

## **TABLE DES MATIÈRES**

REMERCIEMENTS.....	iii
RÉSUMÉ .....	iv
TABLE DES MATIÈRES .....	v
LISTE DES TABLEAUX.....	vii
LISTE DES FIGURES.....	viii
CHAPITRE 1 : INTRODUCTION.....	1
1.1 Mise en situation.....	1
1.2 Objectifs spécifiques.....	11
1.3 Traitements sylvicoles étudiés .....	11
1.3.1 Éclaircie commerciale .....	11
1.3.2 Coupe progressive .....	12
1.3.3 Coupe de conversion .....	14
1.3.4 Coupe avec protection de la régénération et des sols .....	15
1.4 Hypothèses.....	16
Hypothèse 1.....	16
Hypothèse 2.....	16
Hypothèse 3.....	17
Hypothèse 4.....	19
CHAPITRE 2 : MATÉRIEL ET MÉTHODE .....	20
2.1 Territoire à l'étude.....	20
2.2 Calcul de la possibilité forestière.....	27

2.2.1 Inventaires forestiers .....	27
2.2.2 Modèle de croissance .....	27
2.2.3 Modèle d'aménagement forestier .....	32
2.3 Élaboration des scénarios sylvicoles.....	34
2.4 Analyse de l'impact des différents scénarios sylvicoles.....	40
CHAPITRE 3 : RÉSULTATS .....	41
3.1 Possibilité annuelle de coupe .....	41
3.2 Volume par tige récoltée .....	44
3.3 Volume disponible .....	45
CHAPITRE 4 : DISCUSSION .....	47
4.1 Hypothèse 1 .....	47
4.2 Hypothèse 2 .....	48
4.3 Hypothèse 3 .....	48
4.4 Hypothèse 4 .....	52
CHAPITRE 5 : CONCLUSION .....	53
LISTE DE RÉFÉRENCES.....	54

**LISTE DES TABLEAUX**

Tableau 1 : Valeurs des paramètres pour l'équation 1 .....	29
Tableau 2 : Valeurs des paramètres pour l'équation 3 .....	30
Tableau 3 : Essences équivalentes utilisées pour les équations 1 à 4.....	31
Tableau 4 : Description des scénarios sylvicoles étudiés .....	36
Tableau 5 : Analyse de variance testant l'effet du scénario d'aménagement sur la possibilité annuelle de coupe .....	42
Tableau 6 : Test de comparaison des moyennes de Duncan pour la possibilité annuelle de coupe .....	42
Tableau 7 : Analyse de variance testant l'effet du scénario d'aménagement sur le volume par tige récoltée .....	45
Tableau 8 : Probabilités associées aux analyses de variance pour le volume de bois disponible.....	47

## LISTE DES FIGURES

Fig. 1 : Exemple de calcul de la possibilité forestière à rendement soutenu .....	4
Fig. 2 : Effet de la structure d'âge sur la possibilité forestière .....	6
Fig. 3 : Superficie de l'ensemble des forêts publiques par classes d'âge au Bas-Saint-Laurent.....	7
Fig. 4 : Distribution des volumes disponibles à la récolte selon le calcul officiel de la possibilité forestière effectué avec <i>Sylva II</i> .....	8
Fig. 5 : Effet hypothétique de la conversion sur le rendement en volume d'un peuplement comparativement à la CPRS .....	17
Fig. 6 : Effet hypothétique de l'éclaircie commerciale sur le rendement en volume d'un peuplement comparativement à la CPRS .....	18
Fig. 7 : Effet hypothétique de la coupe progressive sur le rendement en volume d'un peuplement comparativement à la CPRS .....	19
Fig. 8 : Distribution des 24 territoires expérimentaux.....	21
Fig. 9 : Comparaison du type de couvert entre les territoires étudiés et le territoire forestier public du Bas-Saint-Laurent.....	23
Fig. 10 : Comparaison de la structure d'âge entre le territoire étudié et l'ensemble du Bas-Saint-Laurent .....	24
Fig. 11 : Distribution des placettes échantillons temporaires sur le territoire 5.....	26
Fig. 12 : Courbes d'accroissement annuel courant et annuel moyen pour un peuplement équienné .....	35
Fig. 13 : Possibilité annuelle moyenne de coupe pour les 7 scénarios d'aménagement...	41
Fig. 14 : Gain de possibilité par rapport au scénario de CPRS en fonction de la proportion de forêts mûres .....	43

Fig. 15 : Volume moyen par tige récoltée .....	44
Fig. 16 : Moyenne pour les 24 territoires des volumes disponibles à la récolte en fonction des sept scénarios d'aménagement.....	46

## CHAPITRE 1 : INTRODUCTION

### 1.1 Mise en situation

Les forêts produisent chaque année une certaine quantité de matière ligneuse. Cette quantité varie en fonction de l'aménagement forestier pratiqué. Par différentes techniques d'inventaire, il est possible de chiffrer la quantité de bois produite et par la suite de calculer la possibilité de récolte annuelle ou plus souvent nommée la possibilité forestière résultant d'une stratégie d'aménagement forestier. Au Québec, la possibilité forestière se définit par la quantité maximale de bois d'une forêt qui peut être récoltée annuellement et perpétuellement (sur un horizon de 150 ans), en respectant le principe du rendement soutenu, sans diminuer la capacité productive du milieu (MRNFQ, 2003). La capacité productive dépend des caractéristiques biophysiques du territoire (type de dépôt, classe de drainage, etc.), des peuplements forestiers en place (composition en essences, âge, volume, etc.) et des traitements sylvicoles qui peuvent y être appliqués (MRNFQ, 2003). Le principe du rendement soutenu signifie, dans sa forme classique, une production régulière de bois exploitable d'année en année (OIFQ, 1996). Théoriquement, ce modèle permet d'obtenir en permanence un apport régulier en bois (Lafond, 2005) rendant possible le maintien de l'approvisionnement des usines de transformation (OIFQ, 1996). Cependant, en pratique, ce principe est conditionné par plusieurs facteurs comme les perturbations naturelles, la fertilité inégale des sols ou la croissance variable des arbres (Lafond, 2005).

