUSION.....	97
ANNEXE A	
REPARTITION DES CHANTIERS PAR COS	100

ANNEXE B	
COUT DE CRÉATION DE CHEMINS	106
ANNEXE C	
HYPOTHÈSES DE CALCUL DU COUT DE TRANSPORT DU BOIS À L'USINE	112
ANNEXE D	
RÉSULTATS DU CALCUL DES COÛTS DE TRANSPORT PAR CHANTIER	115
ANNEXE E	
HYPOTHÈSES POUR LE CALCUL DU COÛT DES CAMPS FORESTIERS	117
ANNEXE F	
HYPOTHÈSES POUR L'ESTIMATION DES DROITS DE COUPE PAR COS	119
ANNEXE G	
RÉSULTATS DU CALCUL DES COÛTS D'EXPLOITATION PAR COS	120
ANNEXE H	
VALIDATION DES COÛTS AVEC LA DISTANCE COS-USINE	123
ANNEXE I	
PRIX DE VENTE MOYEN SORTIE ET ENTRÉE D'USINE PAR CLASSE DE DIAMÈTRE POUR LES BILLES RÉSINEUSES	125
ANNEXE J	
COMBINAISON DE TAUX DE D'ACCROISSEMENT ANNUELS PAR LA MÉTHODE DU COEFFICIENT MULTIPLICATEUR	128
RÉFÉRENCES	130

LISTE DES FIGURES

Figure	Page
1.1 Proposition de pratiques sylvicoles basées sur la dynamique naturelle des peuplements d'épinette noire de la ceinture d'argile du Nord-Ouest du Québec (adapté de Bergeron et al, 2007)	2
2.1 Localisation de l'unité d'aménagement forestier (UAF) 85-51, dans la région écologique de la pessière à mousses, dans Nord-Ouest de l'Abitibi (Tembec, 2012).....	26
2.2 Modélisation de la croissance résiduelle après coupe partielle pour une strate d'aménagement (adaptée d'une présentation faite lors de la journée de rencontre du comité d'orientation du projet pilote d'aménagement écosystémique de l'UAF 85-51 en 2012)	29
2.3 Découpage de l'UAF 85-51 en Unités Territoriales d'Analyse (UTR) (source : Tembec, 2012)	35
2.4 Découpage de l'UAF 85-51 en quatre type de Compartiments d'Organisation Spatiale (COS) : COS Aménagés (AME), COS Aires Protégées (APR), COS Grands Habitats Essentiels (GHE) et COS Standards (STA) (Tembec, 2012)	37
2.5 Découpage de l'UAF 85-51 en Unités Territoriales d'Analyse (UTA) (source : Tembec, 2012)	39
2.6 Méthode de modélisation de la croissance résiduelle d'une strate après coupe partielle puis coupe totale ou sénescence.....	44
2.7 Schéma simplifié des sources des données utilisées pour créer les courbes de croissance en volume nécessaires au calcul de possibilité forestière au Québec	45
2.8 Répartition des chantiers de récolte par COS sur l'UAF 85-51	48
2.9 Chemins forestiers d'accès et de récolte sur l'UAF 85-51	50
2.10 Coût de création de chemins par COS et par zone de tarification du MRNF sur l'UAF 85-51 (\$/m3)	52
2.11 Coûts de transport à l'usine par chantier sur l'UAF 85-51.....	55
2.12 Coût de transport global par COS sur l'UAF 85-51.....	56
2.13 COS desservis par des camps forestiers sur l'UAF 85-51.....	57
2.14 Zones de tarification du MRNF par COS sur l'UAF 85-51	59
2.15 Droits de coupe estimés par COS et par zones de tarification du MRNF pour l'UAF 85-51 (\$/m3)	61

2.16 Coûts d'exploitation par COS sur l'UAF 85-51	64
2.17 Analyse de corrélation entre la distance moyenne des COS à l'usine et la moyenne des droits de coupes par COS	67
2.18 Analyse de corrélation entre le ratio de km de chemins de récolte existant par km ² de forêt productive par COS et le coût de construction de chemin par COS	68
3.1 Volumes total récoltés par type de coupe et par scénario (en millions de m ³)	75
3.2 Proportion du volume de SEPM dans le volume total récolté par scénario.....	76
3.3 Proportion du volume de BOP dans le volume total récolté par scénario	76
3.4 Proportion du volume de PEP dans le volume total récolté par scénario	77
3.5 Superficie récoltée totale par scénario dans l'horizon de simulation (en milliers d'hectares)	77
3.6 Superficie récoltée en Coupe avec Protection de la Régénération et des Sols (CPRS) dans l'horizon de simulation (en milliers d'hectares)	78
3.7 Superficie récoltée en Éclaircie Commerciale (EC) et Coupe Progressive d'Ensemencement (CPE) dans l'horizon de simulation (en milliers d'hectares).....	78
3.8 Résultats de superficie quinquennale moyenne de forêts de 7 mètres et plus, de superficie quinquennale moyenne de forêts matures et surannées et de superficie quinquennale moyenne exploitable en CPRS par scénario (en milliers d'hectares)	79
3.9 Résultats du trajet COS – usine moyen réalisé par type de coupe par scénario (en km)	80
3.10 Coût d'exploitation moyen par scénario avec écart type (en \$/m ³)	81
3.11 Coût d'exploitation total détaillé par scénario (en millions de \$).....	81
3.12 Revenu d'exploitation moyen par scénario avec écart type (en \$/m ³).....	83
3.13 Résultat d'exploitation moyen par scénario (en \$/m ³).....	83
3.14 Évolution du solde de trésorerie par scénario sur l'horizon de simulation (en millions de \$).....	84
3.15 Valeur Actualisée Nette par scénario selon cinq approches d'actualisation (très pessimiste, pessimiste, moyenne, optimiste et très optimiste) (en \$/m ³).....	85
B.1 Densité de chemins forestiers par COS sur l'UAF 85-51	108
B.2 Taux de chemins forestiers manquants par COS sur l'UAF 85-51.....	110

H.1 Analyse de corrélation entre la distance des COS à l'usine et le coût de transport par COS	123
H.2 Analyse de corrélation entre la distance des COS à l'usine et les droits de coupe par COS	123
H.3 Analyse de corrélation entre la distance des COS à l'usine et les coûts d'exploitation par COS (excluant les droits de coupe).....	134
H.4 Analyse de corrélation entre la distance des COS à l'usine et les coûts d'exploitation par COS (incluant les droits de coupe)	134

LISTE DES TABLEAUX

Tableau	Page
1.1 Types de Compartiments d'Organisation Spatiale (COS) (adapté de Bouchard <i>et al.</i> , 2010).....	5
1.2 Les trois approches d'évaluation du coût social du capital utilisées au Canada.....	20
1.3 Taux d'actualisation dégressif sur 150 ans (adapté de Moore et al., 2011)	22
2.1 Résumé des superficies de l'UAF 85-51 utilisées dans les simulations d'aménagement forestier (Tembec, 2012)	27
2.2 Synthèse de la méthodologie et des données utilisées.....	30
2.3 Classes d'âge correspondant aux stades de développement des peuplements en pessière à mousse (adapté de Bouchard <i>et al.</i> , 2010)	32
2.4 Taux de prélèvement et critères d'éligibilité des strates pour les différents types de coupe partielle.....	33
2.5 Contraintes d'aménagement écosystémique appliquées au niveau des Compartiments d'Organisation Spatiale (COS) (Bouchard <i>et al.</i> , 2010)	40
2.6 Contraintes d'aménagement écosystémiques appliquées au niveau des Unités Territoriales d'Analyse (UTA) (Bouchard <i>et al.</i> , 2010)	40
2.7 Niveau de coupe partielle cible et réalisé lors des simulations pour chacun des scénarios	41
2.8 Réponses stratégiques des scénarios AMEC aux enjeux et objectifs d'aménagement définis pour l'UAF 85-51 (adapté de Belleau et Légaré, 2008 et de Tembec, 2009)	43
2.9 Synthèse des coûts pris en considération pour l'analyse de rentabilité des plans d'aménagement (en \$/m ³).....	47
2.10 Étapes du calcul de la quantité de chemins restants à déployer par COS en cas de récolte	51
2.11 Types de chemins et catégories de tronçons utilisés pour accéder aux chantiers	54
2.12 Valeur marchande des bois par zone de tarification, niveau de qualité et type d'essence (source : MRNF).....	60
2.13 Récapitulatif des frais de CAAF pris en considération (en \$/m ³).....	62
2.14 Éléments de coût utilisés pour l'analyse de corrélation avec la distance des COS à l'usine	65

2.15 Résultats de corrélation entre les coûts dépendants de la distance COS-usine et la distance COS-usine.....	66
2.16 Principal type de produit de sciage débité et prix d'achat moyen entrée d'usine par classe de diamètre (en \$/m ³).....	69
2.17 Synthèse des prix d'achat par essence et par classe de diamètre (\$/m ³).....	71
2.18 Taux d'actualisation annuel et quinquennal dégressif sur 150 ans (adapté de Moore <i>et al.</i> 2011).....	72
2.19 Taux d'actualisation annuels dégressifs variables sur 150 ans pour analyse de risque	72
3.1 Possibilité forestière et proportion des différents types de coupes réalisées par scénarios	73
3.2 Coût d'exploitation moyen détaillé par scénario (en \$/m ³)	82
A.1 Répartition des chantiers par COS	100
C.1 Vitesse moyenne d'un camion de transport de bois par type de tronçon et catégories de chemins (Favreau et al., 2004)	112
D.1 Estimation du coût de transport par chantier	115
E.1 Coût d'hébergement en camp forestier des équipes de récolte, de supervision et de transport du bois sur L'UAF 85-51 (en \$/m ³) (source : Tembec)	117
G.1 Résultats du calcul des coûts d'exploitation par COS (en \$/m ³).....	120
I.1 Comparatif du prix de vente moyen sortie d'usine de Tembec et du prix de référence de Pribec par type de produit principalement débité par classe de diamètre (en \$/Mpmp)	126
I.2 Comparatif du prix de vente moyen sortie d'usine de Tembec et du prix de référence du MAECI tous sciages confondus (en \$/Mpmp).....	126
I.3 Prix de vente sortie d'usine par type de produit principalement débité de Tembec par classe de diamètre (en \$/m ³)	127
I.4 Prix de d'achat entrée d'usine par type de produit principalement débité de Tembec par classe de diamètre (en \$/m ³)	127
J.1 Taux d'actualisation quinquennaux correspondants aux taux d'actualisation annuels définis au tableau 23	129

LISTE DES ACRONYMES

AFD	Aménagement Forestier Durable
AME	Aménagé
AMEC	Aménagement Écosystémique
APR	Aire Protégée
BFEC	Bureau du Forestier en Chef
BOP	Bouleau à Papier
CAAF	Contrat d'Approvisionnement et d'Aménagement Forestier
CAMC	Coupe avec Maintien du Couvert Forestier
CMO	Coupe en Mosaïque
COS	Compartiment d'Organisation Spatiale
CP	Coupe Partielle
CPE	Coupe Progressive d'Ensemencement
CPF	Calcul de Possibilité Forestière
CPPTM	Coupe avec Protection des Petites Tiges Marchandes
CPRS	Coupe avec Protection de la Régénération et des Sols
CT	Coupe Totale
DHP	Diamètre à Hauteur de Poitrine
EC	Éclaircie Commerciale
EPC	Éclaircie Pré-Commerciale
FSC	Forest Stewardship Council
GHE	Grand Habitat Essentiel
IDR	Indice de Densité Relative
IQS	Indice de Qualité de Station
MEDAF	Modèle d'Évaluation Des Actifs Financiers
MRNF	Ministère des Ressources Naturelles et de la Faune du Québec
PAC	Possibilité Annuelle de Coupe
PAIF	Plan Annuel d'Intervention Forestière
PEP	Peuplier faux tremble
PGAF	Plan Général d'Aménagement Forestier

RAIF	Rapport Annuel d'Intervention Forestière
RNI	Règlement sur les Normes d'Interventions
SEPM	Sapin Épinette Pin Mélèze
SOPFEU	Société de Protection des Forêts contre le Feu
SOPFIM	Société de Protection des Forêts contre les Insectes et Maladies
STA	Standard
TMA	Tonne de Masse Anhydre
TSPT	Taux Social de Préférence Temporelle
UAF	Unité d'Aménagement Forestier
UTA	Unité Territoriale d'Analyse
UTR	Unité Territoriale de Référence
VAN	Valeur Actualisée Nette
ZT	Zone de Tarification

RÉSUMÉ

Au Québec, l'entrée en vigueur du nouveau régime forestier prévue pour avril 2013 va modifier la manière dont la forêt sera aménagée et exploitée. L'introduction du concept d'aménagement écosystémique a pour but de permettre la mise en place de pratiques garantissant à la fois le maintien d'attributs naturels et sociaux de la forêt tout en offrant un rendement suffisant pour les exploitants. Parmi ces pratiques, on compte notamment l'introduction de contraintes à l'échelle des Compartiments d'Organisation Spatiale (COS) et l'intensification de l'usage de la coupe partielle dans le but d'imiter les perturbations naturelles.

Cette étude a pour objectif d'évaluer l'effet de la mise en place de stratégies d'aménagement écosystémiques sur le niveau de possibilité forestière ainsi que sur le coût des opérations et sur la valeur des bois à l'échelle d'une Unité d'Aménagement Forestier (UAF). Pour cela, nous avons évalué la rentabilité comparative de différents plans d'aménagement en calculant la Valeur Actualisée Nette (VAN) de deux types de scénarios simulés sur un horizon de 150 ans (30 périodes quinquennales), sur l'UAF 85-51 située au Nord-Ouest de l'Abitibi. Le premier scénario appelé RNI a été réalisé en conformité avec la Règlementation des Normes d'Intervention (RNI) en vigueur jusqu'à mars 2013. L'atteinte des objectifs fixés par cette réglementation a essentiellement été assurée par l'application de contraintes de forêts résiduelles et d'encadrements visuels des coupes à l'échelle des Unités Territoriales de Référence (UTR). Les trois autres scénarios appelés Aménagement Écosystémique (AMEC) ont pris en compte les enjeux du futur régime forestier concernant la répartition spatiale des agglomérations de coupe, le maintien de forêts matures et surannées, la protection d'habitats essentiels pour des espèces menacées ainsi que le maintien de la productivité du territoire. L'intégration de ces enjeux a nécessité l'application de contraintes à une échelle plus fine que celle des UTR, au niveau des Compartiments d'Organisation Spatiale (COS). Par ailleurs, l'analyse de l'effet de l'intensification de la coupe partielle a été introduite au niveau du volume cible de coupe partielle à réaliser par période quinquennale par scénario selon le gradient suivant : RNI doit réaliser 1377 ha de coupe partielle, AMEC01 doit en réaliser 1707 ha, AMEC02 3220 ha et AMEC03 5179 ha (correspondant au niveau maximum possible).

Pour estimer les flux monétaires (revenus moins coûts) nécessaires au calcul de rentabilité, nous avons déterminé les coûts potentiels relatifs aux activités d'exploitation forestière (i.e. création et entretien des chemins pendant la récolte, récolte en CPRS, récolte en CP, chargement, transport, camps forestiers, droits de coupe, frais de CAAF et coûts indirects) sur l'ensemble de la période de simulation. Afin de prendre en compte la variation spatiale de ces coûts, ceux-ci ont été définis à l'échelle des COS. Nous avons ensuite déterminé les revenus potentiels en estimant un prix d'achat entrée d'usine par classe de diamètre pour les bois résineux (entre 47,91 et 67,51 \$/m³) et un prix unique pour les bois feuillus (40 \$/m³). En outre, l'estimation des revenus par classe de diamètre a nécessité

d'associer aux données de croissance en volume de nos modèles des données correspondantes d'évolution en diamètre issues des tables de rendement de Pothier et Savard (1998). Une fois paramétrés, les scénarios ont été optimisés à l'aide du logiciel Woodstock (Saucier et Groot, 2008) afin d'estimer la possibilité forestière sur 150 ans et d'en déduire les coûts et revenus d'exploitation correspondants.

Les résultats des optimisations ont montrés que le scénario RNI prévoit de récolter 3,1 million de m³ de bois par période quinquennale, soit 8,60 % de plus que le scénario AMEC01, 11,94 % de plus que AMEC02 et 16,35 % de plus que AMEC03. Ensuite, les résultats des contraintes introduites au niveau des COS ont montré que les scénarios AMEC permettent de réaliser un gain par rapport au RNI de 19 à 29 % au niveau de la superficie moyenne de forêts matures et surannées et de 3,8 à 5% au niveau de la superficie moyenne de forêts productives de 7 mètres et plus. Puis, les résultats de calculs de coûts d'exploitation ont montrés que ceux-ci sont légèrement plus élevés pour les scénarios AMEC que pour RNI (de 55,37 à 55,57 \$/m³ pour les scénarios AMEC contre 55,14 \$/m³ pour RNI). Puis, les calculs de rentabilité ont montrés que pour un taux d'actualisation initial fixe entre 2 et 6% dégressif à partir de 30 ans, tous les scénarios sont rentables, la VAN de RNI se situant entre 0,49 et 5,24 \$/m³, celle de AMEC01 entre 0,45 et 7,39 \$/m³, celle de AMEC02 entre 0,27 et 5,60 \$/m³ et celle de AMEC03 entre 0,19 et 3,74 \$/m³. Enfin, les résultats de VAN ont permis de constater que AMEC03 présente le niveau maximum de coupe partielle réalisable selon les contraintes du futur régime forestier et, comme RNI, est le seul scénario AMEC à pouvoir intégrer le rendement soutenu pour les trois groupes d'essences principales de l'UAF (SEPM, BOP et PEP). AMEC03 nous est donc apparu comme le scénario de référence par rapport au RNI.

Au total, notre étude a démontré que la mise en place d'une stratégie d'aménagement écosytémique par l'introduction de contraintes au niveau des COS a pour conséquences une réduction de la surface disponible à la récolte et donc de la possibilité forestière. Cette baisse peut toutefois être amenuisée en ayant recours à la coupe partielle dont le surcoût reste marginal par rapport à la CPRS et permet à l'approche écosytémique de rester une stratégie rentable.

Mots clés : Aménagement écosytémique, coupe partielle, analyse de rentabilité, modélisation, plans d'aménagement, possibilité forestière.

CHAPITRE I

L'AMÉNAGEMENT ÉCOSYSTÉMIQUE AU QUÉBEC

1.1 Introduction

Au Québec, le dépôt de la loi 57 sur l'aménagement durable du territoire forestier en mars 2010 représente l'aboutissement d'un long processus de remise en question du système de gestion forestière. L'entrée en vigueur du nouveau régime prévue pour avril 2013 va en effet modifier en profondeur les pratiques actuelles en matière d'aménagement et d'exploitation (Gouvernement du Québec, 2012). Parmi les principaux changements, l'introduction du concept d'Aménagement Forestier Écosystémique (AFE) vient bouleverser le concept traditionnel de forêt à rendement soutenu et remet en question l'utilisation intensive des méthodes de Coupes Totales (CT) telles que la Coupe avec Protection de la Régénération et des Sols¹ (CPRS) ainsi que de la Coupe en Mosaïque² (CMO) (Raulier *et al.*, 2009). En effet, celles-ci ne permettent pas de maintenir les attributs naturels de la forêt et peuvent avoir des effets néfastes sur la dynamique des peuplements, en particulier la disparition de forêts matures ainsi que la fragmentation du paysage et par conséquent, la perte de la biodiversité qui lui est associée (Bergeron *et al.*, 2002 ; Bergeron et LeGoff, 2005 ; Bergeron *et al.*, 2007 ; Gauthier *et al.*, 2008b). Sur les terres publiques actuellement exploitées au Québec, les forêts situées dans les sous domaines bioclimatiques de la pessière à mousse de l'Est et de l'Ouest³ sont particulièrement concernées par ces phénomènes (Bergeron *et al.*, 2007 ; De Grandpré *et al.*, 2008 ; Simard *et al.*, 2008). C'est notamment le cas au Nord-Ouest de la région Abitibi où la multiplication des coupes en CPRS entraîne une

¹ MRNF, 2002. La coupe avec protection de la régénération et des sols.

<http://www.mrnf.gouv.qc.ca/forets/comprendre/comprendre-sols.jsp>. Consulté le 23 Février 2011.

² MRNF, 2003. La coupe en mosaïque – Une stratégie de récolte forestière adaptée à la faune.

<http://www.mrnf.gouv.qc.ca/forets/comprendre/comprendre-mosaïque.jsp>. Consulté le 17 Octobre 2011.

³ <http://www.mrnf.gouv.qc.ca/forets/connaissances/connaissances-inventaire-zones-carte.jsp> Consulté le 24 juillet 2012

normalisation de la matrice forestière ainsi qu'une réduction de la productivité des peuplements. Pour pallier à ce phénomène, l'approche écosystémique propose de s'inspirer des perturbations naturelles (feux, épidémies, chablis, maladies, sénescence, ...), afin de diminuer les écarts entre les paysages naturels et aménagés (Gauthier *et al.*, 2008a). Elle intervient à différentes échelles spatiales avec pour objectif d'assurer qu'à long terme, les stratégies sylvicoles mises en place resteront à l'intérieur de la plage de variabilité naturelle de l'écosystème concerné.

À l'échelle du peuplement, l'approche écosystémique agit au niveau des méthodes de coupe utilisées et se concentre sur les enjeux de maintien de forêts matures et surannées ainsi que de maintien de la productivité des peuplements. Dans le domaine de la pessière à mousse, Bergeron *et al.* (2002), proposent de définir les stratégies sylvicoles selon l'approche par cohortes en se basant sur la dynamique naturelle du peuplement concerné. La figure 1.1 présente les méthodes de coupe adaptées à la dynamique naturelle d'un peuplement d'épinettes noire en pessière à mousse.

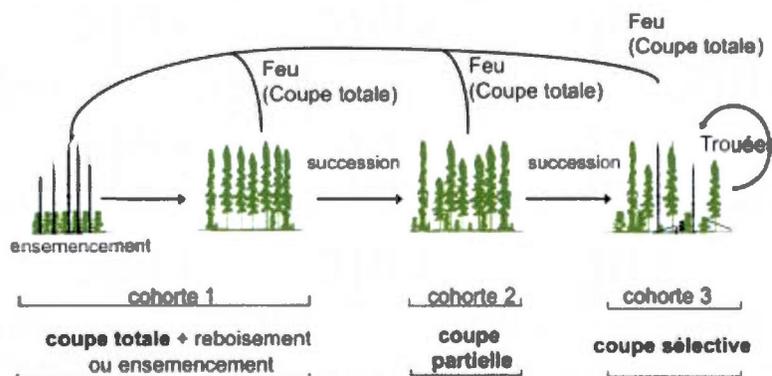


Figure 1.1 : Proposition de pratiques sylvicoles basées sur la dynamique naturelle des peuplements d'épinette noire de la ceinture d'argile du Nord-Ouest du Québec (adapté de Bergeron *et al.*, 2007)

La cohorte 1 présente en général une structure plutôt équienne, constituée d'espèces de début de succession, d'âge inférieur ou égal à l'âge d'exploitabilité. La cohorte 2 est constituée de peuplements à structure irrégulière souvent biétagée. La cohorte 3 est constituée de peuplements anciens composés d'espèces de fin de succession, caractérisés par une structure verticale et horizontale complexe (inéquienne) et ouverte, essentiellement dominés par l'épinette noire (Bergeron et Harvey, 1997 ; Bergeron *et al.*, 1999 ; Harvey *et al.*, 2002). D'après la figure 1.1, l'atteinte d'une telle structure cible nécessite le recours à divers types

de coupes afin de recréer la dynamique des cohortes (Bergeron *et al.*, 2002 ; Fenton *et al.*, 2009). Afin de tendre vers une structure cible de la forêt basée sur l'approche des 3 cohortes, le nouveau régime forestier prévoit la mise en place de systèmes sylvicoles composés de diverses méthodes de coupes, partielles ou totales, dont le but est de permettre « *d'assurer à la fois la régénération, l'éducation et la récolte des peuplements forestiers* » (Bouchard, 2008). Ainsi, selon les objectifs d'aménagement retenus, l'approche écosystémique pourra entraîner une augmentation de l'usage de diverses méthodes de coupes partielles (MRNF, 2008). Or, ces méthodes de coupe ont des objectifs distincts et, par conséquent, prévoient des interventions différentes selon la fréquence, l'intensité et la diversité des tiges prélevées (Doucet *et al.*, 2009). De plus, « *l'action sylvicole modifie les conditions de croissance des arbres et, de ce fait, influence les caractéristiques du bois produit. Ces changements de caractéristiques auront par la suite un impact sur les décisions relatives à l'utilisation et à la transformation ainsi que sur la qualité et la valeur ajoutée des produits* » (Doucet *et al.*, 2009). La mise en place de diverses stratégies de coupes partielles aura donc un impact direct sur les coûts ainsi que sur les revenus potentiels de l'exploitation forestière et pose la question de la faisabilité financière des différentes stratégies sylvicoles envisageables. Répondre à une telle question nécessite la collecte d'une multitude de données au niveau des méthodes d'exploitation et de coupe utilisées, du coût ainsi que des revenus des opérations forestières (les coûts liés à la récolte et au transport ainsi que le prix des bois selon la qualité des tiges relatif à chaque type de coupe) ou encore de la méthodologie retenue pour effectuer l'analyse de rentabilité financière. La définition des données de coûts et de revenus potentiels représente notamment un enjeu particulier car ceux-ci doivent être estimés à long terme, ce qui induit de prévoir la dynamique d'évolution forestière dans le temps. En effet, bien que les activités sylvicoles soient gérées au niveau des plans d'aménagement tactiques (allocation des ressources sur un horizon quinquennal), leur mise en place impacte directement la structure de la forêt à long terme (les dynamiques de régénération et de succession forestière étant des processus très lents). Une telle approche nécessite la réalisation d'un calcul de possibilité forestière qui, selon Raulier *et al.* (2009), consiste à projeter dans le futur la structure d'âge de la forêt sur la base de l'état actuel des ressources forestières du territoire. Le calcul de possibilité à long terme est réalisé en modélisant des scénarios d'aménagement forestiers à l'aide d'outils informatiques permettant de simuler la croissance des arbres à

court, moyen et long terme. Ce calcul est basé sur des modèles de croissances par essence dans le temps dérivés de données de stratification des peuplements forestiers (interprétation de photographies aériennes) et d'inventaires forestiers (relevés terrain) (MRNF, 2003). Le calcul de la possibilité forestière permet de déterminer le volume maximum de bois que l'on peut prélever à perpétuité sans diminuer la capacité productive du milieu forestier (Gouvernement du Québec, 2010). Si la mise en place de diverses stratégies de coupe partielle a un impact sur les coûts et les revenus potentiels de l'exploitation forestière, il ne semble pas que ça soit le cas sur le niveau de possibilité forestière. En effet, les travaux de modélisation menés par (Nguyen-Xuan, 2000) sur deux UAF situées dans le domaine de la pessière à mousse démontrent que l'intensification de l'usage de la coupe partielle n'a pas d'incidence majeure sur le volume de bois potentiellement récoltable, par rapport à une approche d'aménagement conventionnelle.

À l'échelle du paysage (correspondant à l'Unité d'Aménagement Forestier⁴ [UAF]), l'approche écosystémique agit sur l'organisation spatiale du territoire forestier avec comme principaux enjeux la fragmentation du paysage, le maintien de forêts matures et surannées et la protection d'habitats pour des espèces menacées. Dans le domaine bioclimatique de la pessière à mousse, ces enjeux sont pris en compte par le biais d'un découpage de l'UAF en trois catégories de Compartiments d'Organisation Spatiale (COS) dont chacun fait l'objet d'une stratégie d'aménagement spécifique (Tableau 1.1) (Bouchard *et al.*, 2010 ; Légaré *et al.*, 2010). Les COS correspondent, selon le Ministère des Ressources Naturelles et de la Faune du Québec (MRNF), à des subdivisions d'une UAF en compartiments de superficie variée (de 30 à 150 km²), relativement homogènes en termes de classes d'âges et de répartition des tailles d'arbres⁵. La recherche d'homogénéité au sein des COS a pour but de permettre aux peuplements d'arriver à maturité de manière synchrone, facilitant ainsi la réalisation de coupe sous forme d'agglomérations (Bouchard *et al.*, 2010). En outre, le découpage des COS respecte les délimitations naturelles du territoire comme les cours d'eau ou les chemins. Or, on peut constater que l'introduction de contraintes d'aménagement au niveau des COS tend à réduire la surface forestière éligible à la récolte (Tableau 1.1) impactant ainsi le niveau de possibilité forestière.

⁴ <http://www.mrn.gouv.qc.ca/forets/consultation/consultation-delimitation.jsp>

⁵ <http://glossaire-forestier.mrnf.gouv.qc.ca/terme.aspx?id=51&pub=O> Consulté le 03 août 2012

Tableau 1.1 : Types de Compartiments d'Organisation Spatiale (COS) (adapté de Bouchard *et al.*, 2010)

Statut du COS	Mode d'intervention
Standard (STA)	Compartiment destiné à devenir une agglomération de coupes à un moment de l'exercice de planification. Ce type de compartiment inclut également les massifs de protection d'espèces menacées, notamment le maintien de l'habitat du caribou forestier.
Massif aménagé (AME)	Compartiment où la récolte se fait sous la forme de petites coupes totales dispersées ou de coupes partielles afin de maintenir à long terme des caractéristiques de massifs forestiers.
Aire protégée (APR)	Compartiment dans lequel aucune récolte n'est permise. À moins d'être touché par des perturbations naturelles, ce compartiment conservera ses caractéristiques de massif forestier de manière permanente.

1.2 Question de recherche, objectifs et hypothèses

Question de recherche

Quels sont les avantages et les désavantages de scénarios d'aménagement écosystémiques (futur régime forestier) par rapport aux scénarios conventionnels, tant au niveau de la possibilité forestière que du coût des opérations et des revenus potentiels ?

Objectifs de recherche

L'objectif général de cette étude est d'évaluer l'effet de la mise en place de stratégies d'aménagement écosystémiques sur le niveau de possibilité forestière ainsi que sur le coût des opérations et sur la valeur des bois à l'échelle d'une UAF dont la gestion est confiée à une compagnie forestière. Plus spécifiquement, le travail consiste à étudier la rentabilité comparative de deux types de scénarios simulés sur un horizon de 150 ans (30 périodes quinquennales) : un scénario conventionnel, conforme à la Règlementation des Normes d'Intervention en vigueur jusqu'à mars 2013, que l'on nommera RNI (Gouvernement du Québec, 2012), puis trois scénarios écosystémiques basés sur le futur régime forestier et intégrant des niveaux croissants de coupes partielles, que l'on nommera AMEC01, AMEC02 et AMEC03.

Hypothèses de travail

Tout d'abord, nous pouvons supposer que l'introduction de contraintes spatiales au niveau des COS pour les scénarios AMEC entraînera une réduction de la surface forestière éligible à la coupe et, par conséquent, une baisse du niveau de possibilité forestière par rapport au scénario RNI.

Ensuite, il est probable que l'augmentation de l'usage de la coupe partielle et l'ajout de contraintes spatiales pour leur déploiement au niveau des COS entraînera une augmentation des coûts d'exploitation pour les scénarios AMEC (car cela induirait un plus grand nombre d'interventions forestières et une augmentation des distances parcourues). Ainsi, nous pouvons supposer que le coût de revient global des opérations par m³ de bois récolté sera plus élevé pour les scénarios AMEC que pour le scénario RNI.

Enfin, nous supposons qu'au moins un des trois scénarios AMEC sera capable de présenter une rentabilité comparable à celle du scénario RNI pour un volume de coupe partielle égal ou supérieur.

1.3 Revue de littérature

1.3.1 Les pratiques sylvicoles au Québec

1.3.1.1 Principales méthodes de coupe utilisées

La CPRS

La coupe avec protection de la régénération et des sols⁶ (CPRS) correspond au prélèvement, en un seul passage, de l'ensemble des arbres adultes d'une forêt, en préservant les jeunes arbres ainsi que le sol forestier. Cette méthode de coupe est imposée au Québec par le Ministère des Ressources Naturelles dans les forêts du domaine de l'État depuis 1995. Depuis 2002, des contraintes de dispersion spatiale à l'échelle du paysage ont été rajoutées à la mise en place de la CPRS, pour les peuplements équiennes dominés par des espèces résineuses. Cette stratégie appelée Coupe en Mosaïque (CMO) consiste à réaliser des CPRS de tailles et de formes variées afin d'obtenir, à terme, une mosaïque de peuplements forestiers de différentes classes d'âges⁷. Ce type de coupe a pour effet de ramener les peuplements au

⁶ <http://www.mrnf.gouv.qc.ca/forets/comprendre/comprendre-sols.jsp> Consulté le 14 juillet 2012

⁷ <http://www.mrnf.gouv.qc.ca/forets/comprendre/comprendre-mosaique.jsp> Consulté le 15 juillet 2012

stade initial (âge 0) (Côté *et al.*, 2012c), car elle ne prévoit de ne conserver que les tiges de diamètre inférieur à 10 cm, correspondant à une structure de début de succession (Bergeron *et al.*, 2007).

Les coupes partielles

L'appellation « coupe partielle » est générale et définit l'ensemble des différentes pratiques opposées aux coupes totales. Celles-ci varient selon le type d'essence, les diamètres visés, le pourcentage de prélèvement ou l'organisation spatiale (Bouchard, 2008 ; Doucet *et al.*, 2009).

La première catégorie de coupes a pour objectif de favoriser la régénération ou la succession. Elle regroupe les différentes Coupes Progressives d'Ensemencement (CPE) (uniformes, par trouées ou en lisière) qui visent « *à obtenir au sol l'éclaircissement propice à la germination et à l'installation des espèces désirables* » (Doucet *et al.*, 2009). Elles sont réalisées dans les 15 années suivant l'atteinte de la maturité absolue⁸ du peuplement et se traduisent par le prélèvement de 40 à 50% du volume marchand (Côté *et al.*, 2012c).

La deuxième catégorie de coupes regroupe les éclaircies qui ont pour but de valoriser les meilleures tiges (Doucet *et al.*, 2009). Ces coupes peuvent être classées de manière chronologique, chacune intervenant à une période spécifique de développement d'un peuplement. La première est appelée Éclaircie Pré-Commerciales (EPC) ou dépressage et correspond à « *l'élimination des tiges qui nuisent à la croissance d'arbres choisis dans un jeune peuplement en régularisant l'espacement entre chaque tige des arbres choisis* » (MRNF, 2010a). Elle est appliquée lorsque l'âge du peuplement est situé entre 5 et 20 ans et par définition, prévoit de ne prélever aucune tige commerciale (Côté *et al.*, 2012c). Elle est généralement suivie d'une Éclaircie Commerciale (EC) qui correspond à « *l'abattage ou la récolte de tiges d'arbres d'essences commerciales dans un peuplement d'arbres équiennes qui n'a pas atteint l'âge d'exploitation, pour accélérer l'accroissement du diamètre de la tige des arbres restants et améliorer la qualité du peuplement d'arbres* » (MRNF, 2010a). Dans des peuplements situés en pessières, elle peut être appliquée entre 10 ans avant et 30 ans après l'âge de maturité absolue du peuplement et prévoit le prélèvement de 35% du volume

⁸ L'âge auquel le peuplement donne le plus grand accroissement annuel moyen en volume, calculé avec un diamètre à hauteur de poitrine de référence de plus de 9 cm (Côté *et al.*, 2012c).

marchand (Côté *et al.*, 2012c). Enfin, viennent les Coupes avec Protection des Petites Tiges Marchandes (CPPTM) qui s'appliquent dans des peuplements de structure inéquienne ou irrégulière comprenant un sous-étage de gaules et de petites tiges marchandes (DHP 10-14 cm). Dans des peuplements situés en pessières, elles peuvent être appliquées depuis l'âge de maturité absolue du peuplement jusqu'à 50 ans après (Côté *et al.*, 2012c) et prévoient la récolte de 70 à 90% du volume marchand en supprimant l'étage dominant.

1.3.1.2 Travaux existants sur l'impact et la faisabilité des coupes partielles

Au Canada, plusieurs travaux ont été réalisés sur les coupes partielles dans des peuplements situés dans la ceinture d'argile du bouclier précambrien.

Tout d'abord, un projet de recherche mené depuis plus de 10 ans entre la chaire CRSNG-UQAT-UQAM en Aménagement Forestier Durable (AFD) et les compagnies Norbord et Tembec a permis la mise en place d'un réseau expérimental de coupes partielles dans les domaines bioclimatiques de la pessière à mousse et de la sapinière à bouleau blanc, dans la région de l'Abitibi. Ce projet a notamment pour objectif d'évaluer l'efficacité économique des Coupes avec Protection des Petites Tiges Marchandes (CPPTM) ainsi que des Coupes Adaptées Visant le Maintien du Couvert (CAMC) (Fenton *et al.*, 2008). Les travaux de Bescond *et al.* (2011) montrent par exemple que sur des peuplements situés en pessière, ces types de coupes tendent à maintenir la régénération préétablie 5 ans après la récolte, en particulier lorsqu'elles sont réalisées en période hivernale. Ces premiers résultats indiquent que ces types de coupes semblent viables du point de vue écologique. En revanche, du point de vue économique leur faisabilité reste encore à être vérifiée (i.e. valider si le surcoût lié à la coupe partielle peut être compensé par un gain sur la qualité et/ou le diamètre des tiges).

Par ailleurs, des études sur la réponse des peuplements d'épinette noire à différentes méthodes de coupes partielles ont été réalisées par l'université de Toronto dans le Nord-Est de l'Ontario. Elles montrent la complexité et la variabilité de la réaction des tiges résiduelles en terme de croissance et de mortalité après coupe (ces éléments étant dépendants de plusieurs facteurs, entre autres le niveau de perturbation de la machinerie, la présence plus ou moins importante de compétition ou encore l'âge d'exploitation) (Thorpe et Thomas, 2007 ; Thorpe *et al.*, 2008). Ces travaux mettent en valeur la nécessité de développer des modèles de

simulation spatialisés afin de prédire la réponse des peuplements à des traitements sylvicoles alternatifs et ainsi évaluer la capacité des coupes partielles à garantir une production continue de matière ligneuse (Thorpe et Thomas, 2007). Thorpe *et al.* (2010), proposent un exemple de modélisation à long terme de la dynamique d'évolution de peuplements d'épinettes noires incluant des contraintes de croissances et de mortalité post récolte et permettant une évaluation plus précise du rendement des tiges après coupe partielle. Ces modèles sont essentiels car plus la prédiction de la croissance résiduelle est proche de la réalité, plus l'estimation de la rentabilité potentielle de ces types de coupe est fiable (car le niveau de croissance résiduelle après coupe détermine les revenus potentiels issus des peuplements).

Enfin, le service canadien des forêts a analysé l'impact d'une sylviculture inéquienne sur les conditions de retour des peuplements résiduels d'épinette noire dans le Nord-Est de l'Ontario (Groot, 2002). Ces travaux sont basés sur une étude de faisabilité menée par MacDonell *et al.* (1996) au cours de laquelle des traitements de coupe partielle ont été testés à trois niveaux d'intensité : léger (prélèvements de 35% de la surface terrière), moyen (prélèvements de 50% de la surface terrière) et fort (prélèvement de la totalité des tiges commerciales, supérieures à 10-12 cm de DHP). Les résultats montrent que 5 ans après la récolte, les coupes partielles mécanisées ont permis de conserver une distribution des classes de diamètres caractéristique des peuplements d'épinette noire en pessière, ainsi qu'une régénération suffisante (surtout avec les coupes légères et moyennes) (Groot, 2002). Cependant, bien qu'elles semblent faisables d'un point de vue technique et biologique, ces types de coupe restent encore peu utilisées car les machines et les techniques disponibles ne garantissent pas une optimisation des rendements, leur faisabilité financière n'a pas encore été vérifiée et il manque encore des informations sur la réponse des peuplements à plus long terme (données de croissance et de rendement). Pour pallier à cela, Groot (2002) met en avant la nécessité de recourir à la modélisation afin d'étudier l'impact de ces coupes partielles à plus long terme et à une plus grande échelle (par exemple au niveau d'une Unité d'Aménagement Forestier).

1.3.2 La modélisation de l'évolution de la forêt à long terme

1.3.2.1 Les différentes méthodes de calcul de possibilité

Au Canada, chaque province a la responsabilité du contrôle et de la validation des plans quinquennaux d'aménagement réalisés par les compagnies forestières sur les terres provinciales publiques. Pour cela, chacune de ces provinces évalue sa possibilité annuelle de coupe (PAC) afin d'estimer la quantité de bois qui peut être prélevée annuellement sans diminuer la capacité productive du milieu forestier⁹. Il existe deux principales méthodes de définition de la possibilité forestière : le calcul sur une base en volume (m³ par an) et le calcul sur une base en surface (hectares par an). Actuellement, seule la province de l'Ontario utilise une approche en surface et à court terme (sur un horizon de 5 ans), toutes les autres ayant opté pour une approche en volume et à long terme¹⁰. Il y a 10 ans, le Ministère des Forêts de la Colombie Britannique (2002) a toutefois amorcé des travaux afin d'instaurer le calcul de possibilité sur une base en surface mais il n'est pas encore entré en vigueur à aujourd'hui. Bien qu'elle soit la plus utilisée aujourd'hui, la méthode de calcul de possibilité en volume reste complexe dans la mesure où elle nécessite la simulation de la croissance et du rendement en volume des différents types de peuplements (Ministère des Forêts de la Colombie Britannique, 2002). Cela pose le problème de la quantité et de la qualité des données d'inventaire forestier disponibles, ainsi que de la période de temps couverte par ces données (MRNF, 2004). Au Québec par exemple, le premier inventaire forestier a été réalisé au début des années 1970, donnant un historique actuel d'observations d'environ 40 ans¹¹, alors que le temps de révolution naturelle des peuplements exploités dépasse en général les 100 ans (Pothier et Savard, 1998). De son côté, l'évaluation de la possibilité forestière sur une base en surface ne requiert pas d'estimation du volume potentiellement récoltable, son approche étant basée sur un découpage territorial des terres forestières allouées à la coupe. Cette méthode a l'avantage d'éliminer l'incertitude liée à la simulation de la croissance et du

⁹ National Forestry Database. http://nfdp.ccfm.org/supply/background_f.php Consulté le 22 juillet 2012

¹⁰ National Forestry Database. http://nfdp.ccfm.org/supply/national_e.php#21 Consulté le 15 juillet 2012

Ministry of forests, lands and natural resources operations of British Columbia.

<http://www.for.gov.bc.ca/hts/tfls.htm>

Bureau du forestier en chef du Québec.

<http://www.forestierenchef.gouv.qc.ca/grands-dossiers/manuel-dedetermination-des-possibilites-forestieres/>

¹¹ <http://www.mrnf.gouv.qc.ca/forets/connaissances/connaissances-inventaire-quatrieme.jsp> Consulté le 23 juillet 2012

rendement à long terme des peuplements forestiers (Ministère des Forêts de la Colombie Britannique, 2002). Cependant, le fait que la méthode d'évaluation de la possibilité en surface ne prévoit pas de modélisation de la croissance pose le problème de la prise en compte de l'impact des différents types de coupes partielles sur la réponse des peuplements forestiers à moyen et long terme (Ministère des Forêts de la Colombie Britannique, 2002). De plus, le calcul sur une base en surface ne prévoit pas de rendement soutenu en volume dans le temps. Or, cela représente une contrainte majeure pour les compagnies forestières qui ne peuvent alors garantir la stabilité de leur production dans le temps et donc une présence durable sur les marchés. Enfin, il est important de noter que bien que la plupart des provinces ont choisi une méthode d'évaluation de la possibilité forestière sur une base en volume, elles utilisent en réalité une approche mixte car les résultats des volumes potentiellement récoltables font, en général, l'objet d'une planification spatiale (Davis *et al.*, 2001).

1.3.2.2 La méthode utilisée au Québec

Au Québec, le calcul de possibilité forestière (CPF) est réalisée à long terme, sur une période de 150 ans (MRNF, 2003 ; Raulier *et al.*, 2009). Sur les territoires forestiers du Nord-Ouest de l'Abitibi dominés par l'épinette noire, la réalisation de modèles d'évolution sur 150 ans est d'autant plus justifiée que l'âge d'exploitabilité moyen en pessière à mousse est situé entre 80 ans et 100 ans (donc l'âge moyen de révolution est supérieur à 100 ans) (Bergeron *et al.*, 1999). De plus, la planification joue un rôle important dans le processus d'obtention de certains labels de certification forestière auxquels la plupart des grandes compagnies forestières adhèrent (Grimard *et al.*, 2009). C'est notamment le cas de la norme Boréale du FSC dont le critère 5,1 spécifie que « *le requérant prouve que l'analyse et le calcul des taux de récolte de produits forestiers reposent sur [...] des séquences d'utilisation de modèles [...] qui se projettent loin dans l'avenir (au moins cent ans)* » (FSC, 2004). Pour réaliser le calcul de possibilité forestière, le Gouvernement du Québec a choisi d'utiliser le logiciel de simulation Woodstock-Stanley (Remsoft, 2006) qui est une combinaison de deux applications complémentaires. D'abord, l'application Woodstock permet d'optimiser un objectif en respectant des contraintes en utilisant un système de programmation linéaire. Elle peut donc simuler plusieurs scénarios pour lesquels elle fournira la solution optimale. Ensuite, l'application Stanley permet de spatialiser ces résultats sur l'UAF en situant les zones de

coupes éligibles sur un horizon quinquennal (Remsoft, 2006). Cet outil permet donc une approche mixte de la modélisation de plans d'aménagement, à la fois quantitative (CPF) et qualitative (spatialisation) (Remsoft, 2006). D'autres provinces du Canada ont également choisi d'utiliser cette application pour la détermination de leur possibilité forestière, notamment Terre-Neuve et Labrador, le Nouveau-Brunswick et l'Alberta.

La première étape du calcul consiste à découper chaque Unité d'Aménagement Forestier (UAF) en strates cartographiques rassemblant des peuplements ayant des propriétés similaires (type de couvert, essences forestières dominantes, classes de hauteur et de densité du peuplement, âge et origine du peuplement, perturbations, pente, dépôt, drainage et type écologique). Ce découpage est basé sur les cartes écoforestières issues des données d'inventaire forestier du Ministère des Ressources Naturelles et de la Faune du Québec (MRNF). Les données utilisées pour le calcul de possibilité 2008-2013 sont celles du 3^{ème} décennal (finalisé en 1995), mises à jour annuellement pour les perturbations ainsi que les interventions et compilées dans des « Fichiers Diagnostics¹² ». Ensuite, les courbes de rendement sont déterminées par essence, sur la base des tables de rendement de Pothier et Savard (1998), dont les intrants sont l'espèce, l'Indice de Qualité de Station (IQS) et l'Indice de Densité Relative (IDR_{100}). Ces différentes familles de courbes par essence (âge moyen, volume, densité, qualité de la station et région de croissance) sont compilées en une seule famille par strate. Puis, chaque famille de courbes par strate est combinée au prorata des volumes initiaux par essence afin de décrire la croissance globale de chaque strate d'aménagement. Enfin, le calcul de la possibilité forestière est effectué selon ces courbes de rendement et sur la base de la structure initiale du peuplement (issue des données d'inventaire) sur 150 ans. Ce résultat permet de définir le rendement soutenu annuel en m^3 par essence (en divisant la possibilité globale par le nombre d'années de planification) (Raulier *et al.*, 2009).

Cette méthode de calcul de la possibilité forestière présente une principale limite. En effet, les tables de rendement de Pothier et Savard (1998) ont été calibrées à partir de peuplements mono spécifiques de huit espèces commercialement importantes. Or, la réalité de la structure des peuplements au Québec peut être plus complexe et variable, composée de peuplements de type équiennne mais également irrégulière ou inéquiennne (mélange

¹² Ces données proviennent du Bureau du Forestier en Chef Québec : <http://www.forestierenchef.gouv.qc.ca/>

d'essences, différents niveaux de tailles, de diamètres et d'âges) (MRNF, 2004). La méthode actuellement utilisée ne permet donc pas de « *modéliser les rendements dans les peuplements à structure plus complexe (cohortes 2 et 3 par exemple) [...] et est peu adapté à simuler l'effet de traitements sylvicoles comme ceux des coupes partielles sur la croissance des tiges résiduelles, ni à rendre compte de la mortalité associée aux traitements* » (Saucier et Groot, 2008). Par ailleurs, il est important de noter que la grande majorité des modélisations de plans d'aménagement développés au Québec par le MRNF et les compagnies forestières utilisent une approche de calcul par programmation linéaire car celle-ci est adaptée à la segmentation du territoire forestier en UAF de plusieurs centaines de milliers d'hectares. En effet, la modélisation de plan d'aménagement à cette échelle et à ce niveau de détail requiert un volume important de données d'entrée donc une capacité de calcul élevée. Une telle approche permet de réaliser des projections sur de longues périodes de temps (100 ans et plus) (Saucier et Groot, 2008).

1.3.2.3 Travaux existants sur le calcul de possibilité forestière incluant une approche économique

Au Québec, plusieurs travaux de modélisation de plans d'aménagement incluant un volet analyse économique ont été menés à différentes échelles spatiales.

Dans la région de la Côte Nord, Moore *et al.* (2011) ont réalisé un exercice de modélisation de la croissance à long terme (200 ans) incluant une évaluation comparative de la rentabilité de méthodes de coupes totales et partielles, dans des peuplements principalement composés d'épinette noire mais également de sapin baumier. Cette étude, réalisée à l'échelle du peuplement, vise à évaluer la faisabilité économique de la coupe de jardinage (avec et sans sentiers temporaires), par rapport à la CPRS en CMO¹³. Elle présente deux intérêts majeurs. D'abord, elle propose une méthode d'évaluation de l'ensemble des éléments de coûts et de revenus, depuis la coupe en forêt et jusqu'au produit fini sortie d'usine (récolte et transformation). Ensuite, elle propose une analyse financière de type stochastique (simulation Monte-Carlo) permettant de prendre en compte la sensibilité et l'incertitude liées à la variabilité des données de coûts et de revenus dans le temps. Ainsi, au lieu de définir un coût unique d'exploitation, ils ont pu déterminer une distribution de

¹³ <http://www.mrnf.gouv.qc.ca/forets/comprendre/comprendre-mosaique.jsp> Consulté le 15 juillet 2012

résultats selon la probabilité que certains éléments du coût varient au cours du temps, avec un intervalle de confiance (ex : variation du coût du carburant, du coût de la main d'œuvre, ...). Cependant, bien que cette étude ait été menée à long terme (200 ans) en incluant la modélisation de coupes totales et partielles, elle présente toutefois une lacune dans le sens où l'aire d'étude est limitée à quatre blocs de coupes de 12 à 24 hectares. La modélisation de l'évolution des peuplements ainsi que l'optimisation spatiale et temporelle des interventions forestières ont donc été réalisées sans avoir recours à un calcul de possibilité forestière et sans l'aide d'un logiciel de simulation de type Woodstock. Or, pour intégrer l'ensemble des variables de coûts et les contraintes de dispersions des coupes, il est nécessaire de raisonner à une plus grande échelle, correspondante à celle d'un territoire aménagé, donc de l'UAF. Cela permettrait notamment de prendre en compte les coûts liés aux droits de coupe¹⁴ que les compagnies versent au MRNF et ceux liés au déploiement des chemins forestiers.

D'autres travaux de modélisation de la croissance à long terme ont également été réalisés à plus grande échelle dans le Sud du Québec, incluant un calcul de possibilité forestière ainsi qu'une approche d'analyse économique. D'abord, Forget *et al.* (2006) ont réalisés un travail d'optimisation de plans d'aménagement à l'échelle du paysage pour la période 2006-2015 sur le territoire de Fairmont Kenauk, dans la région de l'Outaouais. Il s'agit d'une forêt privée de 26 446 ha ouverte au public depuis 1979. Ces travaux de planification à l'horizon de 100 ans utilisent une approche d'aménagement favorisant l'usage de coupes partielles de type jardinatoire au détriment de la coupe traditionnelle par bandes, en cohérence avec le futur régime forestier qui entrera en vigueur en avril 2013. Savoie *et al.* (2007) ont, pour leur part, simulé plusieurs scénarios d'aménagement à l'horizon de 150 ans sur des UAF d'une superficie totale de 1 181 625 ha, situées à l'ouest de Mont Tremblant, dans les Hautes Laurentides. Ces deux projets ont la caractéristique d'être situés à proximité de zones urbaines et, par conséquent, présentent des intérêts non seulement du point de vue économique (exploitation de la ressource forestière) mais également social (activités récréatives) et biologique (protection de la biodiversité et de la qualité de l'eau). Les résultats de calcul de rentabilité des simulations de Savoie *et al.* (2007) sont variables selon l'importance qui est donnée aux deux principaux objectifs : maximiser le bénéfice net et maximiser le volume récolté. Ces résultats sont compris entre des pertes de -15 \$/m³ et des

¹⁴ <http://www.mrnf.gouv.qc.ca/forets/entreprises/entreprises-tarification.jsp> Consulté le 12 mai 2012

profits +7 \$/m³. Pour des raisons de confidentialité, Forget *et al.* (2006) n'ont, pour leur part, pas souhaité communiquer leurs résultats. Dans les deux cas, la modélisation des plans d'aménagement a été faite à l'aide du logiciel de simulation Patchwork¹⁵ afin de réaliser des optimisations multi-objectifs. À la différence des travaux de Moore *et al.* (2011) présentés ci-dessus, les deux projets intègrent une estimation exhaustive des coûts relatifs aux activités d'exploitation forestière, incluant les droits de coupe et le coût de déploiement des chemins forestiers. Pour la valorisation des revenus potentiels, Forget *et al.* (2006) utilisent des tables qui fournissent la proportion de sciages, de pâtes et de copeaux par essence et par types de peuplements. La méthodologie choisie par Savoie *et al.* (2007) est plus simplifiée et consiste à appliquer à l'ensemble des volumes récoltés un prix moyen de 60 \$/m³. Que ce soit dans le cas de Forget *et al.* (2006) ou de Savoie *et al.* (2007), les auteurs mettent en valeur le fait que leur estimation des revenus reste limitée étant donné le faible niveau de précision des données utilisées pour modéliser la croissance résiduelle ainsi que de la composition des peuplements après coupe.

1.3.3 Analyse financière de projets d'investissement

En finance d'entreprise, les principes de base d'une stratégie financière reposent sur les décisions en matière d'investissement, de financement ainsi que de dividende (Damodaran, 2010 ; Morissette et O'Shaughnessy, 1990). Le premier élément à considérer est la définition du projet d'investissement qui est réalisée en trois phases. On procède d'abord à l'identification des opportunités ou des projets potentiels, puis à l'analyse, à la valorisation ainsi qu'à la sélection des projets et enfin à la mise en place ainsi qu'au suivi des projets sélectionnés (Damodaran, 2010 ; Morissette et O'Shaughnessy, 1990). Il existe trois catégories d'approches pour l'évaluation financière de projets d'investissement : l'approche marginale classique (basée sur les valeurs espérées des variables clés), les approches probabilistes et les approches basées sur la théorie des options (Damodaran, 2010 ; Hanewinkel, 2009 ; Hildebrandt et Knoke, 2011). La méthode la plus utilisée est l'approche marginale classique dont le but est l'évaluation et la comparaison de la richesse potentiellement créée par chacun des projets d'investissement (appelée Valeur Actualisée Nette [VAN]) (Brealey *et al.*, 2008 ; Damodaran, 2010 ; Morissette et O'Shaughnessy, 1990 ;

¹⁵ <http://www.spatial.ca/products/index.html>

Vernimmen *et al.*, 2011). Au Canada, plusieurs travaux d'analyse de rentabilité dans le domaine de la foresterie utilisent la méthode de la VAN, notamment pour des projets d'évaluation de l'impact financier de coupes partielles par rapport aux coupes totales (Côté et Grenier, 2011 ; Howard et Temesgen, 1997 ; Legault *et al.*, 2007 ; Moore *et al.*, 2011). La VAN est basée sur quatre catégories d'intrants : la durée de vie et la période de planification du projet, les hypothèses relatives à l'estimation des revenus et des coûts ainsi que l'estimation du taux de rendement exigé en fonction du risque du projet (Damodaran, 2010 ; Morissette et O'Shaughnessy, 1990 ; Nadeau, 2002). Le calcul de la VAN permet de vérifier le rendement d'un projet d'investissement en mesurant la création potentielle de valeur qu'il génère. Il repose sur l'estimation des flux monétaires induits par le projet ainsi que leur répartition dans le temps (estimation des coûts et des revenus potentiels). Il est à noter que seuls les flux futurs et uniquement liés au projet sont pris en compte dans la mesure où il s'agit de calculer la contribution marginale du projet aux flux de l'entreprise (Damodaran, 2010 ; Vernimmen *et al.*, 2011).

1.3.3.1 Notions de dollars courants et dollars constants

L'élément clé de l'analyse de la VAN de projets d'investissement réside dans la prise en compte de la valeur temporelle de l'argent, afin de permettre une comparaison des projets sur une base commune. En effet, l'augmentation du coût de la vie fait que la valeur de l'argent évolue avec le temps. Au Québec par exemple, en 1980, un dollar permettait d'acheter un litre de lait alors qu'en 2007, pour ce même litre de lait, il fallait déboursier 1,95\$. Cela signifie que 1 \$ de 1980 vaut 1,95 \$ de 2007 (Nadeau *et al.*, 2009). Cet exemple ramène aux notions de dollars courants et de dollars constants. Une analyse en dollars courants suppose que les flux monétaires (coûts et revenus) sont exprimés en valeur du dollar propre à chacune des périodes. Une telle approche pose alors la problématique de l'estimation du taux d'inflation des prix sur l'ensemble de la période considérée, cette estimation étant en générale très incertaine, notamment pour des études à long terme comme en foresterie (Damodaran, 2010 ; Nadeau *et al.*, 2009). De plus, il est important de noter que chacune des composantes de coûts et de revenus n'évolue pas de la même manière dans le temps et qu'il ne serait donc pas réaliste de leur appliquer un taux d'inflation identique. En foresterie par exemple, le prix d'achat du carburant n'évolue pas de la même manière que

celui des billes de bois à la vente. Il peut donc être plus simple d'utiliser une approche en dollars constants dans laquelle l'ensemble des coûts et revenus de chacune des périodes sont exprimés en dollar d'une année de référence (on suppose alors qu'à long terme, les revenus subissent le même taux d'évolution que les coûts). À moins d'être très confiant dans l'estimation du taux d'inflation des flux monétaires considérés, il est en général recommandé d'utiliser une approche en dollars constants plutôt que courants, notamment lorsqu'il s'agit de projets publics ou concernant des biens publics (Boardman *et al.*, 2006 ; Townley et Peter, 1998). Au Québec par exemple, dans une étude visant à évaluer la faisabilité économique à long terme (200 ans) de la coupe de jardinage par rapport à la CPRS en CMO, Moore *et al.* (2011) utilisent une approche en dollars constants.

1.3.3.2 Principe d'actualisation

Que l'on choisisse une approche en dollars courants ou en dollars constants, le calcul de la VAN nécessite de ramener en valeur d'une date identique l'ensemble des flux monétaires prévisionnels générés tout au long du projet (en général à la période initiale du projet ou année 0). Pour cela, on procède à l'actualisation des soldes annuels de trésorerie (revenus moins coûts) en les pondérant à l'aide d'un taux d'actualisation (Damodaran, 2010 ; Nadeau *et al.*, 2009). Il s'agit de l'inverse du principe de capitalisation, qui lui, permet d'exprimer en valeur de demain de l'argent détenu aujourd'hui (processus utilisé pour estimer le rendement futur d'un placement financier ou le montant à venir des échéances d'un emprunt) (Morissette et O'Shaughnessy, 1990). Le taux d'actualisation est estimé à l'avance par le décideur et doit être égal au taux de rendement minimum requis pour que le projet soit acceptable. Dans une approche en dollars courants, on utilise un taux d'actualisation nominal qui intègre l'inflation alors qu'en dollars constants, on utilise un taux d'actualisation réel, dégonflé de l'inflation (Boardman *et al.*, 2006 ; Morissette et O'Shaughnessy, 1990 ; Nadeau *et al.*, 2009 ; Townley et Peter, 1998). La différence entre les revenus et les coûts estimés du projet exprimée en valeur de l'année 0 caractérise la valeur générale du projet de l'entreprise (VAN), donc sa rentabilité. Un projet est acceptable si la VAN est au minimum positive et pour le choix entre deux projets, on retiendra celui dont la VAN est la plus élevée (Damodaran, 2010 ; Nadeau *et al.*, 2009). L'équation permettant le calcul de la VAN est la suivante :

Équation 1 : Calcul de la Valeur Actualisée Nette (VAN)

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{R_t}{(1+a)^t} - \sum_{t=1}^n \frac{C_t}{(1+a)^t}$$

Où :

R_t = Revenus estimés du projet à l'année t

C_t = Coûts estimés du projet à l'année t

a = Taux d'actualisation

1.3.3.3 Détermination du taux d'actualisation

Le taux d'actualisation correspond au rendement minimum requis du projet. Pour le secteur privé, le taux de rendement exigé est défini en terme de coût du capital (rendement des actions des propriétaires) alors que dans le domaine public, il correspond au coût social du capital (croissance des biens et des services disponibles à la société) (Nadeau *et al.*, 2009 ; Ross *et al.*, 2008). Que ce soit dans le domaine public ou dans le domaine privé, le taux de rendement minimum est défini selon quatre caractéristiques. Tout d'abord, il est associé à un coût d'opportunité dans la mesure où lorsque l'on choisit d'investir dans un projet quelconque avec l'espoir d'en retirer un rendement minimum préalablement défini, cela signifie que l'on mobilise des ressources qui auraient potentiellement pu être utilisées à d'autres fins (pour par exemple financer un autre projet ou réaliser un placement financier) (Nadeau *et al.*, 2009 ; Ross *et al.*, 2008). Ainsi, le taux de rendement exigé pour un projet doit être au minimum égal au rendement qu'aurait généré l'affectation de ces ressources à tout autre projet. On parle alors d'utilisation optimale des ressources afin de générer un maximum de richesse. De plus, puisqu'il est associé à un coût d'opportunité, le taux minimum requis doit être défini selon une approche opportuniste et non sectorielle ou historique. Cela implique de prendre en considération l'ensemble des alternatives qui se présentent sur le marché et pas uniquement celles envisageables dans le secteur d'activité du décideur (Nadeau *et al.*, 2009 ; Ross *et al.*, 2008). Ensuite, le taux de rendement minimum requis est défini pour un coût marginal. Cela signifie que seuls les rendements futurs du projet sont à considérer (ceux réalisés à la marge), afin de déterminer si celui-ci est acceptable ou non (Nadeau *et al.*, 2009 ; Ross *et al.*, 2008). Enfin, le taux de rendement minimum visé doit tenir compte des risques liés au projet. Or, étant donné que l'individu

présente naturellement de l'aversion pour le risque, plus le projet sera risqué, plus le taux de rendement sera élevé (Damodaran, 2010 ; Nadeau *et al.*, 2009).

Pour le secteur privé, l'indicateur généralement utilisé pour estimer le taux de rendement minimum exigé est le Modèle d'Évaluation des Actifs Financiers (MEDAF). Ce modèle est basé sur l'estimation du coût des fonds propres de la compagnie porteuse du projet selon le rendement de ses placements sans risques (obligations d'État), de ses valeurs cotées en bourse ainsi que de son niveau d'endettement (Damodaran, 2010 ; Nadeau *et al.*, 2009).

Dans le secteur public ou lorsqu'il s'agit de projet impliquant des biens publics (comme c'est le cas au Québec pour l'exploitation des terres forestières publiques), le taux de rendement exigé (coût social du capital) est estimé de manière différente selon le point de vue du décideur. Ce dernier peut avoir pour objectif de viser l'efficacité économique (maximiser son profit le plus rapidement possible) ou bien l'équité intergénérationnelle (garantir le maintien dans le temps des biens et services disponibles à la société) ou bien les deux à la fois (Nadeau *et al.*, 2009 ; Ross *et al.*, 2008). Dans le cas de l'exploitation forestière de territoires publics, cela se traduit soit par la priorisation des profits de la coupe forestière à court terme soit par la garantie du maintien des biens et services que fournit la forêt aux générations futures (protection du patrimoine historique et culturel, accès à des activités récréo-touristiques, ...) soit une combinaison des deux. Si l'on ne considère que l'efficacité économique, le coût social du capital peut être mesuré selon trois approches : le taux social de préférence temporelle, la productivité marginale de l'investissement privé ou le taux d'intérêt à long terme des obligations d'État (Nadeau *et al.*, 2009 ; Ross *et al.*, 2008). Le Taux Social de Préférence Temporelle (TSPT) est basé sur le principe de préférence des consommateurs pour des gains immédiats plutôt que reportés dans le futur. Il correspond au taux d'augmentation minimum requis par un individu afin qu'il reporte à l'avenir un gain dont il aurait pu jouir aujourd'hui (comme par exemple reporter un projet d'achat ou immobiliser de l'argent sur un placement à long terme). Plusieurs États utilisent cet indicateur pour déterminer le coût social du capital dans le cas d'évaluation de projets d'investissement dans le domaine public. C'est notamment le cas de la France qui utilise un TSPT de 4% (Lebègue *et al.*, 2005) ou de l'Angleterre qui utilise un TSPT de 3,5% (HM Treasury, 2003). Au Canada, le projet de recherche sur les politiques du gouvernement

fédéral recommande d'utiliser un TSPT de 3,5% (Boardman *et al.*, 2009). La seconde approche d'évaluation du coût social du capital est basée sur la productivité marginale de l'investissement privé. Elle part du principe que l'investissement dans un projet public est réalisé au détriment d'un investissement dans le secteur privé. Il en résulte que pour être acceptable par la société, le taux de rendement d'un investissement public doit-être au minimum égal à celui qu'il aurait été dans le secteur privé (Nadeau *et al.*, 2009 ; Ross *et al.*, 2008). Au Canada, ce taux de rendement nominal du secteur privé varie en général de 8 et 12% (Nadeau *et al.*, 2009). Jenkins *et al.* (2007), affirment pour leur part que sur la période 1990 à 2004, le taux de rendement nominal du secteur privé au Canada est estimé à 8,20% correspondant, selon Boardman *et al.* (2009), à un taux de rendement réel (dégonflé de l'inflation) de 5,9%. La troisième approche repose sur l'évaluation du rendement moyen des obligations d'État à long terme. Cette approche suppose que le projet est financé en totalité par l'emprunt et que la source de financement peut-être d'origine étrangère, dans la mesure où n'importe quelle entité physique (individu) ou morale (firme, État, ...) peut acquérir des obligations d'État (Nadeau *et al.*, 2009). Selon la Banque du Canada, le rendement réel moyen des obligations du gouvernement canadien sur les dix dernières années est d'environ 4,2%¹⁶. Le tableau 1.2 résume les taux de rendement préconisés pour évaluer le coût social du capital au Canada selon les trois approches différentes.

Tableau 1.2 : Les trois approches d'évaluation du coût social du capital utilisées au Canada

Approche	Taux de rendement réel préconisé
Taux social de préférence temporelle	3,5 % (Boardman <i>et al.</i> , 2009)
Productivité marginale de l'investissement privé	5,9 % (Jenkins et Kuo, 2007)
Taux d'intérêt à long terme des obligations d'État	4,2 % (Banque du Canada, 2012 ¹⁶)

Dans le cas de l'analyse d'un projet d'investissement en foresterie sur les terres publiques de la couronne au Québec, bien que les opérations forestières soient réalisées par des compagnies privées, il est recommandé de définir le taux d'actualisation selon le point de vue de l'État et ce, pour différentes raisons. D'abord, puisque les territoires forestiers

¹⁶ <http://www.banqueducanada.ca/taux/taux-dinteret/obligations-canadiennes/> Consulté le 20 Août 2012

concernés sont ceux de la couronne, ils appartiennent à la collectivité. Ensuite, les contrats d'approvisionnement et d'aménagement forestiers (CAAF) accordés par l'État aux compagnies privées sont d'une durée de 25 ans là où les activités de coupe forestière peuvent avoir un impact à beaucoup plus long terme (le temps de révolution d'un peuplement forestier étant en général supérieur à 100 ans). Enfin, l'une des modifications majeures du nouveau régime qui entrera en vigueur en mars 2013 réside dans la prise en charge par l'État de l'ensemble des activités de planification et de gestion des activités forestières (elles sont pour le moment réalisées par les compagnies forestières et contrôlées par l'État). Au total, on constate donc qu'au Québec, aujourd'hui et encore plus à l'avenir, l'État possèdera une responsabilité importante pour ce qui a trait à la gestion des ressources forestières publiques. De plus, puisqu'il s'agit d'un organisme public, cette responsabilité ne se limite pas au simple aspect financier mais comprend également des considérations sociales et d'équité intergénérationnelle (comme le maintien des intérêts des autres usagers de la forêt dans le temps) ainsi qu'environnementales (tels que les enjeux liés au maintien de la biodiversité et de la structure naturelle des peuplements forestiers dans le temps). Cela induit une évaluation des risques liés au projet ainsi qu'une estimation du rendement visé différentes de celles d'une compagnie privée. Raisonner du point de vue de l'État dans ce cas-là semble donc une approche cohérente dans la mesure où celui-ci assume une grande part des risques liés aux choix en matière d'aménagement forestier.

Pour des travaux d'analyse de rentabilité de projets d'exploitation de ressources naturelles à long terme, il est en général recommandé d'utiliser un taux réel de référence de 4% (Jenkins et Kuo, 2007 ; Lebègue *et al.*, 2005 ; Weitzman, 2001). Au Québec, plusieurs travaux de recherche dans le domaine de la foresterie utilisent un tel taux, notamment Legault *et al.* (2007), Moore *et al.* (2011) ou Valeria (2004). Selon Nadeau *et al.* (2009), c'est également le cas de plusieurs institutions publiques au Canada telles que Ressources Naturelles de l'Ontario ou l'organisme « Incremental silviculture strategy for British Columbia ». Ce taux réel de référence de 4% est en outre confirmé par l'estimation du coût social du capital qui se situe en moyenne aux alentours de 4,5% (il s'agit d'une moyenne car celui-ci varie selon l'indicateur retenu pour le déterminer, tel que présenté au tableau 1.2).

1.3.3.4 Utilisation d'un taux d'actualisation dégressif dans le temps

Dans le cas de l'analyse de la rentabilité d'un projet d'investissement public à long terme, si l'on change de point de vue en décidant de prioriser l'équité intergénérationnelle au détriment de l'efficacité économique, l'utilisation d'un taux fixe présente certaines limites. En effet, Nadeau *et al.* (2009) et Damodaran (2010), mettent en valeur le fait que lorsqu'un projet impacte plusieurs générations (comme c'est le cas pour des projets d'exploitation de terres forestières publiques au Québec), les individus qui en retirent un bénéfice potentiel ne sont pas les mêmes que ceux qui en subissent le coût. Ainsi, si l'on retient un taux d'actualisation élevé, cela a pour conséquence de pénaliser l'efficacité du projet à long terme (puisque l'on valorise les gains à court terme). À l'inverse, retenir un taux proche de zéro sous-entend que l'on accorde la même valeur à des profits futurs qu'à des profits actuels (Damodaran, 2010 ; Nadeau *et al.*, 2009). Afin de résoudre cette problématique de conflit intergénérationnel, Weitzman (2001) recommande d'opter pour un taux d'actualisation qui décroît progressivement dans le temps. En outre, Lebègue *et al.* (2005) précisent que cette décroissance doit être effective à partir de 30 ans. Le principe d'un taux d'actualisation dégressif a été adapté au contexte forestier par Lapointe (2008) avec un taux d'actualisation réel de 4% pour les 30 premières années puis un taux dégressif vers 1% à l'horizon de 150 ans (Tableau 1.3). Une telle approche a été utilisée par Moore *et al.* (2011).

Tableau 1.3 : Taux d'actualisation dégressif sur 150 ans (adapté de Moore et al., 2011)

Années	Taux d'actualisation annuel (%)
0 à 30 ans	4
31 à 80 ans	3
81 à 130 ans	2
130 ans à 150 ans	1

1.3.3.5 Analyse de risque

Bien que l'utilisation d'un taux d'actualisation initial fixe qui décroît à partir de 30 ans soit préconisée pour l'analyse de la rentabilité de projets d'investissement à long terme (en particulier dans le domaine de la foresterie (Nadeau *et al.*, 2009)), on ne peut toutefois

affirmer avec certitude qu'une telle approche reflète la réalité (compte tenu du fait que, par nature, l'avenir est imprévisible). Afin de réduire ce niveau d'incertitude, la littérature recommande de procéder à une analyse de risque en simulant plusieurs situations selon des taux différents (Damodaran, 2010 ; Morissette et O'Shaughnessy, 1990 ; Nadeau *et al.*, 2009). Cela est d'autant plus justifié dans le cas de projets d'investissement publics dans la mesure où les trois approches utilisées pour déterminer le taux d'actualisation (sur la base du coût social du capital) proposent des taux de rendements réel différents (de 3,5 à 5,9%) (Tableau 1.2). Au lieu d'estimer la rentabilité d'un projet sur la base d'un taux d'actualisation unique, cela permet de produire une distribution de solutions, conférant ainsi aux décideurs différentes options envisageables en matière de choix d'investissement (Damodaran, 2010 ; Nadeau *et al.*, 2009). Il existe trois méthodes d'analyse du risque : l'analyse de sensibilité, l'analyse par simulation et l'analyse par scénarios. L'analyse de sensibilité consiste à faire varier chacune des variables d'intrants selon le même pourcentage afin de voir laquelle a le plus d'impact sur les résultats. L'objectif est de déterminer le degré de dépendance de la variabilité d'extrants (résultats des calculs de VAN), à la variabilité des données d'intrants (coûts, revenus, taux d'inflation, taux d'actualisation, ...) (Damodaran, 2010 ; Morissette et O'Shaughnessy, 1990 ; Nadeau *et al.*, 2009). Cette méthode d'analyse est relativement simple à mettre en place. La deuxième méthode est l'analyse par simulation qui consiste à simuler tous les scénarios possibles en faisant varier de manière stochastique l'ensemble des variables d'intrants (comme par exemple les simulations de type Monte-Carlo). Cela permet de calculer la probabilité d'occurrence des résultats du projet ainsi que de déterminer la valeur des intrants nécessaire pour atteindre un objectif ciblé (par exemple déterminer la combinaison du taux d'inflation et du taux d'actualisation permettant d'obtenir une certaine VAN). Cette méthode est intéressante car elle dresse un portrait plus complet de l'ensemble des solutions possibles, conférant ainsi aux décideurs plus de robustesse dans leur choix d'investissement (Damodaran, 2010 ; Morissette et O'Shaughnessy, 1990 ; Nadeau *et al.*, 2009). Sa mise en œuvre est toutefois longue et fastidieuse car elle nécessite de disposer de la distribution de probabilité de chacune des données d'intrants (ex : décomposer un coût d'exploitation en différents éléments : coût de la main d'œuvre, coût du carburant, coût de création de chemin, ...). La troisième méthode est l'analyse par scénarios qui consiste à simuler un scénario de référence, selon une approche dite moyenne ou probable, puis des

scénarios alternatifs, selon des approches plus ou moins optimistes ou pessimistes (Damodaran, 2010 ; Morissette et O'Shaughnessy, 1990 ; Nadeau *et al.*, 2009) . L'étendue des résultats donne une idée de la marge de manœuvre disponible pour la prise de décision d'investissement, selon l'étendue des résultats entre une situation plancher (scénario le plus pessimiste ou limite basse) et une situation plafond (scénario le plus optimiste ou limite haute). Cette dernière méthode est moins exhaustive que l'approche stochastique mais est plus simple et plus rapide à mettre en œuvre. Dans le domaine environnemental et forestier au Canada, plusieurs organisations utilisent l'approche par scénarios en faisant varier le taux d'actualisation afin de réaliser des analyses de rentabilité de projets d'investissement plus robustes, notamment Ressources Naturelles Canada ou le « Incremental silviculture strategy for British Columbia » (Nadeau *et al.*, 2009).

CHAPITRE II

MATÉRIELS ET MÉTHODES

2.1 Aire d'étude

2.1.1 Localisation

La présente étude est réalisée sur la base d'un projet pilote mené entre la chaire AFD et la compagnie Tembec sur l'UAF (Unité d'Aménagement Forestier) n°85-51, pour laquelle elle possède actuellement un CAAF. Ce territoire se situe en forêt boréale dans le domaine de la pessière noire à mousses et plus particulièrement dans le sous-domaine de l'ouest, à proximité de La Sarre, en Abitibi-Témiscamingue (Bergeron *et al.*, 1998) (Figure 2.1). Il a une superficie totale de 1 083 414 hectares dont 686 577 hectares de superficie productive (Tableau 2.1). En ordre d'importance, les peuplements sont essentiellement composés d'épinette noire (*Picea mariana* [Mill.] B.S.P), de pin gris (*Pinus banksiana* Lamb.) et de peuplier faux tremble (*Populus tremuloides* Michx.) (Belleau et Légaré., 2008). On retrouve également du sapin baumier (*Abies balsamea* [L.] Mill.), de l'épinette blanche (*Picea glauca* [Moench] Voss), du bouleau à papier (*Betula papyrifera* Marsh.), du thuya de l'Est (*Thuja occidentalis* L.) et du mélèze laricin (*Larix laricina* [Du Roi] K. Koch.) de manière plus ponctuelle.

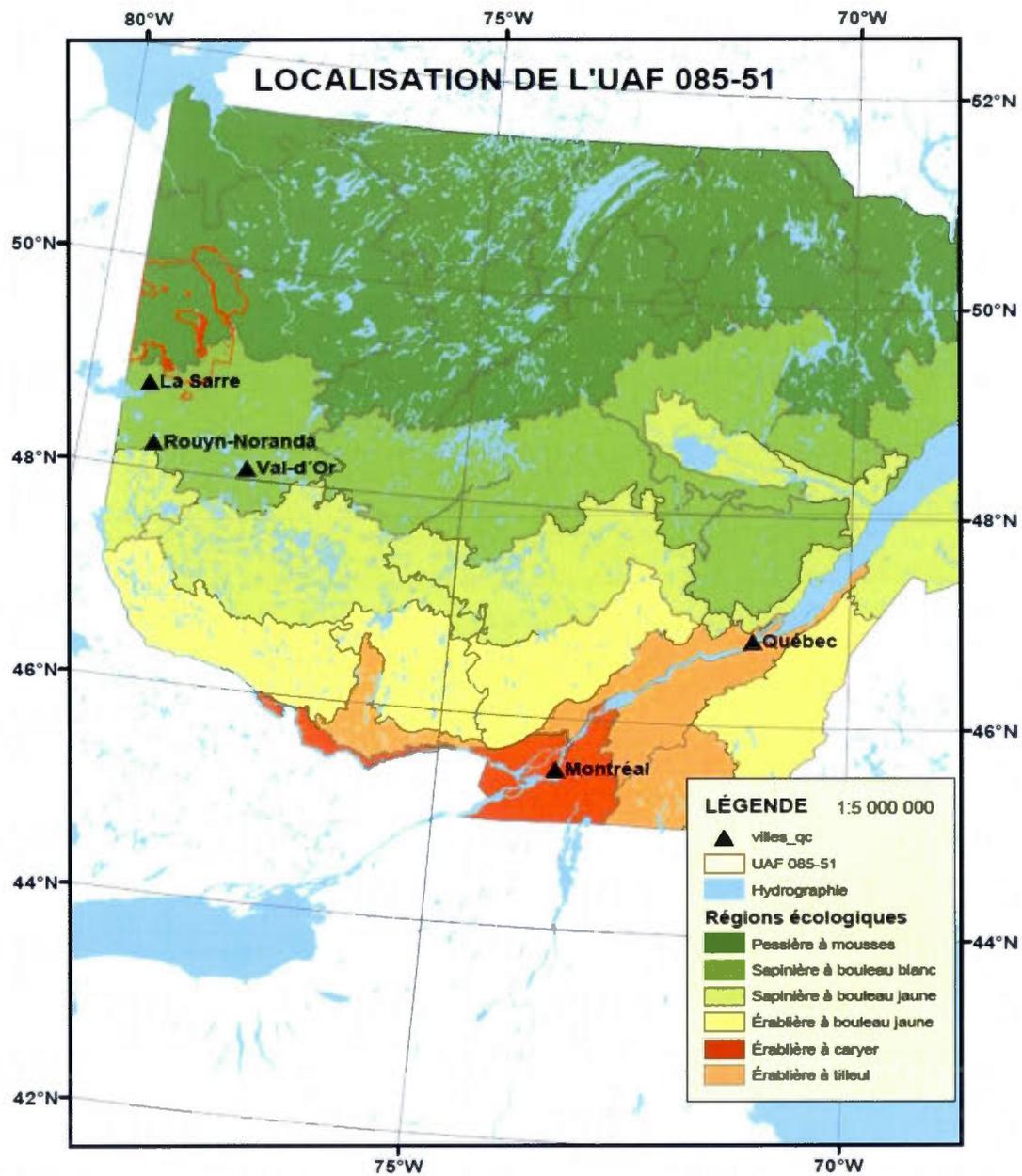


Figure 2.1 : Localisation de l'unité d'aménagement forestier (UAF) 85-51, dans la région écologique de la pessière à mousses, dans Nord-Ouest de l'Abitibi (Tembec, 2012)

2.1.2 Superficies

Le tableau 2.1 présente une synthèse des superficies de l'UAF 85-51 utilisées dans les scénarios d'aménagement.

Tableau 2.1 : Résumé des superficies de l'UAF 85-51 utilisées dans les simulations d'aménagement forestier (Tembec, 2012)

Description	Hectares	%	Remarques
Superficie du grand périmètre	1 083 414	100	
Non forestière	396 837	37	Dénudés, aulnaies, eau, ...
Forestière productive	686 577	63	
Forestière productive	686 577	100	Participe à tous les attributs
Exclue pour contraintes	61 594	9	
Exclue car improductive	75 608	11	Moins de 50m ³ / ha sur l'horizon
Exclue total	137 202	20	Devrait finir en vieilles forêts dans environ 75 ans
Incluse total	549 375	80	
Réduction pour bandes riveraines et chemins		9,1	Selon les % par strate extraits de Sylva II
Incluse nette	495 525	-	Participe au CPF et aux attributs
Incluse nette par le Bureau du Forestier en Chef (BFEC)	492 829	-	Mise à jour des attributions du 03 Juin 2009
Différence avec BFEC	2 696	-	La différence est acceptable pour cette analyse

2.2 Mise en contexte

Sur l'UAF 85-51 sur laquelle la présente étude a été réalisée, deux projets de détermination de la possibilité forestière ont déjà été menés par le biais de modélisations de plans d'aménagement.

Le premier est un projet pilote mené entre la chaire AFD et la compagnie Tembec qui avait pour objectif l'élaboration et la mise en application d'un PGAF (Plan Général D'aménagement Forestier) sur 5 ans et d'un PAIF (Plan Annuel d'Intervention Forestière) respectant les principes d'aménagement écosystémique. Il a nécessité la réalisation par Tembec d'un premier exercice de modélisation sur 150 ans sur la base des 1700 strates

cartographiques¹⁷ et de leurs courbes de croissance correspondantes du MRNF. Ces travaux permettent à Tembec d'anticiper les futures contraintes d'aménagement liées à la mise en place du nouveau régime forestier au Québec à partir de mars 2013. Ils lui sont également nécessaires afin de respecter ses engagements en matière de certification forestière auprès du label du Forest Stewardship Council (FSC, 2004) pour l'UAF 85-51. La certification forestière correspond au processus par lequel un organisme d'enregistrement, accrédité et indépendant, reconnaît qu'un requérant utilise des pratiques de gestion forestière qui respectent des normes préétablies par un tiers non gouvernemental, visant l'aménagement forestier durable. Les critères à respecter peuvent être variés, tels que la conservation de la biodiversité, le respect des lois (comme le droit du travail ou les méthodes d'exploitation), la consultation publique (par exemple les peuples autochtones) (MRNF, 2010b). Le certificat obtenu peut donner à accès des marchés élargis afin d'y jouir d'un avantage concurrentiel (MRNF, 2010b). Pour certifier ses activités forestières sur plusieurs de ses UAF, Tembec a choisi la norme du Forest Stewardship Council¹⁸ (FSC), car celle-ci est généralement considérée comme la plus exigeante, que ce soit du point de vue environnemental ou social (MRNF, 2010b).