La possibilité forestière est calculée à partir de modèles mathématiques. Un modèle est une représentation de la réalité utilisé dans le but de réfléchir, prévoir et prendre des

décisions (Buongiorno et Gillies, 2003). C'est un outil que peut utiliser un aménagiste pour prévoir les conséquences de ses différentes actions permettant ainsi de simuler des expériences difficilement applicables dans une forêt réelle. Il est possible, par exemple, d'observer les conséquences de différents scénarios d'aménagement d'une même forêt sur plusieurs décennies, ce qui est impossible dans la réalité (Buongiorno et Gillies, 2003). Les modèles utilisés en foresterie font intervenir plusieurs variables inter reliées : des variables biologiques, comme le potentiel de croissance des différentes essences ; des variables économiques, comme le coût de la main-d'œuvre; des variables sociales, comme les différentes politiques environnementales, etc. (Buongiorno et Gillies, 2003).

Jusqu'à récemment, au Québec, la possibilité forestière était évaluée à partir d'un outil de simulation, *Sylva II*, développé par le Ministère des Ressources naturelles en 1997 (Duchesne et Raulier, 2004). Ce calcul de la possibilité forestière repose sur une stratification du territoire, c'est-à-dire le regroupement de peuplements présentant des caractéristiques écologiques et dendrométriques semblables en strates d'aménagement. Dans le cas des peuplements de structure équienne, où les tiges ont approximativement le même âge, la simulation consiste à faire progresser dans le temps les strates pour prédire les volumes que comporteront ces superficies une fois celles-ci parvenues à maturité. La progression des différentes strates dépendra de l'augmentation ou de la réduction du volume en fonction de la croissance et de la sénescence, de la réduction du volume par les récoltes, de l'altération du rendement par les interventions sylvicoles et de la régénération des surfaces auparavant coupées. Ce calcul est répété à chaque pas de 5 ans sur un horizon de simulation de 150 ans. À chaque période, le volume disponible à la récolte est calculé à partir de strates jugées mûres selon un âge de maturité fixé

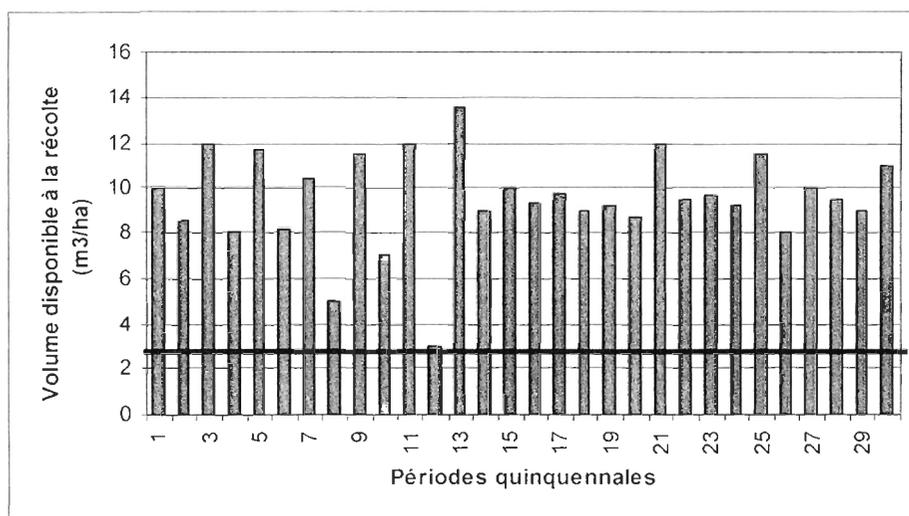
arbitrairement. L'exercice consiste à déterminer le scénario de récolte et d'intervention qui assure une récolte constante dans le temps et qui n'excède pas les volumes à maturité qui sont disponibles périodiquement. La récolte effectuée à chaque pas de simulation influence l'évolution des strates sur le territoire. La possibilité de récolte correspond alors au volume marchand du pas de simulation dont le volume disponible à la récolte est le plus petit parmi les trente de l'horizon de simulation (figure 1).

La croissance en volume à l'hectare des peuplements est simulée à partir de courbes donnant ce volume en fonction de l'âge du peuplement, de l'essence, de la classe de l'indice de qualité de station et de la classe de densité relative. On nomme cette technique la «méthode par courbes». Les courbes de rendement utilisées au Québec sont celles développées par Pothier et Savard (1998). Cette méthode est utilisée généralement dans les peuplements équiennes à dominance résineuse, soit sur 90 % du territoire québécois (Bernier-Cardou, 2004).

La récolte est répartie au sein des strates dans *Sylva II* selon certaines priorités : par exemple 50 % du volume est récolté dans les strates en sénescence avec la plus forte décroissance afin de minimiser les pertes et 50 % du volume dans les peuplements qui montrent le plus fort volume à l'hectare (Bernier-Cardou, 2004). Il est à noter que *Sylva II* utilise un procédé de régularisation par volume en appliquant des équations de conservation. Ce système d'équations vise à obtenir la possibilité maximale en s'assurant qu'il n'y aura jamais rupture de stock au cours de l'horizon de calcul. La résolution du système d'équations se fait de manière itérative. Cette méthode permet de prendre en compte l'effet de certains traitements sylvicoles. Cependant, elle ne cherche pas

explicitement à normaliser la forêt, c'est-à-dire à tendre vers une répartition égale des classes d'âge sur le territoire. Elle n'indique pas les polygones qui doivent faire l'objet de la récolte (OIFQ, 1996). De plus, *Sylva II* ne considère pas la valeur économique des produits sur les marchés courants et les tendances futures. Elle ne prend pas en compte les coûts d'exploitation y compris les coûts dus au développement du réseau routier et au transport des bois. En conséquence, il peut y avoir une surestimation de la possibilité annuelle de coupe puisqu'un certain volume de bois physiquement exploitable peut rester non récolté étant donné sa faible rentabilité (Buongiorno, 2004).