Le second travail de modélisation de plans d'aménagements sur l'UAF 85-51 a été réalisé par Dhital et Raulier (2010), en utilisant un modèle de simulation simplifié. Les 1700 strates y sont regroupées en 300 strates homogènes (selon des critères de type d'espèces, d'IQS et d>IDR communs) afin de réduire la complexité du calcul d'optimisation. Cette simplification permet de rajouter une dimension qualitative en attribuant à chacune des 300 strates un modèle de succession par cohorte selon des critères de composition et de structure verticale inspirés de Nguyen-Xuan (2002).

Ces deux projets de recherche présentent une principale limite au niveau de la modélisation de la coupe partielle. En ce qui concerne les travaux de Tembec avec la chaire industrielle AFD, sur les 1700 strates existantes, seulement 8 courbes de retour sont utilisées pour les 700 strates éligibles à la coupe partielle (ce qui réduit considérablement la variété de réponse des peuplements à la coupe partielle, donc le réalisme du modèle). Pour leur part,

¹⁷ Ces strates ont été réalisées par le MRNF sur la base des données d'inventaires du 3^{ème} décennal et servent jusqu'à présent de base pour la réalisation de modèle de simulation. Une évaluation plus précise et réaliste de cette stratification est en cours au sein du MRNF mais ne sera disponible qu'en 2013 au plus tôt (http://www.forestierenchef.gouv.qc.ca/images/stories/MADF/accueil/mdpf_tablemat_20110511.pdf).

¹⁸ <http://www.fscCanada.org/> Consulté le 17 juillet 2010

bien que Dhital et Raulier (2010) proposent une réponse à la coupe partielle spécifique pour chacune de leurs 300 strates, la méthode utilisée pour leur modélisation peut soulever certaines interrogations. D'abord, celle-ci suppose qu'après une coupe partielle, la strate a rajeuni (Figure 2.2). Or, cette hypothèse est à relativiser dans la mesure où, selon le type de coupe partielle et les caractéristiques du site (variété d'essences, qualité de station, ...), la réponse du peuplement peut être différente (rajeunissement, ouverture et sénescence, ...). Par exemple, bien que la Coupe avec Protection des Petites Tiges Marchandes (CPPTM) soit considérée comme une coupe de régénération qui globalement rajeunit un peuplement (Raulier et al., 2009), ce type de coupe peut également être vue comme une coupe de succession car, « *en forêts aménagées, elle pourrait reconstituer la structure des peuplements surannés et anciens des mosaïques naturelles* » (Fenton et al., 2008). La question de l'âge réel de la strate après coupe partielle se pose donc.

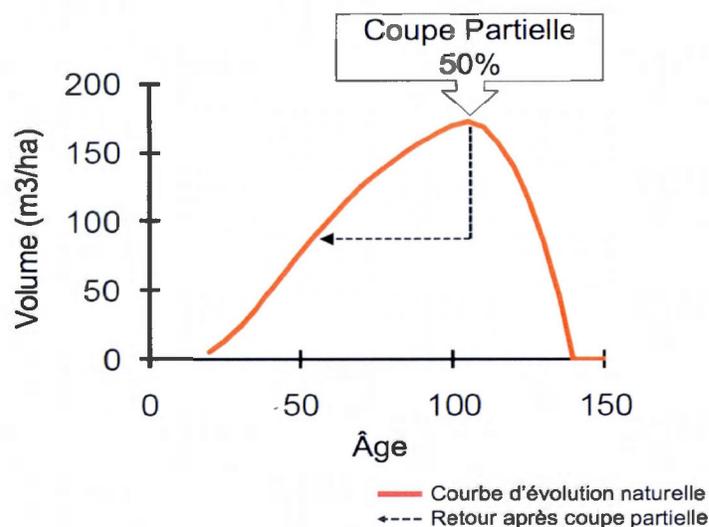


Figure 2.2 : Modélisation de la croissance résiduelle après coupe partielle pour une strate d'aménagement (adaptée d'une présentation faite lors de la journée de rencontre du comité d'orientation du projet pilote d'aménagement écosystémique de l'UAF 85-51 en 2012¹⁹)

Ensuite, une telle approche peut entraîner une surévaluation de la réponse du peuplement dans la mesure où la strate après coupe partielle suit le même profil de croissance que la strate originale (avant coupe). Dans l'exemple présenté sur la figure 2.2, il

¹⁹ Pour plus d'informations, contacter Narayan Dhital : narayan-prasad.dhital.1@ulaval.ca

n'est pourtant pas évident que 50 ans après la coupe partielle, la strate recouvre son volume original. En effet, des travaux d'observation menés par Thorpe *et al.* (2007) dans le Nord-Est de l'Ontario sur des peuplements d'épinette noire similaires à ceux de l'UAF 85-51, montrent qu'après une coupe partielle, la croissance résiduelle en diamètre atteindrait un pic au bout de 10 ans. Par ailleurs, les modèles de Tembec comme ceux de Dhital et Raulier (2010) n'incluent pas de données relatives aux coûts et revenus potentiels des scénarios.

Au total, on constate que ces travaux présentent des limites, notamment en ce qui concerne la modélisation de la croissance résiduelle après coupe partielle. En outre, les scénarios n'incluent pas de modélisation de la croissance en diamètre, ce qui ne permet pas d'estimer les revenus potentiels.

2.3 Synthèse de la méthodologie

Le tableau 2.2 présente une synthèse des 5 étapes de la méthodologie développée ainsi que des données utilisées.

Tableau 2.2: Synthèse de la méthodologie et des données utilisées

Étape 1	Description des scénarios RNI et AMEC
Étape 2	Modélisation de la croissance résiduelle des peuplements après coupe partielle Modélisation de la croissance en diamètre Optimisation des scénarios
Étape 3	Définition des coûts d'exploitation par COS (chemins, récolte, transport et divers) Définition des revenus par type d'essence et par classe de diamètre
Étape 4	Calculs de rentabilité

2.4 Description des scénarios

Dans le cadre de son partenariat avec la chaire industrielle AFD, la compagnie Tembec a réalisé plusieurs modélisations de scénarios sur 150 ans pour l'UAF 85-51 avec deux principaux objectifs²⁰. Tout d'abord, développer une stratégie d'aménagement

²⁰ <http://www.tembec-grf-quebec.com/site/ims/ecosystemique.html> Consulté le 22 juillet 2012

garantissant le maintien des éléments de la diversité biologique ainsi que les fonctions de l'écosystème. Puis, comparer les résultats de ces stratégies avec ceux des scénarios actuellement utilisés. Pour la présente étude, nous avons utilisé les scénarios RNI (conforme à la Réglementation des Normes d'Interventions actuelle) et AMEC (approche écosystémique) issus de ces recherches. Ces scénarios constituent en effet une approche comparative des contraintes d'aménagement actuelles et celles liées au prochain régime forestier (Tembec, 2012). Ils permettent ainsi d'observer les effets de l'introduction de contraintes spatiales au niveau des COS sur le niveau de possibilité forestière. Ils permettent également d'observer les effets de l'augmentation de l'usage de la coupe partielle sur les coûts d'exploitation et sur les revenus de la vente des bois. Ils permettent enfin d'observer l'effet des différentes variables d'intrants utilisées sur la rentabilité de chacun des scénarios (entre autres le diamètre des tiges récoltées, les coûts liés à la création et à l'entretien des chemins, les coûts liés à la récolte, les coûts liés au transport ou encore le taux d'actualisation retenu pour le calcul de VAN).

2.4.1 Données communes à tous les scénarios

La modélisation de la forêt est un exercice complexe car il consiste à reproduire l'évolution dans le temps de peuplements forestiers de composition et de structure diverses. Pour simplifier le paramétrage ainsi que le temps d'optimisation des modèles, il a donc été nécessaire de poser un certain nombre de conditions communes à l'ensemble des scénarios.

Conditions relatives à l'évolution des peuplements

Comme c'est le cas pour notre étude, la modélisation des plans d'aménagement à long terme et à plusieurs échelles (peuplement, paysage et grand paysage) nécessite de poser des conditions relatives à l'évolution des peuplements, notamment en ce qui a trait aux périodes de transitions (Saucier et Groot, 2008). Pour cela, nous avons défini des stades de développement sur la base des classes d'âge des peuplements (Tableau 2.3). Comme il s'agit de l'UAF 85-51, ces conditions sont définies selon les caractéristiques propres à des peuplements forestiers situés dans le domaine bioclimatique de la pessière à mousse. Elles sont issues des recommandations du MRNF pour l'intégration des enjeux écologiques dans les plans d'aménagement forestiers (Bouchard *et al.*, 2010)

Tableau 2.3 : Classes d'âge correspondant aux stades de développement des peuplements en pessière à mousse (adapté de Bouchard *et al.*, 2010)

Stade de développement	Classe d'âge
Forêt de plus de 7 mètres de hauteur	35 ans et plus
Forêt en régénération (moins de 4 mètres)	20 ans et moins
Forêt fermée (4 à 7 mètres)	25 et 30 ans
Forêt mature	Supérieure ou égale aux classes d'âges d'exploitabilité
Vieilles forêts	100 ans et plus

Conditions relatives au taux de prélèvement des différents types de coupes partielles

Comme il a été précisé dans le chapitre précédent, l'appellation « coupe partielle » est générale et définit l'ensemble des différentes pratiques opposées aux coupes totales. Celles-ci varient selon le type d'essence, les diamètres visés, le pourcentage de prélèvement ou l'organisation spatiale (Bouchard, 2008 ; Doucet *et al.*, 2009). Étant donné que la superficie forestière concernée par le présent travail de modélisation s'étend sur plusieurs milliers d'hectares, nous avons décidé, par souci de simplification, de limiter la représentation des différents types de coupe partielle à un pourcentage de prélèvement du peuplement. Le détail sur la modélisation des coupes partielles est présenté au 2.4.5.1. Pour la présente étude, nous avons pris en compte les deux types de coupes partielles suivants : l'éclaircie commerciale (EC) et la coupe progressive d'ensemencement (CPE). Ceux-ci sont en effet les plus couramment utilisés dans les peuplements situés en pessière à mousse et sont ceux pour lesquels il est possible de poser des hypothèses quant à leurs effets sur les rendements (croissance résiduelle après coupe). Ce n'est pas le cas de la CPPTM pour laquelle les résultats des travaux de recherche en cours au Québec sont trop récents pour permettre d'évaluer l'effet de ce traitement sur la croissance résiduelle des peuplements (Côté *et al.*, 2012c). Nous ne l'avons donc pas incluse dans nos modèles. Les taux de prélèvement du volume total admissible à la coupe forestière retenus par type de coupe partielle sont présentés au tableau 2.4, sur la base des recommandations du MRNF et de l'Ordre des Ingénieurs Forestiers du Québec (Doucet *et al.*, 2009 ; MRNF, 2003 ; MRNF, 2010a)

Critères d'éligibilité des strates aux différents types de coupes partielles

Pour chacun de nos scénarios, l'évolution naturelle des peuplements dans le temps est modélisée sur la base des courbes de rendements par strate. Au cours de l'optimisation des scénarios, il a été nécessaire de fixer des critères d'éligibilité aux différents types de coupes. Il s'agit de balises précisant la période d'ouverture et de fermeture de la strate à la coupe partielle ainsi que le volume minimum sur pied requis. Celles-ci sont présentées au tableau 2.4, sur la base des recommandations du Bureau du Forestier en Chef du Québec pour la détermination de la possibilité forestière ainsi que du MRNF (Côté *et al.*, 2012c ; MRNF, 2010a).

Tableau 2.4 : Taux de prélèvement et critères d'éligibilité des strates pour les différents types de coupe partielle

Types de coupe partielle	Taux de prélèvement	Ouverture	Fermeture	Volume minimum sur pied (m ³ /ha)
Éclaircie commerciale (EC)	35 %	10 ans avant maturité	30 ans après maturité	145
Coupe Progressive d'ensemencement (CPE)	50 %	Age de maturité	50 ans après maturité	Extensif : 131 * Intensif : 167 *

** Les scénarios sylvicoles de type extensif reposent sur la régénération naturelle alors que ceux de type intensif permettent de sélectionner les meilleures tiges par le biais de l'EPC et de l'EC (Côté *et al.*, 2012a).*

Notez que les volumes minimums sur pied présentés pour l'EC et la CPE étaient ceux définis par le MRNF pour le calcul de possibilité forestière du PGAF 2008-2013 pour l'UAF 85-51 réalisé par Tembec. À titre de comparaison, le seuil minimum sur pied recommandé par le Bureau du Forestier en Chef pour la CPRS est de 50 m³/ha (Côté *et al.*, 2012c). En outre, notez qu'une strate ayant subi une CPE a pour contrainte de devoir attendre 10 ans avant de pouvoir subir une coupe finale en CPRS (Côté *et al.*, 2012c).

Autres éléments communs à tous les scénarios

Les zones identifiées Aires Protégées (APR) sont fermées aux interventions sur tout l'horizon et pour tous les scénarios (Côté *et al.*, 2012b). Tous les scénarios sont optimisés dans Woodstock sur une période de 150 ans (30 périodes de 5 ans), tel que préconisé par le Bureau du Forestier en Chef (Côté *et al.*, 2012a). Pour chacun des scénarios, l'objectif du problème de planification était de maximiser le volume total de bois récoltable, toutes essences confondues (Côté *et al.*, 2012a).

2.4.2 Scénario RNI

Nous avons réalisé ce scénario sur la base des exigences actuelles du RNI. En effet, le régime forestier québécois actuellement en vigueur exige que les compagnies forestières exploitant des terres publiques (titulaires d'un CAAF), réalisent leurs activités dans le respect du Règlement sur les Normes d'Intervention (RNI) (Gouvernement du Québec, 2012). Ce règlement comprend 150 normes avec pour objectifs de protéger les ressources du milieu forestier, d'assurer le maintien ou la reconstitution du couvert forestier, de rendre plus compatible l'aménagement forestier avec les autres activités exercées dans les forêts et de contribuer à l'aménagement durable des forêts²¹. Pour permettre aux compagnies d'atteindre ces objectifs, le MRNF a subdivisé les Unités d'Aménagement Forestier (UAF) en Unités Territoriales de Référence (UTR) de 100 à 500 km² (Figure 2.3) avec pour principale contrainte de conserver, en tout temps, des peuplements de sept mètres et plus de hauteur sur 30% de la superficie forestière productive de ces unités. Le découpage par UTR permet, en outre, de prendre en considération les contraintes de forêts résiduelles de Coupe en Mosaïque (lisières boisées et blocs résiduels) ainsi que d'encadrement visuel des aires de coupe (séparateurs de coupes²², bandes riveraines²³ et bandes de protection des zones forestières à usage récréo-touristique²⁴). Ce scénario RNI prévoit donc des contraintes appliquées sur les UTR, sur les encadrements visuels ainsi que sur les blocs résiduels de CMO. Ce scénario RNI a en outre été développé en conformité avec le Plan Général d'Aménagement Forestier (PGAF) de l'UAF 85-51 pour la période 2008-2013.

²¹ <http://www.mrnf.gouv.qc.ca/forets/amenagement/amenagement-RNI.jsp> Consulté le 03 août 2012

²² <http://www.mrnf.gouv.qc.ca/forets/comprendre/comprendre-mosaique.jsp> Consulté le 03 août 2012

²³ <http://www.mrnf.gouv.qc.ca/forets/connaissances/connaissances-activites-sols.jsp> Consulté le 03 août 2012

²⁴ <http://www.mrnf.gouv.qc.ca/publications/forets/comprendre/normes.pdf> Consulté le 03 août 2012

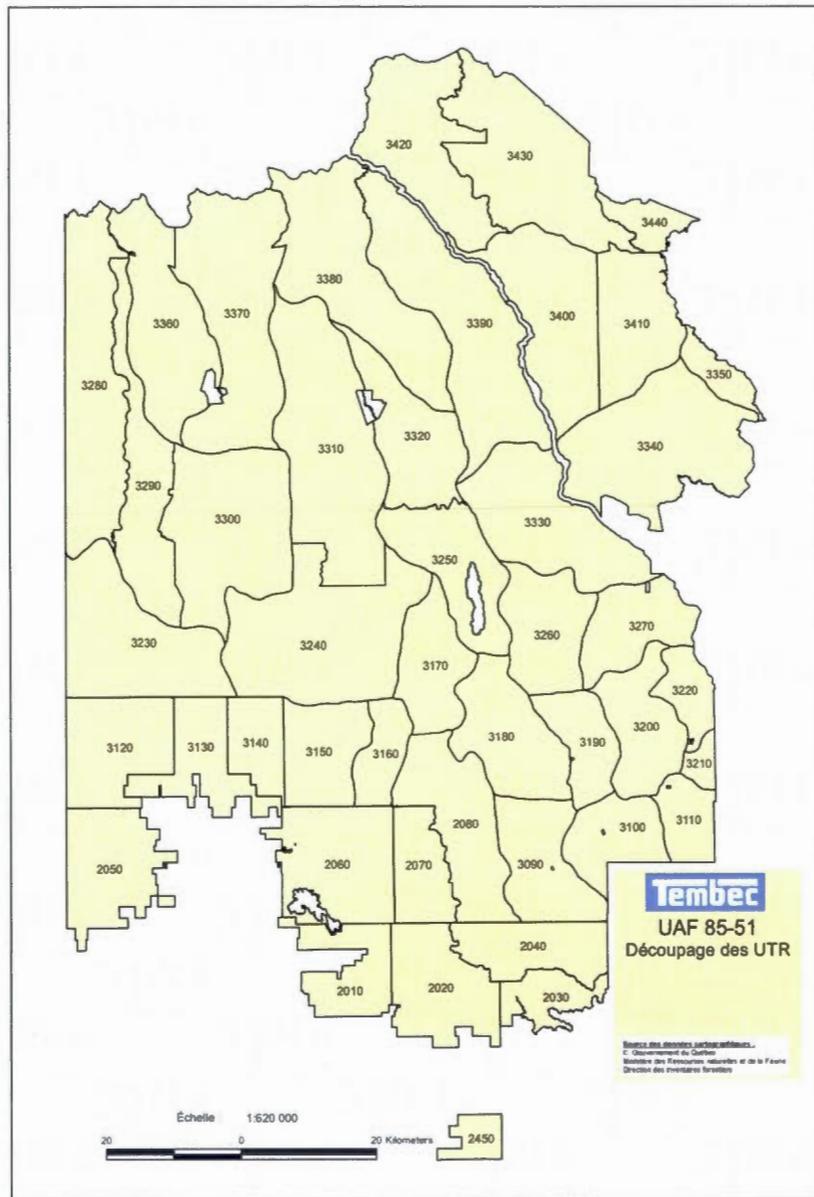


Figure 2.3 : Découpage de l'UAF 85-51 en Unités Territoriales d'Analyse (UTR) (source : Tembec, 2012)

2.4.3 Scénarios AMEC

Les simulations d'aménagement écosystémique que nous avons réalisées pour l'UAF 85-51 ont pour but de prendre en compte des enjeux du futur régime forestier, peu ou pas considérés dans l'actuel RNI. Ces enjeux sont intégrés au niveau des COS, à une échelle plus fine que celle des UTR du MRNF (Bouchard *et al.*, 2010) ; Légaré *et al.*, 2010). L'UAF 85-51 a initialement été segmentée en 110 COS selon les trois types de compartiments identifiés par le MRNF pour les territoires forestiers situés en pessière : les COS standards (STA), les COS aménagés (AME) et les COS formés avec les aires protégées (APR) (Bouchard *et al.*, 2010) ; Légaré *et al.*, 2010) (Figure 2.4). Les stratégies d'aménagement spécifiques à chacun de ces types de COS ont déjà été présentées au point 1.1. Puis, étant donné que Tembec s'est engagé à certifier ses activités menées sur l'UAF 85-51 par le Forest Stewardship Council (FSC), certains COS standards ont été identifiés spécifiquement afin de respecter les exigences de la norme boréale du FSC (FSC, 2004). En effet, l'indicateur 6.1.1.1 de cette norme exige le maintien de Grands Habitats Essentiels (GHE) correspondants à de grandes zones (milliers d'hectares) d'habitats forestiers essentiels contigus couvrant 20% de la superficie totale d'une UAF (Figure 2.4). Les COS GHE sont constitués principalement de forêts matures et vieilles pouvant contenir jusqu'à 5% de forêts récemment perturbées. La stratégie des GHE est qu'ils deviennent une agglomération de coupe à un moment de l'exercice de planification tout en incluant des massifs de protection et les massifs de remplacement de l'habitat du caribou forestier prévus dans les plans d'aménagement.

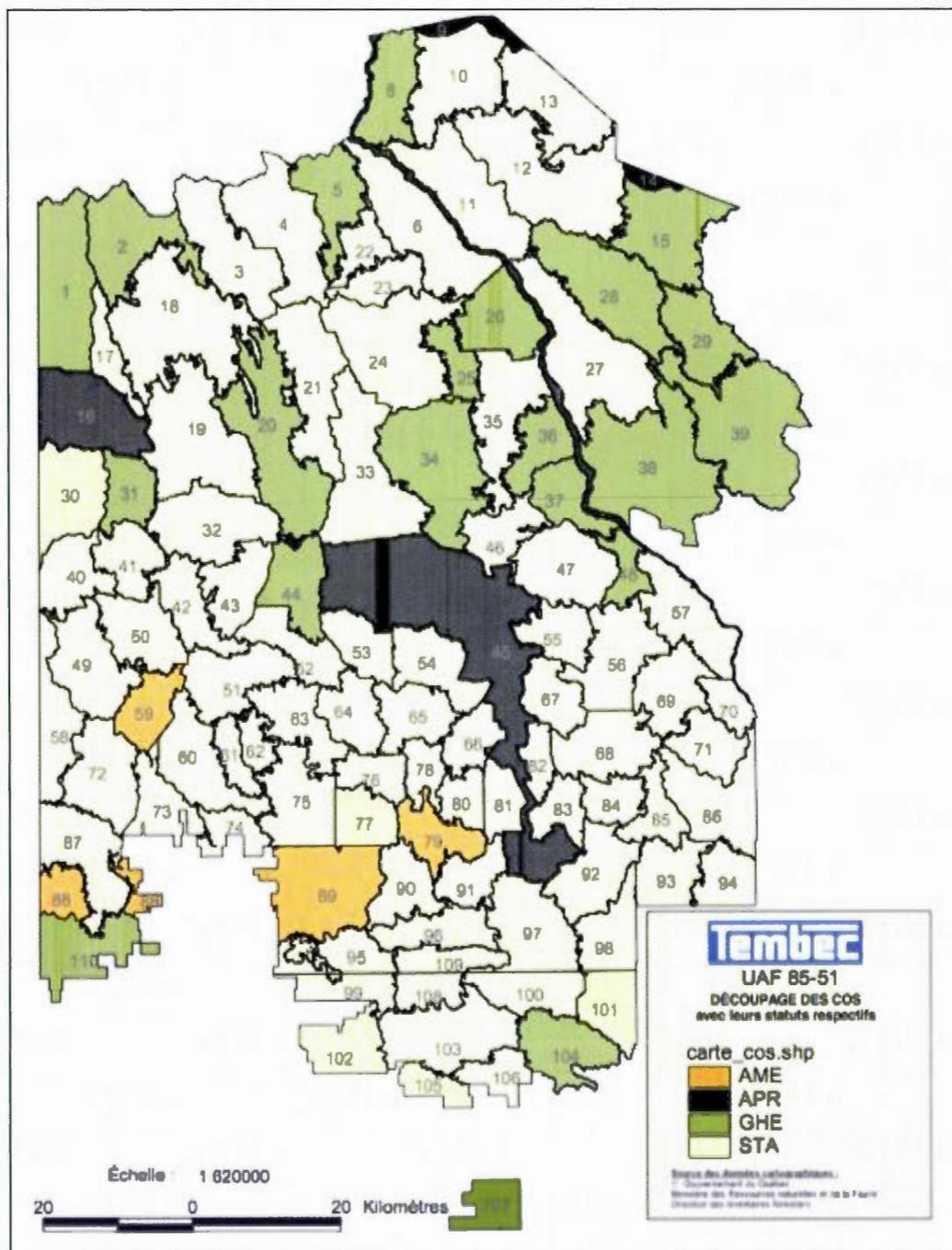


Figure 2.4 : Découpage de l'UAF 85-51 en quatre type de Compartiments d'Organisation Spatiale (COS) : COS Aménagés (AME), COS Aires Protégées (APR), COS Grands Habitats Essentiels (GHE) et COS Standards (STA) (Tembec, 2012)

Ensuite, ce découpage par COS a fait l'objet d'un regroupement en deux types d'Unités Territoriales d'Analyse (UTA) (qui respectent les limites des COS) (Figure 2.5). Selon le MRNF, une UTA correspond à une subdivision d'une UAF dans le domaine de la pessière à mousse sur la base de laquelle on établit des cibles de structure d'âge de la forêt²⁵. Leur superficie peut varier de 2000 à 2500 km². Cette approche par UTA permet de répondre à certaines contraintes d'aménagement agissant à une l'échelle du paysage (supérieure à celle des COS), tels que l'interconnexion des massifs forestiers résiduels ou encore un premier niveau cible de forêts en régénération et de vieilles forêts (Bouchard *et al.*, 2010). Le MRNF avait d'abord regroupé les 110 COS de l'UAF 85-51 en 4 UTA puis a finalement opté pour un regroupement en 6 UTA. La figure 2.5 présente le découpage de l'UAF en 110 COS, 4 et 6 UTA.

²⁵ <http://glossaire-forestier.mrnf.gouv.qc.ca/terme.aspx?id=303&pub=O> Consulté le 03 août 2012

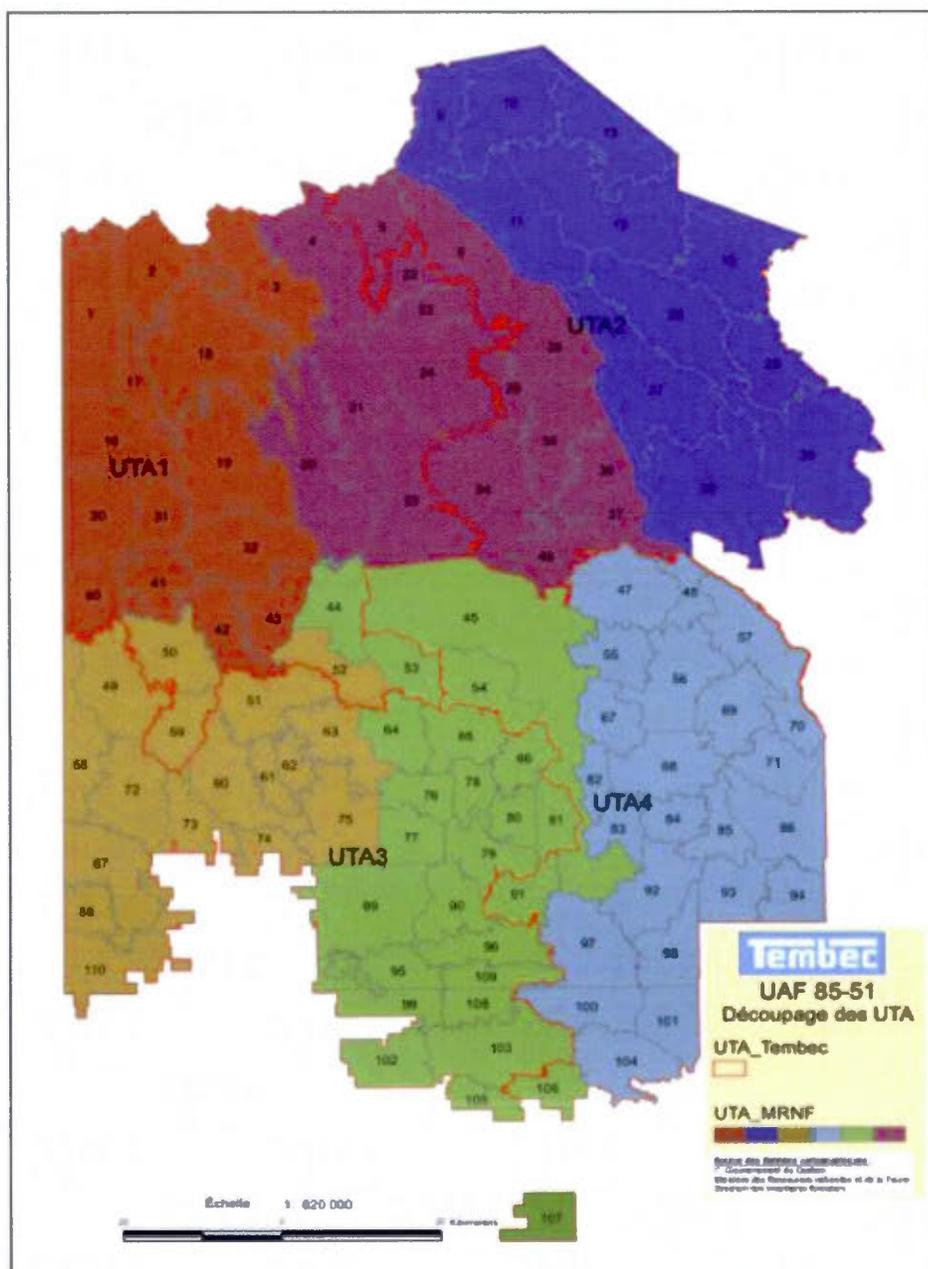


Figure 2.5 : Découpage de l'UAF 85-51 en Unités Territoriales d'Analyse (UTA) (source : Tembec, 2012)

Les contraintes intégrées au niveau des COS correspondent aux seuils minimums de forêt productive à respecter selon les types de COS, tels que proposé par Légaré (2010)²⁶ pour l'UAF 85-51, sur la base des recommandations du MRNF (Bouchard *et al.*, 2010) (Tableau 2.5).

Tableau 2.5 : **Contraintes d'aménagement écosystémique** appliquées au niveau des Compartiments d'Organisation Spatiale (COS) (Bouchard *et al.*, 2010)

Type de COS	Seuils minimums à respecter
Standard (STA)	Minimum de 10% de la forêt productive du COS en forêt mature. Minimum de 50% de la forêt productive du COS en forêt de 7m et plus.
Massif aménagé (AME)	Minimum de 70% de la forêt productive du COS en forêt de 7m et plus.
Grands habitats essentiels (GHE)	Maximum de 5% de la forêt productive du COS en régénération. Minimum de 50% de la forêt productive du COS en forêt mature .

Les contraintes liées aux quantités minimales de vieilles forêts sont traitées à l'échelle du paysage, donc au niveau des 4 UTA (Tableau 2.6).

Tableau 2.6 : **Contraintes d'aménagement écosystémiques** appliquées au niveau des Unités Territoriales d'Analyse (UTA) (Bouchard *et al.*, 2010)

UTA	Seuils minimums à respecter
2 UTA du Nord	Minimum de 30% de vieilles forêts (100 ans et plus)
2 UTA du Sud	Minimum de 30% de vieilles forêts (100 ans et plus) ²⁶ : <ul style="list-style-type: none"> ○ Minimum de 7% sur les périodes 1 à 4 (0 à 20 ans). ○ Minimum de 15% sur les périodes 5 à 15 (25 à 75 ans). ○ Minimum de 30% sur les périodes 16 et plus (80 ans et plus).

²⁶ « Projet d'un plan d'aménagement forestier écosystémique pour l'unité d'aménagement forestier 085-51. Demande de dérogation au RNI en vertu de l'article 25.3 de la Loi sur les forêts ». Disponible sur demande sur le site internet de Tembec : <http://www.tembec-grf-quebec.com/sitefms/ecosystemique.html>

Notez que les scénarios AMEC ne prévoient pas de contraintes spatiales liées au déploiement des Coupes en Mosaïque (CMO) car les scénarios écosystémiques n'intègrent pas ce type d'organisation pour la CPRS. Par ailleurs, dans le but de simplifier le paramétrage des scénarios, nous avons décidé que le statut des COS demeurerait le même durant tout l'horizon de planification.

L'optimisation spatiale des scénarios AMEC est réalisée par l'introduction d'une cédule d'ouverture et de fermeture des COS basée sur 2 périodes d'ouverture consécutives suivies de 6 périodes de fermeture consécutives, tel que préconisé par le MRNF (Bouchard *et al.*, 2010). Elle concerne seulement les COS standards, à l'exception des 21 COS qui ne respectent pas les seuils énoncés précédemment et qui sont, par conséquent, maintenus fermés.

Par ailleurs, la nuance entre les différents scénarios AMEC est introduite au niveau du volume de coupe partielle à réaliser par rapport au scénario RNI (Tableau 2.7). Notez qu'il s'agit de cibles imposées à Woodstock lors des optimisations. Étant donné que les scénarios AMEC intègrent des contraintes spatiales au niveau des COS pour le déploiement des coupes (Tableau 2.5), les résultats du niveau de coupe partielle réalisé par Woodstock lors de l'optimisation sont différents des niveaux cibles (Tableau 2.7). Le niveau quinquennal de coupe partielle de référence est celui du scénario RNI, inscrit au PGAF 2008-2013 et qui prévoit des cibles de 1887 ha/5ans pour les éclaircies commerciales et de 263 ha/5ans pour les coupes progressives d'ensemencement (pour un total de 2150 ha de coupe partielle par période quinquennale).

Tableau 2.7 : Niveau de coupe partielle cible et réalisé lors des simulations pour chacun des scénarios

Scénarios	Niveau de coupe partielle cible (ha par 5 ans)	Niveau de coupe partielle réalisé (ha par 5 ans)	Écart niveau de coupe partielle réalisé vs RNI
RNI	2150	1377	
AMEC 01	Égal à celui du RNI	1707	+ 24 %
AMEC 02	2 fois celui du RNI	3220	+ 134 %
AMEC 03	Pas de contraintes	5179	+ 276 %

Ces différentes approches permettront de confirmer ou d'infirmier nos trois hypothèses de recherche. D'abord, l'influence de l'ajout de contraintes spatiales au niveau des COS pourra être observée en comparant les résultats de possibilité des scénarios RNI et AMEC01 (car ceux-ci ont pour cible de réaliser le même niveau de coupe partielle). Ensuite, l'effet de l'augmentation de l'usage de la coupe partielle sur les coûts d'exploitation et les revenus des bois pourra être observé en comparant les résultats des trois scénarios AMEC entre eux. Enfin, nous pourrons identifier lequel des scénarios AMEC présente la meilleure rentabilité par rapport au scénario RNI.

Enfin, tel que recommandé par la BFEC pour la réalisation du PGAF 2008-2013 pour l'UAF 85-51, chaque scénario doit cibler un rendement soutenu pour les principaux groupes d'essences de l'UAF (SEPM [Sapin Épicéa Pin Mélèze], BOP [Bouleau à Papier] et PEP [Peuplier Faux Tremble]). Cela signifie que Woodstock doit essayer, autant que possible, de prévoir un volume quinquennal de récolte stable pour ces groupes d'essences. Pour les scénarios AMEC01 et AMEC02, nous avons dû supprimer cette contrainte pour le BOP car sinon Woodstock n'était pas capable de calculer une solution optimale (il aboutissait à un résultat inconnu à cause d'un trop grand nombre d'itérations). Cela est dû au fait que les peuplements de BOP sont relativement rares dans l'UAF 85-51 (essentiellement situés dans la petite zone de la sapinière à boulot blanc au Sud-Est de l'UAF). Ainsi, AMEC01 et AMEC02 étant limités dans le volume de coupe partielle réalisable, il ne leur était pas possible d'assurer un rendement soutenu pour le BOP.

2.4.4 Réponses stratégiques des scénarios AMEC aux enjeux et objectifs d'aménagement écosystémique définis pour l'UAF 85-51

Les contraintes des scénarios AMEC simulés pour cette recherche sont issues des stratégies développées par Belleau et Légaré (2008) pour la période 2008-2013, dans le cadre du projet pilote d'aménagement écosystémique réalisé sur l'UAF 85-51. Ces travaux ont permis de dresser un portrait du paysage préindustriel de l'UAF puis de le comparer à l'état actuel de la forêt. Le tableau 2.8 présente les enjeux et principaux objectifs d'aménagement définis par Belleau et Légaré (2008) ainsi que la réponse stratégique proposée dans les scénarios AMEC détaillés précédemment.

Tableau 2.8 : Réponses stratégiques des scénarios AMEC aux enjeux et objectifs d'aménagement définis pour l'UAF 85-51 (adapté de Belleau et Légaré (2008) et de Tembec (2009))

Enjeux	Objectifs	Cibles stratégiques*
Le maintien de vieilles forêts.	Maintenir de 28,1% à 38% de vieilles forêts (FSC, 2004) Viser des proportions de cohortes établies selon un cycle de feu de 150 ans (cohorte 1 : 62%; cohorte 2 : 21%, cohorte 3 : 17%) (Nguyen-Xuan, 2002)	Maintien d'un minimum de 30% de vieilles forêts par UTA.
L'amélioration du patron de dispersion des aires perturbées par la coupe.	À long terme, recréer le patron de répartition naturelle des aires en régénération comme l'ont proposé Belleau et al (2007)	Segmentation du territoire en COS.
La rétention d'éléments structuraux dans les aires de coupe.	Maintenir 10 à 50% de forêt résiduelle par agglomération de coupe sur l'ensemble de la révolution forestière.	Seuils minimums de forêts de 7m et plus et de forêts matures à respecter dans les COS STA, AME et GHE.
Le maintien des Forêts à Haute Valeur de Conservation ²⁷ (FHVC).	Assurer le maintien des valeurs de conservation (aires protégées, espèces fauniques, habitats essentiels, écosystèmes forestiers exceptionnels, ...)	COS GHE ET APR.
La protection des milieux riverains.	Limiter l'apport de sédiments dans les cours d'eau et la perte d'habitat aquatique par le maintien en tout temps d'une bande riveraine de 20m le long des cours d'eau permanents (RNI).	9,1% de la superficie du territoire exclue pour bandes riveraines et chemins (Tableau 2.1).
Le maintien d'espèces fauniques.	Maintenir l'habitat et assurer le renouvellement dans le temps du caribou forestier pour la partie Nord de l'UAF et de la martre d'Amérique pour la partie Sud.	Pas pris en compte pour le moment. Il pourra l'être par exclusion de la superficie du territoire des habitats des deux espèces. ²⁸

* Notez qu'il ne s'agit là que de réponses stratégiques partielles.

²⁷ Le rapport public de définition et d'évaluation de la présence d'FHVC sur l'UAF85-51 est disponible sur demande sur le site internet de Tembec : <http://www.tembec-grf-quebec.com/siteIms/ecosystemique.html>

²⁸ Le rapport de suivi des impacts environnementaux, sociaux et économiques de l'aménagement forestier pour les UAF 085-51 et -85-62 est disponible sur demande sur le site internet de Tembec : <http://www.tembec-grf-quebec.com/siteIms/ecosystemique.html>

2.4.5 Modélisation de la croissance

2.4.5.1 Modélisation de la croissance résiduelle après coupe partielle

Pour cette analyse, la croissance naturelle des peuplements ainsi que la croissance après CPRS (systèmes équiennes) de l'ensemble des scénarios ont donc été simulées à partir des modèles de croissance en volume créés par le MRNF et utilisés par le bureau du forestier en chef pour le calcul de possibilité pour la période 2008-2013 (Côté *et al.*, 2012c). La figure 2.6 montre la méthode utilisée pour modéliser l'impact des différents types de coupes partielles sur la croissance en volume des peuplements (nécessaires pour les systèmes inéquiennes). Notez qu'il s'agit d'un exemple avec les valeurs d'une strate donnée.

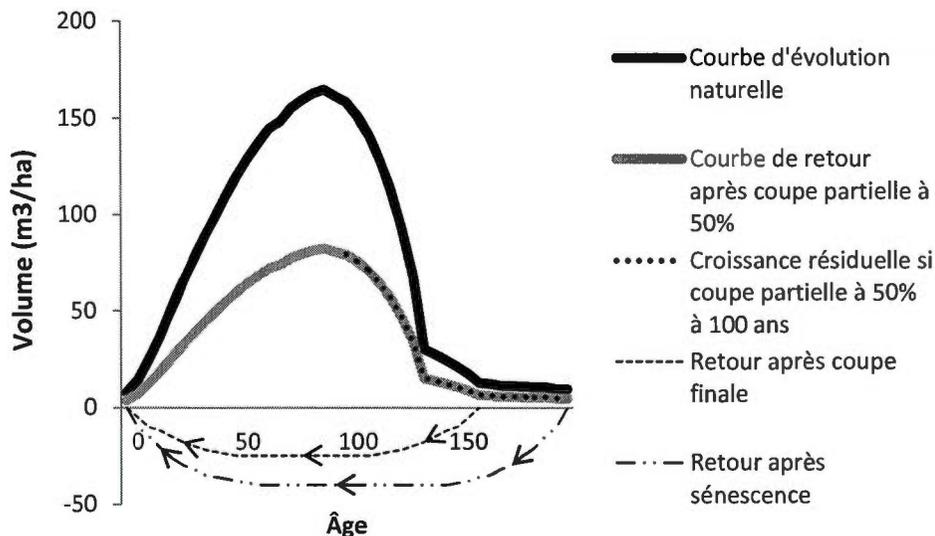


Figure 2.6 : Méthode de modélisation de la croissance résiduelle d'une strate après coupe partielle puis coupe totale ou sénescence

Avec cette méthode, la croissance résiduelle après coupe partielle suit le profil de la courbe de croissance naturelle de la strate mais avec une réduction du volume correspondant au pourcentage de prélèvement (dans l'exemple de la figure 2.6, ce pourcentage est fixé à 50%). Notez que la croissance résiduelle après coupe partielle a été modélisée de manière identique pour les différents types de coupe, la distinction étant introduite par les hypothèses de pourcentage de prélèvement et les critères d'éligibilité des strates (Tableau 2.4). En outre, cette méthode de modélisation des coupes partielles ne concerne que les éclaircies commerciales et les coupes progressives d'ensemencement dans la mesure où le taux de

prélèvement du volume marchand en éclaircie pré-commerciale (EPC) est nul. Ainsi, dans le cas d'une EPC, le volume marchand après coupe est le même que celui d'une strate naturelle non éclaircie (Côté *et al.*, 2012c).