Fig. 1 : Exemple de calcul de la possibilité forestière à rendement soutenu

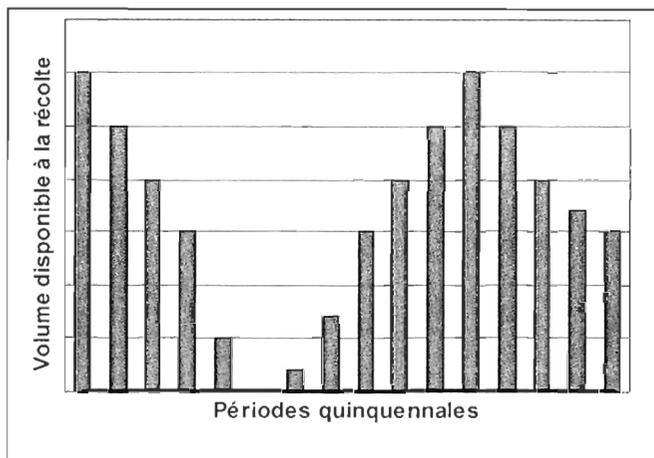


Pour une période de simulation donnée, la possibilité forestière correspond à la plus faible valeur de volume marchand disponible à la récolte. Sur l'exemple ci-dessus, la possibilité forestière est d'environ 3 m<sup>3</sup>/ha/an.

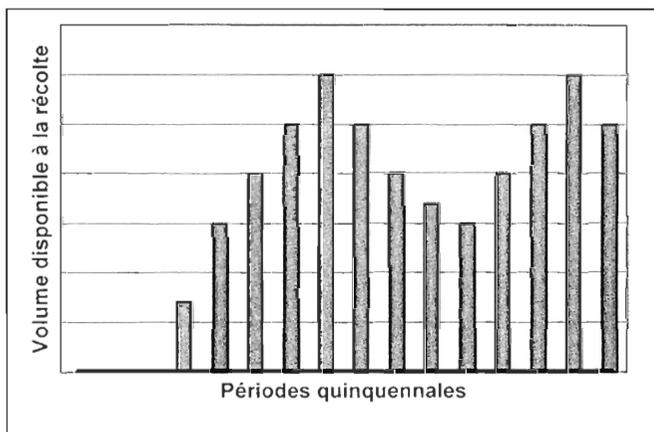
La région bas-laurentienne connaît depuis quelques années une baisse de la possibilité forestière dans les forêts du domaine de l'État. La possibilité forestière est très sensible à la structure d'âge des peuplements. En effet, comme illustré à la figure 1, le niveau de

possibilité est fixé par la période qui présente la moindre disponibilité de volumes de bois à la récolte au cours de l'horizon de simulation (150 ans). Ainsi, une forêt normale, c'est-à-dire où il y a une bonne représentation de chacune des classes d'âge, se verra attribuer une possibilité forestière plus élevée qu'une forêt, dans l'extrême des situations, qui présente une surabondance de peuplements surmatures ou très jeunes. La figure 2 présente ces trois situations (Bergeron, 2006). La figure 3 montre la structure d'âge des forêts du Bas-Saint-Laurent.

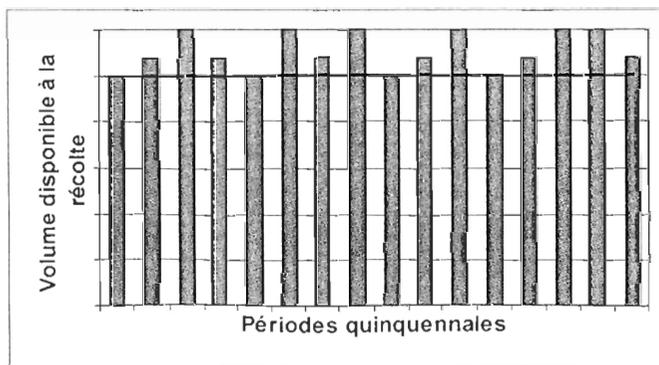
Fig. 2 : Effet de la structure d'âge (a - surabondance de peuplements surmatures, b - surabondance de peuplements très jeunes, c - forêt normale) sur la possibilité forestière



a) Surabondance de peuplements surmatures



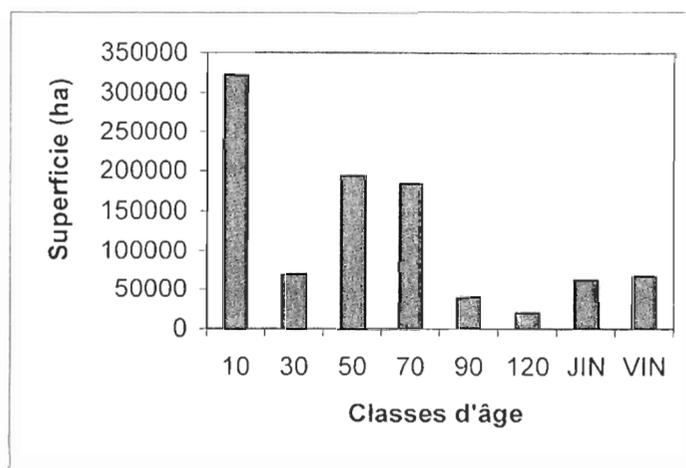
b) Surabondance de peuplements très jeunes



c) Forêt normale

Tiré de Bergeron, 2006

Fig. 3 : Superficie de l'ensemble des forêts publiques par classes d'âge au Bas-Saint-Laurent (2000)



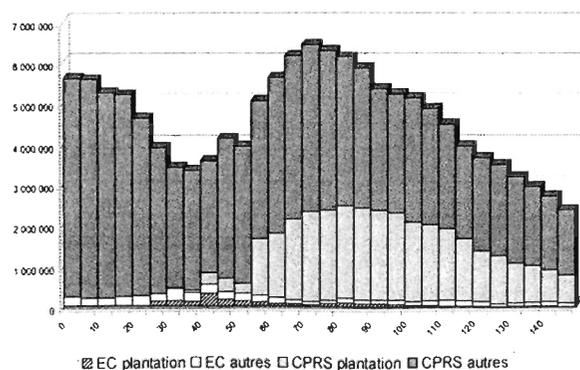
Tirée de l'Observatoire de la foresterie du Bas-Saint-Laurent, 2003

La possibilité forestière est passée de 1 125 500 m<sup>3</sup> en 1990-91 à 869 275 m<sup>3</sup> en 2002-2003 (MRNFPQ, 2004). En 2005, le gouvernement québécois annonçait également une modification de sa Loi sur les forêts octroyant une baisse des possibilités forestières de 20 % d'ici 2008 pour le groupement d'essences sapin, épinette, pin gris et mélèze (SEPM) (MRNFPQ, 2006). Ces réductions de la possibilité annuelle de coupe sont attribuables en grande partie à une augmentation des superficies en affectations diverses qui réduisent la superficie productive, aux nouvelles connaissances sur l'état des stocks et la productivité forestière et au développement de la géomatique (Bergeron, 2004).