2.4.5.2 Modélisation de la croissance en diamètre

Les courbes de croissance en volume par strate actuellement utilisées par le MRNF et les compagnies forestières pour l'optimisation de plans d'aménagement fournissent l'évolution d'un certain nombre de données selon l'espèce, l'Indice de Qualité de Station (IQS) et l'Indice de Densité Relative (IDR_{100}), telles que le volume, le diamètre moyen, la hauteur dominante ou le nombre de tiges à l'hectare (Figure 2.7). Lors de la création originale de ces courbes afin de réaliser les calculs précédents de possibilité forestière, les données relatives à la croissance en diamètre n'ont cependant pas été conservées car elles ne présentaient pas d'intérêt particulier à ce moment-là (les modèles sont prévus au départ pour déterminer la possibilité forestière en volume, sans inclure d'analyse économique (MRNF, 2004) (Figure 2.7).

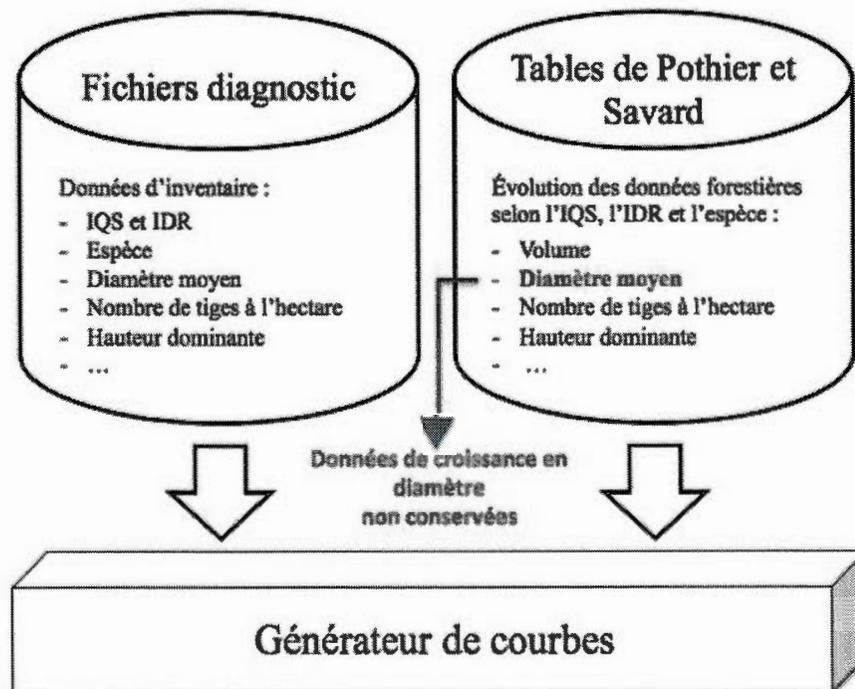


Figure 2.7 : Schéma simplifié des sources des données utilisées pour créer les courbes de croissance en volume nécessaires au calcul de possibilité forestière au Québec

Par conséquent, les plans d'aménagement actuellement développés par Tembec et que nous utilisons comme base pour la présente étude fournissent des résultats uniquement en volume de bois potentiellement récoltable. Il a donc été nécessaire de récupérer dans les tables Pothier et Savard (1998) les données relatives à l'évolution du diamètre moyen correspondant pour chacune des courbes de croissance en volume utilisées dans nos modèles, afin d'associer ensuite à chaque classe de diamètre de bois récolté un prix d'achat entrée d'usine par type d'essence. Une telle opération est possible car lorsqu'elles ont été créées, les strates ont été nommées avec un système d'appellation représentative, intégrant les valeurs d'attribut de la strate (Côté *et al.*, 2012a). Cela signifie que chaque nom de strate permet de retrouver la table de Pothier et Savard (1998) originale sur la base de laquelle elle a été créée. En collaboration avec la firme Stavibel et Grégory Paradis, un script en code Python²⁹ qui compile les données issues des tables de Pothier et Savard (1998) a été développé afin d'extraire le diamètre moyen par période quinquennale correspondant à chacune des 1700 courbes de croissance en volume.

2.5 Structure des coûts et revenus

2.5.1 Coûts

La structure de l'ensemble des coûts relatifs à la récolte et au transport du bois a été déterminée sur la base d'une analyse de coûts réalisée par Tembec en 2007 sur l'UAF 85-51. À l'époque, ces travaux avaient été menés dans le respect des exigences de la Règlementation sur les Normes d'intervention qui n'intégraient pas de contraintes écosystémiques. L'organisation et l'optimisation spatiale des coupes forestières n'étaient alors pas encore réalisées selon une approche par COS mais à une échelle plus fine, selon une segmentation de l'UAF par chantier (Figure 2.8). Par conséquent, les résultats de l'analyse de coûts de Tembec originale sont exprimés par chantier, en dollar par mètre cube de bois ($\$/m^3$). L'ensemble des coûts ont été déterminés par COS (en $\$/m^3$), afin d'en déduire les flux monétaires selon les volumes simulés (Tableau 2.9).

²⁹ Les détails du code et de son utilisation sont expliqués dans le document « Integrating harvest cost estimation into Woodstock », disponible sur demande auprès de nos collaborateurs chez Stavibel.

Tableau 2.9 : Synthèse des coûts pris en considération pour l'analyse de rentabilité des plans d'aménagement (en \$/m³)

CHEMINS (section 2,1,1,1)	Construction des chemins	Zone Sud : de 0,17 à 3,05 Zone Nord : de 0,00 à 3,18
	Entretien des chemins	De 0,22 à 6,33
RÉCOLTE (section 2,1,1,1)	Abattage et débardage CPRS	19,24
	Abattage et débardage CP	24,24
TRANSPORT (section 2,1,1,1)	Déplacement de la machinerie	0,194
	Chargement du bois	De 1,64 à 1,67
	Transport du bois	De 7,16 à 20,51
AUTRES COÛTS (section 2,1,1,1)	Camps forestiers	0,86
	Droits de coupe	De 4,38 à 14,70
	Frais de CAAF	1,92
	Coûts indirects	3,94

La somme de l'ensemble de ces coûts donne le coût global d'exploitation par COS qui a été pris en compte pour la détermination des flux de trésorerie et le calcul de rentabilité de chacun des scénarios.

2.5.1.1 Répartition des chantiers par COS

Le découpage de l'UAF 85-51 en Compartiments d'Organisation Spatiale (COS) (Légaré *et al.*, 2010) représente une segmentation à plus grande échelle que celle des chantiers. Certains coûts de la présente analyse étant exprimés à l'échelle des chantiers, il a été nécessaire d'exprimer la proportion de chantiers présents dans chacun des COS à l'aide de l'outil ArcGIS 10,1 (Figure 2.8). Le poids de chacun des chantiers par COS a été déterminé selon la part du volume net exploitable de bois du chantier dans le volume net exploitable total du COS (le détail des résultats est disponible à l'annexe A).

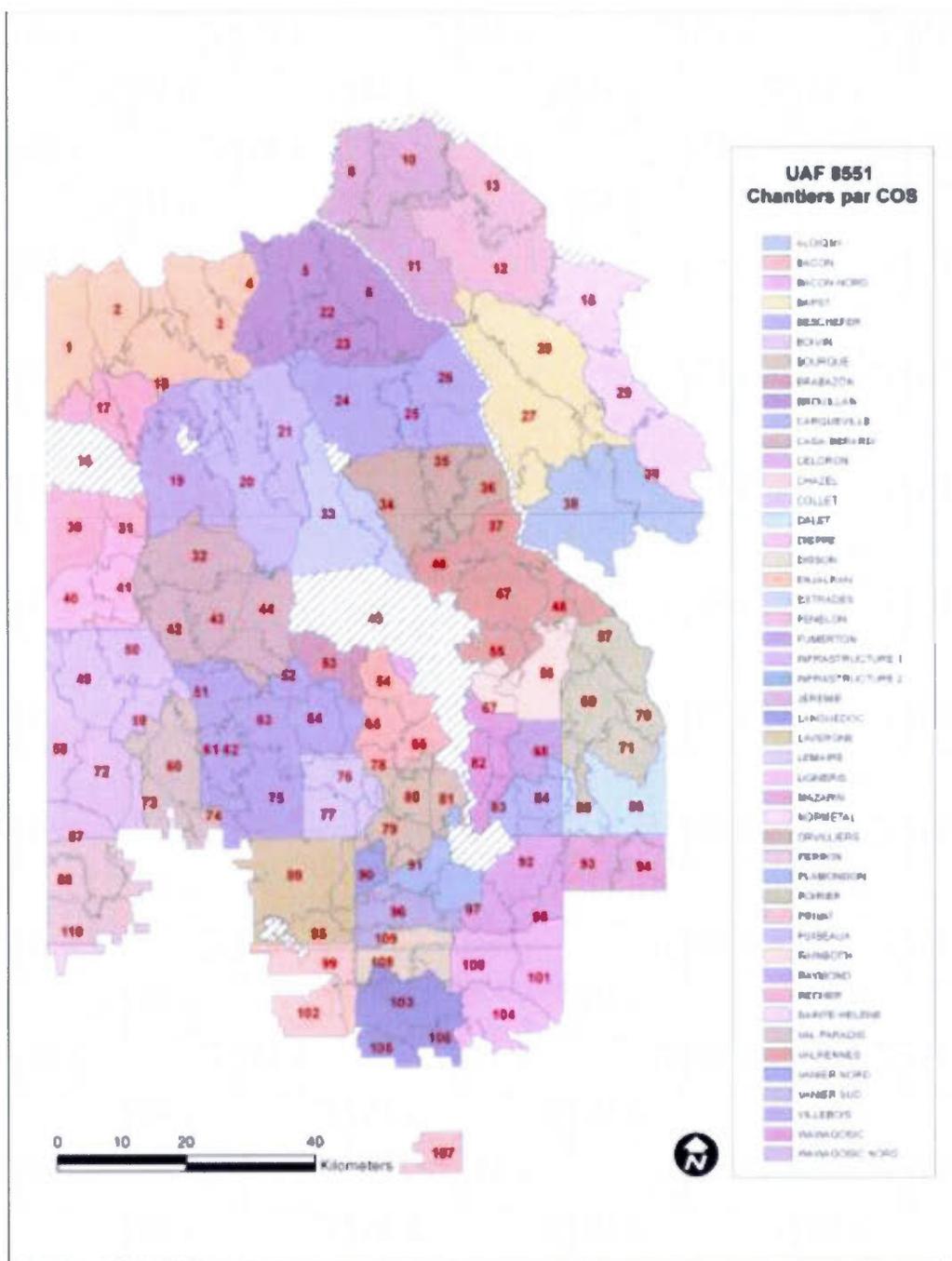


Figure 2.8 : Répartition des chantiers de récolte par COS sur l'UAF 85-51

2.5.1.2 Coûts des chemins

Les coûts de construction de chemins sont définis à l'échelle du COS. Les données cartographiques de chemins utilisées pour cette étude ont été fournies par Tembec (leur couche de chemins forestiers déployés est mise à jour annuellement, lors de la réalisation des Rapports Annuels d'Intervention Forestière (RAIF)). La moitié Sud de l'UAF 8551 étant située à proximité de plusieurs villes, elle est accessible par deux axes routiers pénétrants en direction du Nord : la route des Conquérants menant à Villebois ainsi que la route d'Authier Nord menant à Joutel (Figure 2.9). De plus, une partie du réseau de chemins forestiers est déjà déployée car l'UAF est exploitée depuis plusieurs décennies (Figure 2.9).

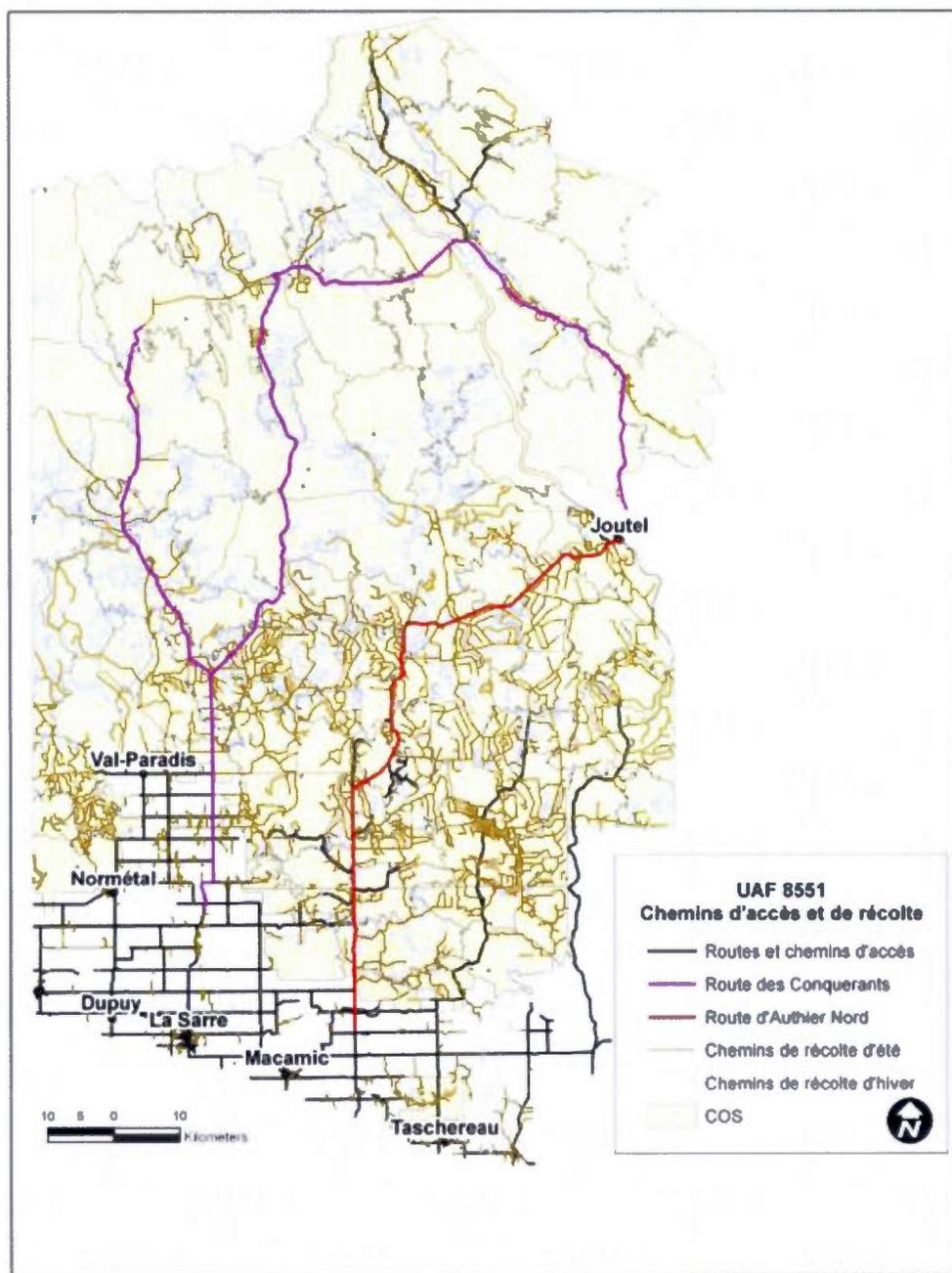


Figure 2.9 : Chemins forestiers d'accès et de récolte sur l'UAF 85-51

On peut ainsi constater que l'ensemble des chemins d'accès (comprenant les catégories « routes », « classe 1 » et « classes 2 ») est déjà créé et, pour la majorité des COS, tout ou partie des chemins de récolte (de classe 3, de classe 4 et les chemins d'hiver). Pour définir les coûts de création de chemins par COS, seuls les chemins de classe 3, de classe 4 et les chemins d'hiver restants à construire ont donc été pris en compte.

Étant donnée la taille de l'UAF (supérieure à 1 million d'hectares), l'horizon de simulation (150 ans) ainsi que les caractéristiques topographiques propres à chaque COS (par exemple la présence de relief ou de cours d'eau), le calcul de la quantité de chemins restants à déployer en cas de récolte a été réalisé en plusieurs étapes. Celles-ci sont résumées au tableau 2.10 et présentées en détail à l'annexe B.

Tableau 2.10 : Étapes du calcul de la quantité de chemins restants à déployer par COS en cas de récolte

Étapes	Opération
1	Calcul du ratio cible de km de chemin par km ² de forêt productive (densité de chemin par COS)
2	Identification du COS représentant le ratio de km de chemin par km ² le plus élevé (ratio cible de chemin)
3	Calcul du taux de chemins manquants par COS
4	Définition du coût moyen de construction de chemins en \$/m ³ de référence pour l'ensemble de l'UAF
5	Calcul du coût de construction de chemins par COS

Les résultats du calcul du coût de construction chemins pour chacun des COS sont présentés dans la figure 2.10.

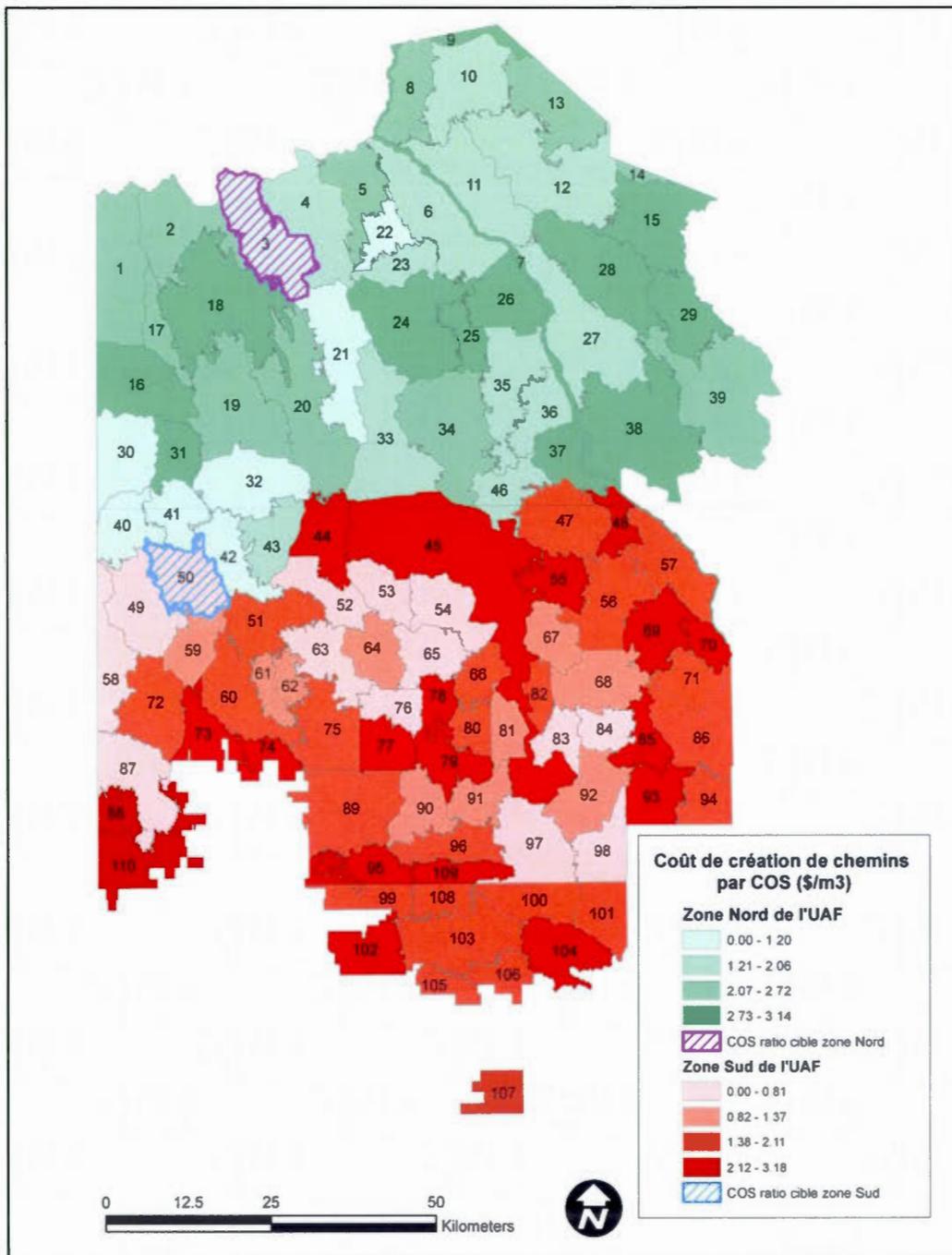


Figure 2.10 : Coût de création de chemins par COS et par zone de tarification du MRNF sur l'UAF 85-51 (\$/m³)

Le coût d'entretien des chemins a été considéré dès lors qu'une récolte est effectuée (chemins d'été comme chemins d'hiver). Pour la présente étude, le coût d'entretien de chemin pris en compte correspond à la moyenne du coût d'entretien de chemin d'été et d'hiver par tranche de 5 km (Communication personnelle, Osvaldo Valeria 2012). Le coût d'entretien moyen de chemin d'été et d'hiver par tronçon de 5 km s'étend de 0,22 \$/km à 6,33 \$/km, entre 5 km et 195 km.

2.5.1.3 Coûts de récolte

Les coûts de récolte en CPRS et en CP prennent en compte les coûts d'abattage et de débardage. Pour la présente étude, le Coût Moyen de Récolte en CPRS (CMR_{CPRS}) a été évalué à 19,24 \$/m³ (Communication personnelle, Osvaldo Valeria 2012). Pour les coupes partielles (Éclaircie Commerciale [EC] et Coupe Progressive d'Ensemencement [CPE]), la valeur moyenne de 24,24 \$/m³ a été utilisée (correspondant à un surcoût moyen de 5,00 \$/m³ par rapport à la CPRS) (Communication personnelle, Osvaldo Valeria 2012).

2.5.1.4 Coûts de transport

Les coûts de chargement étant exprimés en dollars par tonne métrique (\$/t.m.), ils ont été convertis en dollars par mètre cube (\$/m³), selon le facteur 1,022 m³/t.m (Communication personnelle, Osvaldo Valeria 2012).

2.5.1.4.1 Déplacement de la machinerie

Le coût d'utilisation d'un fardier pour le transport de la machinerie a été évalué à 0,190 \$/t.m, équivalent à 0,194\$/ m³ (Communication personnelle, Osvaldo Valeria 2012).

2.5.1.4.2 Chargement du bois

Le Coût de Chargement du Bois (CCB) a été estimé de la manière suivante (Communication personnelle, Osvaldo Valeria 2012) :

- CCB = 1,60 \$ / t.m. si la distance < 75 km, soit 1,64 \$/m³.
- CCB = 1,63 \$ / t.m. si la distance > 75 km, soit 1,67 \$/m³.

2.5.1.4.3 Transport du bois à l'usine

Le coût de transport du bois est évidemment dépendant de la distance parcourue mais également du type de revêtement des chemins (car cela a un impact sur la vitesse de déplacement du camion). Nous avons déterminé les coûts fixes de transport en \$/t.m en fonction de la catégorie de tronçon par chantier (Tableau 2.11) ainsi qu'un coût fixe attribué à l'attente pendant que le camion est en chargement (voir détails à l'Annexe D).

Tableau 2.11 : Types de chemins et catégories de tronçons utilisés pour accéder aux chantiers

Catégorie de chemin	Type de tronçon
Chemins d'accès	Asphalte (routes)
	Concassé (classe 1)
	Graviers deux voies (classe 2)
Chemins de récolte	Fourches (classe 3, classe 4 et chemins d'hiver)

Le détail des calculs est présenté à l'annexe C. Les résultats des coûts de transport du bois à l'usine par chantier sont présentés dans la figure 2.11 (détails disponibles à l'annexe D).

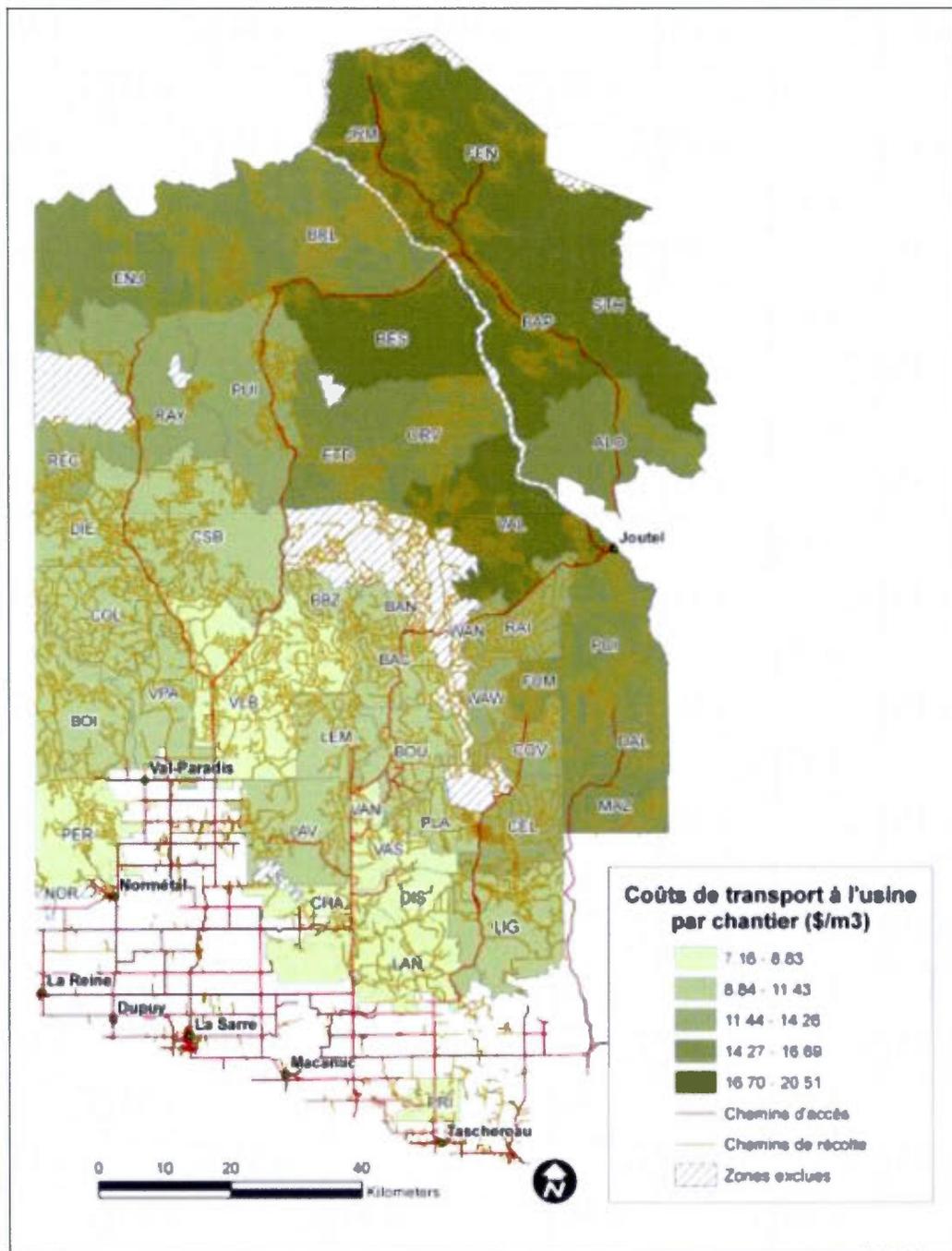


Figure 2.11 : Coûts de transport à l'usine par chantier sur l'UAF 85-51

2.5.1.4.4 Coût de transport global

La somme des coûts de déplacement de la machinerie ainsi que de chargement et de transport par COS constitue le coût de transport global (CTG) par COS :

$$CTG_{COS} = CDM_{COS} + CCB_{COS} + CTB_{COS}$$

La figure 2.12 présente les résultats du calcul du coût de transport global par COS.

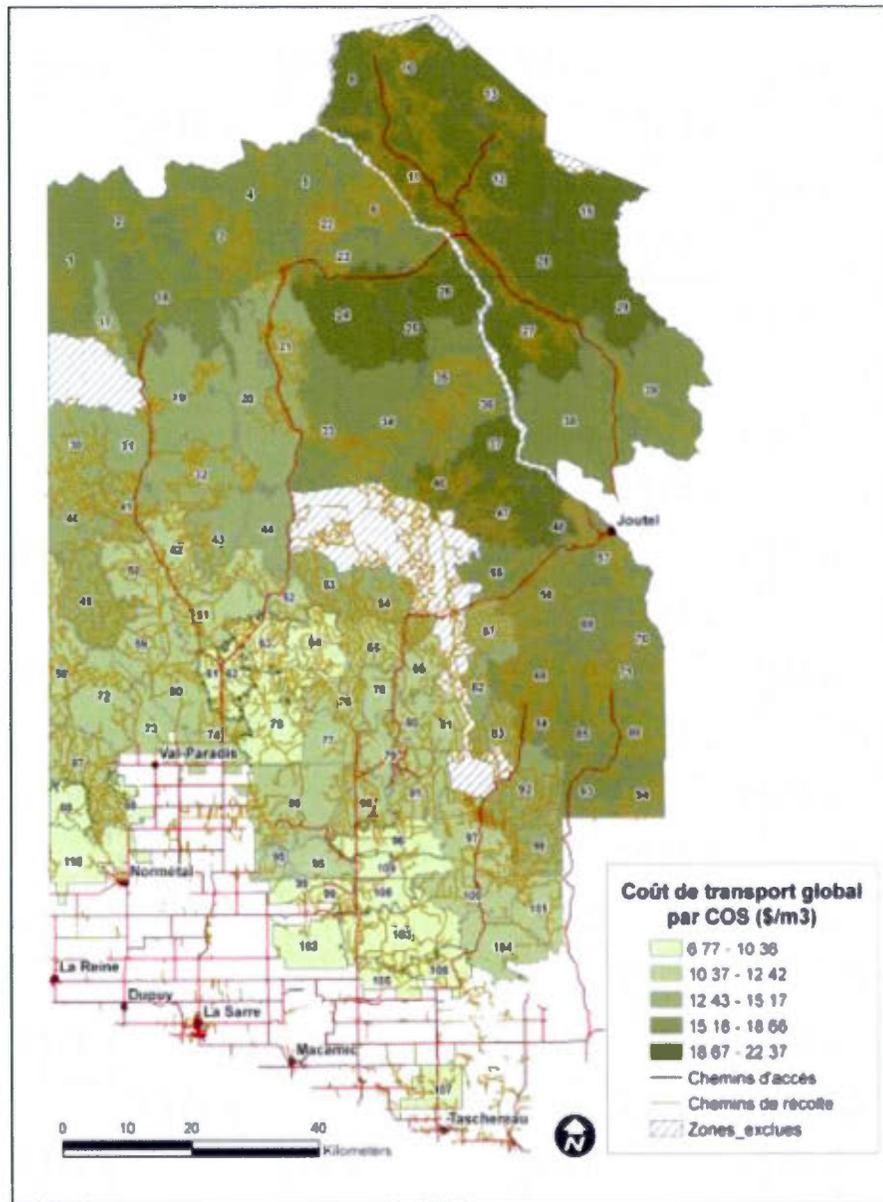


Figure 2.12 : Coût de transport global par COS sur l'UAF 85-51

2. 5.1.5 Autres coûts liés aux opérations forestières

2. 5.1.5.1 Camps forestiers

Les camps forestiers servent à l'hébergement des équipes de travailleurs lorsque les chantiers sont éloignés de l'usine. L'UAF 85-51 contient quatre camps dont un est encore actif (Wawagosic) et deux ont été clôturés après que les COS situés dans leur zone aient été exploités (Figure 2.13).

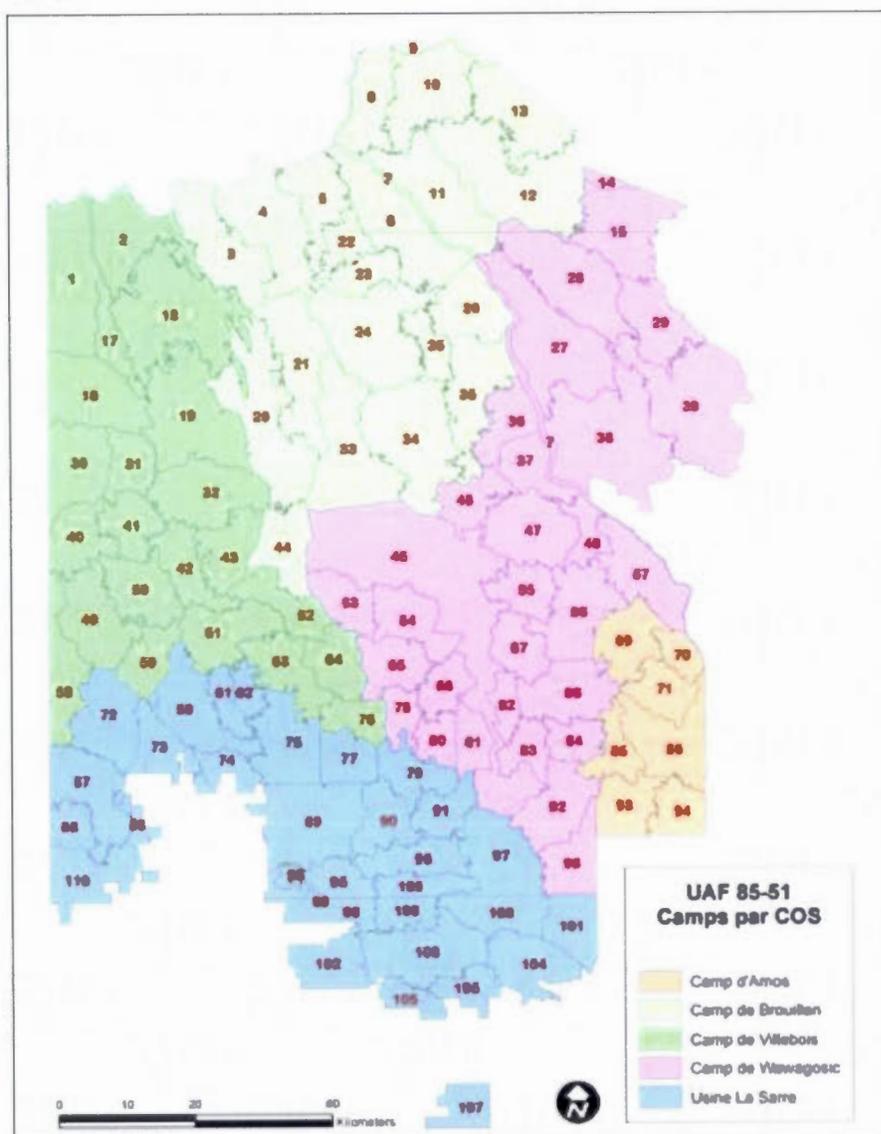


Figure 2.13 : COS desservis par des camps forestiers sur l'UAF 85-51

Des frais d'hébergement sont pris en compte seulement pour les COS situés dans une zone de couverture de l'un des camps. Un coût d'hébergement spécifique a été déterminé pour les personnes en charge de la récolte (CH_{Rec}), la supervision (CH_{Sup}) et le transport (CH_{Trans}). Le détail des hypothèses et des calculs est disponible à l'annexe E (Communication personnelle, Osvaldo Valeria 2012). La somme de ces trois coûts ($CH_{Rec} + CH_{Sup} + CH_{Trans}$), donne le coût d'hébergement global de 0,16 \$/m³ pour les COS nécessitant l'utilisation de camps forestiers.

2. 5.1.5.2 Droits de coupe

Les droits de coupe varient selon la localisation géographique et la qualité des bois. Pour ce qui est de la localisation géographique, le territoire forestier québécois est divisé en 187 zones de tarification différentes³⁰. L'UAF 85-51 est couverte par trois zones de tarification du MRNF (Figure 2.14).

³⁰ <http://www.mrnf.gouv.qc.ca/forets/entreprises/entreprises-tarification.jsp> Consulté le 26 avril 2012

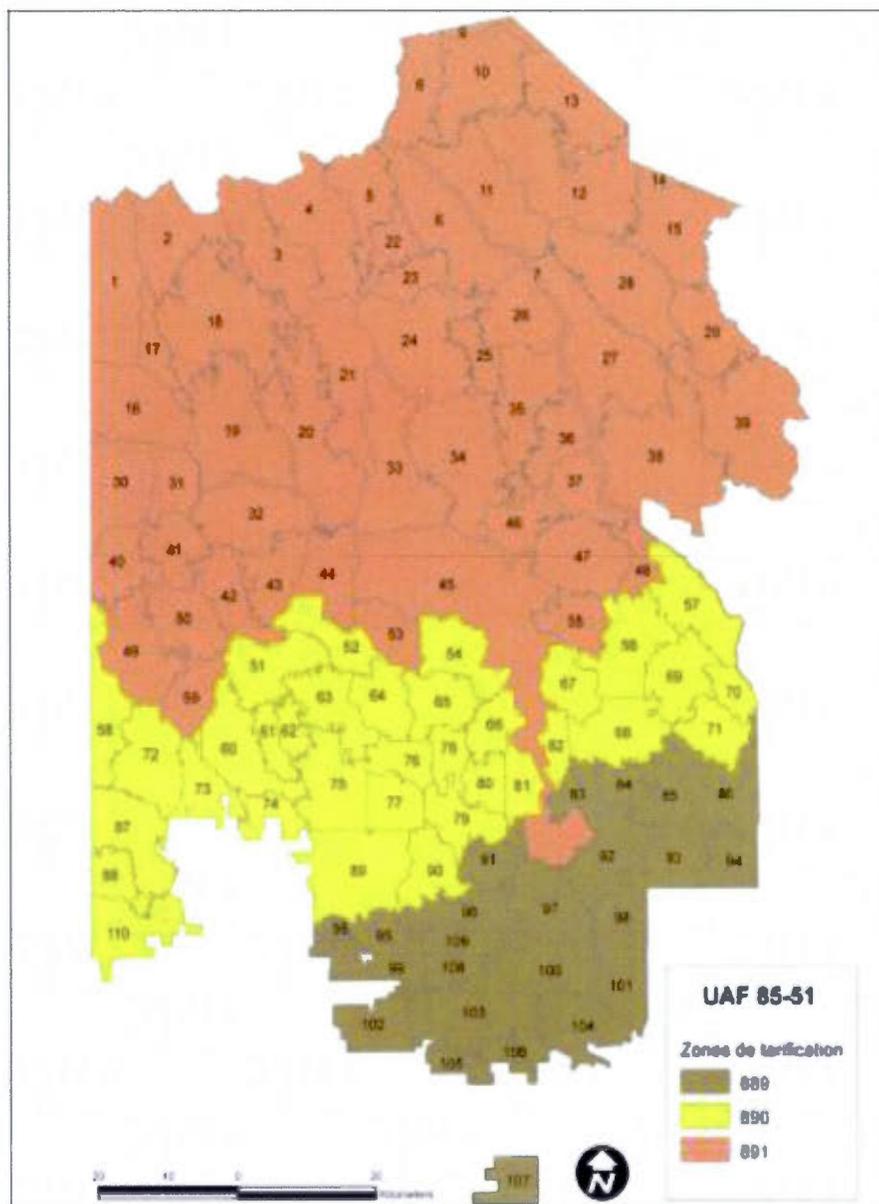


Figure 2.14 : Zones de tarification du MRNF par COS sur l'UAF 85-51

Pour la présente étude, seules les principales essences présentes sur l'UAF ont été prises en compte pour la détermination des droits de coupe par COS : SEPM (Sapin, Épinette, Pin, Mélèze), BOP (Bouleau à papier) et PET (Peuplier faux Tremble). La variation de la qualité des bois a été définie par COS, selon la proportion de sciages (B) et de pâtes (C) par type d'essence (sur la base des données d'inventaire du 3^{ème} décennal).

Le tableau 2.12 présente le montant des redevances pour ces trois groupes d'essences pour la période d'octobre à décembre 2011.

Tableau 2.12 : Valeur marchande des bois par zone de tarification, niveau de qualité et type d'essence (source : MRNF³¹)

Essences	Qualité	Valeur marchande par zone de tarification (\$/m ³)		
		889	890	891
SEPM	B	19,75	16,15	10,50
	C	13,30	10,30	3,65
BOP	C	0,25	0,25	0,25
PET	B	0,85	0,85	0,85

Le détail des calculs pour l'estimation des droits de coupe par COS est disponible à l'annexe F et les valeurs présentées dans la figure 2.15.

³¹ <http://www.mrn.gouv.qc.ca/forets/entreprises/entreprises-tarification.jsp>

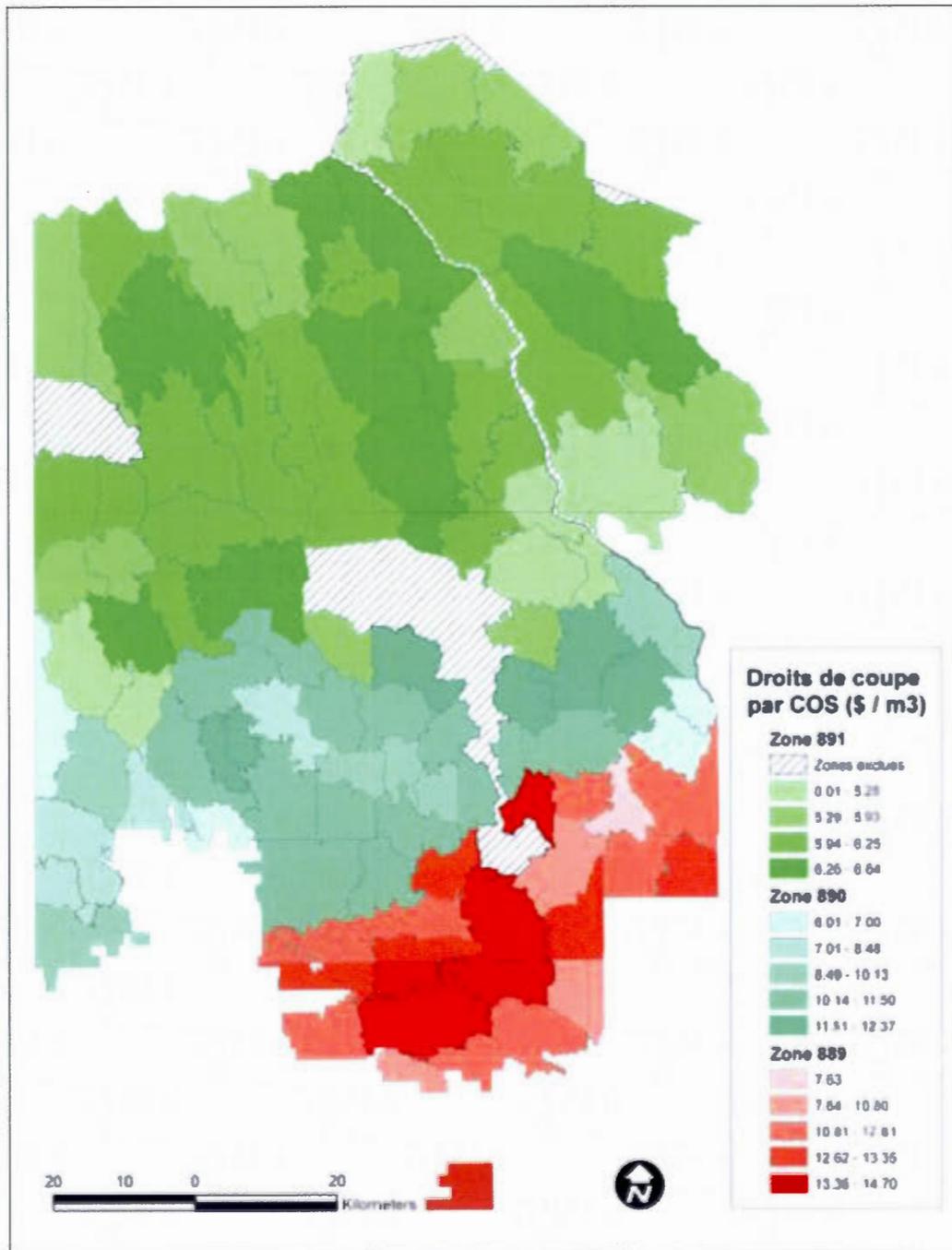


Figure 2.15 : Droits de coupe estimés par COS et par zones de tarification du MRNF pour l'UAF 85-51 (\$/m3)

2.5.1.5.3 Frais de CAAF

Les frais de CAAF sont composés des cotisations au Fonds forestier, à la Société de Protection des Forêts contre les Insectes et Maladies (SOPFIM) et à la Société de Protection des Forêts Contre le Feu (SOPFEU). Pour ses budgets 2011 – 2012, Tembec a prévu un taux de cotisation au Fonds forestier de 0,71 \$ /m³. Pour l'année 2011, le taux de cotisation de Tembec à la SOPFIM était de 0,1386 \$/m³ et celui à la SOPFEU était de 1,0714 \$/m³. Le tableau 2.13 présente le récapitulatif des frais de CAAF.

Tableau 2.13 : Récapitulatif des frais de CAAF pris en considération (en \$/m³)

Fonds forestier	0,7100
SOPFIM	0,1386
SOPFEU	1,0714
TOTAL	1,9200

2.5.1.6 Coûts indirects

Les coûts indirects comprennent l'ensemble des autres coûts reliés aux opérations forestières tels que l'amortissement des chemins, la sylviculture, la planification (incluant les frais d'inventaire), les frais généraux d'exploitation (incluant les frais de supervision, le coût d'entretien des camps), les frais d'administration, la dépréciation du capital ainsi que les relations avec les Premières Nations. Ce coût a été évalué à 3,94 \$/m³ (Communication personnelle, Osvaldo Valeria 2012).

2. 5.1.7 Coûts non pris en compte

2. 5.1.7.1 Crédits sylvicoles

Étant donné l'incertitude liée au maintien ou non des crédits sylvicoles à moyen et long terme, nous avons décidé de les exclure de la présente analyse.

2. 5.1.7.2 Construction des camps forestiers

Les camps ayant été créés préalablement à la réalisation de cette étude, leur coût de construction n'a pas été pris en compte.

2. 5.1.7.3 Coût de transformation des bois

Étant donné que cette étude traite de la rentabilité de plan d'aménagement forestier, l'analyse prend en compte les coûts et revenus depuis la forêt jusqu'à la cour de stockage de l'usine. Les coûts ainsi que les revenus liés à la transformation du bois ne sont donc pas considérés.

2. 5.1.8 Synthèse des coûts

Les coûts d'exploitation par COS dans le cas d'une récolte en CPRS sont présentés dans la figure 2.16 (l'ensemble des résultats sont disponibles à l'annexe G).

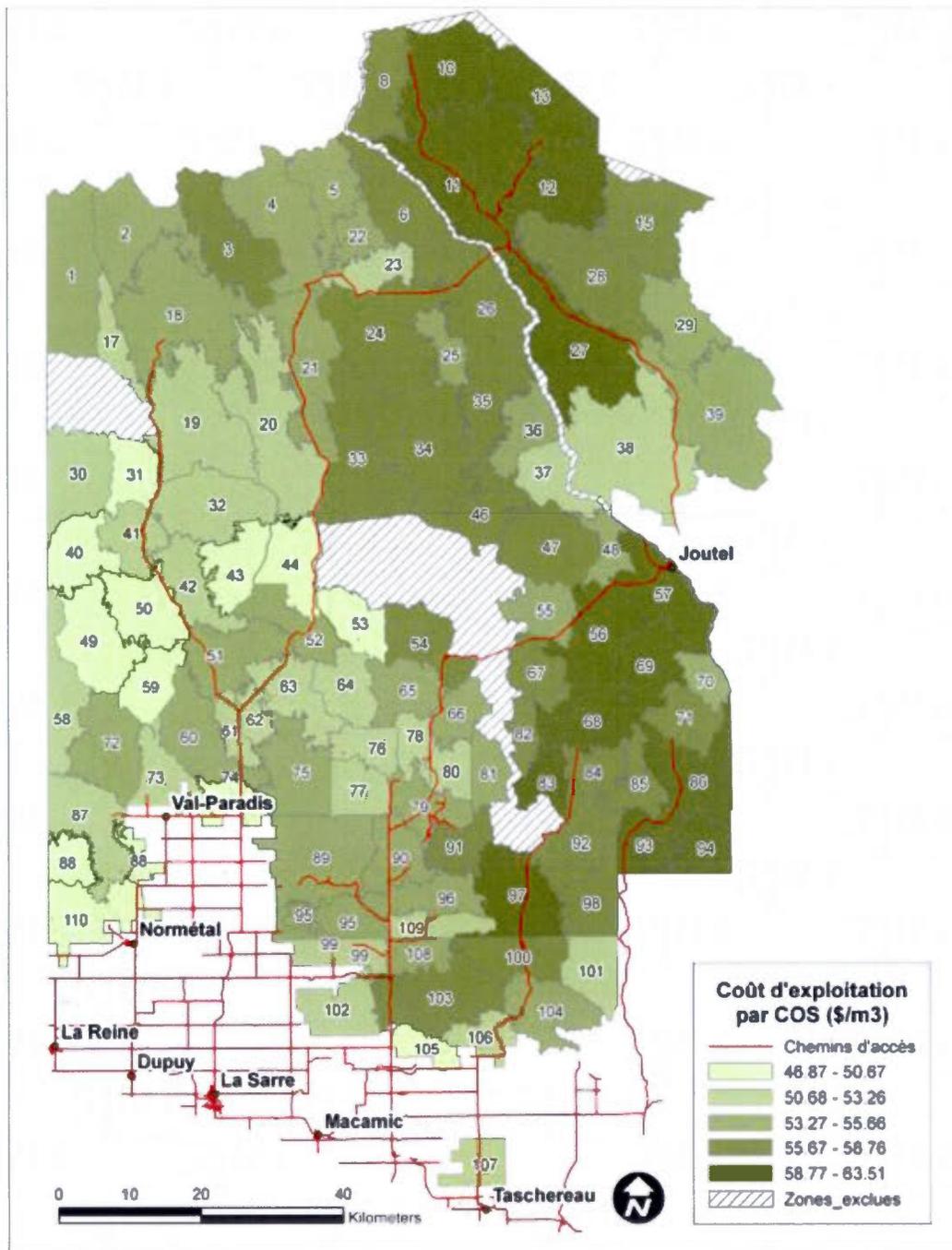


Figure 2.16 : Coûts d'exploitation par COS sur l'UAF 85-51

2. 5.1.9 Validation des valeurs d'intrants estimées pour les simulations

Nous avons vérifié la cohérence entre les coûts de transport du bois, les droits de coupe par COS et les coûts d'exploitation avec la distance COS-usine. Pour ce faire, nous avons tout d'abord réparti les éléments de coûts en trois catégories : les coûts fixes, les coûts variables indépendants de la distance COS-usine et les coûts variables dépendants de la distance COS-usine (Tableau 2.14). Puis, seuls les éléments de coûts variables dépendants de la distance COS-usine ont été pris en considération pour l'analyse de corrélation. Notez que les coûts de construction et les coûts d'entretien des chemins ont été considérés comme indépendants de la distance COS-usine car ceux-ci sont déterminés selon la quantité de chemins de récolte existants par COS (établie selon les activités de récolte réalisées précédemment).

Tableau 2.14 : Éléments de coût utilisés pour l'analyse de corrélation avec la distance des COS à l'usine

		Coût fixe	Coût variable	
			Dépendant de la distance COS-usine	Indépendant de la distance COS-usine
CHEMINS	Construction des chemins			X
	Entretien des chemins			X
RÉCOLTE	Abattage et débardage CPRS	X		
	Abattage et débardage CP	X		
TRANSPORT	Déplacement de la machinerie	X		
	Chargement du bois	X		
	Transport du bois		X	
AUTRES COÛTS	Camps forestiers	X		
	Droits de coupe		X	
	Frais de CAAF	X		
	Coûts indirects	X		

D'abord, la corrélation entre la distance du COS à l'usine et le coût de transport par COS (Tableau 2.15) nous a permis de valider nos intrants et confirmer que plus le COS est éloigné de l'usine, plus le coût de transport est élevé (Figure 1 à l'annexe H). Cela est dû au fait que les coûts de transport sont déterminés à partir des distances des COS à l'usine, entraînant une forte dépendance entre les deux variables.

Tableau 2.15 : Résultats de corrélation entre les coûts dépendants de la distance COS-usine et la distance COS-usine

Éléments de coût	Coefficient de corrélation linéaire avec la distance COS-usine
Coûts de transport	0,85
Droits de coupe	0,36
Coûts d'exploitation (incluant les droits de coupe)	0,27
Coûts d'exploitation (sans les droits de coupe)	0,78

Pour les droits de coupe en revanche, la corrélation avec la distance COS-usine (Tableau 2.15) s'est avérée beaucoup plus faible (Figure 2 à l'annexe H). Cela est dû au fait que les droits de coupe ne prennent pas seulement en compte la localisation (proximité de l'usine), mais également la qualité des bois sur pieds (selon les données d'inventaire), ainsi que l'évolution des prix sur les marchés des produits finis³². Cette analyse de régression n'ayant pas été concluante, nous avons opté pour une analyse plus générale, à l'échelle de la zone de tarification du MRNF, avec une approche par moyenne (Figure 2.17). Ainsi, si nos calculs sont cohérents, plus les COS sont éloignés de l'usine, plus les droits de coupe devraient être faibles (la distance à l'usine étant un des éléments déterminant dans la mesure où plus les bois sont situés à proximité de l'usine, plus le droit de coupe est élevé).

³² <http://www.mrnf.gouv.qc.ca/forets/entreprises/entreprises-tarification.jsp> Consulté le 17 mai 2012

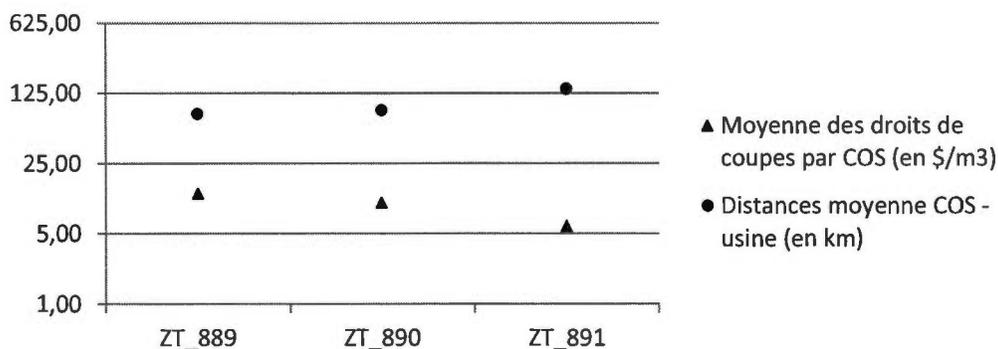


Figure 2.17 : Analyse de corrélation entre la distance moyenne des COS à l'usine et la moyenne des droits de coupes par COS

Notre analyse permet de montrer que la moyenne des droits de coupe par zone de tarification présente un gradient Nord-Sud et confirme la cohérence du calcul des droits de coupe avec les distances COS-usine.

Finalement, nous avons vérifié la corrélation entre les coûts globaux d'exploitation par COS et la distance COS-usine (en excluant toutefois les droits de coupe qui, tel qu'expliqué ci-dessus, ne sont pas uniquement déterminés par la distance du COS à l'usine mais aussi par d'autres critères comme la qualité des bois sur pieds) (voir figure 3 à l'annexe H). Le résultat de 0,78 présenté au tableau 2.15 montre que les coûts d'exploitation par COS sont cohérents avec la distance COS-usine. Cette forte corrélation est en grande partie expliquée par le fait que les coûts de transport représentent une part importante du coût d'exploitation et que la majorité des autres coûts sont fixes (à l'exception des coûts liés aux chemins). Si l'on inclut les droits de coupe, cette corrélation est beaucoup plus faible, la distance du COS à l'usine n'expliquant que 26,15 % de la variation des coûts d'exploitation (voir figure 4 à l'annexe H).

Comme il a été précisé au point précédent, les coûts de construction de chemins supplémentaires lors de la récolte ont été définis selon la quantité de chemins existants par COS. Afin de valider la cohérence de nos calculs, nous avons réalisé une analyse de corrélation entre le ratio de km de chemins de récolte existants par km² de forêt productive par COS et les coûts de construction de chemins (Figure 2.18).

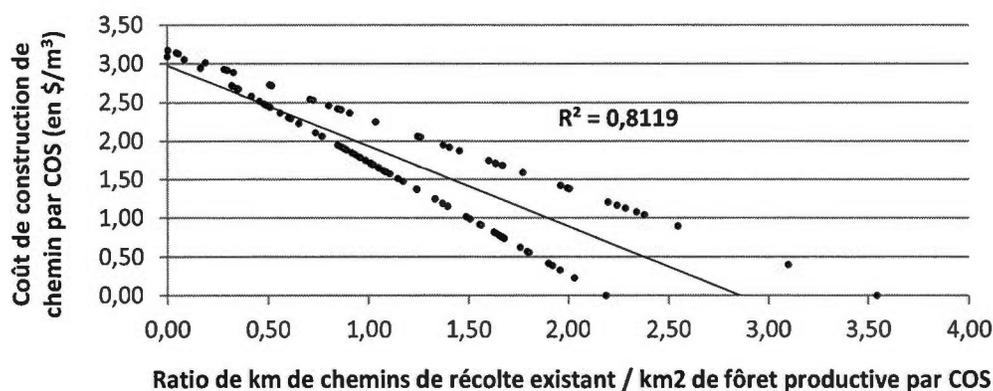


Figure 2.18 : Analyse de corrélation entre le ratio de km de chemins de récolte existant par km² de forêt productive par COS et le coût de construction de chemin par COS

On constate que les coûts de construction de chemins sont inversement corrélés avec la densité de chemins existants par COS. Autrement dit, moins le COS possède de km de chemins existants par km² de forêt productive, plus il y a de km de chemins à construire et plus le coût de création de chemin est élevé.

2.5.2 Revenus

La présente analyse ayant pour but de déterminer la rentabilité potentielle de scénarios d'aménagement, elle ne prend en compte que les revenus issus des activités forestières (prix d'achat des billes de bois entrée d'usine) et exclut ceux liés à la transformation. Or, les compagnies forestières étant le plus souvent verticalement intégrées, elles n'achètent pas réellement leurs billes à des forestiers récoltants mais réalisent elles-mêmes les activités de récolte puis de transformation. Les revenus potentiels considérés ici correspondent donc au prix d'achat entrée d'usine de l'ensemble des billes potentiellement récoltées dans chacun des scénarios.

En termes de prix d'achat entrée d'usine (valeur des billes livrées dans la cour à l'usine), l'unique donnée disponible était le prix moyen des billes entrée d'usine toutes essences et diamètres confondus. Pour l'année 2011, ce prix moyen de référence était de 60 \$/m³ (Communication personnelle, Osvaldo Valeria 2012). Or, l'utilisation de cette seule valeur est limitée pour la présente étude dans la mesure où nous cherchons à évaluer la

variation des revenus potentiels de chacun des scénarios selon les types de diamètres des billes récoltées. De plus, les produits du bois extraits des billes sont différents selon qu'il s'agisse d'essences résineuses (dans notre cas essentiellement du SEPM) ou feuillues (dans notre cas essentiellement du BOP et du PEP) (Barry *et al.*, 2009 ; Bowyer *et al.*, 2003).

2.5.2.1 Prix d'achat entrée d'usine pour les billes résineuses

Pour les essences résineuse, un prix d'achat moyen de 60 \$/m³ à l'entrée d'usine par type de diamètre a été utilisé.

2.5.2.1.1 Type de produit débité par classe de diamètre

Étant donné que notre analyse est réalisée à long terme et à l'échelle d'une UAF, nous avons décidé de rassembler les différents diamètres en trois classes, afin de simplifier nos calculs de prix. Pour ce faire, nous avons déterminé le principal type de produit débité pour chaque diamètre, sur la base d'une analyse du patron de débitage par type de diamètre réalisé par Tembec en 1996 pour son usine de La Sarre. Trois classes de diamètres ont été retenues (Tableau 2.16).

Tableau 2.16 : Principal type de produit de sciage débité et prix d'achat moyen entrée d'usine par classe de diamètre (en \$/m³)

Classes de diamètre	Type de produit principalement débité	Prix d'achat moyen entrée d'usine (\$/m ³)
12 et -	2 x 3	47,91
12 à 20	2 x 6	60,00
20 et +	2 x 8	67,51

Notez que le patron de débitage est spécifique à chaque usine, selon l'outil de sciage qu'elle utilise. Ainsi, selon le niveau de précision et de technicité de l'outil utilisé, il est possible, à partir d'une même bille, d'obtenir des produits différents (Barry *et al.*, 2009). Par ailleurs, étant donné que la majorité des essences commerciales de l'UAF sont de type résineux, seuls les sciages résineux de type bois d'œuvre (incluant les bois de charpente et les colombages), ont été pris en considération pour la détermination du principal produit débité par classe de diamètre. Enfin, les résidus des opérations de sciages (i.e copeaux, sciures et planures), n'ont

pas été pris en compte dans la mesure où leur valeur unitaire à la vente est la même, quel que soit le diamètre de la bille débitée (respectivement de 100 \$/Tonne de Masse Anhydre [TMA] pour les copeaux et de 15 \$/TMA pour les sciures et planures³³).

2.5.2.1.2 Prix d'achat entrée d'usine

Afin de déterminer le prix moyen d'achat des billes entrée d'usine selon la classe diamètre, nous avons décidé d'appliquer au prix d'achat moyen de 60 \$/m³ la même variation que celle existant entre les prix de vente sortie d'usine des principaux produits débités par classe de diamètre (Tableau 2.16) (voir détails à l'annexe H). Notez que nous avons choisi comme prix de vente sortie d'usine de référence pour le calcul de variation celui du 2 x 6 dans la mesure où ce produit est la dimension la plus vendue.

2.5.2.2 Prix d'achat entrée d'usine pour les billes feuillues

Nous avons estimé le prix d'achat entrée d'usine pour les billes feuillues en nous basant sur les données de référence utilisées par le MRNF pour déterminer la valeur des droits de coupes pour l'UAF 85-51. Le MRNF a obtenu ces données de prix en réalisant un sondage auprès des entreprises forestières situées sur le territoire de l'UAF concernée. En ce qui concerne l'UAF 85-51, le prix d'achat moyen entrée d'usine des billes de bois feuillues estimé par le MRNF est de l'ordre de 40 \$/m³³⁴. Ce prix est nécessairement plus faible par ce que les produits issus des billes de feuillues (essentiellement des panneaux) ont une valeur marchande moins élevée que celle des produits issus des billes de résineux (essentiellement des bois de structure).

³³ Ces prix ont été fournis par Tembec.

³⁴ Le détail des résultats de sondage réalisé par le MRNF auprès des entreprises forestières pour l'UAF 85-51 est disponible sur demande au bureau régional du MRNF en Abitibi-Témiscamingue situé à Rouyn-Noranda.

2.5.2.3 Synthèse des revenus

Le tableau 2.17 présente une synthèse des prix d'achats par classe de diamètre utilisés pour les billes feuillues et résineuse.

Tableau 2.17 : Synthèse des **prix d'achat** par essence et par classe de diamètre (\$/m³)

Essence	Prix d'achat par classe de diamètre (en \$/m ³)		
	12 et -	12 à 20	20 et +
Résineux (SEPM)	47,91	60,00	67,51
Feuillus (PEP et BOP)	40,00	40,00	40,00

2.6 Calcul de la Valeur Actualisée Nette (VAN)

2.6.1 Horizon de simulation et période d'analyse de rentabilité

La présente analyse de rentabilité est basée sur l'estimation du volume potentiellement récoltable ainsi que des flux financiers associés (coûts et revenus) de différents scénarios sylvicoles à l'aide de l'application Woodstock sur un horizon de 150 ans. Or, cet outil de simulation est paramétré de telle sorte que les scénarios sont optimisés à l'échelle quinquennale et non annuelle, la période de temps unitaire utilisée pour l'ensemble des calculs correspondant à la durée d'un plan quinquennal d'aménagement. Les extraits générés par l'outil Woodstock sont donc des volumes potentiellement récoltables ainsi que des coûts et revenus par période de 5 ans (30 périodes sur 150 ans).

2.6.2 Choix du taux d'actualisation

Tel que préconisé par la littérature, une analyse de rentabilité de projets d'investissement à long terme requiert l'utilisation d'un taux d'actualisation dégressif car le projet étudié impacte plusieurs générations. Pour notre analyse, nous avons utilisé une approche selon le point de vue de l'État et par conséquent retenu un taux d'actualisation réel dégonflé de l'inflation de 4% pour les 30 premières années puis un taux dégressif vers 1% à l'horizon de 150 ans (Tableau 2.18). Les taux d'actualisation quinquennaux ont été définis en combinant les taux d'actualisation annuels (Tableau 2.18), selon la méthode du coefficient multiplicateur (voir détails à l'annexe I).

Tableau 2.18 : Taux d'actualisation annuel et quinquennal dégressif sur 150 ans (adapté de Moore *et al.* 2011)

Années	Taux d'actualisation annuel (%)	Taux d'actualisation quinquennal (%)
0 à 30 ans	4	21,67
31 à 80 ans	3	15,93
81 à 130 ans	2	10,41
130 ans à 150 ans	1	5,10

2.6.3 Analyse de risque avec une approche multi-scénarios

Pour la présente étude, nous portons l'analyse de risque au niveau d'un seul critère (le taux d'actualisation). Nous avons donc opté pour la méthode par scénarios, les méthodes d'analyse de sensibilité et par simulation nécessitant de considérer d'autres variables comme les différentes composantes de coûts et de revenus d'exploitation. Nous avons ainsi défini cinq situations différentes appliquées à chacun des scénarios RNI et AMEC, du plus pessimiste au plus optimiste, selon cinq taux d'actualisations de base, tous dégressifs à partir de 30 ans (Tableau 2.19). Notez que les situations optimistes favorisent les gains à court terme (approche favorisant le point de vue de l'efficacité économique) alors que les situations pessimistes favorisent les gains pour les générations futures (approche favorisant l'approche de l'équité intergénérationnelle).

Tableau 2.19 : Taux d'actualisation annuels dégressifs variables sur 150 ans pour analyse de risque

Années	Taux d'actualisation annuels par approche (%)*				
	Très pessimiste	Pessimiste	Moyenne	Optimiste	Très optimiste
0 à 30 ans	6	5	4	3	2
31 à 80 ans	5	4	3	2	1
81 à 130 ans	4	3	2	1	0,5
130 ans à 150 ans	3	2	1	0	0

* Le détail des taux d'actualisation quinquennaux correspondants est présenté à l'annexe I.

CHAPITRE III

RÉSULTATS ET ANALYSES

3.1 Résultats en volumes et superficies récoltés

3.1.1 Résultats de possibilité forestière et de coupe partielle par scénario

Les 4 scénarios (RNI, AMEC01, AMEC02 et AMEC03), ont été optimisés sur 150 ans à l'aide de l'outil Woodstock. On constate tout d'abord une baisse du niveau de possibilité forestière pour les scénarios AMEC par rapport à celui du scénario RNI (entre -8,6 et -16,35%) (Tableau 3.1). Cela est lié au fait que l'ajout de contraintes au niveau des COS (approche écosystémique) restreint la surface globale de l'UAF éligible à la coupe forestière.

Tableau 3.1 : Possibilité forestière et proportion des différents types de coupes réalisées par scénarios

Scénario	Possibilité forestière (m ³ /5ans)	Écart de possibilité vs RNI	CPRS	EC	CPE
RNI	3 673 000		98,04 %	1,47 %	0,49 %
AMEC01	3 072 433	-16,35 %	96,77 %	1,50 %	1,73 %
AMEC02	3 234 280	-11,94 %	94,37 %	2,56 %	3,07 %
AMEC03	3 357 148	-8,60 %	91,12 %	3,39 %	5,49 %

De plus, l'approche écosystémique entraîne une plus grande part des coupes partielles dans le total des coupes (Tableau 3.1), ce qui peut induire un volume de coupe plus faible compte tenu du fait que pour une surface donnée, le volume récolté en coupe partielle est moins important que celui en CPRS. Et il n'est, par ailleurs, pas possible de compenser la baisse de volume récolté à l'hectare en coupe partielle par une augmentation des surfaces

forestières éligibles à la coupe, la superficie productive du territoire étant la même pour tous les scénarios. On note également que le scénario AMEC ayant l'écart de possibilité le plus faible avec le RNI est AMEC03 (-8,6 %) car il correspond au niveau maximum de coupe partielle réalisable de manière optimale selon Woodstock (5179 ha par période quinquennale). Rappelons que AMEC01 et AMEC02 sont contraints de réaliser un niveau de coupe partielle limité (respectivement 1707 et 3220 ha). Puisque AMEC03 prévoit plus de coupes forestières que les autres scénarios AMEC, le volume potentiellement récoltable est plus élevé. En outre, on constate un gradient de la part des coupes partielles dans le total des coupes entre les différents scénarios (Tableau 3.1). Cela est dû au fait que les scénarios AMEC sont plus favorables au déploiement de ce type de coupes, tant au niveau des critères d'éligibilité des COS que du niveau cible de coupes partielles à réaliser. Enfin, on observe que, quels que soient les scénarios, la CPRS reste le type coupe le plus utilisé (Tableau 3.1).

3.1.2 Résultats du volume récolté

On peut d'abord constater sur la figure 3.1 que le scénario RNI est celui qui, logiquement, présente le plus haut niveau de CPRS avec 108 M m³ récoltés (compte tenu du faible niveau de contraintes spatiales et temporelles qu'il intègre par rapport aux scénarios AMEC). On constate par ailleurs que le niveau de CPRS est quasiment identique entre les trois scénarios AMEC. Cela montre que l'augmentation de l'usage de la coupe partielle entre les trois scénarios AMEC n'a pas d'incidence sur la surface éligible à la CPRS, l'UAF offrant probablement assez de surface de peuplements ouverts à la coupe totale, malgré les contraintes temporelles et spatiales introduites avec les COS.

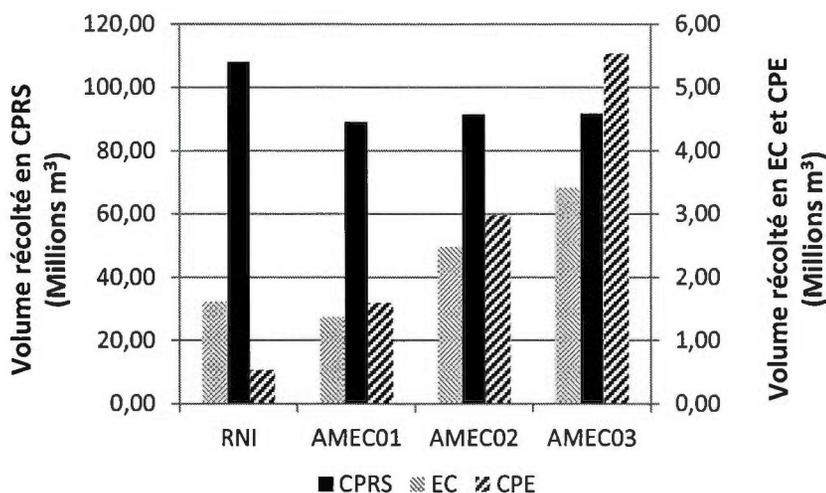


Figure 3.1 : Volumes total récoltés par type de coupe et par scénario (en millions de m³)

Concernant l'évolution des volumes récoltés en Éclaircie Commerciale (EC) et en Coupe Progressive d'Ensemencement (CPE), on retrouve la hiérarchie entre les scénarios AMEC constatée au tableau 3.1, le scénario AMEC03 étant celui qui réalise le plus de coupes partielles, compte tenu qu'il est le plus favorable à leur déploiement (Figure 3.1). Il réside toutefois une différence au niveau du déploiement spatial de ces coupes étant donné que les scénarios AMEC intègrent des contraintes spatiales et temporelles au niveau des COS. On constate que AMEC03 produit le plus grand volume de coupes partielles (9 millions de m³), ce qui est cohérent dans la mesure où ce scénario prévoit d'en réaliser le plus possible (Figure 3.1). On remarque par ailleurs que le volume de coupes partielles reste faible par rapport à celui réalisé en CPRS, et ce, quel que soit le scénario.

Les figures 3.2, 3.3 et 3.4 présentent les proportions récoltées par essence par scénario. On constate que le volume récolté dans le scénario RNI est stable sur tout l'horizon, quelle que soit l'essence. Cela est dû au fait que Woodstock a plus de facilité à respecter la contrainte de rendement soutenu pour le scénario RNI car celui-ci est moins restrictif au niveau du déploiement spatial des coupes (les contraintes sont au niveau des UTR plutôt que les COS et porte essentiellement sur les blocs résiduels de coupe en CMO) (Figures 3.2, 3.3 et 3.4). Ensuite, on note que les tiges de SEPM représentent la majorité des volumes récoltés pour tous les scénarios (entre 79 et 82%) (Figure 3.2). Cela est cohérent

avec le fait que l'UAF 85-51 est en majorité composée d'essences résineuses, en particulier d'épinette noire. On constate également que les scénarios AMEC prévoient une augmentation de la proportion récoltée en SEPM de 3 points durant les premières décennies de simulation (à 35 ans pour AMEC01 et AMEC02 et à 45 ans pour AMEC03) (Figure 3.2). Dans le même temps, on constate une baisse de la proportion d'espèces feuillues (Figures 3.3 et 3.4). La baisse de la proportion de PEP est synchronisée avec l'augmentation de la proportion de SEPM (Figures 3.2 et 3.4). La proportion de BOP reste relativement stable pour AMEC03 sur tout l'horizon de simulation mais baisse à partir de 30 ans puis tend vers 0 pour AMEC01 et AMEC02 (Figure 3.3). Cela est dû au fait que le rendement soutenu a été supprimé pour ces deux scénarios afin de permettre à Woodstock de trouver une solution optimale.

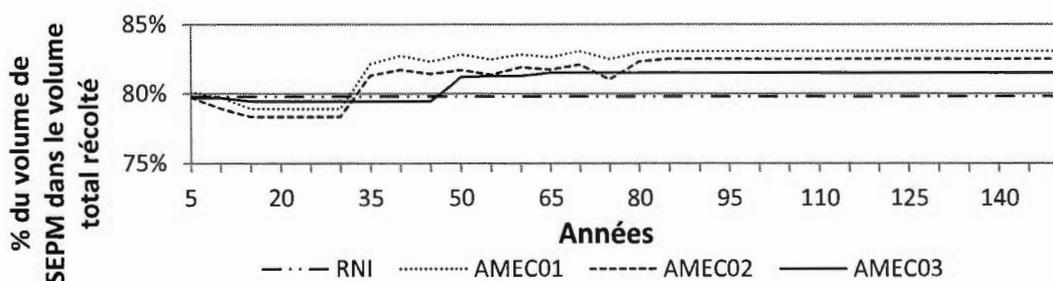


Figure 3.2 : Proportion du volume de SEPM dans le volume total récolté par scénario

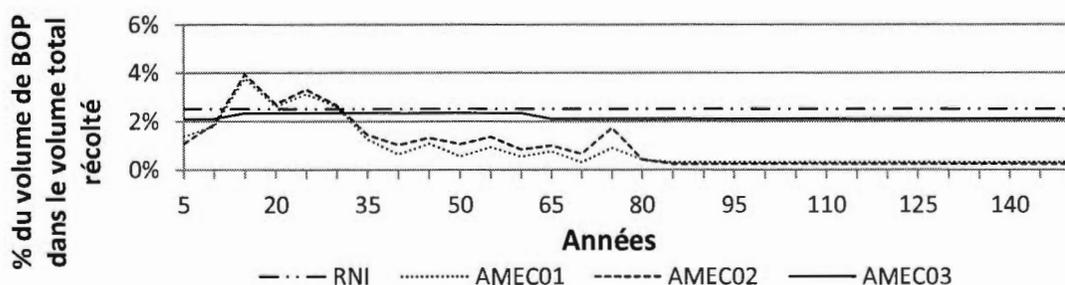


Figure 3.3 : Proportion du volume de BOP dans le volume total récolté par scénario

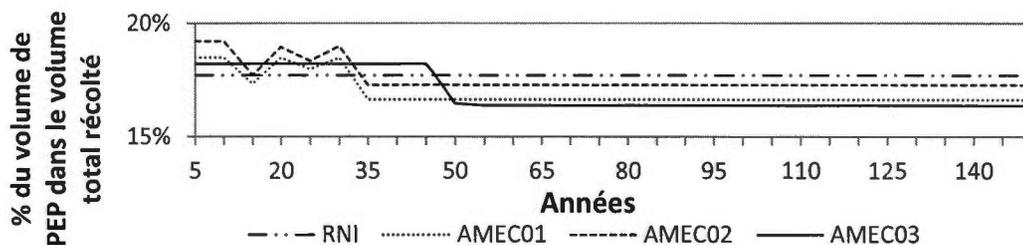


Figure 3.4 : Proportion du volume de PEP dans le volume total récolté par scénario

3.1.3 Résultats de la surface récoltée

On observe que sur l'ensemble de la période de simulation, RNI réalise la plus grande étendue de coupes avec en moyenne 25 500 ha par période quinquennale (Figure 3.5) et, en ayant majoritairement recours à la CPRS (Figure 3.6). Cela est évidemment dû au fait que la CPRS sous-entend que la récolte est réalisée sur de plus grandes étendues forestières qu'en coupe partielle. Pour les scénarios AMEC, les superficies récoltées sont relativement proches avec en moyenne 19 000 ha pour AMEC01, 20 000 ha pour AMEC02 et 21 000 ha pour AMEC03.

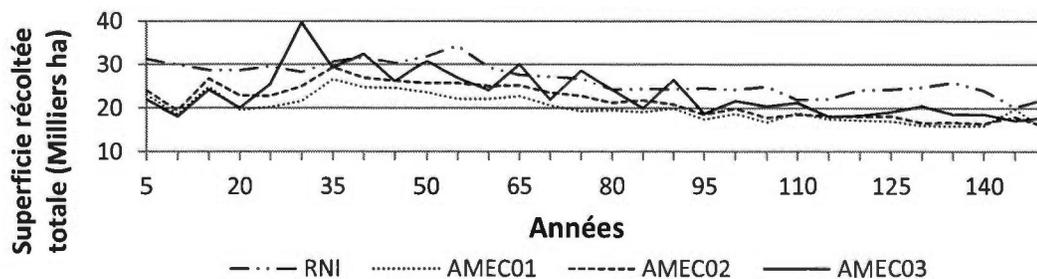


Figure 3.5 : Superficie récoltée totale par scénario dans l'horizon de simulation (en milliers d'hectares)

On note ensuite que la surface récoltée en CPRS par RNI est décroissante dans le temps (Figure 3.6). On constate par ailleurs que comme pour les volumes récoltés en CPRS (Figure 3.1), AMEC01 et AMEC02 réalisent la même étendue de CPRS sur l'ensemble de l'horizon de simulation (Figure 3.6). Enfin, la figure 3.7 montre que AMEC03 est le scénario réalisant la plus grande étendue en coupe partielle. Cela est cohérent avec le fait qu'il est aussi le scénario qui réalise le plus de coupes partielles en volume (Figure 3.1).

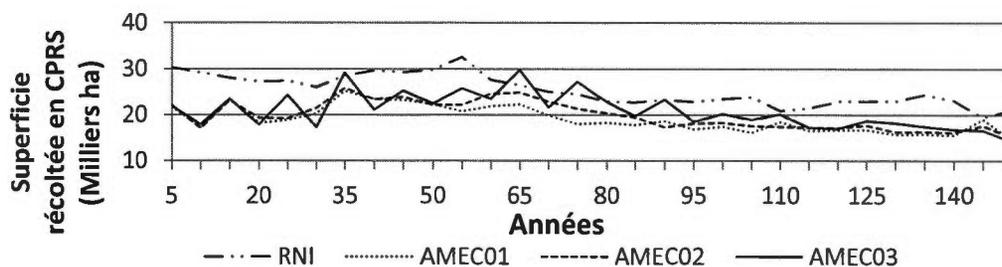


Figure 3.6 : Superficie récoltée en Coupe avec Protection de la Régénération et des Sols (CPRS) dans l'horizon de simulation (en milliers d'hectares)

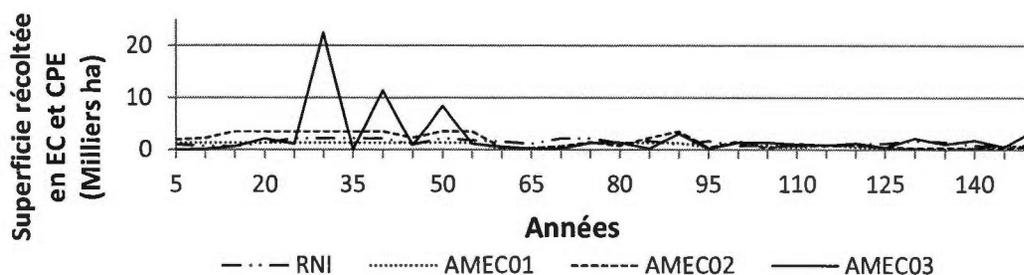


Figure 3.7 : Superficie récoltée en Éclaircie Commerciale (EC) et Coupe Progressive d'Ensemencement (CPE) dans l'horizon de simulation (en milliers d'hectares)

3.2 Autres résultats

La figure 3.8 présente les moyennes quinquennales des résultats des contraintes imposées au niveau des COS pour la prise en compte des enjeux écosystémiques. Ils correspondent aux seuils minimums de forêts productives de 7 mètres et plus ainsi que de forêt matures et surannées. Afin de mettre en évidence certaines relations, la superficie quinquennale moyenne exploitable en CPRS est également présentée.

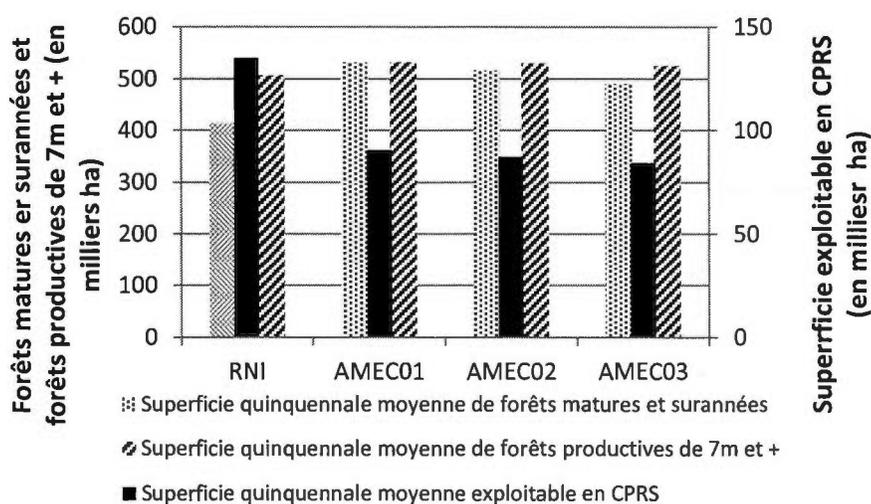


Figure 3.8 : Résultats de superficie quinquennale moyenne de forêts de 7 mètres et plus, de superficie quinquennale moyenne de forêts matures et surannées et de superficie quinquennale moyenne exploitable en CPRS par scénario (en milliers d'hectares)

On constate d'abord que les contraintes imposées dans les scénarios AMEC permettent de réaliser un gain substantiel au niveau de la superficie de forêts matures et surannées par rapport au RNI (entre +19 et +29 %). Le gain au niveau de la superficie de forêts productives de 7 mètres et plus est plus faible (entre +3,8 et +5%). Enfin on constate une baisse importante de la superficie exploitable en CPRS pour les scénarios AMEC par rapport au scénario RNI (entre -33 et -38%).