Selon ses différentes analyses, l'Observatoire de la foresterie du Bas-Saint-Laurent (2003) prévoit une « rupture de stock » dans le groupement d'essences SEPM dans 10 ou 20 ans, dépendamment de l'unité de gestion, et ce, dans le meilleur scénario possible si le

type de récolte n'est pas modifié. Toujours selon l'Observatoire de la foresterie du Bas-Saint-Laurent, une rupture de stock fait référence à un épuisement total des peuplements « intéressants à récolter ». Les peuplements moins intéressants à récolter le sont étant donnés leurs coûts de récolte beaucoup plus importants. Il n'est alors pas certain que ces peuplements seront récoltés (Observatoire de la foresterie du Bas-Saint-Laurent, 2003). Il est important de faire la distinction entre la possibilité forestière «biophysique», calculée par *Sylva II*, et la possibilité «économique» qui tient compte du coût de récolte des bois, des contraintes opérationnelles, etc. La figure 4 illustre les volumes de bois disponibles à la récolte et la possibilité forestière de la région selon les calculs officiels effectués avec *Sylva II*. Il est possible de voir que la possibilité forestière est réduite à 20-30 ans, mais non nulle, et que la période critique est à 150 ans. Si l'on se fie à l'analyse de l'Observatoire de la foresterie du Bas-Saint-Laurent (2003), le calcul officiel de la possibilité forestière surestime celle-ci en omettant d'inclure dans les calculs la réalité économique.

Fig. 4 : Distribution des volumes disponibles à la récolte selon le calcul officiel de la possibilité forestière effectué avec *Sylva II*



Bergeron, 2004

Une étude plus approfondie de la structure d'âge des peuplements montre également une sous-représentation de la classe d'âge 30 ans. Cette situation implique l'absence d'une relève immédiate suffisante pour remplacer les classes d'âge 50 ans et plus qui sont actuellement récoltées (Observatoire de la foresterie du Bas-Saint-Laurent, 2003).

Il y a donc lieu de s'inquiéter du sort de la récolte forestière de la région. Des solutions doivent être envisagées à court et à long terme. En effet, au rythme actuel, la figure 2 suggère que la région connaîtra, dans le futur, non seulement une rupture de stock, mais aussi un approvisionnement en bois très fluctuant avec un cycle de disette/abondance marqué étant donnée la grande quantité de bois dans la classe d'âge 10 ans. Pour contrer ces phénomènes, deux options sont envisagées dans le cadre de cette étude :

- (a) le recours à des coupes partielles dans le cadre d'un régime de futaie régulière<sup>1</sup>
- (b) la conversion des futaies régulières en futaies irrégulières<sup>2</sup>.

L'utilisation de coupes partielles dans un régime de futaie régulière permettra de devancer ou de retarder la récolte d'une partie des peuplements de manière à amener un volume d'appoint pendant les périodes critiques où la production ligneuse est limitée. Ces coupes partielles pourraient être utilisées dans les jeunes peuplements sous forme d'éclaircie commerciale ou dans les peuplements matures sous forme de coupes progressives.

---

<sup>1</sup> Le régime de la futaie régulière ou équiennne présente une succession des générations d'arbres avec une césure parfaitement claire dans l'espace et dans le temps (Schütz, 1997).

<sup>2</sup> Le régime de la futaie irrégulière ou inéquiennne présente, sur la plus petite surface possible, toutes les générations d'arbres (Schütz, 1997).

La conversion des futaies régulières en futaies irrégulières permettrait, quant à elle, de produire à long terme une quantité soutenue et continue de bois (Wedeles *et al.*, 1995) en plus d'amoinrir les fluctuations d'approvisionnement. La conversion utilise la pratique de coupes partielles fréquentes (Nyland, 2003) de manière à maintenir le plus longtemps possible des éléments de la cohorte originelle et à générer de nouvelles classes d'âge sous couvert (Nyland, 2003, Smith, 1986).



De manière usuelle, la coupe avec protection de la régénération et des sols (CPRS) est pratiquée dans les peuplements de structure équiennne et composés principalement de résineux. Ce type de coupe consiste à récolter l'ensemble des tiges marchandes tout en protégeant la régénération préétablie. Lorsque la régénération est absente, la protection se limite aux sols et la régénération est assurée par la plantation (OIFQ, 1996).

L'expérimentation de techniques de récolte alternatives à la CPRS pourrait avoir un effet sur la possibilité annuelle de coupe et le volume de bois disponible dans le temps. Ce travail de recherche se veut un premier pas dans cette direction par la simulation informatique de différents types de coupes partielles pour examiner comment celles-ci peuvent contribuer à régulariser l'approvisionnement en bois et la possibilité annuelle de coupe pour le groupement d'essences sapin, épinette, pin gris et mélèze (SEPM). Les forêts résineuses représentent près de 50 % de la superficie des aires boisées au Bas-Saint-Laurent et sont les plus exploitées (Observatoire de la foresterie du Bas-Saint-Laurent, 2003), c'est pourquoi nous avons limité notre travail à ce type de peuplements.

## 1.2 Objectifs spécifiques

Les objectifs du projet consistent à évaluer, selon la structure d'âge des peuplements d'une unité d'aménagement, l'impact de sept tactiques d'aménagement sur :

- La possibilité annuelle de coupe à rendement soutenu;
- Le volume disponible à la récolte;Le volume moyen par tige récoltée.

## 1.3 Traitements sylvicoles étudiés

Les scénarios d'aménagement étudiés sont l'éclaircie commerciale, la coupe progressive selon différents niveaux d'intervention et la conversion de peuplements réguliers vers une structure irrégulière. La coupe avec protection de la régénération et des sols sera étudiée à titre de témoin.

### 1.3.1 Éclaircie commerciale

L'éclaircie commerciale est une intervention sylvicole qui se pratique lorsque la forêt est en prématurité (OIFQ, 1996) et qu'elle a atteint une forte densité (Lafond, 2005). Les tiges récoltées doivent être utilisables pour la transformation et avoir une valeur monétaire suffisante pour défrayer les coûts d'opération (Smith *et al.*, 1997).