La figure 3.9 montre la distance moyenne de l'usine aux COS pondérée par la proportion du volume récolté par COS et par type de coupe. Ainsi, plus la distance est élevée, plus les coupes ont été réalisées loin de l'usine. On constate d'abord que les distances

moyennes de récolte par scénario sont relativement proches, quels que soient les types de coupes (entre 98,5 et 104 km). On note ensuite que le scénario RNI réalise des CPRS dans des COS en moyenne plus éloignés que pour les scénarios AMEC. On note également que AMEC01 réalise des CP dans des COS en moyenne plus éloignés que tous les autres scénarios.

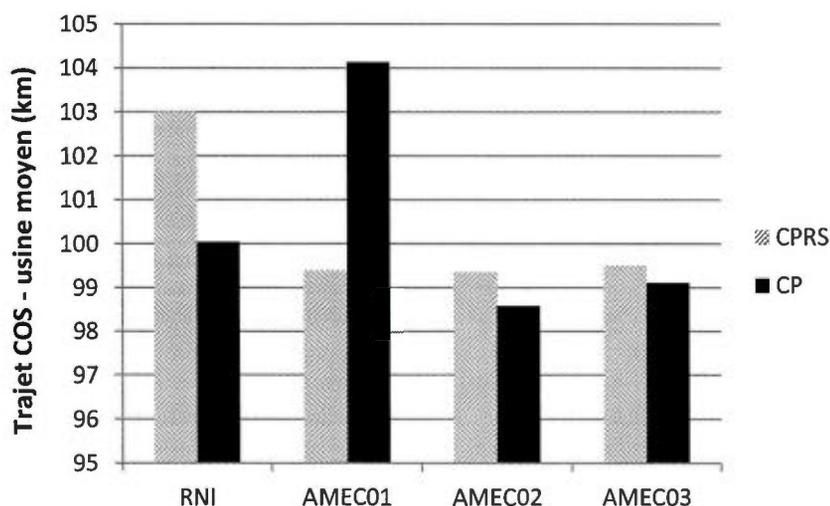


Figure 3.9 : Résultats du trajet COS – usine moyen réalisé par type de coupe par scénario (en km)

3.3 Résultats des calculs de coûts et revenus

Étant donné que chaque scénario prévoit un niveau de possibilité forestière différent, les résultats de coûts et de revenus présentés ci-dessous sont d'abord en valeur absolue (total sur l'ensemble de la période de simulation) puis exprimés en valeur relative (en dollar par mètre cube de bois (\$/m³)), afin de pouvoir comparer les scénarios sur une base commune.

3.3.1 Coûts

La figure 3.10 montre que le coût moyen d'exploitation des scénarios AMEC (exprimé en \$/m³), est légèrement plus élevé que celui du RNI. De plus, on remarque que ce coût est corrélé avec le niveau de coupe partielle. Par ailleurs, lorsqu'il est exprimé en valeur absolue (pour l'ensemble de la période de simulation), on constate que le coût d'exploitation par scénario est corrélé avec le niveau de possibilité forestière. Ainsi, le scénario RNI

présente le coût d'exploitation total le plus élevé (6,08 Milliards de \$), suivi par AMEC03 (5,60 Milliards de \$), AMEC02 (5,38 Milliards de \$) et AMEC01 (5,10 Milliards de \$).

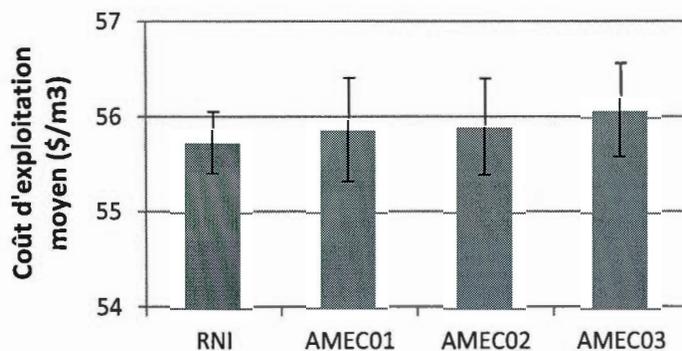


Figure 3.10 : Coût d'exploitation moyen par scénario avec écart type (en \$/m3)

La figure 3.11 montre que les frais liés à la récolte représentent la partie la plus importante dans le coût total d'exploitation. On note une corrélation entre le niveau de possibilité et le coût d'exploitation.

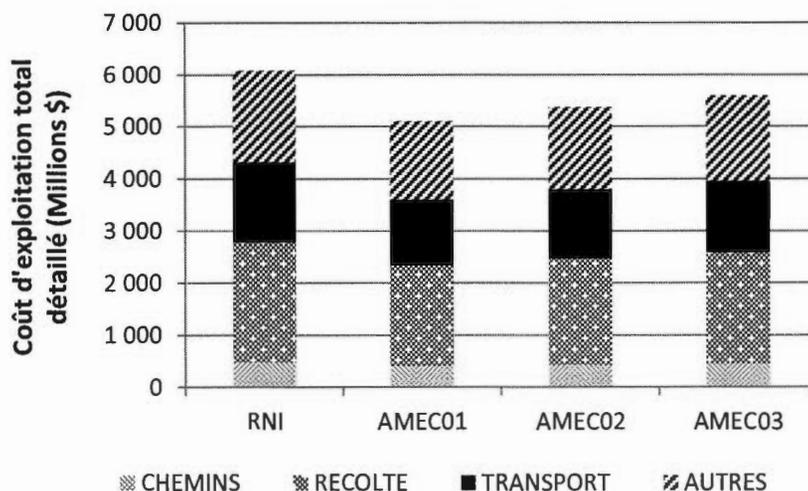


Figure 3.11 : Coût d'exploitation total détaillé par scénario (en millions de \$)

Le tableau 3.2 montre que lorsque les coûts sont exprimés en \$/m³, les scénarios AMEC ont un coût de création de chemins et de récolte plus élevé que RNI. On note également que plus le niveau de coupe partielle est élevé, plus ces deux coûts sont importants. Cela est dû au fait que, pour un même volume récolté, la multiplication des coupes partielles entraîne l'entrée dans plus de peuplements différents donc la création potentielle de plus de chemins et de plus d'heures d'utilisation des machines de récolte. Au total, le coût moyen d'exploitation par m³ des scénarios AMEC reste plus élevé que celui du RNI.

Tableau 3.2 : Coût d'exploitation moyen détaillé par scénario (en \$/m³)

	CHEMINS	RÉCOLTE	TRANSPORT	AUTRE	TOTAL
RNI	4,45	20,77	14,01	16,01	55,24
AMEC01	4,55	20,81	13,78	16,22	55,37
AMEC02	4,56	20,90	13,74	16,20	55,40
AMEC03	4,58	21,01	13,76	16,23	55,57

3.3.2 Revenus

La figure 3.12 montre que les scénarios AMEC présentent un revenu moyen en \$/m³ légèrement plus élevé que RNI, en cohérence avec le fait qu'ils récoltent une plus grande proportion de bois résineux (tel que constaté au point 3,1,1). Par ailleurs, de la même manière que pour les coûts, lorsqu'il est exprimé en valeur absolue, on constate que le revenu d'exploitation par scénario est corrélé avec le niveau de possibilité forestière. Ainsi, le scénario RNI présente le revenu d'exploitation total le plus élevé (6,16 Milliards de \$), suivi par AMEC03 (5,65 Milliards de \$), AMEC02 (5,46 Milliards de \$) et AMEC01 (5,20 Milliards de \$).

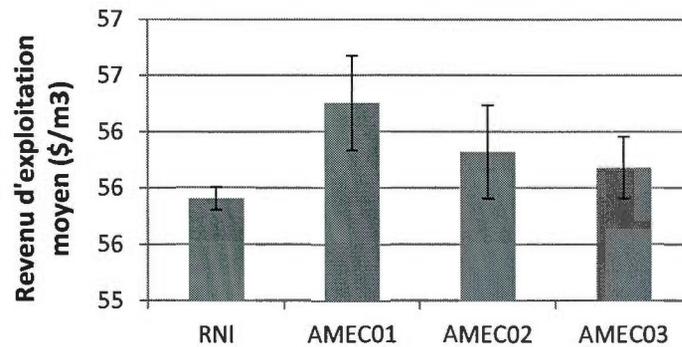


Figure 3.12 : Revenu d'exploitation moyen par scénario avec écart type (en \$/m³)

3.3.3 Résultat d'exploitation

La figure 3.13 montre que le scénario RNI est moins rentable que les deux premiers scénarios AMEC. Cela est dû au fait que sur l'ensemble de la période de simulation, RNI prévoit de récolter en moyenne 79% de SEPM contre plus de 81% pour AMEC01 et AMEC02 (Figure 3.2). De plus, AMEC03 est le moins rentable de tous les scénarios. Cela peut s'expliquer par son niveau élevé de coupe partielle qui augmente sensiblement les coûts (Figure 3.10) et réduit les revenus de récolte (Figure 3.12). Rappelons que AMEC03 réalise 3,8 fois plus de coupes partielles que le scénario RNI, environ 3 fois plus que AMEC01 et 1,6 fois plus que AMEC02.

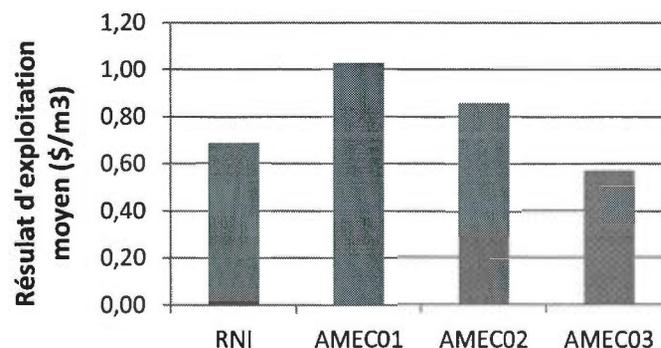


Figure 3.13 : Résultat d'exploitation moyen par scénario (en \$/m³)

La figure 3.14 montre l'évolution du solde de trésorerie par période quinquennale (revenus moins coûts cumulés). On constate que pendant les 60 premières années, RNI présente un solde de trésorerie plus élevé que tous les scénarios AMEC. À partir de 80 ans, AMEC01 dégage plus d'argent que RNI. À partir de 110 ans, AMEC02 dégage également plus d'argent que RNI.

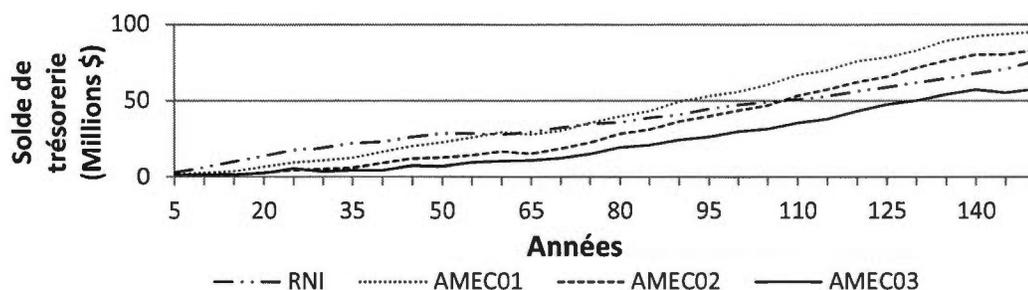


Figure 3.14 : Évolution du solde de trésorerie par scénario sur l'horizon de simulation (en millions de \$)

3.4 Résultats des calculs de Valeur Actualisée Nette

La figure 3.15 présente le résultat de la VAN par scénario (en $\$/m^3$). Cette valeur correspond à la somme des soldes monétaires quinquennaux actualisés (revenus moins coûts cumulés actualisés), divisée par leur volume de bois potentiellement récoltable sur l'ensemble de l'horizon de simulation.

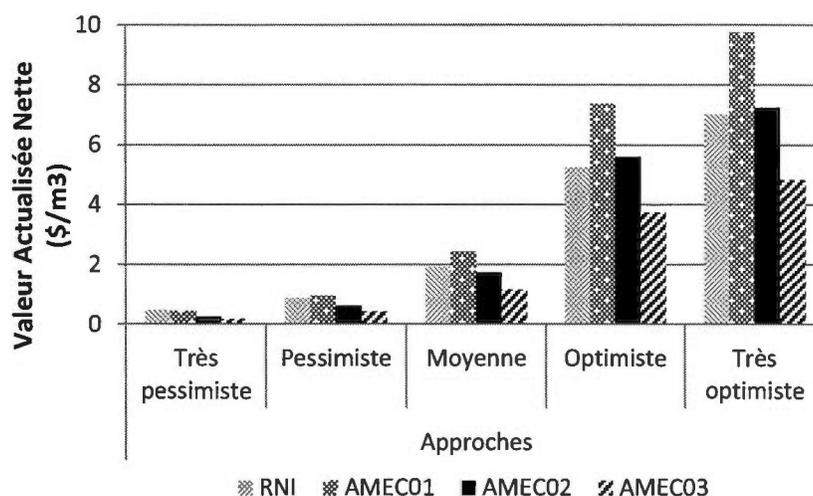


Figure 3.15 : Valeur Actualisée Nette par scénario selon cinq approches d'actualisation (très pessimiste, pessimiste, moyenne, optimiste et très optimiste) (en \$/m³)

On constate tout d'abord que tous les scénarios sont rentables, même avec une approche d'actualisation des flux monétaires très pessimiste. Ainsi, tous les scénarios d'aménagement créent de la richesse. En valeur absolue, celle-ci présente le même gradient avec, de l'approche très pessimiste à l'approche très optimiste : entre 54 et 775 Millions de \$ pour RNI, entre 42 et 900 Millions de \$ pour AMEC01, entre 26 et 704 Millions de \$ pour AMEC02 et entre 19 et 486 Millions de \$ pour AMEC03. On note aussi que AMEC01 et AMEC02 sont systématiquement plus rentables que RNI. Ces résultats montrent ensuite que la VAN des scénarios AMEC01 et AMEC02 est relativement proche de celle du RNI. Cela s'explique par le fait que ces deux scénarios AMEC prévoient de récolter une plus grande proportion de SEPM que RNI, leur permettant de cumuler des revenus par m³ plus élevés entre 35 et 150 ans (Figure 3.2). Ainsi, même avec un niveau de possibilité plus faible, AMEC01 et AMEC02 présentent une rentabilité similaire voire supérieure à celle de RNI, selon les approches d'actualisation. Par ailleurs, la rentabilité des scénarios AMEC présente la même hiérarchie que celle constatée dans le résultat d'exploitation. En effet, le scénario AMEC03 est le moins rentable, étant donné qu'il réalise plus de coupes partielles (Figure 3.1), sur de plus grandes surfaces (Figure 3.7) et intègre comme contrainte le rendement soutenu sur le BOP, ce qui l'oblige à récolter moins de SEPM que AMEC01 et AMEC02

(Figure 3.2). Cela a un impact négatif sur ses coûts de création de chemins et récolte (Tableau 3.2).

3.5 Discussion

3.5.1 Méthodologie et résultats de l'analyse de rentabilité

Pour la présente étude, les valeurs utilisées pour les différents éléments de coûts et de revenus peuvent être validées sur la base de plusieurs autres travaux. D'abord, le Coût Moyen de Récolte en CPRS (CMR_{CPRS}) de 19,24 \$/m³ utilisé est similaire aux résultats de Moore (2009) qui a réalisé un travail de recherche sur la rentabilité de la coupe de jardinage par rapport à la CPRS sur une période de 200 ans en utilisant une approche Monte-Carlo (de type stochastique). Au lieu de définir un coût unique pour la CPRS, il a ainsi pu déterminer une distribution de résultats selon la probabilité que certains éléments du coût de la CPRS varient au cours du temps (ex : variation du coût du carburant, du coût de la main d'œuvre, ...). La valeur moyenne qu'il obtient pour le coût de récolte en CPRS (incluant l'abattage et le débardage) est de 19,24 \$/m³ en 2009 équivalent à 20,04 \$/m³ en 2011³⁵. Ensuite, la plus-value moyenne de 5 \$/m³ retenue pour le coût de récolte en coupe partielle par rapport à la CPRS est similaire à celle utilisée par Meek et Cormier (2004) dans une étude sur la mise en place d'un système de Coupes Progressives d'Ensemencement (CPE). Cette étude évalue le surcoût d'une intervention en CPE par rapport à la CPRS sur la base des données de 15 RAIF fournis par cinq compagnies forestières pour les années 2001, 2002 et 2003. Pour un procédé par arbre entier, le surcoût est évalué à 5,27 \$/m³ en 2004, équivalent 6,42 \$/m³ en 2011³⁵. Pour un procédé par bois tronçonné, le surcoût est évalué à 5,92 \$/m³ en 2004, équivalent 7,21 \$/m³ en 2011³⁵. Par ailleurs, dans une étude sur l'impact de la dispersion des coupes sur les coûts d'approvisionnement, Favreau *et al.* (2004) évaluent le coût moyen de différents types de coupes partielles à 25 \$/m³ en 2004, équivalent 30,44 \$/m³ en 2011³⁵. En outre, le coût de déplacement de la machinerie de 0,194 \$/m³ est similaire à celui utilisé par Nadeau (2002), dans une étude sur les coûts d'approvisionnement du bois à la forêt de Montmorency dans laquelle le coût de déplacement par fardier est estimé entre 0,03 et 0,17 \$/m³ en 2002,

³⁵ Selon l'évolution de l'indice implicite du PIB au Québec entre 2009 et 2011 défini par l'Institut de la Statistique du Québec : http://www.stat.gouv.qc.ca/donstat/econm_finnc/conjn_econm/TSC/pdf/chap11.pdf Consulté le 15 Avril 2012.

soit entre 0,04 et 0,22 \$/m³ en 2011³⁶. Bélanger et Beaulieu (2000) dans Nadeau (2002) présentent également les résultats d'une évaluation réalisée par Produits Forestiers Alliance qui évalue le coût moyen de déplacement de la machinerie (CDM) à 0,14 \$/m³ en 2000, équivalent à 0,18 \$/m³ en 2011³⁶. Enfin, le prix d'achat moyen entrée d'usine pour les billes résineuses de 60 \$/m³ peut être confirmé par une étude commandée par le MRNF auprès du cabinet d'expertise conseil Del Degan Massé dont l'objectif était d'évaluer l'impact des coûts d'opération sur la valeur de la redevance et les coûts d'approvisionnement en bois (Del Degan et Massé, 2010). Cette étude entrait dans le cadre de la préparation du projet de loi 57 sur l'aménagement forestier durable. Dans leurs résultats, Del Degan et Massé (2010) montrent que la Valeur Marchande des Bois sur Pieds (VMBSP) au Québec est demeurée stable autour de 60 \$/m³ entre 1998 et 2008. Certaines de ces données de coûts et revenus pourraient toutefois être estimées avec encore plus de précision, en entrant dans le détail de leur composition. D'abord, compte tenu des données disponibles et de l'étendue de l'UAF, les coûts liés au développement des chemins ont été estimés selon deux principaux critères : le ratio de chemins existants par km² de forêt productive par COS et un coût moyen de construction issu des travaux de Moore (2009) de 3,18 \$/m³. Afin d'améliorer cette estimation, il serait nécessaire de posséder une couche cartographique de chemins existants plus détaillée et plus précise, notamment en ce qui concerne les chemins de récolte d'été et les chemins d'hiver. De plus, il serait intéressant de prendre en considération les contraintes topographiques de chacun des COS (dénivelés, cours d'eaux, types de sols, ...), car celles-ci peuvent avoir un impact notable sur le coût de construction de chemins, en particulier en ce qui a trait à la protection des cours d'eau par la mise en place de ponceaux. Ensuite, à la place d'un surcoût moyen de 5\$/m³, il pourrait être intéressant de définir un surcoût pour chaque type de coupe partielle. En effet, ces méthodes de coupes ayant des objectifs spécifiques (par exemple l'éducation d'un peuplement dans le cas d'une EC ou l'installation de la régénération dans le cas d'une CPE), elles n'entraînent pas les mêmes contraintes en termes de déploiement sur le terrain (telles que l'accessibilité au chantier de coupe ou le temps d'utilisation machine). Cette différence de coût serait encore plus à considérer dans le cas où

³⁶ Selon l'évolution de l'indice implicite du PIB au Québec entre 2009 et 2011 défini par l'Institut de la Statistique du Québec : http://www.stat.gouv.qc.ca/donstat/econm_finnc/conjn_econm/TSC/pdf/chap11.pdf Consulté le 15 Avril 2012.

l'on souhaiterait inclure d'autres méthodes de coupe dans les simulations, telles que la CPPTM. Par ailleurs, l'estimation des droits de coupe de la présente étude a été faite selon la variation de la qualité des bois, sur la base de la proportion de sciages et de pâtes par type d'essence par strate (issues des données d'inventaires du 3^{ème} décennal), ramenée à l'échelle des COS. Or, les données du 4^{ème} décennal (dernier inventaire disponible), pourraient fournir une estimation plus précise de la composition des peuplements forestiers, donc de la proportion de sciages et de pâtes par COS. Enfin, le prix moyen des billes feuillues de 40 \$/m³ utilisé pour la présente étude est estimé sur la base des billes de qualité sciage et pâte. Or, il est important de noter qu'il existe également des billes destinées au déroulage dont la valeur marchande est bien supérieure à cette moyenne de 40 \$/m³. À titre d'exemple, une étude sur l'amélioration du rendement en valeur des opérations de récolte de feuillus tolérants menée dans le centre de l'Ontario par FPInnovations (Hamilton, 2012) estime le prix moyen des bois de déroulage à 220 \$/m³ contre 72 \$/m³ pour les bois de sciage et 43 \$/m³ pour les pâtes. Une telle différence peut avoir un impact notable sur le revenu potentiel des activités forestières et donc sur la valeur ajoutée des produits transformés en usine.

Les résultats des simulations nous ont d'abord permis de constater que l'ajout de contraintes spatiales au niveau des COS entraînait une baisse de la surface exploitable en CPRS des scénarios AMEC de 33 à 38 % par rapport à RNI (Figure 3.8) (équivalent à une baisse en volume récolté en CPRS de 15 à 17 %), et, par conséquent, une baisse de possibilité forestière de l'ordre de 8,6 à 16,35 % (Tableau 3.1). Dans le même temps, les scénarios AMEC affichent un gain substantiel au niveau de la superficie de forêts matures et surannées par rapport au RNI (entre +19 et +29 %). Ces résultats viennent confirmer notre première hypothèse de recherche. Nous avons par ailleurs pu constater que les résultats de coût d'exploitation sont légèrement plus élevés pour les scénarios AMEC (de 55,37 à 55,57 \$/m³ pour les scénarios AMEC contre 55,24 \$/m³ pour RNI), alors que ces scénarios présentent des niveaux de possibilité forestière plus faibles que RNI. Ce constat vient confirmer notre deuxième hypothèse de recherche qui supposait que l'intensification de la coupe partielle entraînerait une augmentation des coûts d'exploitation. Les résultats de calculs de VAN concordent avec ceux trouvés par Moore (2009), dans une étude visant à évaluer la rentabilité à long terme de traitements de coupes de jardinage par rapport à la CPRS dans la forêt résineuse irrégulière de la Côte Nord. Malgré le fait que son étude ait été réalisée à l'échelle

de quatre blocs de coupes, ses calculs montrent sur un horizon de 200 ans des résultats de VAN allant de 0,06 à 0,96 \$/m³ pour la CPRS et de 1,51 à 5,54 \$/m³ en coupe de jardinage avec sentiers permanents. Pour la présente étude, nos estimations de VAN avec une approche moyenne (qui utilise le même taux d'actualisation de 4% dégressif à partir de 30 ans que celui utilisé par Moore (2009)), sont situées 1,17 et 2,43 \$/m³ (rappelons que nos scénarios intègrent à la fois des coupes totales et partielles). Ces résultats semblent cohérents avec ceux de Moore (2009) dans la mesure où ils se situent à l'intérieur de la gamme de VAN qu'il obtient pour la CPRS et pour la coupe de jardinage. Par ailleurs, les résultats de VAN permettent de constater que bien qu'il soit le moins profitable de tous les scénarios AMEC, AMEC03 est toujours rentable, quelle que soit l'approche d'actualisation utilisée (Figure 3.15). De plus, il présente le niveau maximum de coupe partielle réalisable selon les contraintes du futur régime forestier tout en étant le seul scénario AMEC à pouvoir intégrer le rendement soutenu pour le BOP. AMEC03 nous est donc apparu comme le scénario de référence par rapport au RNI et vient confirmer notre troisième hypothèse de recherche (rappelons que si AMEC01 et AMEC02 intégraient le rendement soutenu pour le BOP, Woodstock ne serait pas capable de trouver une solution optimale pour chacun d'entre eux). On remarque enfin que la VAN du scénario RNI exprimée est supérieure à celle des scénarios AMEC01 et AMEC02 pour les approches très pessimistes et pessimistes puis inférieure pour les approches moyennes à très optimistes (Figure 3.15). Nadeau *et al.* (2009) et Damodaran (2010) mettent en valeur le fait que l'utilisation d'un taux d'actualisation élevé a pour conséquences de favoriser les revenus à court terme, ce qui est plutôt le cas pour les approches très pessimistes et pessimistes. Or, nous avons constaté que sur les 60 premières années, le scénario RNI présente des soldes de trésorerie supérieurs à ceux de AMEC01 et AMEC02. Ainsi, les approches très pessimistes et pessimistes favorisent la période durant laquelle RNI crée plus de richesse que AMEC01 et AMEC02. À l'inverse, les approches moyennes à très optimistes favorisent la période durant laquelle AMEC01 et AMEC02 créent plus de richesse que RNI, à partir de 80 ans. Au total, les résultats montrent que la mise en place de l'aménagement écosytémique par l'introduction de contraintes au niveau des COS a pour conséquences une réduction de la surface disponible à la récolte et donc la possibilité forestière. Cette baisse peut toutefois être amenuisée en ayant recours à la coupe partielle dont le surcoût reste marginal.

Par ailleurs, pour la présente étude, nous avons réalisé une analyse de risque de type multi-scénarios en simulant différentes situations de taux d'actualisation plus ou moins pessimistes ou optimistes. Certaines études, comme Moore *et al.* (2011), utilisent également une approche stochastique de type Monte-Carlo afin de prendre en considération l'incertitude liée à certaines données d'intrants telles que la variation du prix des bois, du prix des matières premières ou encore du diamètre des tiges réellement prélevées. Une telle approche nous aurait permis d'obtenir une vision plus exhaustive des résultats potentiels de la rentabilité de chacun des scénarios car elle permet d'évaluer l'ensemble des solutions possibles avec un intervalle de confiance.

Enfin, la présente analyse de rentabilité concerne les activités forestières avant transformation, considérant les coûts et les revenus potentiels à l'entrée d'usine. Il serait possible de la compléter avec l'intégration des coûts et des revenus liés à la transformation des bois (coûts et revenus sortie d'usine), à l'aide d'un outil de simulation de procédés industriels afin de modéliser, à partir des résultats en volume et diamètres fournis par les modèles RNI et AMEC, la première et la deuxième transformation des bois. Une telle approche peut être intéressante pour les compagnies forestières qui intègrent à la fois des activités de récolte et de transformation. En effet, cela peut permettre aux décideurs d'évaluer l'impact potentiel de leur choix en matière d'aménagement forestier sur la rentabilité de l'ensemble de leurs activités. Moore (2009) propose un exemple d'analyse de rentabilité de plans d'aménagement forestier intégrant les coûts et les revenus issus de la transformation des bois. Son approche reste toutefois simplifiée car elle est basée sur l'estimation de la proportion de sciage et de pâte selon le volume et le type d'essence. Par ailleurs, pour déterminer la valeur des redevances des droits de coupe, le MRNF utilise le logiciel de simulation de procédé de sciage de bois résineux Optitek, développé par FPInnovations (Duchesne et Bédard, 2012).

3.5.2 Méthodologie de modélisation

La qualité d'un travail de modélisation repose sur le niveau de pertinence que l'on accorde aux données d'entrées et qui est déterminant pour la cohérence de l'ensemble des résultats obtenus. En ce qui concerne notre analyse, elle a été réalisée sur la base de scénarios d'aménagement initialement prévus par Tembec pour déterminer la possibilité forestière pour

leur PGAF 2008 – 2013 pour l’UAF 85-51. Depuis, des progrès ont été réalisés à différentes étapes du processus de modélisation, notamment par le MRNF. D’abord, au niveau de la qualité et de la précision des données d’inventaire forestier qui sont déterminantes pour définir la composition et la structure de départ des peuplements de chaque strate que l’on fait ensuite évoluer dans le temps. Actuellement, les données d’inventaire forestier du 3^{ème} décennal (datant de 1995) sur lesquelles nos scénarios sont basés sont peu à peu remplacées par celles du 4^{ème} décennal qui est en cours de finalisation au MRNF. Ce dernier inventaire fournit des données plus récentes sur la composition et la structure des peuplements, conférant ainsi une image de départ des strates plus proche de la réalité. Ensuite, la méthodologie que nous avons utilisée pour modéliser l’évolution naturelle des peuplements est basée sur les courbes de croissance issues des tables de rendement de Pothier et Savard (1998). Or, ces courbes reposent sur des données d’inventaire limitées dans le temps et présentent donc une certaine incertitude quant à l’estimation de la perte de volume liée à la dynamique de mortalité en phase de sénescence. En effet, certaines de nos courbes prévoient une baisse de volume de l’ordre de 80 à 90 % dès l’âge de bris³⁷ (vers 150 ans), alors que, selon plusieurs travaux de recherche, cette baisse serait beaucoup moins importante et interviendrait plus tard dans le temps. Dans des peuplements d’épinette noire du Nord-Est du Québec, Garet *et al.* (2009) ont par exemple développé un modèle de croissance naturelle à long terme puis l’ont comparé avec celui de Pothier et Savard (1998). Les résultats de leur modèle prévoient bien une baisse de volume à l’âge de bris mais au maximum de 30% et pour les sites les plus productifs. De plus, cette baisse tend à se stabiliser après 200 ans alors que dans le cas de Pothier et Savard (1998), cette stabilisation intervient beaucoup plus tôt (vers 150 ans). Une autre étude menée par Lecomte et Bergeron (2005) dans des peuplements similaires du Nord-Ouest du Québec vient confirmer les résultats de Garet *et al.* (2009), en prévoyant une perte de volume de 16% en moyenne à l’âge de bris. Au total, il est donc probable que le modèle de croissance naturelle utilisé dans notre étude tende à surestimer et à anticiper dans le temps la perte de volume liée à la dynamique de mortalité en phase de sénescence. En outre, ce modèle de croissance naturelle repose sur les données d’inventaire forestier du 3^{ème} décennal, qui n’incluent que très peu de données relatives aux peuplements

³⁷ Âge correspondant à la période où les premiers arbres ayant atteint le couvert forestier commencent à être remplacés par de nouveaux arbres.

inéquiennes. Suite aux recommandations de la commission Coulombe³⁸ en charge de l'étude de la gestion de la forêt publique québécoise en 2004 ainsi que le comité Paillé³⁹ en 2007, des travaux ont été entrepris au sein du MRNF et le Bureau du Forestier en Chef afin de développer de nouveaux modèles de croissance de peuplement⁴⁰, d'arbre⁴¹ ainsi que de succession naturelle. Ceux-ci ne sont cependant pas encore disponibles. Une modélisation plus réaliste de l'évolution des peuplements permettra une meilleure évaluation de la rentabilité des différents scénarios car elle fournira des informations plus pertinentes sur le type d'essence récolté donc sur le revenu potentiel issu de la vente des bois.

Ensuite, la méthodologie que nous avons utilisée pour modéliser la croissance résiduelle après coupe partielle consiste à conserver le profil de la courbe de croissance naturelle mais dont le volume est réduit selon le pourcentage de prélèvement prévu en coupe partielle. Or, dans les territoires du Nord l'UAF 85-51 dans laquelle nos simulations ont été réalisées, il est possible qu'une intervention de type coupe partielle ayant pour objectif d'ouvrir un peuplement (plus ou moins selon l'intensité de la coupe), ait pour conséquence d'accélérer le phénomène de vieillissement du peuplement (Fenton *et al.*, 2008). Dans ce cas-là, la croissance résiduelle serait plus faible que celle prévue dans notre modèle de croissance. Une autre option pourrait consister à modéliser la croissance résiduelle après coupe partielle différemment, par exemple en arrêtant l'évolution en volume de la strate à partir de l'âge de bris (i.e. lorsque les premiers arbres ayant atteint le couvert forestier commencent à être remplacés par de nouveaux arbres), et ce, jusqu'à la fin de la période de révolution de la strate. En outre, les travaux menés par Thorpe *et al.* (2007) dans le Nord-Est de l'Ontario dans des peuplements similaires à ceux de l'UAF 85-51 montrent que 10 ans après une coupe partielle, les tiges d'épinettes noires présentent un gain de croissance en diamètre significatif. Il pourrait alors être intéressant d'intégrer cette hypothèse en réalisant un analyse de sensibilité du gain potentiel (en volume ainsi qu'en diamètre) pendant une période de 10 ans après coupe partielle (par exemple un gradient entre 0 et 10%), puis en comparant les résultats avec ceux obtenus à l'aide des autres méthodes de modélisation de la croissance résiduelle après coupe partielle expliquées ci-dessus. Une meilleure modélisation de la

³⁸ <http://www.commission-foret.qc.ca/rapportfinal.htm> Consulté le 03 Août 2011

³⁹ <http://www.oifq.com/pdf/publications/rapportpaille.pdf> Consulté le 03 Août 2011

⁴⁰ Voir Pothier D. et I. Auger. 2011. *Natura-2009. Mémoire de recherche n°163*. MRNF

⁴¹ Voir Fortin M. et L. Langevin. 2010. *Artémis-2009. Mémoire de recherche n°156*. MRNF

croissance résiduelle après coupe partielle est déterminante dans la mesure où elle a un impact direct sur le diamètre des tiges récoltées, donc sur la qualité des bois transformés en usine et, par conséquent, sur le revenu potentiel de l'exploitation forestière.

Pour la présente étude, nous avons en outre choisi d'utiliser l'application Woodstock (Remsoft, 2006), car celle-ci permet de réaliser des calculs de possibilité optimisés et spatialement explicites, tout en permettant d'intégrer des considérations de rentabilité économiques. Ainsi, nous avons pu réaliser nos simulations de plans d'aménagement à l'échelle d'une UAF afin d'avoir un point de vue global, tout en utilisant une segmentation du territoire en 1700 strates afin de conserver un certain niveau de détail dans la modélisation de la croissance. Notre travail de paramétrage et d'optimisation a été facilité grâce à l'utilisation de coûts moyens et de courbes de croissance regroupées par strate. Malgré cela, nos matrices d'intrants restaient relativement lourdes à manipuler et les modèles longs à optimiser (24 heures en moyenne par scénario). Sur l'UAF 85-51, les travaux comme ceux de Dhital et Raulier (2010) permettent de réaliser un gain de temps au niveau du paramétrage et de l'optimisation des scénarios en réduisant le nombre de strates. Une telle approche change cependant le niveau de détail pour la modélisation de la croissance des peuplements. Par ailleurs, le présent exercice de détermination de la possibilité forestière a été réalisé de manière linéaire selon certaines contraintes. La fonction « objectif » n'intégrait qu'un seul élément : la maximisation du volume potentiellement récoltable. Si l'on souhaite intégrer de multiples objectifs tels que des enjeux sociaux (comme l'accès à des services récréotouristiques) ou environnementaux (comme la protection d'espèces fauniques menacées), il est possible d'utiliser la fonctionnalité « Multi-term objective and goal programming⁴² » dans Woodstock ou d'autres outils comme la plateforme Patchworks⁴³. Cela permet en effet d'optimiser des scénarios d'aménagement selon plusieurs objectifs simultanés tels que maximiser les résultats des activités forestières (revenus – coûts d'exploitation), maximiser la possibilité forestière ou optimiser le déploiement du réseau routier. Au Québec, Forget *et al.* (2006) et de Savoie *et al.* (2007) ont par exemple réalisé des travaux de calcul de la possibilité forestière à l'aide de l'outil Patchworks. Dans les deux cas, les territoires forestiers concernés sont situés dans les Laurentides donc à proximité de zones urbaines.

⁴² <http://www.remsoft.com/docs/library/optimization.techniques.pdf> Consulté le 29 février 2013

⁴³ <http://www.spatial.ca/products/index.html> Consulté le 25 octobre 2012

L'approche multi-objectifs leur a ainsi permis d'intégrer des contraintes économiques mais également sociales (activités récréatives). L'outil Forexpert permet aussi une approche multi-objectifs mais requiert d'être combiné avec des systèmes externes pour réaliser les calculs de possibilité ainsi que l'optimisation spatiale des interventions. Forexpert peut également intégrer des paramètres stochastiques afin de modéliser l'effet imprévisible de certaines variables comme les perturbations naturelles sur l'évolution des peuplements, telles que les feux, les épidémies d'insectes ou encore les chablis. Ce n'est pas le cas de Woodstock dont le processus d'optimisation par programmation linéaire ne peut intégrer le caractère dynamique et aléatoire de certaines variables.

Par ailleurs, pour la présente étude, l'analyse économique a été réalisée à posteriori et n'a donc pas été prise en considération dans le processus d'optimisation. Dans le cas contraire (i.e. si nous avions utilisé comme seul objectif d'optimisation la maximisation des profits), les résultats de calculs de possibilités et de rentabilités auraient probablement été différents. En effet, au niveau du déploiement spatial des coupes, il est probable que le trajet moyen de récolte aurait été plus faible dans la mesure où Woodstock aurait privilégié la récolte dans les COS éligibles les plus proches de l'usine afin de réduire autant que possible les coûts de transport. Ensuite, au niveau des coûts de récolte, il est probable que Woodstock aurait privilégié la CPRS car celle-ci est moins dispendieuse que la coupe partielle. Sauf dans le cas où notre modèle de croissance prévoirait un gain en diamètre sur les tiges résiduelles, auquel cas, coupe partielle présenterait un avantage économique car elle générerait un plus gros revenus par tige récoltée que la CPRS. Une telle hypothèse met toutefois en valeur la problématique du manque de connaissances au niveau de la modélisation de la croissance résiduelle après coupe partielle abordée dans le paragraphe précédent.

Enfin, dans la présente étude, nous n'avons pas pris en compte l'impact potentiel des perturbations naturelles. Il est donc probable que notre calcul de possibilité forestière soit trop optimiste dans la mesure où les feux, les épidémies d'insectes et les chablis entraînent des pertes au niveau du volume de bois disponible à la coupe. De plus, ces pertes non anticipées ne peuvent être compensées lors de la réalisation des activités forestières par l'ouverture à la coupe de zones initialement fermées car cela entrerait en contradiction avec le respect des autres cibles d'aménagement telles que le maintien de vieilles forêts ou les aires protégées. Dans les territoires de pessière à mousse du Nord-Ouest de l'Abitibi, la principale

perturbation naturelle rencontrée sont les incendies de forêts et elle touche autant les jeunes forêts que les forêts surannées (Simard *et al.*, 2008). La prise en compte d'une telle perturbation lors des simulations pourrait être faite par l'exclusion d'un pourcentage du territoire à la coupe mais cela nécessiterait de disposer de données précises sur l'historique de surfaces concernées par le feu. De plus, la répartition spatiale de ces feux pourrait être modélisée de manière stochastique afin de prendre en compte leur caractère aléatoire. Comme nous l'avons précisé précédemment, cela nécessiterait toutefois d'avoir recours à un outil comme Forexpert, capable d'intégrer des paramètres aléatoires.

3.5.3 Retombées de l'étude

La présente étude avait pour objectif d'évaluer l'effet de la mise en place de l'aménagement écosystémique sur le niveau de possibilité forestière ainsi que sur la rentabilité des activités forestière. Elle a été réalisée à grande échelle (UAF) et à long terme (150 ans), afin de proposer un outil pratique d'aide à la prise de décision en matière d'aménagement destiné aux différents acteurs du milieu. Elle pourra d'abord être utilisée par les compagnies forestières, notamment afin d'anticiper l'effet des décisions d'aménagement forestier sur la qualité et la valeur des bois transformés en usine ou encore de prendre en considération les enjeux liés au maintien de la certification forestière (en intégrant les contraintes de la norme choisie comme par exemple la mise en place de GHE dans le cas de la norme du Forest Stewardship Council (FSC, 2004)). Ce travail pourra également être utile au MRNF afin d'anticiper les conséquences de futurs changements dans la réglementation forestière telles que l'effet de la mise en place de nouvelles méthodes de coupes sur le volume de bois potentiellement récoltable. Les résultats d'une telle étude peuvent, en outre, être utilisés comme outil de communication afin de permettre une meilleure compréhension des enjeux et finalités liés au calcul de possibilité forestière par l'ensemble des autres usagers de la forêt (tels que les villégiateurs, les populations autochtones, les trappeurs ou encore les chasseurs).

Par ailleurs, les résultats de la présente étude nous ont permis de formuler certaines recommandations qui pourront être utiles à la réalisation de futurs travaux de simulation forestière incluant un volet analyse économique. Nous avons tout d'abord constaté que le réalisme des simulations pouvait être augmenté, notamment en améliorant les modèles de

croissances naturelles des peuplements en phase de sénescence, en intégrant des hypothèses au niveau de la croissance résiduelle après coupe partielle ainsi qu'en prenant en compte l'effet potentiel des perturbations naturelles dans le processus d'optimisation. De plus, la pertinence de l'analyse économique pourrait être améliorée en définissant avec plus de détails les éléments de coûts et de revenus ayant un impact notable sur la rentabilité (tels que les coûts de construction de chemins, les coûts de récolte en coupe partielle ou encore les revenus potentiels issus des billes de bois feuillues), en intégrant les coûts et les revenus liés à la transformation des bois ainsi qu'en utilisant une optimisation des scénarios sur la base de la valeur.