Il y a quatre principales méthodes d'éclaircie soit l'éclaircie par le bas, l'éclaircie par le haut, l'éclaircie des dominants et l'éclaircie libre (Smith *et al.*, 1997). L'éclaircie par le bas consiste à récolter les petites tiges opprimées ou intermédiaires. L'éclaircie par le haut comporte la désignation d'un certain nombre d'arbres d'avenir, souvent parmi les dominants et les codominants, et l'élimination d'un certain nombre de compétiteurs dans leur environnement immédiat, sans égard à la position sociale du compétiteur. L'éclaircie

des dominants consiste à récolter les tiges dominantes de manière à favoriser la croissance des tiges dans les classes sociales inférieures. Elle est pratiquée dans les peuplements équiennes mixtes, les peuplements bi-étagés mono-spécifiques ou les peuplements à deux classes d'âge. L'éclaircie libre se définit par une combinaison des autres méthodes appliquées dans une seule opération. Ces quatre techniques d'éclaircie ont toutes le même objectif, soit celui d'améliorer la production ligneuse du peuplement résiduel (Nyland, 2002). Au Québec, les éclaircies commerciales pratiquées sont des éclaircies par le bas avec une augmentation du diamètre (dhp) moyen d'au moins 5 %. Elles sont d'une intensité modérée avec un prélèvement compris entre 28 et 35 % de la surface terrière initiale. Les sentiers couvrent une superficie maximale de 15 %. Elles sont pratiquées au moins 15 ans avant la coupe finale (MRNFPQ, 2003).

### 1.3.2 Coupe progressive

Ressources naturelles Canada (1995) définit la coupe progressive comme une méthode d'aménagement équiennes récoltant les bois en plusieurs étapes. C'est un système sylvicole reconnu, visant à régénérer le peuplement par l'établissement de semis sous couvert avant la coupe finale. Ainsi, lors de la première intervention, un couvert d'arbres sains et vigoureux est conservé comme source de graines. Ce couvert exerce également une fonction de protection des sols et des jeunes semis déjà établis en contrôlant la quantité de lumière qui peut les atteindre. Une fois que la régénération est bien établie et qu'elle a atteint une densité et une hauteur adéquates, on retire le couvert résiduel (Nyland, 2002). Une coupe progressive peut comporter plusieurs étapes :

- la coupe préparatoire : C'est une coupe partielle qui sert principalement à espacer les arbres du peuplement permettant ainsi un meilleur développement de leur cime

(André, 1986, dans Van der Kelen et Lessard, 2004). Ceci aura pour effet une meilleure fructification (Roisin, 1978, dans Van der Kelen et Lessard, 2004). Dans la pratique, cette intervention est souvent confondue avec les éclaircies commerciales.

- la coupe d'ensemencement : Elle vise principalement un éclaircissement au sol propice à la germination et à l'installation des semis d'essences tolérantes à l'ombre (OIFQ, 1996). Il est aussi recommandé, lors de cette coupe, d'éliminer les essences nuisibles ou gênantes, tout en conservant un certain mélange si nécessaire (Cochet, 1973, dans Van der Kelen et Lessard, 2003).
- les coupes secondaires : Elles ont pour but de continuer l'installation des semis aux endroits encore dégarnis, de favoriser le développement de la nouvelle régénération, de récolter les grands arbres au-dessus des semis et d'enlever les semenciers qui ont été endommagés ou qui sont en décrépitude. De nature optionnelle, ces coupes partielles varient en nombre selon la rapidité et l'intensité de l'installation des semis (OIFQ, 1996). Les coupes secondaires ont lieu lorsque la régénération souffre de la concurrence des racines et de lumière (Poskin, 1949, dans Van der Kelen et Lessard, 2004). C'est aussi l'état de la régénération qui guidera la sélection des arbres à abattre ou à conserver (Matthews, 1989).
- la coupe finale : Elle viendra récolter tous les grands arbres restants (OIFQ, 1996). Elle a lieu lorsqu'une nouvelle cohorte a atteint le nombre adéquat de semis, que la taille est jugée suffisante (Poskin, 1949, dans Van der Kelen et Lessard, 2004 ; Nyland, 2002) et que la protection du couvert n'est plus nécessaire (Nyland, 2002). Elle est en fait une coupe de protection de la régénération et des sols (CPRS) (voir 1.3.4) (Groot *et al.*, 2005).

Le système de la coupe progressive peut être lent ou rapide. Un système rapide générera un peuplement équienné, car la période de régénération est plus courte que le 1/5 de la révolution du peuplement. Il s'agit de la coupe progressive régulière. Une coupe progressive irrégulière diffère du procédé régulier par une période de régénération plus longue que le 1/5 de la révolution du peuplement. Il en résultera un peuplement avec au moins deux classes d'âge. L'irrégularité réfèrera par contre beaucoup plus à la variation de hauteur des tiges qu'à celle de l'âge (OIFQ, 1996).

### 1.3.3 Coupe de conversion

La transformation ou la conversion est le processus par lequel un peuplement de structure équienné, une plantation par exemple, est transformé en peuplement de structure inéquienné. Cette dernière est caractérisée par une grande diversité dans la taille des individus, le recrutement et le maintien continu de plusieurs cohortes d'âges (Malcolm *et al.*, 2001). La conversion comporte donc la transformation d'une structure relativement simple, homogène et peu diversifiée vers une structure hétérogène et variable (O'Hara, 2001). La transformation complète d'un peuplement régulier en peuplement totalement irrégulier est une tâche difficile qui demande énormément de temps et des interventions fréquentes (Schütz, 2001). La première étape de toute transformation est l'installation d'une nouvelle classe d'arbres sous couvert (Knoke et Plusczyk, 2001 ; O'Hara, 2001). Traditionnellement, la technique utilisée pour produire de nouvelles classes d'âge est la pratique fréquente de coupes partielles de régénération de faible intensité (Nyland, 2003). Cette méthode maintient des éléments de la cohorte originale et génère de nouvelles classes d'âge périodiquement sous couvert (Nyland, 2003; Smith, 1986). Elle peut inclure :

- Des coupes partielles semblables à de fortes éclaircies ou à de légères coupes progressives d'ensemencement distribuées uniformément. Ceci permettra l'établissement de semis éparpillés à travers le peuplement conduisant à la pratique éventuelle d'un jardinage par pied d'arbres ;
- Des coupes partielles par petits groupes d'arbres menant à l'installation de nouveaux semis dans des trouées. Ceci permettra d'exercer ultérieurement un jardinage par groupes (Nyland, 2003).