CONCLUSION

Cette étude avait pour objectif d'évaluer l'impact de l'intensification de la coupe partielle sur le coût des activités forestières et sur la valeur des bois. Pour cela, nous avons évalué la rentabilité comparative de différentes stratégies d'aménagement en calculant la Valeur Actualisée Nette d'un scénario conventionnel (appelé RNI) et de trois scénarios écosystémiques (appelés AMEC01, AMEC02 et AMEC03), simulés sur un horizon de 150 ans (30 périodes quinquennales), sur l'UAF 85-51. L'ensemble de ces scénarios ont été créés à partir de ceux développés par Tembec dans le cadre de la planification quinquennale 2008-2013 pour l'UAF 85-51. Le scénario RNI a été réalisé en conformité avec la Règlementation des Normes d'Intervention en vigueur jusqu'à mars 2013 (Gouvernement du Québec, 2012), en appliquant des contraintes de forêts résiduelles et d'encadrements visuels des coupes à l'échelle des Unités Territoriales de Référence (UTR) (l'UAF est subdivisée en 45 UTR). Les trois autres scénarios AMEC ont pris en compte les enjeux du futur régime forestier concernant la répartition spatiale des agglomérations de coupe, le maintien de forêts matures et surannées, la protection d'habitats essentiels pour des espèces menacées ainsi que le maintien de la productivité du territoire. L'intégration de ces enjeux a nécessité l'application de contraintes à une échelle plus fine que celle des UTR, au niveau des Compartiments d'Organisation Spatiale (COS) (l'UAF est subdivisée en 110 COS) : un niveau minimum de forêts matures et surannées et un niveau minimum de forêt productive de plus de 7 mètres. Enfin, l'analyse d'impact de l'intensification de la coupe partielle a été introduite au niveau du volume d'Éclaircies Commerciales (EC) et de Coupes Progressives d'Ensemencement (CPE) cible par scénario selon le gradient suivant : RNI devait réaliser 1377 ha d'EC et de CPE, AMEC01 en réaliser 1707 ha, AMEC02 3220 ha et AMEC03 5179 ha (correspondant au niveau maximum possible).

Les résultats des optimisations ont montré que le scénario RNI prévoyait de récolter 3,7 million de m³ de bois par période quinquennale, soit entre 8,60 et 16,35 % de plus que les scénarios AMEC. Ensuite, les résultats des contraintes introduites au niveau des COS ont

montré que les scénarios AMEC permettent de réaliser un gain substantiel au niveau de la superficie moyenne de forêts matures et surannées par rapport au RNI (entre +19 et +29 %) et un gain plus modeste au niveau de la superficie moyenne de forêts productives de 7 mètres et plus (entre +3,8 et +5%). Nous avons également constaté une baisse importante de la superficie exploitable en CPRS pour les scénarios AMEC par rapport au scénario RNI (entre -33 et -38%). Puis, les résultats de calculs de coûts d'exploitation ont montré que ceux-ci étaient légèrement plus élevés pour les scénarios AMEC que pour RNI (de 55,37 à 55,57 $\$/m^3$ pour les scénarios AMEC contre 55,14 $\$/m^3$ pour RNI). Puis, les calculs de rentabilité ont montré que pour un taux d'actualisation initial fixe entre 2 et 6% dégressif à partir de 30 ans, tous les scénarios sont rentables, la VAN de RNI se situant entre 0,49 et 5,24 $\$/m^3$, celle de AMEC01 entre 0,45 et 7,39 $\$/m^3$, celle de AMEC02 entre 0,27 et 5,60 $\$/m^3$ et celle de AMEC03 entre 0,19 et 3,74 $\$/m^3$. Nous avons par ailleurs constaté que, bien qu'il prévoit de récolter un volume supérieur sur 150 ans, le scénario RNI présente une VAN totale (en valeur absolue) très proche de celle des scénarios AMEC01 et AMEC02 pour les approches d'actualisation moyennes à très optimistes. En outre, les résultats de VAN ont permis de constater que AMEC03 est toujours rentable, présente le niveau maximum de coupe partielle réalisable selon les contraintes du futur régime forestier et, comme RNI, est le seul scénario AMEC à pouvoir intégrer le rendement soutenu pour les trois groupes d'essences principales de l'UAF (SEPM, BOP et PEP). AMEC03 nous est donc apparu comme le scénario de référence par rapport au RNI.

Au total, notre étude a démontré que la mise en place d'une stratégie d'aménagement écosytémique par l'introduction de contraintes au niveau des COS a pour conséquences une réduction de la surface disponible à la récolte et donc une baisse de la possibilité forestière. Cette baisse peut toutefois être amenuisée en ayant recours à la coupe partielle dont le surcoût reste marginal par rapport à la CPRS et permet à l'approche écosytémique de rester une stratégie rentable. Nous avons, en outre, constaté que ce type de stratégie forestière pouvait présenter des avantages du point de vue économique dépassant le domaine de l'exploitation forestière. D'abord, l'utilisation de méthodes de coupe partielle avec pour objectif d'éduquer les peuplements et de sélectionner les meilleures tiges permettent d'améliorer la valeur ajoutée des produits transformés en usine, donc les revenus de la vente des bois au détail. De plus, l'utilisation de pratiques d'aménagement durable des forêts donne accès, à l'ensemble

des acteurs de la filière bois, à certains labels de certification leur permettant de renforcer leur positionnement concurrentiel sur leurs marchés existants et de trouver de nouveaux débouchés.

ANNEXE A

RÉPARTITION DES CHANTIERS PAR COS

Tableau A.1 : Répartition des chantiers par COS

COS	Chantier	Volume net exploitable	% du COS
1	ENJALRAN	3054	78%
	RECHER	878	22%
	Total COS1	3933	100%
2	ENJALRAN	2622	100%
	Total COS2	2622	100%
3	BROUILLAN	884	19%
	ENJALRAN	3769	81%
	PUISEAUX	0	0%
	Total COS3	4653	100%
4	BESCHEFER	150	4%
	BROUILLAN	2755	77%
	ENJALRAN	662	19%
	Total COS4	3567	100%
5	BROUILLAN	1481	100%
	Total COS5	1481	100%
6	BROUILLAN	4564	100%
	Total COS6	4564	100%
7	ALOIGNY	ZONE EXCLUE	0%
	BAPST	ZONE EXCLUE	0%
	BESCHEFER	ZONE EXCLUE	0%
	BROUILLAN	ZONE EXCLUE	0%
	JEREMIE	ZONE EXCLUE	0%
	POIRIER	ZONE EXCLUE	0%
	VALRENNES	ZONE EXCLUE	0%
	Total COS7	0	0%
8	JEREMIE	2070	100%
	Total COS8	2070	100%
9	FENELON	ZONE EXCLUE	0%
	JEREMIE	ZONE EXCLUE	0%
	Total COS9	0	0%

COS	Chantier	Volume net exploitable	% du COS
58	BOIVIN	5298	90%
	COLLET	566	10%
	Total COS58	5864	100%
59	COLLET	1832	59%
	VAL PARADIS	1264	41%
	Total COS59	3096	100%
60	COLLET	3	0%
	VAL PARADIS	6709	77%
	VILLEBOIS	2018	23%
	Total COS60	8730	100%
61	VAL PARADIS	151	5%
	VILLEBOIS	2670	95%
	Total COS61	2821	100%
62	VILLEBOIS	2288	100%
	Total COS62	2288	100%
63	LEMAIRE	316	5%
	VILLEBOIS	6485	95%
	Total COS63	6801	100%
64	LEMAIRE	161	3%
	VILLEBOIS	5019	97%
	Total COS64	5181	100%
65	BACON	4093	62%
	BRABAZON	1	0%
	LEMAIRE	206	3%
	VILLEBOIS	2295	35%
	Total COS65	6595	100%
66	BACON	3089	79%
	BOURQUE	827	21%
	Total COS66	3916	100%
67	FUMERTON	0	0%

COS	Chantier	Volume net exploitable	% du COS
10	FENELON	21	0%
	JEREMIE	5760	100%
	Total COS10	5781	100%
11	BAPST	533	7%
	FENELON	1	0%
	JEREMIE	6862	93%
	Total COS11	7395	100%
12	FENELON	5701	92%
	JEREMIE	355	6%
	SAINTE-HELENE	166	3%
	Total COS12	6221	100%
13	FENELON	5995	98%
	JEREMIE	111	2%
	Total COS13	6107	100%
14	FENELON	ZONE EXCLUE	0%
	Total COS14	0	0%
15	FENELON	18	1%
	SAINTE-HELENE	2709	99%
	Total COS15	2727	100%
16	RAYMOND	ZONE EXCLUE	0%
	RECHER	ZONE EXCLUE	0%
	Total COS16	0	0%

COS	Chantier	Volume net exploitable	% du COS
	RAINBOTH	2091	43%
	WAWAGOSIC	2600	54%
	WAWAGOSIC NORD	122	3%
	Total COS67	4813	100%
68	CARQUEVILLE	480	6%
	DALET	10	0%
	FUMERTON	5265	61%
	POIRIER	1563	18%
	RAINBOTH	2	0%
	Total COS68	8618	100%
69	POIRIER	6897	100%
	RAINBOTH	1	0%
	Total COS69	6897	100%
70	POIRIER	3248	100%
	Total COS70	3248	100%
71	DALET	0	0%
	POIRIER	5529	100%
	Total COS71	5529	100%
72	BOIVIN	8377	100%
	Total COS72	8377	100%
73	BOIVIN	1957	40%

COS	Chantier	Volume net exploitable	% du COS
17	ENJALRAN	139	10%
	RAYMOND	16	1%
	RECHER	1230	89%
	Total COS17	1384	100%
18	ENJALRAN	3048	54%
	PUISEAUX	870	15%
	RAYMOND	749	13%
	RECHER	1029	18%
	Total COS18	5696	100%
19	CASA-BERARDI	335	8%
	PUISEAUX	14	0%
	RAYMOND	3594	83%
	RECHER	390	9%
	Total COS19	4332	100%
20	CASA-BERARDI	15	0%
	ENJALRAN	0	0%
	PUISEAUX	4475	99%
	RAYMOND	42	1%
	Total COS20	4532	100%
21	PUISEAUX	6009	100%
	Total COS21	6009	100%
22	BESCHEFER	2	0%
	BROUILLAN	2567	100%
	Total COS22	2569	100%
23	BESCHEFER	182	14%
	BROUILLAN	1086	86%
	Total COS23	1268	100%
24	BESCHEFER	5027	82%
	BROUILLAN	1130	18%
	ORVILLIERS	0	0%
	Total COS24	6156	100%
25	BESCHEFER	1051	100%
	ORVILLIERS	1	0%
	Total COS25	1052	100%

COS	Chantier	Volume net exploitable	% du COS
	VAL PARADIS	2901	60%
	Total COS73	4858	100%
74	VAL PARADIS	1548	58%
	VILLEBOIS	1134	42%
	Total COS74	2681	100%
75	LAVERGNE	6	0%
	LEMAIRE	28	0%
	VILLEBOIS	9185	100%
	Total COS75	9219	100%
76	BOURQUE	0	0%
	LEMAIRE	4092	100%
	VILLEBOIS	3	0%
	Total COS76	4095	100%
77	BOURQUE	0	0%
	LAVERGNE	34	1%
	LEMAIRE	4642	99%
	Total COS77	4677	100%
78	BACON	1425	41%
	BOURQUE	1196	34%
	LEMAIRE	890	25%
	Total COS78	3510	100%
79	BOURQUE	3635	74%
	LEMAIRE	1087	22%
	PLAMONDON	1	0%
	VANIER NORD	204	4%
	Total COS79	4927	100%
80	BOURQUE	3187	100%
	Total COS80	3187	100%
81	BACON	196	6%
	BOURQUE	2950	84%
	PLAMONDON	355	10%
	WAWAGOSIC	0	0%
	Total COS81	3501	100%
82	WAWAGOSIC	2323	100%

COS	Chantier	Volume net exploitable	% du COS
26	BESCHEFER	1502	100%
	Total COS26	1502	100%
27	ALOIGNY	9	0%
	BAPST	8205	100%
	JEREMIE	0	0%
	Total COS27	8214	100%
28	BAPST	3751	100%
	FENELON	0	0%
	SAINTE-HELENE	13	0%
	Total COS28	3764	100%
29	SAINTE-HELENE	1851	100%
	Total COS29	1851	100%
30	RECHER	2645	100%
	Total COS30	2645	100%
31	DIEPPE	1170	57%
	RECHER	888	43%
	Total COS31	2058	100%
32	CASA-BERARDI	4696	100%
	Total COS32	4696	100%
33	ESTRADES	4364	100%
	Total COS33	4364	100%
34	BESCHEFER	25	1%
	ESTRADES	1333	32%
	ORVILLIERS	2756	67%
	VALRENNES	8	0%
	Total COS34	4123	100%
35	BESCHEFER	1475	31%
	ORVILLIERS	3309	69%
	Total COS35	4785	100%
36	ORVILLIERS	1848	100%
	Total COS36	1848	100%
37	VALRENNES	2141	100%
	Total COS37	2141	100%

COS	Chantier	Volume net exploitable	% du COS
	Total COS82	2323	100%
83	CARQUEVILLE	2102	55%
	CELORON	103	3%
	WAWAGOSIC	1621	42%
	Total COS83	3826	100%
84	CARQUEVILLE	3420	43%
	DALET	517	7%
	FUMERTON	0	0%
	WAWAGOSIC	3937	50%
	Total COS84	7875	100%
85	CARQUEVILLE	499	12%
	CELORON	2	0%
	DALET	2329	56%
	MAZARIN	98	2%
	POIRIER	1199	29%
Total COS85	4127	100%	
86	DALET	9103	95%
	MAZARIN	492	5%
	POIRIER	13	0%
	Total COS86	9607	100%
87	BOVIN	3525	41%
	PERRON	5147	59%
	Total COS87	8672	100%
88	PERRON	4305	100%
	Total COS88	4305	100%
89	LAVERGNE	11836	100%
	VILLEBOIS	1	0%
	Total COS89	11838	100%
90	BOURQUE	243	5%
	LAVERGNE	2370	47%
	LEMAIRE	11	0%
	VANIER NORD	1769	35%
	VANIER SUD	645	13%

COS	Chantier	Volume net exploitable	% du COS	
38	ALOIGNY	4641	89%	
	BAPST	548	11%	
	Total COS38	5189	100%	
39	ALOIGNY	3331	54%	
	BAPST	507	8%	
	SAINTE-HELENE	2360	38%	
	Total COS39	6198	100%	
40	COLLET	8	0%	
	DIEPPE	2106	100%	
	RECHER	0	0%	
	Total COS40	2115	100%	
41	CASA-BERARDI	799	22%	
	DIEPPE	2889	78%	
	Total COS41	3688	100%	
42	CASA-BERARDI	3170	84%	
	COLLET	5	0%	
	VILLEBOIS	588	16%	
	Total COS42	3763	100%	
43	CASA-BERARDI	1704	100%	
	Total COS43	1704	100%	
44	CASA-BERARDI	1753	90%	
	PUISEAUX	205	10%	
	Total COS44	1958	100%	
45	BACON	ZONE EXC LUE	0%	
	BACON NORD	ZONE EXC LUE	0%	
	BOURQUE	ZONE EXC LUE	0%	
	BRABAZON	ZONE EXC LUE	0%	
	CARQUEVILLE	ZONE EXC LUE	0%	
	CELORON	ZONE EXC LUE	0%	
	PLAMONDON	ZONE EXC LUE	0%	
	RAINBOTH	ZONE EXC LUE	0%	
	VALRENNES	ZONE EXC LUE	0%	
	WAWAGOSIC	ZONE EXC LUE	0%	
	WAWAGOSIC NORD	ZONE EXC LUE	0%	
	Total COS45	0	0%	
	46	ORVILLIERS	39	1%

COS	Chantier	Volume net exploitable	% du COS
	Total COS90	5038	100%
91	BOURQUE	939	22%
	PLAMONDON	3285	78%
	VANIER NORD	0	0%
	VANIER SUD	4	0%
	Total COS91	4229	100%
92	CARQUEVILLE	1055	14%
	CELORON	6346	84%
	MAZARIN	135	2%
	PLAMONDON	13	0%
	Total COS92	7548	100%
93	CELORON	11	0%
	DALET	155	3%
	MAZARIN	4475	96%
	Total COS93	4641	100%
94	DALET	27	1%
	MAZARIN	4797	99%
	Total COS94	4825	100%
95	HAZEL	1141	28%
	DISSON	1	0%
	LAVERGNE	2864	71%
	VANIER SUD	4	0%
	Total COS95	4010	100%
96	DISSON	34	1%
	LAVERGNE	844	15%
	PLAMONDON	148	3%
	VANIER SUD	4673	82%
	Total COS96	5700	100%
97	CELORON	2479	28%
	DISSON	323	4%
	LIGNERIS	1889	21%
	PLAMONDON	3537	40%
	VANIER SUD	612	7%
	Total COS97	8840	100%
98	CELORON	3191	60%
	LIGNERIS	2146	40%

COS	Chantier	Volume net exploitable	% du COS
	VALRENNES	3758	99%
	Total COS46	3798	100%
47	RAINBOTH	0	0%
	VALRENNES	8033	100%
	Total COS47	8033	100%
48	RAINBOTH	164	6%
	VALRENNES	2375	94%
	Total COS48	2539	100%
49	COLLET	7298	99%
	DIEPPE	92	1%
	Total COS49	7389	100%
50	CASA-BERARDI	39	1%
	COLLET	3342	45%
	DIEPPE	320	4%
	VILLEBOIS	3700	50%
	Total COS50	7399	100%
51	CASA-BERARDI	431	8%
	COLLET	557	11%
	VAL PARADIS	745	14%
	VILLEBOIS	3464	67%
	Total COS51	5196	100%
52	CASA-BERARDI	1531	46%
	VILLEBOIS	1775	54%
	Total COS52	3306	100%
53	BRABAZON	2630	82%
	VILLEBOIS	558	18%
	Total COS53	3188	100%
54	BACON	4682	71%
	BACON NORD	852	13%
	BRABAZON	1087	16%
	Total COS54	6622	100%
55	RAINBOTH	735	20%
	VALRENNES	2948	80%
	Total COS55	3683	100%
56	POIRIER	953	10%
	RAINBOTH	7738	82%
	VALRENNES	691	7%
	Total COS56	9381	100%
57	POIRIER	5686	72%
	RAINBOTH	182	2%
	VALRENNES	2006	25%
	Total COS57	7874	100%

COS	Chantier	Volume net exploitable	% du COS
	MAZARIN	1	0%
	Total COS98	5337	100%
99	HAZEL	4010	100%
	DISSON	3	0%
	LANGUEDOC	1	0%
	Total COS99	4013	100%
100	DISSON	1509	26%
	LANGUEDOC	1	0%
	LIGNERIS	4208	74%
	Total COS100	5718	100%
101	LIGNERIS	4916	100%
	Total COS101	4916	100%
102	HAZEL	4880	100%
	Total COS102	4880	100%
103	HAZEL	1196	12%
	DISSON	555	6%
	LANGUEDOC	7793	80%
	LIGNERIS	188	2%
	Total COS103	9732	100%
104	LANGUEDOC	12	0%
	LIGNERIS	6709	100%
	Total COS104	6721	100%
105	LANGUEDOC	2514	100%
	Total COS105	2514	100%
106	LANGUEDOC	2586	88%
	LIGNERIS	366	12%
	Total COS106	2952	100%
107	PRIVAT	3002	100%
	Total COS107	3002	100%
108	HAZEL	114	4%
	DISSON	2466	79%
	LANGUEDOC	541	17%
	Total COS108	3122	100%
109	HAZEL	12	0%
	DISSON	2242	71%
	LAVERGNE	31	1%
	VANIER SUD	868	28%
	Total COS109	3152	100%
110	NORMETAL	1150	16%
	PERRON	5850	84%
	Total COS110	7000	100%
	Total	503025	0%

ANNEXE B

COÛT DE CRÉATION DE CHEMINS

Étape 1 : Calcul du ratio cible de km de chemins par km² de forêts productives

Ce ratio correspond au volume idéal de chemins à créer donc à une moyenne car ce il dépend en réalité des caractéristiques propres à chaque COS, dans la mesure où un même volume de forêt productive peut nécessiter une quantité de chemins différentes selon les conditions d'accès. Or, on constate que la moitié Nord de l'UAF est essentiellement exploitée en chemins d'hiver, c'est à dire de type temporaire (ceux-ci présentent un avantage considérable par rapport aux chemins de récolte permanents de classe 3 et 4, plus couteux et plus long à déployer). Nous avons donc choisi de séparer l'UAF en deux parties afin de séparer les COS exploités en majorité par des chemins d'hiver au Nord des COS exploités en chemins d'hiver ainsi que permanents au Sud (Figure B.1). Étant donné les conditions de déploiements différentes des chemins d'hiver par rapport aux chemins permanents (ceux-ci peuvent-être moins sinueux car la couche de neige élimine certains obstacles et réduits les dénivelés), il a donc été nécessaire de définir un ratio cible propre à chacune des deux zones (RC_{Nord} et RC_{Sud}). Pour ce faire, nous avons calculé le ratio de km de chemins existants par km^2 de forêt productive de chacun des COS (R_{COS}) à l'aide de l'outil ArcGIS et selon la formule suivante :

$$R_{COS} = (kmCh3_{COS} + kmCh4_{COS} + kmChH_{COS}) / km^2 FP$$

Où :

$kmCh3_{COS}$: km de chemins de classe 3 existants du COS.

$kmCh4_{COS}$: km de chemins de classe 4 existants du COS.

$kmChH_{COS}$: km de chemins d'hiver existants du COS.

$km^2 FP$: km^2 de forêt productive du COS.

Étape 2 : Identification du COS représentant le ratio cible de km de chemin par km² le plus élevé

Il s'agit du COS qui présente la plus grande proportion de volume de forêt productive ayant connu au moins une première coupe, pour la zone Nord comme pour la zone Sud :

- $RC_{\text{Nord}} = R_{\text{COS22}}$ avec un ratio de 3,14 km Ch / km² FP.
- $RC_{\text{Sud}} = R_{\text{COS50}}$ avec un ratio de 2,19 km Ch / km² FP.

La figure B.1 présente les résultats avec la densité de chemins par COS pour les zones Nord et Sud de l'UAF (plus les COS sont foncés, plus le ratio est élevé).

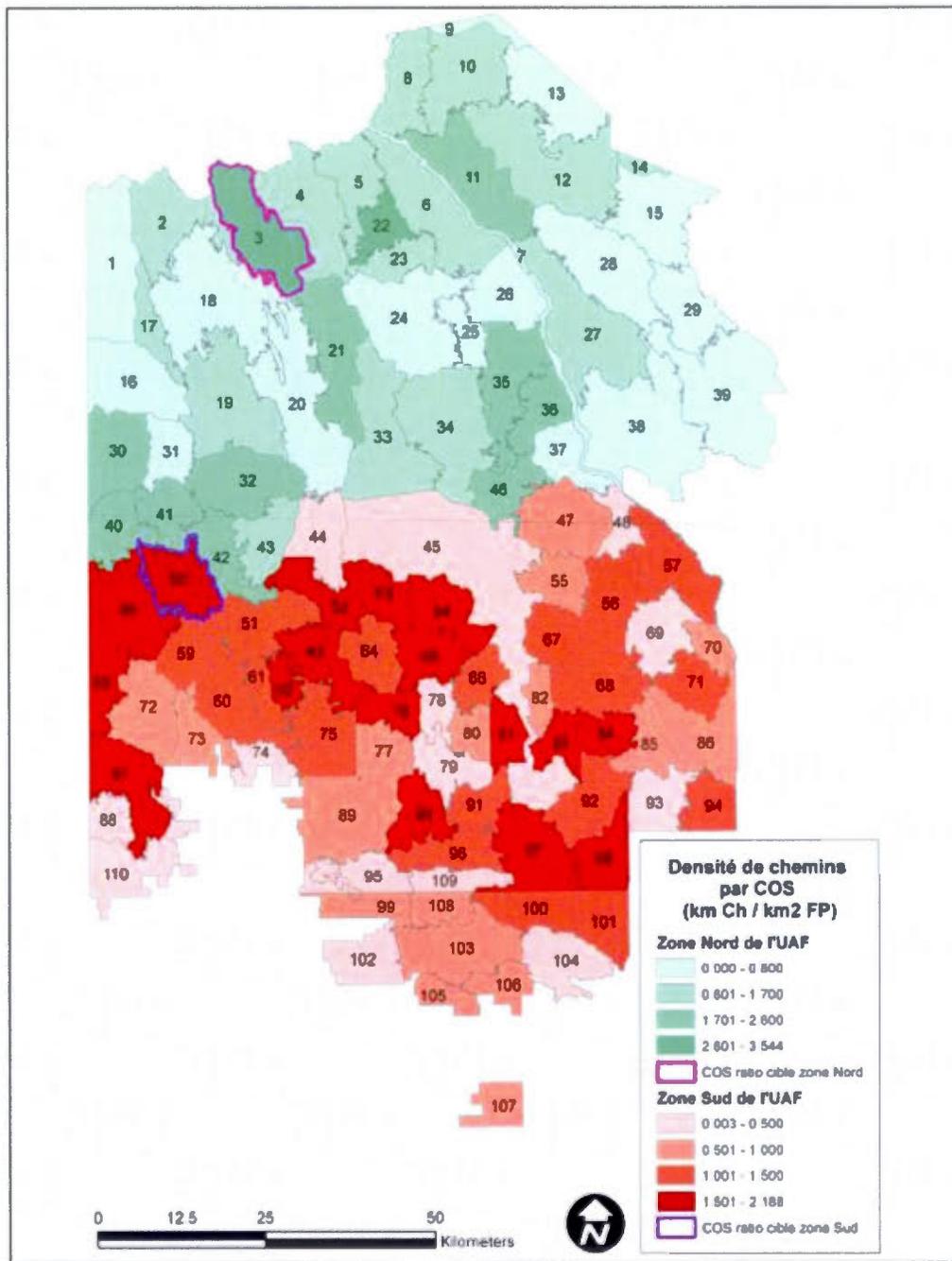


Figure B.1 : Densité de chemins forestiers par COS sur l'UAF 85-51

Étape 3 : Calcul du taux de chemins manquants par COS

Ce calcul correspond à l'écart du ratio de chemins par COS par rapport au ratio cible, pour chacune des deux zones, selon la formule suivante :

Pour la zone Nord	Pour la zone Sud
$\dot{E}cR_{COS}RC_{Nord} = (RC_{Nord} - R_{COS}) / RC_{Nord}$	$\dot{E}cR_{COS}RC_{Sud} = (RC_{Sud} - R_{COS}) / RC_{Sud}$

Où :

R_{COS} : ratio de km de chemins de classe 3, 4 et d'hiver par km² de forêt productive du COS.

RC_{Nord} : ratio cible de km de chemins de classe 3, 4 et d'hiver par km² de forêt productive du COS pour la zone Nord.

RC_{Sud} : ratio cible de km de chemins de classe 3, 4 et d'hiver par km² de forêt productive du COS pour la zone Sud.

La figure B.2 présente les résultats des taux de chemins manquants par COS.

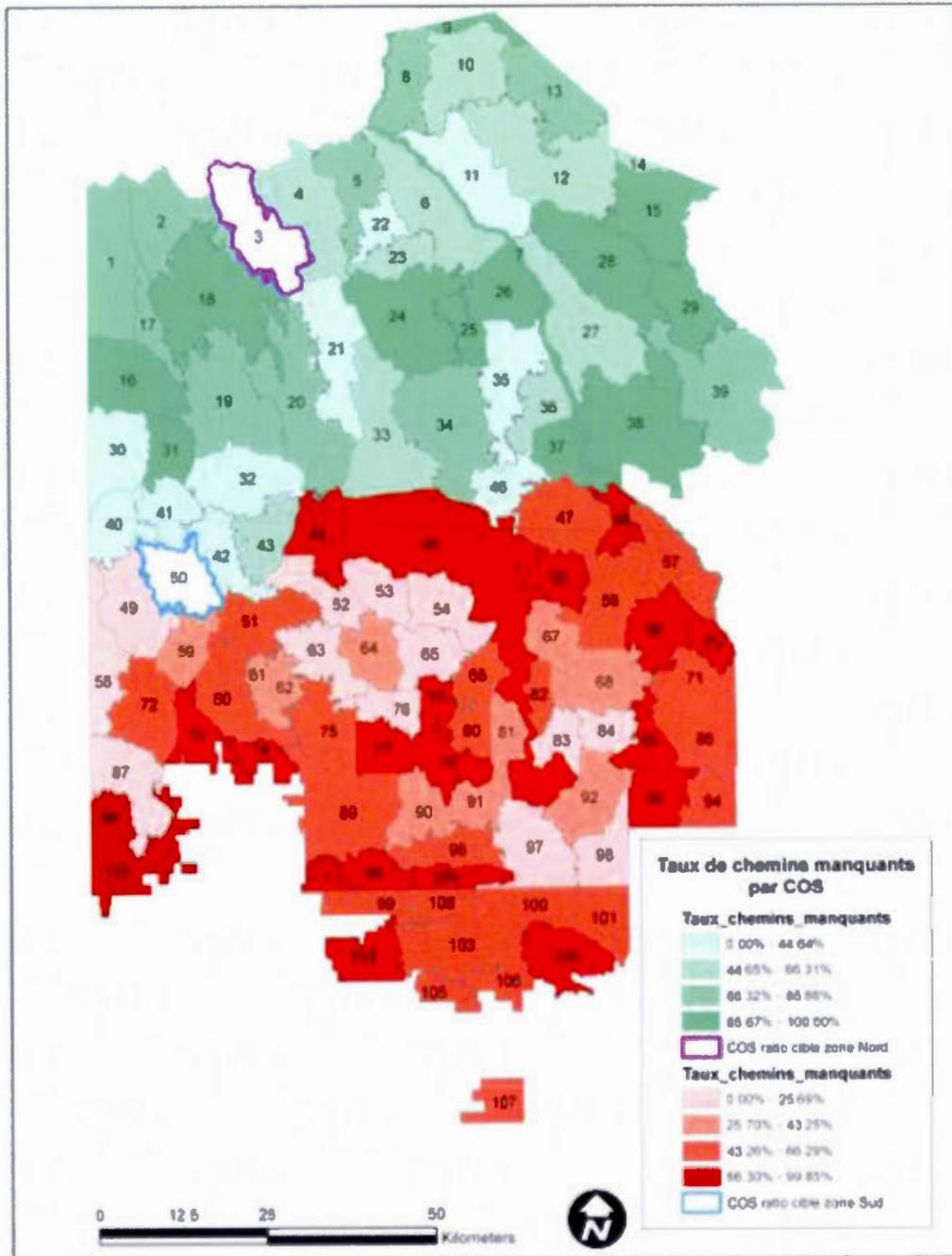


Figure B.2 : Taux de chemins forestiers manquants par COS sur l'UAF 85-51

Étape 4 : Définition du coût moyen de création de chemins en \$/m³ de référence pour l'ensemble de l'UAF

Pour ce calcul, nous nous sommes basés sur l'étude menée par Moore (2009) sur la Côte Nord dans laquelle il évalue la rentabilité de la coupe de jardinage par rapport à la CPRS sur une période de 200 ans, en déterminant une distribution de résultats probables par catégorie de coûts (selon une approche stochastique de type Monte-Carlo) (voir détails au point 1,1,1,1). Selon ses calculs, la valeur moyenne du Coût Moyen de Création de Chemin (CMCC) issue de cette distribution de résultats est de 3,15 \$/m³ de bois en 2009 équivalent à 3,18 \$/m³ en 2011⁴⁴.

Étape 5 : Calcul du coût de création de chemins restants à construire par COS

Ce coût a été estimé en pondérant le CMCC avec la proportion de chemins manquant par COS, selon la formule suivante :

$$\begin{array}{ll} \text{Pour la zone Nord} & \text{Pour la zone Sud} \\ CMCC_{COS} = CMCC \times \acute{E}cR_{COS}RC_{Nord} & CMCC_{COS} = CMCC \times \acute{E}cR_{COSn}RC_{Sud} \end{array}$$

Où :

CMCC : coût moyen de création de chemin (estimé à 3,18\$/m³).

ÉcR_{COS}RC_{Nord} : écart du ratio de chemins par COS par rapport au ratio cible pour la zone Nord.

ÉcR_{COS}RC_{Sud} : écart du ratio de chemins par COS par rapport au ratio cible pour la zone Sud.

⁴⁴ Selon l'évolution de l'indice implicite du PIB au Québec entre 2009 et 2011 défini par l'Institut de la Statistique du Québec : http://www.stat.gouv.qc.ca/donstat/econm_finnc/conjn_econm/TSC/pdf/chap11.pdf Consulté le 15 Avril 2012.

ANNEXE C

HYPOTHÈSES DE CALCUL DU COUT DE TRANSPORT DU BOIS À L'USINE

Dans son étude de coût réalisée en 2007, Tembec a déterminé la vitesse moyenne d'un transporteur selon de type de tronçon (Tableau C.1).

Tableau C.1 : Vitesse moyenne d'un camion de transport de bois par type de tronçon et catégories de chemins (Favreau et al., 2004)

Catégorie de chemin	Type de tronçon	Vitesse moyenne (km/h)
Chemins d'accès	Asphalte (routes)	72
	Concassé (classe 1)	60
	Graviers deux voies (classe 2)	45
Chemins de récolte	Fourches (classe 3, classe 4 et chemins d'hiver)	40

Les autres hypothèses utilisées pour le transport du bois sont les suivantes (Communication personnelle, Osvaldo Valeria 2012) :

- Temps d'attente pendant le chargement (T_{psA}) = 1,15 h
- Coût horaire facturé par CL Logistique pour les opérations de transport (C_{Horaire}) = 89,16 \$.
- Poids moyen d'un chargement de bois (T_V) = 35,10 tonnes par voyage.

Les coûts de transport par type de tronçon ont été calculés comme suit.

Coût de transport du bois à l'usine pour les tronçons d'asphalte (CTAC) :

$$CTCA = (((kmA_C \times 2) / VA) \times C_{\text{horaire}}) / T_V$$

Où :

kmA_C : km de chemins d'asphalte menant de l'usine au chantier.

VA : Vitesse moyenne du camion de transport sur chemin d'asphalte.

$C_{Horaire}$: Coût horaire facturé par CL Logistique pour les opérations de transport ($C_{Horaire}$) (estimé à 89,16 \$).

T_V : poids moyen d'un chargement de bois (estimé à 35,10 tonnes par voyage).

Cout de transport du bois à l'usine pour les chemins en concassé (CTCC) :

$$CTCC = (((kmC_c \times 2) / VC) \times C_{horaire}) / T_V$$

Où :

kmA_c : km de chemins concassé menant de l'usine au chantier.

VC : Vitesse moyenne du camion de transport sur chemins concassé.

$C_{Horaire}$: Coût horaire facturé par CL Logistique pour les opérations de transport ($C_{Horaire}$) (estimé à 89,16 \$).

T_V : poids moyen d'un chargement de bois (estimé à 35,10 tonnes par voyage).

Cout de transport du bois à l'usine pour les chemins en graviers (CTGC) :

$$CTGC = (((kmG_c \times 2) / VG) \times C_{horaire}) / T_V$$

Où :

kmG_c : km de chemins de graviers menant de l'usine au chantier.

VG : Vitesse moyenne du camion de transport sur chemins de graviers.

$C_{Horaire}$: Coût horaire facturé par CL Logistique pour les opérations de transport ($C_{Horaire}$) (estimé à 89,16 \$).

T_V : poids moyen d'un chargement de bois (estimé à 35,10 tonnes par voyage).

Cout de transport du bois à l'usine pour les fourches (CTFC) :

$$CTFC = (((kmF_c \times 2) / VF) \times C_{horaire}) / T_V$$

Où :

kmF_c : km de fourches menant de l'usine au chantier.

VF : Vitesse moyenne du camion de transport sur les fourches.

$C_{Horaire}$: Coût horaire facturé par CL Logistique pour les opérations de transport ($C_{Horaire}$) (estimé à 89,16 \$).

T_V : poids moyen d'un chargement de bois (estimé à 35,10 tonnes par voyage).

Cout de transport du bois à l'usine pendant l'attente durant le chargement (CTA) :

$$CTA = (TpsA \times C_{horaire}) / T_V$$

Où :

$TpsW$: temps d'attente pendant le chargement (estimé à 1,15 h).

$C_{Horaire}$: Coût horaire facturé par CL Logistique pour les opérations de transport ($C_{Horaire}$) (estimé à 89,16 \$).

T_V : poids moyen d'un chargement de bois (estimé à 35,10 tonnes par voyage).

La somme de ces différents coûts détermine le cout de transport du bois à l'usine par chantier (CTC) converti en \$/m³ :

$$CTC = (CTCA + CTCC + CTGC + CTFC + CTA) \times 1,122$$

ANNEXE D

RÉSULTATS DU CALCUL DES COÛTS DE TRANSPORT PAR CHANTIER

Tableau D.1 : Estimation du coût de transport par chantier

Chantier	Coût de transport par chantiers (\$/m3)									
	Distances de chemins par type de revêtement (km)					Taux (\$ / t.m.)			Facteur (t.m. / m3)	TOTAL (\$/m3)
	Asphalte	Concassé	2 voies	Fourche	Total	Taux fardier	Taux de chargement	Taux de transport		
ALOIGNY	47	97	0	2	146	0,19	1,13	14,19	1,12	16,18
BACON NORD	29	61	0	5	95	0,19	1,13	10,10	1,12	13,10
BACON	29	55	0	5	89	0,19	1,13	10,10	1,12	12,19
BAPST	77	97	0	6	180	0,19	1,13	17,19	1,12	19,13
BESCHEFER	61	93	0	20	174	0,19	1,13	17,19	1,12	19,15
BOIVIN	52	5	2	17	76	0,19	1,13	9,14	1,12	11,12
BOURQUE	29	44	0	10	83	0,19	1,13	10,10	1,12	12,19
BRABAZON	60	25	0	14	99	0,19	1,13	11,18	1,12	13,19
BROUILLAN	61	80	0	5	146	0,19	1,13	14,12	1,12	16,11
CARQUEVILLE	29	47	0	36	112	0,19	1,13	13,12	1,12	15,18
CASA- BERARDI	61	26	0	8	95	0,19	1,13	10,18	1,12	12,17
CELORON	35	29	18	23	105	0,19	1,13	12,11	1,12	15,16
CELORON	35	29	30	2	96	0,19	1,13	11,11	1,12	13,13
HAZEL	29	20	0	7	56	0,19	1,1	7,12	1,12	9,12
CHICOBİ	35	29	9	4	77	0,19	1,13	9,12	1,12	11,19
COLLET	70	14	0	10	94	0,19	1,13	10,15	1,12	12,14
DALET	35	36	58	10	139	0,19	1,13	16,13	1,12	18,15
DIEPPE	61	38	0	3	102	0,19	1,13	10,15	1,12	13,16
DISSON	35	15	0	3	53	0,19	1,1	7,11	1,12	9,10
ENJALRAN	61	40	18	22	141	0,19	1,13	15,12	1,12	17,12
ESTRADES	29	75	5	24	133	0,19	1,13	15,11	1,12	17,11
FENELON	63	99	0	25	187	0,19	1,13	18,16	1,12	21,15
FUMERTON	29	45	8	33	115	0,19	1,13	13,17	1,12	16,14
JEREMIE	62	98	0	35	195	0,19	1,13	20,16	1,12	22,17
LANGUEDOC	29	4	0	12	45	0,19	1,1	7,10	1,12	8,19
LAVERGNE	29	23	0	16	68	0,19	1,1	9,10	1,12	11,13
LEMAIRE	29	36	8	4	77	0,19	1,13	9,17	1,12	11,15

Chantier	Distances de chemins par type de revêtement (km)					Taux (\$ / t.m.)			Facteur (t.m. / m3)	TOTAL (\$/m3)
	Asphalte	Concassé	2 voies	Fourche	Total	Taux fardier	Taux de chargement	Taux de transport		
LIGNERIS	37	35	4	1	77	0,19	1,13	9,12	1,12	11,19
MAZARIN	35	36	39	13	123	0,19	1,13	14,18	1,12	16,17
NORMETAL	31	0	9	2	42	0,19	1,1	6,16	1,12	8,13
ORVILLIERS	29	75	5	28	137	0,19	1,13	15,12	1,12	17,12
PERRON	32	0	4	15	51	0,19	1,1	7,10	1,12	9,10
PLAMONDON	29	30	4	12	75	0,19	1,13	9,13	1,12	11,10
POIRIER	35	98	0	20	153	0,19	1,13	16,10	1,12	18,12
PRIVAT	48	4	0	3	55	0,19	1,1	7,10	1,12	9,19
PUISEAUX	61	53	0	8	122	0,19	1,13	12,14	1,12	14,18
RAINBOTH	35	88	0	8	131	0,19	1,13	13,15	1,12	16,13
RAYMOND	61	40	3	5	109	0,19	1,13	11,11	1,12	13,13
RECHER	61	40	9	8	118	0,19	1,13	12,15	1,12	14,10
SAINTE- HELENE	62	97	0	15	174	0,19	1,13	17,17	1,12	19,12
VAL PARADIS	56	0	0	16	72	0,19	1,1	9,16	1,12	11,19
VALRENNES	30	98	11	19	158	0,19	1,13	17,15	1,12	19,19
VANIER NORD	35	32	0	3	70	0,19	1,1	8,14	1,12	10,16
VANIER SUD	35	22	0	6	63	0,19	1,1	8,18	1,12	10,19
VILLEBOIS	56	0	8	1	65	0,19	1,1	8,16	1,12	10,17
WAWAGOSIC	29	45	0	27	101	0,19	1,13	12,12	1,12	14,16
WAWAGOSIC NORD	29	75	0	1	105	0,19	1,13	11,17	1,12	13,19

ANNEXE E

HYPOTHÈSES POUR LE CALCUL DU COÛT DES CAMPS FORESTIERS

Le coût d'exploitation des camps forestier est calculé selon le nombre de personnes nécessaire pour les activités forestières. Le budget type ci-dessous a été réalisé selon les hypothèses présentées au tableau E.1.

Tableau E.1 : **Coût d'hébergement en camp forestier des équipes** de récolte, de supervision et de transport du bois sur L'UAF 85-51 (en \$/m³) (Communication personnelle, Osvaldo Valeria 2012)

Activité	Type de personnel	Nombre de personnes (S)	Coût d'hébergement (C _{Heb})	Volume minimum par jour	Coût en \$ / m ³
Récolte	Équipe multifonctionnelle	5	45 \$ / jour / pers	300 m ³ récoltés (VRMini)	0,15
Supervision	Contremaître	0,1		300 m ³ récoltés (VRMini)	0,18
Transport	Chargeur	1		1200 m ³ transportés (VTMini)	0,14
				TOTAL	0,16

Coût d'hébergement de l'équipe multifonctionnelle :

$$CH_{Rec} = (C_{Heb} \times S_{Multi}) / VRMini$$

Où :

CHeb : coût d'hébergement dans un camp par jour par personne .

S_{Multi} : nombre de personnes affectées à la récolte hébergées par jour (équipe multifonctionnelle).

VRMini : volume minimum de bois récolté par jour.

Coût d'hébergement du contremaître en charge de la supervision :

$$CH_{Sup} = (CHeb \times S_{Sup}) / VRMini$$

Où :

CHeb : coût d'hébergement dans un camp par jour par personne .

S_{Sup} : nombre de personnes affectées à la supervision hébergées par jour (contremaître).

VRMini : volume minimum de bois récolté par jour.

Coût d'hébergement du chargeur en charge du transport :

$$CH_{Trans} = (CHeb \times S_{Trans}) / VTMini$$

Où :

CHeb : coût d'hébergement dans un camp par jour par personne .

S_{Trans} : nombre de personnes affectées au transport hébergées par jour (chargeur).

VRMini : volume minimum de bois récolté par jour.

ANNEXE F

HYPOTHÈSES POUR L'ESTIMATION DES DROITS DE COUPE PAR COS

Pour chacune des zones de tarification, le droit de coupe moyen par COS a été estimé selon la formule suivante :

$$DCoupe = (((\%SEPM_B COS \times VmSEPM_B COS) + (\%SEPM_C COS \times VmSEPM_C COS)) \times \%SEPM COS) + ((\%BOP_C COS \times VmBOP_C COS) \times \%BOP COS) + ((\%PEP_B COS \times VmPEP_B COS) \times \%PET COS)$$

Où :

%SEPM_BCOS : pourcentage de tiges de SEPM de qualité B (sciages), du COS.

VmSEPM_BCOS : valeur marchande du bois sur pieds de qualité B pour les essences SEPM du COS.

%SEPM_CCOS : pourcentage de tiges de SEPM de qualité C (pâtes) du COS.

VmSEPM_CCOS : valeur marchande du bois sur pieds de qualité C pour les essences SEPM du COS.

%SEPM COS : pourcentage de tiges de SEPM du COS.

%BOP_CCOS : pourcentage de tiges de BOP de qualité C (pâtes), du COS.

VmBOP_CCOS : valeur marchande du bois sur pieds de qualité C pour les essences BOP du COS.

%BOP COS : pourcentage de tiges de BOP du COS.

%PEP_BCOS : pourcentage de tiges de PEP de qualité B (sciages), du COS.

VmPEP_BCOS : valeur marchande du bois sur pieds de qualité B pour les essences PEP du COS.

%PET COS : pourcentage de tiges de PET du COS.

ANNEXE G

RÉSULTATS DU CALCUL DES COÛTS D'EXPLOITATION PAR COS

Tableau G.1 : Résultats de calcul des coûts d'exploitation par COS

COS	Coûts d'exploitation (\$/m ³)				
	Chemins	Récolte CPRS	Récolte CP	Transport	Autres coûts
1	3,13	20,10	24,14	17,19	12,16
2	3,14	20,10	24,14	17,12	12,18
3	6,13	20,10	24,14	17,17	12,19
4	5,13	20,10	24,14	17,19	12,14
5	3,11	20,10	24,14	16,11	13,17
6	5,14	20,10	24,14	16,11	13,15
7	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
8	3,10	20,10	24,14	22,17	11,14
9	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
10	5,18	20,10	24,14	22,17	12,14
11	7,15	20,10	24,14	22,18	12,18
12	5,14	20,10	24,14	21,17	12,14
13	5,14	20,10	24,14	21,17	12,12
14	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
15	3,16	20,10	24,14	19,13	12,11
16	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
17	3,17	20,10	24,14	15,17	12,14
18	4,13	20,10	24,14	16,18	13,11
19	4,15	20,10	24,14	13,14	12,10
20	4,14	20,10	24,14	14,17	12,12
21	6,12	20,10	24,14	14,18	12,15
22	4,16	20,10	24,14	16,11	12,17
23	2,14	20,10	24,14	17,15	12,14
24	3,10	20,10	24,14	19,19	12,19
25	0,10	20,10	24,14	19,15	13,17
26	3,15	20,10	24,14	19,15	12,15
27	6,18	20,10	24,14	19,13	12,15
28	3,16	20,10	24,14	19,13	13,14
29	0,10	20,10	24,14	19,12	13,16
30	4,15	20,10	24,14	14,10	12,19

Coûts d'exploitation (\$/m ³)					
COS	Chemins	Récolte CPRS	Récolte CP	Transport	Autres coûts
31	3,14	20,10	24,14	13,15	12,18
32	6,17	20,10	24,14	12,17	12,13
33	5,18	20,10	24,14	17,11	12,17
34	4,13	20,10	24,14	17,17	13,14
35	5,13	20,10	24,14	18,11	12,15
36	3,10	20,10	24,14	17,12	12,10
37	0,10	20,10	24,14	19,19	11,19
38	3,16	20,10	24,14	17,16	11,13
39	4,11	20,10	24,14	18,14	12,17
40	4,19	20,10	24,14	13,16	12,19
41	5,15	20,10	24,14	12,17	12,16
42	5,10	20,10	24,14	12,17	12,18
43	3,10	20,10	24,14	12,17	13,16
44	3,18	20,10	24,14	12,11	13,13
45	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
46	4,12	20,10	24,14	19,18	12,12
47	4,19	20,10	24,14	19,19	12,11
48	3,10	20,10	24,14	19,19	11,14
49	5,18	20,10	24,14	12,15	11,11
50	3,17	20,10	24,14	11,13	13,13
51	5,18	20,10	24,14	10,10	17,17
52	3,16	20,10	24,14	11,18	18,12
53	2,16	20,10	24,14	12,12	12,17
54	4,18	20,10	24,14	12,12	19,19
55	3,14	20,10	24,14	18,16	12,19
56	4,18	20,10	24,14	16,10	18,15
57	4,13	20,10	24,14	18,16	16,15
58	4,18	20,10	24,14	11,11	13,13
59	3,12	20,10	24,14	11,15	11,10
60	5,11	20,10	24,14	10,15	17,19
61	3,16	20,10	24,14	10,13	18,19
62	2,13	20,10	24,14	10,17	18,12
63	6,16	20,10	24,14	10,15	14,18
64	4,13	20,10	24,14	10,12	18,13
65	4,14	20,10	24,14	11,12	17,16
66	2,11	20,10	24,14	12,12	17,16
67	3,19	20,10	24,14	15,16	18,11
68	5,14	20,10	24,14	16,10	17,12
69	3,12	20,10	24,14	18,12	18,18
70	3,14	20,10	24,14	18,12	12,13

Coûts d'exploitation (\$/m ³)					
COS	Chemins	Récolte CPRS	Récolte CP	Transport	Autres coûts
71	3,14	20,10	24,14	18,12	12,19
72	4,16	20,10	24,14	11,12	16,13
73	4,15	20,10	24,14	11,10	14,12
74	3,16	20,10	24,14	10,16	13,15
75	5,14	20,10	24,14	10,18	18,14
76	2,16	20,10	24,14	11,14	16,19
77	3,15	20,10	24,14	11,14	17,15
78	3,12	20,10	24,14	12,17	16,10
79	3,15	20,10	24,14	12,11	17,12
80	2,10	20,10	24,14	12,19	16,18
81	2,19	20,10	24,14	12,16	18,19
82	3,15	20,10	24,14	14,16	18,10
83	3,17	20,10	24,14	15,17	20,17
84	3,13	20,10	24,14	15,10	18,13
85	3,13	20,10	24,14	18,16	14,16
86	4,13	20,10	24,14	18,16	18,16
87	6,14	20,10	24,14	10,18	15,14
88	3,17	20,10	24,14	9,10	15,10
89	6,18	20,10	24,14	11,13	17,18
90	5,12	20,10	24,14	10,10	17,15
91	5,15	20,10	24,14	11,11	19,15
92	4,18	20,10	24,14	14,17	17,13
93	3,16	20,10	24,14	16,12	19,14
94	3,10	20,10	24,14	16,18	20,16
95	3,12	20,10	24,14	10,13	19,13
96	3,18	20,10	24,14	10,16	18,12
97	6,18	20,10	24,14	11,19	21,12
98	4,15	20,10	24,14	12,15	20,18
99	3,17	20,10	24,14	9,12	19,11
100	3,18	20,10	24,14	10,14	20,19
101	3,10	20,10	24,14	11,19	17,16
102	3,17	20,10	24,14	9,12	18,16
103	5,15	20,10	24,14	9,14	20,15
104	3,18	20,10	24,14	11,19	18,10
105	2,19	20,10	24,14	8,19	17,12
106	2,14	20,10	24,14	9,18	19,18
107	3,13	20,10	24,14	9,19	19,14
108	3,16	20,10	24,14	9,19	20,16
109	2,10	20,10	24,14	9,10	19,16
110	3,19	20,10	24,14	9,11	16,13

ANNEXE H

VALIDATION DES COÛTS AVEC LA DISTANCE COS-USINE

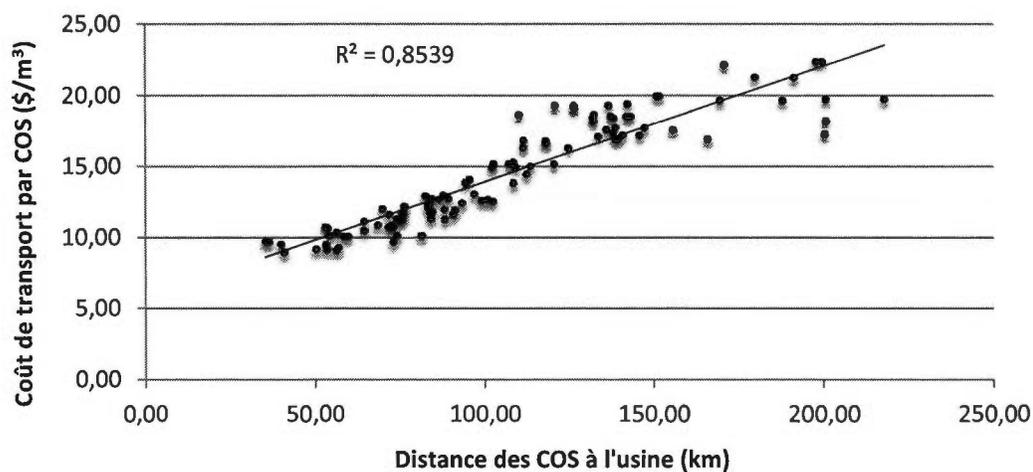


Figure H.1 : Analyse de corrélation entre la distance des COS à l'usine et le coût de transport par COS

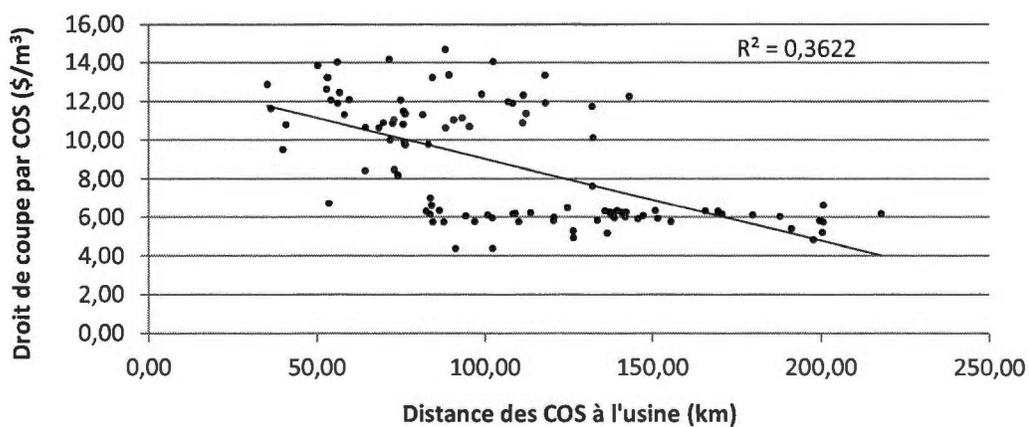


Figure H.2 : Analyse de corrélation entre la distance des COS à l'usine et les droits de coupe par COS

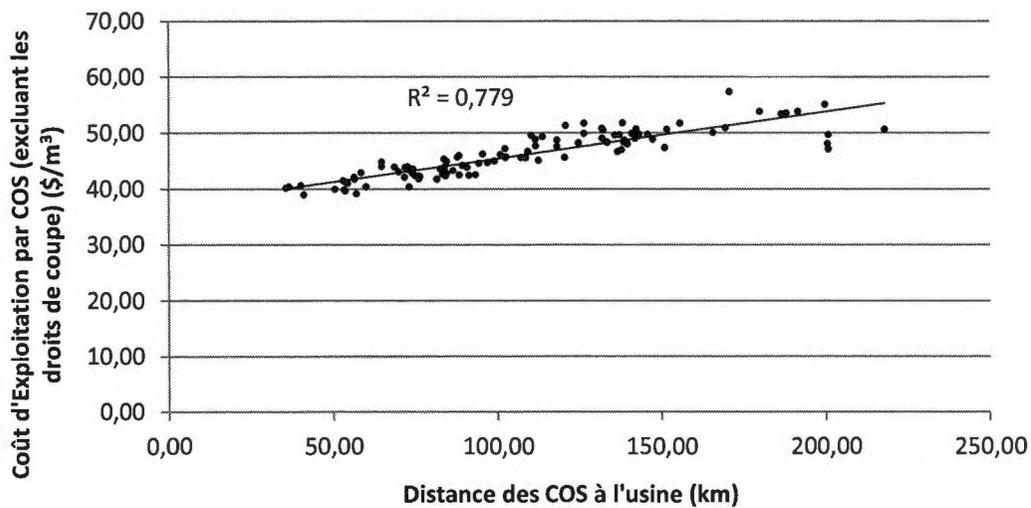


Figure H.3 : Analyse de corrélation entre la distance des COS à l'usine et les coûts d'exploitation par COS (excluant les droits de coupe)

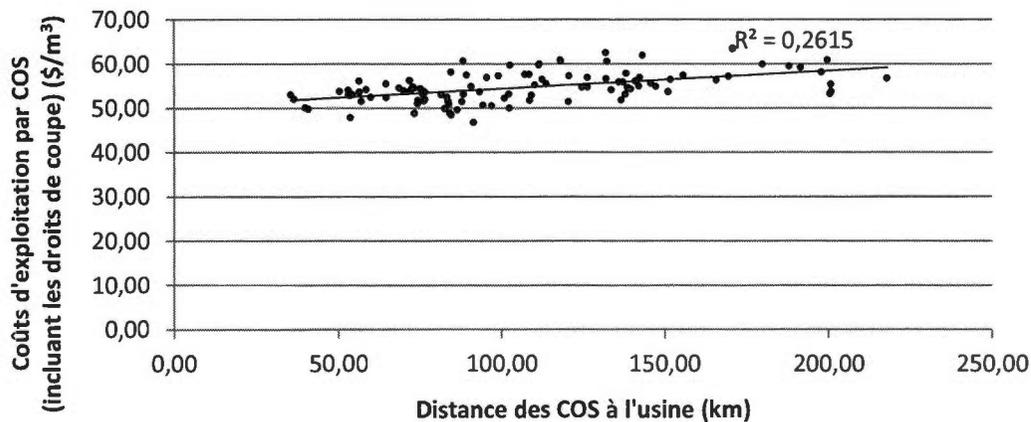


Figure H.4 : Analyse de corrélation entre la distance des COS à l'usine et les coûts d'exploitation par COS (incluant les droits de coupe)

ANNEXE I

PRIX DE VENTE MOYEN SORTIE ET ENTRÉE D'USINE PAR CLASSE DE
DIAMÈTRE POUR LES BILLES RÉSINEUSES

Les prix de vente moyens sortie d'usine par type de sciage principalement débité par classe de diamètre (Tableau I.3), ont été fournis par Tembec puis validés par deux sources externes. D'abord, par le rapport Pribec⁴⁵ de décembre 2011 (statistiques publiées par le Conseil de l'Industrie Forestière du Québec [CIFQ]) (Tableau I.1). Puis, par les statistiques mensuelles sur la consommation et le prix du bois d'œuvre du Ministère des Affaires Étrangères et du Commerce International du Canada⁴⁶ (MAECI) qui fournit un prix mensuel de référence correspondant à la moyenne du prix mensuel composite du bois de charpente (Tableau I.2).

⁴⁵ Pribec : marché Nord-Américain des sciages résineux. Édition 36, n°47. CIFQ. 9 décembre 2011

⁴⁶ http://www.international.gc.ca/controls-controles/softwood-bois_oeuvre/reports_eusc-rapports_cap.aspx?view=d Consulté le 04 avril 2012

Tableau 1.1 : Comparatif du prix de vente moyen sortie d'usine de Tembec et du prix de référence de Pribec par type de produit principalement débité par classe de diamètre (en \$/Mpmp)

Classes de diamètre	Type de sciage principalement débité	Prix de vente moyen sortie d'usine fourni par Tembec (\$/Mpmp) *	Prix moyen de référence Pribec (\$/Mpmp) *	Écart prix moyen Tembec / prix moyen Pribec
12 et -	2 x 3	230,10	230,10	+ 0,19 %
12 à 20	2 x 6	274,19	265,10	+ 3,18 %
20 et +	2 x 8	294,16	305,10	- 3,19 %
	Moyenne tous sciages confondus	266,15	266,17	- 0,14 %

* Ces prix sont pour des produits séchés et rabotés.

Pour l'année 2011, le prix mensuel moyen de référence du MAECI était de 274,15 \$ USD/Mpmp, correspondant à 271,10 CAD/Mpmp (selon le taux de change en vigueur au mois de septembre 2011 égal à 1,0026 CAD pour 1 USD⁴⁷).

Tableau 1.2 : Comparatif du prix de vente moyen sortie d'usine de Tembec et du prix de référence du MAECI tous sciages confondus (en \$/Mpmp)

Type de sciage principalement débité	Prix de vente moyen sortie d'usine fourni par Tembec (\$ / Mpmp) *	Prix de référence du MAECI (\$ / Mpmp) *	Écart prix moyen Tembec / prix de référence du MAECI
Moyenne tous sciages confondus	266,15	271,10	+ 1,15 %

* Ces prix sont pour des produits séchés et rabotés.

Les prix de vente sortie d'usine en Mpmp ont finalement été convertis en \$/m³ (Tableau 32).

⁴⁷ Banque nationale du Canada, 2011 : <http://www.banqueducanada.ca/stats/assets/pdf/nrma-2011-09.pdf> Consulté le 03 mai 2012

Tableau 1.3 : Prix de vente sortie d'usine par type de produit principalement débité de Tembec par classe de diamètre (en \$/m³)

Classes de diamètre	Type de sciage principalement débité	Prix de vente moyen sortie d'usine fourni par Tembec (\$/Mpmp) *	Facteur de conversion sciages séchés et rabotés (Kostiuk <i>et al.</i> , 1997)	Prix de vente moyen sortie d'usine (\$/m ³) *
12 et -	2 x 3	230,10	1 Mpmp = 1,175 m ³	339,15
12 à 20	2 x 6	274,19	1 Mpmp = 1,149 m ³	425,19
20 et +	2 x 8	294,16	1 Mpmp = 1,122 m ³	478,13

* Ces prix sont pour des produits séchés et rabotés.

Tableau 1.4 : Prix de d'achat entrée d'usine par type de produit principalement débité de Tembec par classe de diamètre (en \$/m³)

Classes de diamètre	Type de sciage principalement débité	Prix de vente moyen sortie d'usine (\$/m ³)	Variations du prix de vente sortie d'usine (base 100 sur la classe 12 à 20)	Prix d'achat moyen entrée d'usine (\$/m ³)
12 et -	2 x 3	339,15	-20,14 %	47,11
12 à 20	2 x 6	425,19	Base 100	60,10
20 et +	2 x 8	478,13	+ 12,12%	67,11

ANNEXE J

COMBINAISON DE TAUX D'ACCROISSEMENT ANNUELS PAR LA MÉTHODE DU
COEFFICIENT MULTIPLICATEUR

Lorsque l'on souhaite combiner des taux de d'accroissement annuels sur plusieurs années, il est d'abord nécessaire de faire le produit des coefficients multiplicateurs de chacun des taux annuels. Le coefficient multiplicateur d'un taux d'accroissement est défini comme suit :

$$\text{CoefMulti} = 1 + (\text{taux d'accroissement} / 100)$$

Ex : pour un taux de croissance annuel de 4%, le $\text{CoefMulti}_{4\%} = 1 + 0,14 = 1,14$

Notez qu'on peut déduire de la formule précédente la formule suivante :

$$\text{Taux d'accroissement} = (\text{CoefMulti} - 1) \times 100$$

Pour la présente étude, les taux d'actualisation annuels initiaux et dégressifs de référence sont ceux-définis au tableau 2.18. Pour la période 0 à 30 ans par exemple, le taux d'accroissement quinquennal correspondant à un taux d'accroissement annuel de 4% ($\text{TauxAccQuin}_{4\%}$) est donc égal au produit des coefficients multiplicateurs :

$$\text{CoefMultiQuin}_{4\%} = 1,14 \times 1,14 \times 1,14 \times 1,14 \times 1,14 = 1,1167.$$

Pour cette même période, on peut en déduire le taux d'accroissement quinquennal suivant :

$$\text{TauxAccQuin}_{4\%} = (1,1167 - 1) \times 100 = 21,17 \%$$

Cette formule a permis de déterminer les taux d'accroissement quinquennaux correspondants pour chacun des taux d'actualisation annuels initiaux et dégressifs, pour l'ensemble des approches retenues dans l'analyse de risque (Tableau J.1).

Tableau J.1 : Taux d'actualisation quinquennaux correspondants aux taux d'actualisation annuels définis au tableau 2.18

Années	Taux d'actualisation quinquennaux par approche (%)				
	Très pessimiste	Pessimiste	Moyenne	Optimiste	Très optimiste
0 à 30 ans	33,12	27,13	27,13	15,13	10,11
31 à 80 ans	27,13	27,13	15,13	10,11	5,1
81 à 130 ans	21,17	15,13	10,11	5,1	2,13
130 ans à 150 ans	15,13	10,11	5,1	0	0

RÉFÉRENCES

- Barry, A., T. Browne, H. Chtourou, H. Deschênes, Y. Fortin, R. Hernandez, I. Karidio, M. Paice, et J.L. Valade. 2009. Procédé de transformation du bois. Dans : *Ordre des ingénieurs forestiers du Québec, Manuel de foresterie*. Éditions MultiMondes. p. 1365-1461.
- Bélanger, J., et P. Beaulieu. 2000. *Étude comparative, Coupe par mosaïque versus normes actuelles (bandes de séparation)*. Compagnie Produits Forestiers Alliance.
- Belleau, A., et S. Légaré. 2008. Projet Tembec. Vers la mise en œuvre d'une stratégie d'aménagement forestier s'inspirant de la dynamique des perturbations naturelles pour la région Nord de l'Abitibi. Dans : *Aménagement écosystémique en forêt boréale*. Presses de l'université du Québec. p. 507-528.
- Bergeron, J.F., P. Grondin, et J. Blouin. 1998. *Rapport de classification écologique du sous domaine bioclimatique de la pessière à mousses de l'ouest*. MRNF Ministère des Ressources Naturelles et de la Faune. Direction des inventaires forestiers.
- Bergeron, Y., P. Drapeau, S. Gauthier, et N. Lecomte. 2007. Using knowledge of natural disturbances to support sustainable forest management in the northern Clay Belt. *The Forestry Chronicle*. Vol. 83, num.3, p. 326-337.
- Bergeron, Y., et H. Le Goff. 2005. Doit-on remettre en question notre façon d'aménager la forêt boréale canadienne? *Vertigo-la revue électronique en sciences de l'environnement*. Vol. 6, num.2.
- Bergeron, Y., et B. Harvey. 1997. Basing silviculture on natural ecosystem dynamics: an approach applied to the southern boreal mixedwood forest of Quebec. *Forest Ecology and Management*. Vol. 92, num.1-3, p. 235-242.
- Bergeron, Y., B. Harvey, A. Leduc, et S. Gauthier. 1999. Forest management guidelines based on natural disturbance dynamics: Stand- and forest-level considerations. *Forestry Chronicle*. Vol. 75, num.1, p. 49-54.
- Bergeron, Y., A. Leduc, B.D. Harvey, et S. Gauthier. 2002. Natural fire regime: a guide for sustainable management of the Canadian boreal forest. *Silva Fennica*. Vol. 36, num.1, p. 81-95.
- Boardman, A.E., P. De Civita, M.A. Moore, et A.R. Vining. 2009. *Economic policy research program : proposed Social Discount Rate(s) for Canada Based on Future Growth*. Gouvernement du Canada.
- Boardman, A.E., D.H. Greenberg, A.R. Vining, et D.L. Weimer. 2006. *Cost-benefit analysis: concepts and practice*. Prentice Hall. 584 p. ISBN : 9780131435834.

- Bouchard, M., 2008. La sylviculture dans un contexte d'aménagement écosystémique. Dans : *Aménagement écosystémique en forêt boréale*. Presses de l'université du Québec. p. 335-359.
- Bouchard, M., S. Déry, H. Jacquemain, J.P. Jetté, et M. Leblanc. 2010. *Intégration des enjeux écologiques dans les plans d'aménagement forestier intégré. Partie I — Analyse des enjeux*. MRNF Ministère des Ressources Naturelles et de la Faune.
- Bowyer, J.L., R. Shmulsky, et J.G. Haygreen. 2003. *Le bois et ses usages*. CCDMD. 528 p.
- Brealey, R.A., S.C. Myers, et F. Allen. 2008. *Principles of corporate finance*. McGraw-Hill/Irwin. 1076 p. ISBN : 9780071266758.
- Côté, M., I. Gassama, A. Nappi, J. Poulin, et E. Rheault. 2012a. Etapes du calcul des possibilités forestières. Dans : *Manuel de détermination des possibilités forestières 2013-2018*. Bureau du Forestier en Chef.
- Côté, M., I. Gassama, A. Nappi, J. Poulin, et E. Rheault. 2012b. Objectifs d'aménagement. Dans : *Manuel de détermination des possibilités forestières 2013-2018*. Bureau du Forestier en Chef.
- Côté, M., I. Gassama, A. Nappi, J. Poulin, et E. Rheault. 2012c. Traitements sylvicoles. Dans : *Manuel de détermination des possibilités forestières 2013-2018*. Bureau du Forestier en Chef.
- Côté, S., et J.D. Grenier. 2011. *Analyse d'impact pour le développement des concepts d'aménagement écosystémique dans le cadre du projet pilote de la Réserve faunique des Laurentides - UAF 023-51*. CERFO, Centre d'Enseignement et de Recherche en Foresterie de Sainte Foy.
- Damodaran, A. 2010. *Applied Corporate Finance, 3 edition*. John Wiley&Son. 294-307 p.
- Davis, L.S., K.N. Johnson, et K.P. Davis. 2001. *Forest management: to sustain ecological, economic, and social values*. 4th ed. Boston : McGraw Hill. 804 p.(McGraw-Hill series in forest resources). ISBN : 0070326940.
- Del Degan, B., et B. Massé. 2010. *Projet de loi 57 sur l'aménagement durable du territoire forestier. Impact des coûts d'opération sur la valeur de la redevance et les coûts d'approvisionnement en bois*. MRNF Ministère des Ressources Naturelles et de la Faune.
- Dhital, N., et F. Raulier. 2010. Timber supply analyses under conventional and ecosystem-based management scenarios in an eastern boreal forest. *SFM Network, Research Note*. Vol. 75.
- Doucet, R., J.C. Ruel, S. Jutras, G. Lessard, M. Pineau, G. Prigent, et N. Thiffault. 2009. Sylviculture appliquée. Dans : *Ordre des ingénieurs forestiers du Québec, Manuel de foresterie*. Éditions MultiMondes. p. 1147-1186.
- Duchesne, I., et P. Bédard. 2012. *Optitek. Un outil puissant pour maximiser la valeur économique des forêts canadiennes*. FPInnovation-Forintek.

- Favreau, J., J.F. Gingras, R. Reynolds, et M.A. Belliveau. 2004. *Impact de la dispersion des coupes sur les coûts d'approvisionnement*. FPIInnovations.
- Fenton, N., H. Bescond, L. Imbaud, C. Boudreault, P. Drapeau, et Y. Bergeron. 2008. Évaluation sylvicole et écologique de la coupe partielle dans la forêt boréale de la ceinture d'argile. Dans : *Aménagement écosystémique en forêt boréale*. Presses de l'université du Québec.
- Fenton, N., M. Simard, et Y. Bergeron. 2009. Emulating natural disturbances: the role of silviculture in creating even-aged and complex structures in the black spruce boreal forest of eastern North America. *The Forestry Chronicle*. Vol. 14, num.5, p. 258-267.
- Forget, E., F. Doyon, et D. Bouffard. 2006. *Plan d'aménagement 2006-2015 du territoire Fairmont Kenauk*. Ripon, Québec : Insitut Québécois de la Foêt Feuillue.
- FSC Forest Stewardship Council. 2004. *Norme boréale nationale - version du 06 août 2004*.
- Garet, J., D. Pothier, et M. Bouchard. 2009. Predicting the long-term yield trajectory of black spruce stands using time since fire. *Forest Ecology and Management*. Vol. 257, num.10, p. 2189-2197.
- Gauthier, S., A. Leduc, Y. Bergeron, et H. Le Goff. 2008. Les fréquence des feux et l'aménagement forestier inspiré des perturbations naturelles. Dans : *Aménagement écosystémique en forêt boréale*. Presses de l'université du Québec.
- Gauthier, S., M.A. Vaillancourt, D. Kneeshaw, P. Drapeau, L. De Grandré, Y. Claveau, et D. Paré. 2008. Aménagement forestier écosystémique. Origines et fondements. Dans : *Aménagement écosystémique en forêt boréale*. Presses de l'université du Québec.
- Gouvernement du Québec. 2010. *Loi sur l'aménagement durable du territoire forestier*.
- Gouvernement du Québec. 2012. *Loi sur les forêts du Québec. Règlement sur les normes d'intervention dans les forêts du domaine de l'État* [En ligne]. Disponible sur : < <http://www2.publicationsduquebec.gouv.qc.ca/dynamicSearch/telecharge.php?type=5&file=2010C3F.PDF> > (Consulte le 20 janvier 2011).
- De Grandpré, L., S. Gauthier, C. Allain, D. Cyr, S. Pérignon, A.T. Pham, D. Boucher, J. Morissette, G. Reyes, T. Aakala, et T. Kuuluvainen. 2008. Vers un aménagement écosystémique de la forêt boréale de la Côte-Nord. Régime des perturbations et dynamique naturelle. Dans : *Aménagement écosystémique en forêt boréale*. Presses de l'université du Québec.
- Grimard, F., N. Blanchette, C. Couture, G. Gignac, C-É. Guertin, J. Kazi, et F. Lantheaume. 2009. Certification des pratiques forestières. Dans : *Ordre des ingénieurs forestiers du Québec, Manuel de foresterie*. Éditions MultiMondes. p. 937-956.
- Groot, A. 2002. Is uneven-aged silviculture applicable to peatland black spruce (*Picea mariana*) in Ontario, Canada? *Forestry*. Vol. 75, num.4, p. 437-442.
- Hamilton, P.S. 2012. *Amélioration du rendement en valeur des opérations de récolte de feuillus tolérants*. FPIInnovationd-Forintek.

- Hanewinkel, M. 2009. The role of economic models in forest management. *CAB Reviews: Perspectives in Agriculture, Veterinary Science, Nutrition and Natural Resources*. Vol. 4, num.031, p. 1-10.
- Harvey, B., A. Leduc, S. Gauthier, et Y. Bergeron. 2002. Stand-landscape integration in natural disturbance-based management of the southern boreal forest. *Forest Ecology and Management*. Vol. 155, num.1-3, p. 369-385.
- Hildebrandt, P., et T. Knoke. 2011. Investment decisions under uncertainty—A methodological review on forest science studies. *Forest Policy and Economics*. Vol. 13, num.1, p. 1-15.
- HM Treasury. 2003. The Green Book. Disponible sur : < http://www.hm-treasury.gov.uk/data_greenbook_index.htm > (Consulte le 24 août 2012).
- Howard, A.F., et H. Temesgen. 1997. Potential financial returns from alternative silvicultural prescriptions in second-growth stands of coastal British Columbia.
- Jenkins, G., et C.Y. Kuo. 2007. *The Economic Opportunity Cost of Capital for Canada - An Empirical Update*. Queen's University, Department of Economics.
- Kostiuk, A.P., et F. Pfaff. 1997. *Facteurs de conversion à l'usage de l'industrie des produits forestiers de l'est du Canada*. Forintek Canada Corporation, Division de l'Est. 102 p.
- Lapointe, M.A. 2008. *Évaluation des travaux sylvicoles : Le choix du taux d'actualisation*. Ministère des Ressources naturelles et de la Faune.
- Lebègue, D., L. Baumstark, et P. Hirtzman. 2005. *Révision du taux d'actualisation des investissements publics : Commissariat général du plan, France*.
- Lecomte, N., et Y. Bergeron. 2005. Successional pathways on different surficial deposits in the coniferous boreal forest of the Quebec Clay Belt. *Canadian Journal of Forest Research*. Vol. 35, num.8, p. 1984-1995.
- Légaré, S., É. Cyr, L. Dumas, V. Nadeau, P. Paiement, et M. Thibeault. 2010. *Projet d'un plan général d'aménagement forestier écosystémique pour l'unité d'aménagement forestier 085-51. Demande de dérogation au RNI en vertu de l'article 25.3 de la Loi sur les forêts*. Tembec - Gestion des ressources forestières.
- Legault, I., J.C. Ruel, J.M. Pouliot, et R. Beauregard. 2007. Analyse financière de scénarios sylvicoles visant la production de bois d'oeuvre de bouleaux jaune et à papier. *The Forestry Chronicle*. p. 840-851.
- MacDonell, M.R., et A. Groot. 1996. *Uneven-aged silviculture for peatland second-growth black spruce: biological feasibility*. Natural Resources Canada, Canadian Forest Service, Great Lakes Forestry Centre. 14 p.
- Meek, P., et D. Cormier. 2004. Analyse du territoire en vue de la planification du prochain plan d'aménagement - Répartition spatiale des perturbations et des massifs forestiers sur l'unité d'aménagement forestier 085-51. *Avantage*. Vol. 5, num.43.

- Ministère des Forêts de la Colombie Britannique. 2002. *The Potential of Area-Based Harvest Regulation in BC. Status of Discussions*. The BC Ministry of Forests.
- Moore, T. 2009. *Analyse financière avec simulations Monté-Carlo de nouveaux traitements de coupes de jardinage en forêt résineuse irrégulière au Québec*. Université Laval.
- Moore, T., J-C. Ruel, M-A. Lapointe, et J-M. Lussier. 2011. Evaluating the Profitability of Selection Cuts in Irregular Boreal Forests: An Approach Based on Monte Carlo Simulations. *Forestry*. Vol. 85, num.1, p. 63-77.
- Morissette, D., et W. O'Shaughnessy. 1990. *Décisions financières de l'entreprise : investissement, financement et politique de dividende*. Trois-Rivières : SMG.
- MRNF Ministère des Ressources Naturelles et de la Faune. 2010a. *Instructions relatives à l'application de l'arrêté ministériel sur la valeur des traitements sylvicoles admissibles en paiement des droits*.
- MRNF Ministère des Ressources Naturelles et de la Faune. 2010b. *La certification des forêts publiques québécoises par le ministère des Ressources naturelles et de la Faune : étude de faisabilité*.
- MRNF Ministère des Ressources Naturelles et de la Faune. 2003. *Manuel d'aménagement forestier. 4^{ème} édition*. ISBN : 2-550-41174-9.
- MRNF Ministère des Ressources Naturelles et de la Faune. 2004. *Rapport du comité scientifique chargé d'examiner le calcul de possibilité forestière*.
- MRNF Ministère des Ressources Naturelles et de la Faune. 2008. *Traitements sylvicoles liés à l'aménagement écosystémique des forêts* [En ligne]. Disponible sur : < <http://www.mrnf.gouv.qc.ca/forets/amenagement/amenagement-ecosystemique-sylvicoles-traitements.jsp> > (Consulte le 20 décembre 2010).
- Nadeau, F.R. 2002. *Analyse de l'impact de la dispersion des aires de coupe sur les coûts d'approvisionnement en matière ligneuse à la Forêt de Montmorency*. Université Laval.
- Nadeau, J.P., N. Gélinas, F. Laliberté, M.A. Lapointe, J.M. Martel, H. Poulin, J. Roy, L.J Lussier, et M. Vincent. 2009. Économie forestière. Dans : *Ordre des ingénieurs forestiers du Québec, Manuel de foresterie*. Éditions MultiMondes. p. 895-936.
- Nguyen-Xuan, T. 2000. *Développement d'une stratégie d'aménagement forestier s'inspirant de la dynamique des perturbations naturelles pour la région Nord de l'Abitibi*. Chaire industrielle CRSNG-UQAT-UQAM en aménagement forestier durable.
- Nguyen-Xuan, T. 2002. *Développement d'une stratégie d'aménagement forestier s'inspirant de la dynamique des perturbations naturelles pour la région Nord de l'Abitibi*. Chaire industrielle CRSNG-UQAT-UQAM en aménagement forestier durable.
- Pothier, D., et F. Savard. 1998. *Actualisation des tables de production pour les espèces forestières du Québec*. Québec : Ministère des ressources naturelles, Direction des inventaires forestiers. ISBN : 2551189829.

- Raulier, F., A. Leduc, R. Roy, M.A. Vaillancourt, P. Bernier, S. Gauthier, et M. Plante. 2009. Aménagement de la forêt. Dans : *Ordre des ingénieurs forestiers du Québec, Manuel de foresterie*. Éditions MultiMondes. p. 649–676.
- Remsoft. 2006. *Woodstock User guide*.
- Ross, S.A., R.W. Westerfield, J. Jaffe, et B.D. Jordan. 2008. *Corporate Finance: Core Principles and Applications*. 2nd Revised edition. McGraw Hill Higher Education. ISBN : 0071101004.
- Saucier, J.P., et A. Groot. 2008. Modélisation des peuplements complexes et de l'effet des traitements sylvicoles. Dans : *Aménagement écosystémique en forêt boréale*. Presses de l'université du Québec. ISBN : 9782760515253.
- Savoie, R., G. Paradis, F. Laliberté, M.A. Carle, J.F. Boileau, et P. Côté. 2007. *Calcul de possibilité forestière multiobjectif pour les UAF 064-51 et 061-52*. Groupe Optivert.
- Simard, M., N. Lecomte, Y. Bergeron, P.Y. Bernier, et D. Paré. 2008. Un aménagement écosystémique de la pessière nord de la ceinture d'argile québécoise. Dans : *Aménagement écosystémique en forêt boréale*. Presses de l'université du Québec. ISBN : 9782760515253.
- Tembec. 2012. *Évaluation des impacts de différents scénarios d'aménagement écosystémique en comparaison au RNI*.
- Thorpe, H.C., S.C. Thomas, et J.P. Caspersen. 2007. Residual-tree growth responses to partial stand harvest in the black spruce (*Picea mariana*) boreal forest. *Canadian Journal of Forest Research / Revue Canadienne De Recherche Forestiere*. Vol. 37, num.9, p. 1563–1571.
- Thorpe, H.C., S.C. Thomas, et J.P. Caspersen. 2008. Tree mortality following partial harvests is determined by skidding proximity. *Ecol Appl*. Vol. 18, num.7, p. 1652–1663.
- Thorpe, H.C., et S.C. Thomas. 2007. Partial harvesting in the Canadian boreal: Success will depend on stand dynamic responses. *Forestry Chronicle*. Vol. 83, num.3, p. 319–325.
- Thorpe, H.C., M.C. Vanderwel, M.M. Fuller, S.C. Thomas, et J.P. Caspersen. 2010. Modelling stand development after partial harvests: An empirically based, spatially explicit analysis for lowland black spruce. *Ecological Modelling*. Vol. 221, num.2, p. 256–267.
- Townley, C., et G. Peter. 1998. *Principles of Cost-Benefit Analysis in a Canadian Context*. Pearson Education Canada. 333 p. ISBN : 9780136367130.
- Valeria, O. 2004. [These]. *Outil spatial d'aide à la planification forestière basé sur la comparaison d'indicateurs financiers, fauniques et sociaux pour diverses stratégies de dispersion de coupes*. Université Laval.
- Vernimmen, P., Y. Le Fur, A. Salvi, et M. Dallochio. 2011. *Corporate Finance: theory and practice*. 3^e éd. Wiley.
- Weitzman, M.L. 2001. Gamma Discounting. *The American Economic Review*. Vol. 91, num.1, p. 260–271.