Les buts de la transformation sont plus facilement atteints lorsque la régénération naturelle est utilisée. Il est donc nécessaire que les peuplements aient une production semencière abondante et régulière pour que le forestier puisse débiter la conversion (Malcolm *et al.*, 2001; Nyland, 2003). Toutefois, il est possible d'utiliser des plantations sous couvert afin d'introduire de nouvelles espèces ou de nouveaux génotypes (Malcolm *et al.*, 2001). Le peuplement initial doit également être stable et d'une grande longévité étant donné que la conversion repose sur le maintien à long terme des semenciers actuels (Schütz, 2001). Il est à noter que la période de conversion peut durer plus d'un siècle (Nyland, 2003; Gärtner et Reif, 2004).

#### 1.3.4 Coupe avec protection de la régénération et des sols

La coupe avec protection de la régénération et des sols (CPRS) se pratique dans un peuplement mature. Elle consiste à retirer la totalité des tiges tout en protégeant la régénération naturelle préexistante et en minimisant les perturbations au sol (Lafond, 2005). Lorsque la régénération préétablie est absente ou peu abondante, la CPRS ne sert

qu'à la protection des sols (OIFQ, 1996). Cependant, dans pareil cas, le système de gestion actuel prévoit le reboisement des aires de coupe. La pratique consiste à reconstituer le peuplement de manière à obtenir un nombre de jeunes arbres d'avenir au moins égal à celui qui prévalait avant la récolte pour les essences principales (Coulombe *et al.*, 2004). En terme de système sylvicole, la CPRS peut être perçue comme l'intervention finale d'un système de coupes progressives où la régénération a été acquise spontanément, sans intervention humaine (Groot *et al.*, 2005). Ce type de traitement agira à titre de témoin pour ce projet, puisqu'il est à la base de la plupart des scénarios d'aménagement actuels pour les peuplements résineux dominés par le sapin, l'épinette, le pin gris ou le mélèze (SEPM).

## **1.4 Hypothèses**

### Hypothèse 1

L'utilisation des coupes partielles (éclaircies commerciales ou coupes progressives) augmentera la possibilité annuelle de coupe à rendement soutenu par rapport à un scénario où la CPRS est le seul traitement sylvicole possible.

### Hypothèse 2

La conversion de peuplements apportera une diminution de la possibilité et une disponibilité en bois plus régulière. En effet, la structure d'âge actuelle de la forêt apporte de fortes fluctuations des volumes de bois disponibles dans l'avenir. La conversion d'une partie de ces peuplements réguliers en structure irrégulière par plusieurs éclaircies jardinatoires permettrait d'atténuer ces fluctuations.

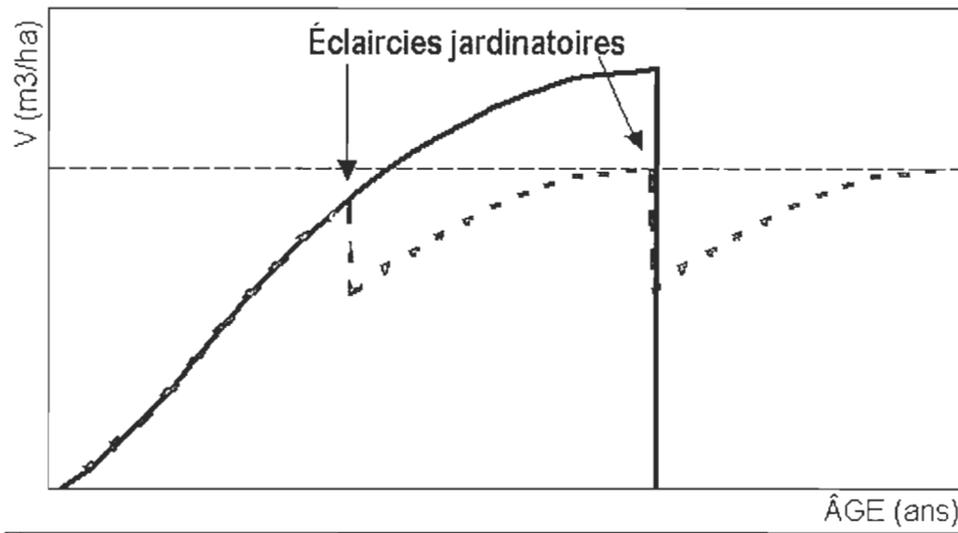


Fig. 5 : Effet hypothétique de la conversion (- - -) sur le rendement en volume d'un peuplement comparativement à la CPRS (—)

### Hypothèse 3

L'effet des scénarios sylvicoles sur la possibilité annuelle de coupe varie selon la structure d'âge des peuplements.

Hypothèse 3a : En effet, lors de la période critique, l'éclaircie commerciale des peuplements prématures augmentera le volume de bois disponible par le devancement d'une partie de la récolte prévue à la coupe finale (Jobidon *et al.*, 2003).

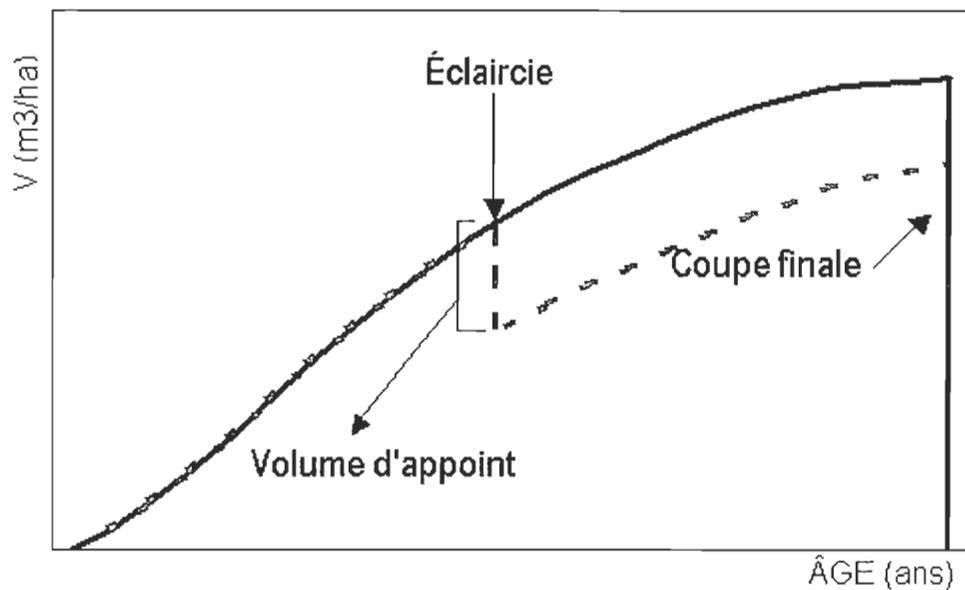


Fig. 6 : Effet hypothétique de l'éclaircie commerciale sur le rendement en volume d'un peuplement ( - - - ) comparativement à la CPRS ( — )

Hypothèse 3b : Dans le cas où la période critique serait à moyen terme, c'est-à-dire dans 20 à 40 ans, la coupe progressive de peuplements matures permettrait de conserver une partie de ces peuplements afin de rendre ces bois disponibles lors de la période critique.

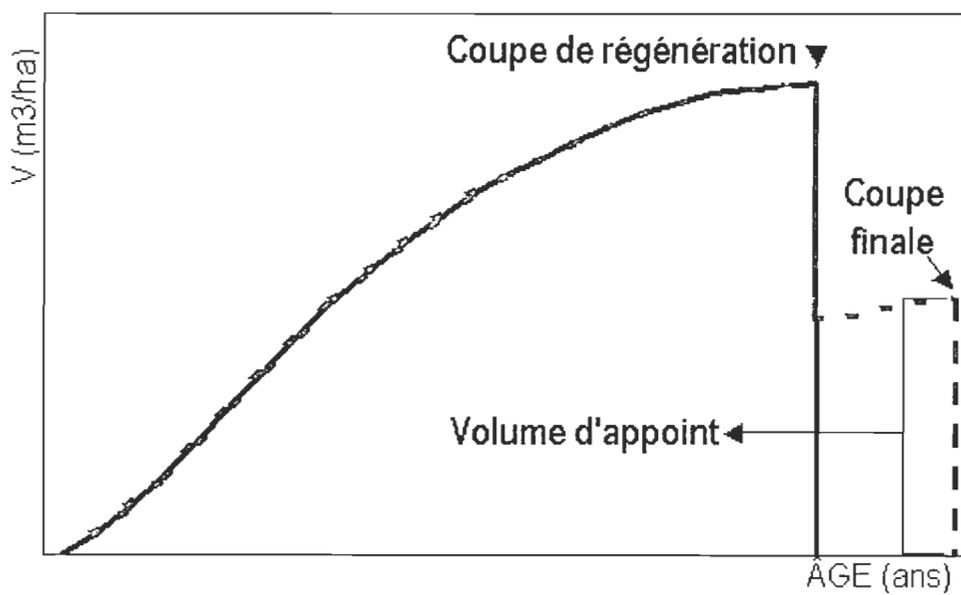


Fig. 7 : Effet hypothétique de la coupe progressive sur le rendement en volume d'un peuplement (- - -) comparativement à la CPRS (—)

#### Hypothèse 4

L'effet des coupes partielles sur l'approvisionnement en bois est fonction des critères d'admissibilité des peuplements aux interventions. Ainsi, une éclaircie commerciale applicable sur gamme élargie de peuplements (par une réduction de la surface terrière initiale nécessaire pour appliquer l'intervention) et comportant une récolte partielle plus intense, aura un impact plus important que l'éclaircie commerciale conforme aux normes actuelles du MRN.

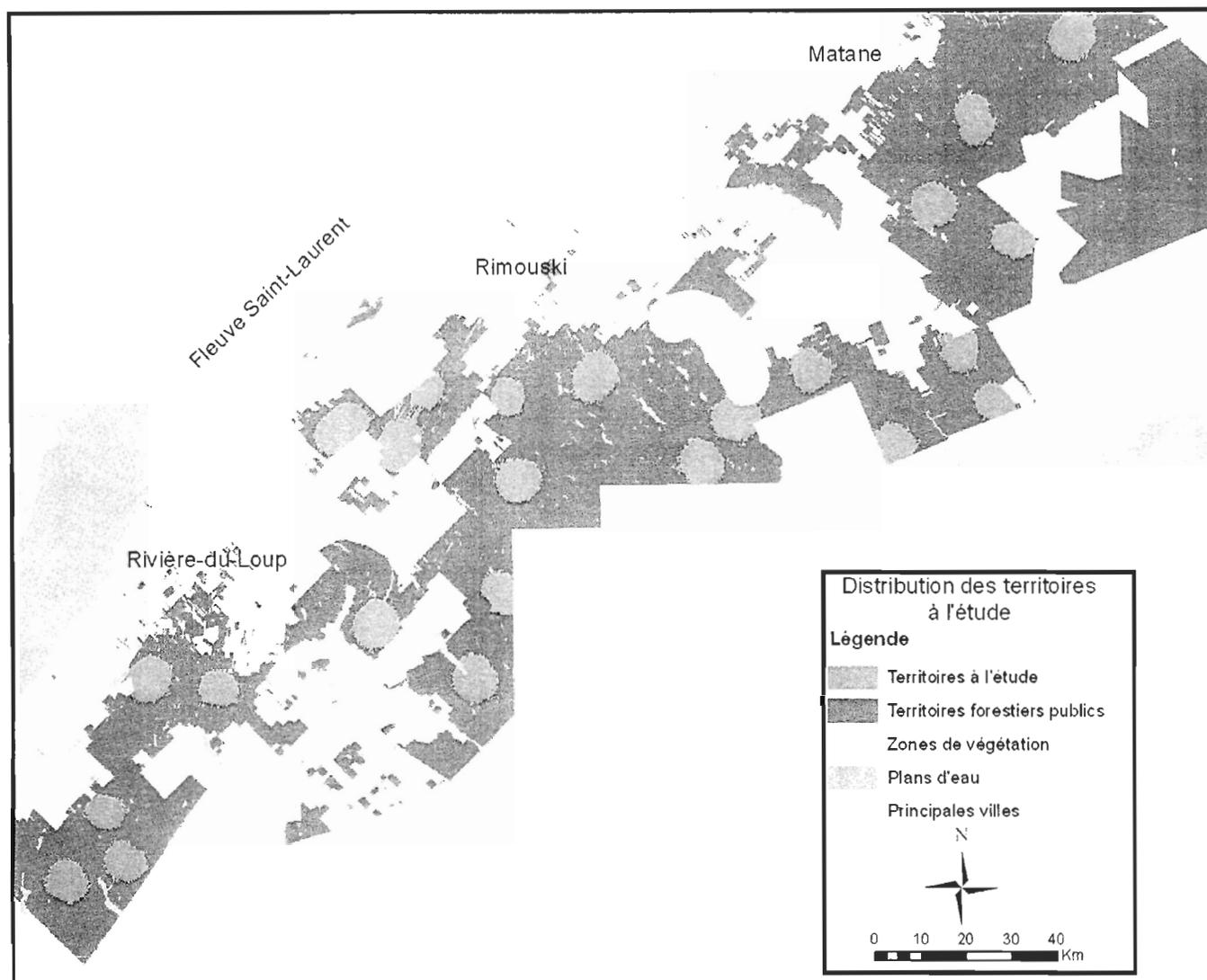
## CHAPITRE 2 : MATÉRIEL ET MÉTHODE

### 2.1 Territoire à l'étude

Pour être en mesure de valider nos hypothèses, 24 territoires ont été choisis au sein des forêts publiques de la région du Bas-Saint-Laurent (fig. 8).

Ces unités d'aménagement fictives, créées pour les fins de l'étude, sont issues des 105 refuges biologiques que compte la région (Leblanc et Déry, 2005). L'objectif premier de ces refuges est la conservation de la biodiversité associée aux forêts mûres et surannées. Pour satisfaire les besoins de développement de ce réseau de refuges (objectifs de protection et de mise en valeur des ressources du milieu forestier, OPMV) et pour obtenir une population de sites éparpillés sur l'ensemble de la région, la détermination du territoire étudié fut basée sur la distribution des forêts situées autour de ceux-ci. Le territoire expérimental est donc un échantillon représentant différentes conditions forestières caractéristiques de la région.

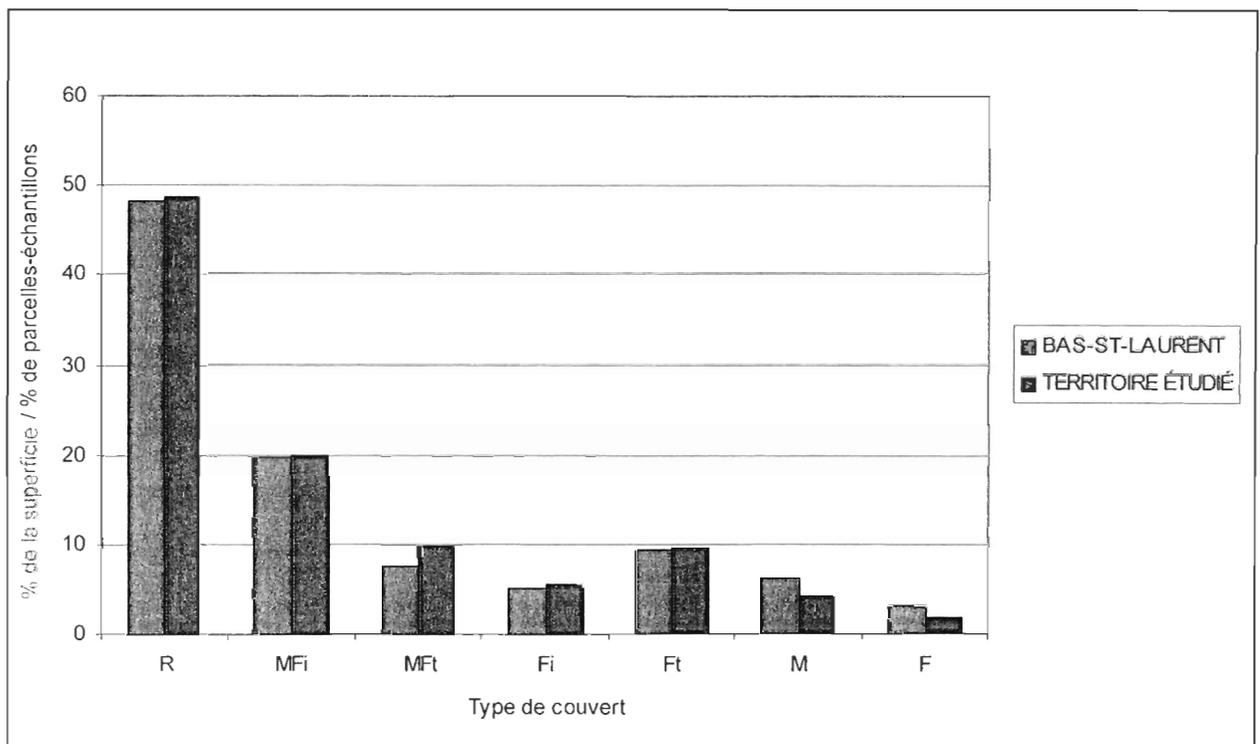
Fig. 8 : Distribution des 24 territoires expérimentaux (●)



Pour être en mesure de valider nos hypothèses, il était important que les territoires échantillonnés couvrent une grande gamme de structures d'âge. À l'aide d'une programmation dans le logiciel ArcView 3.2, des zones tampons de différentes grandeurs ont été créées autour de chaque refuge biologique. Les refuges ont une superficie moyenne de 165 ha. Le programme débute en créant une zone tampon de 1 000 m autour de chaque refuge. Il analyse la structure d'âge de ce territoire selon le pourcentage de superficie occupé par chaque classe d'âge, puis ajoute une autre bande de 1 000 m. Il fait une deuxième analyse de la structure d'âge des deux zones combinées. Si la distribution de la fréquence des classes d'âge de la première et de la deuxième zone tampon sont semblables (taux d'erreur de 5 %), le dernier territoire est sélectionné, sinon, le logiciel ajoute une autre zone tampon de 1 000 m. Le logiciel arrête l'ajout de bandes après trois tours pour un maximum de 3 000 m de zone tampon. Cette méthode a été employée pour obtenir des territoires ne présentant pas de grandes variations de structures d'âge au sein de leur superficie. Évidemment, certains refuges n'ont pu être sélectionnés suite à cette première étape. Sur les territoires retenus, une analyse de la distribution des types de couvert a été réalisée. À l'aide des bases de données de chacun des peuplements faisant partie de la zone tampon, il a été possible de connaître le pourcentage de superficie occupé par chaque type de couvert. L'ensemble des territoires ayant la même proportion de type de couvert forestier que la région du Bas-Saint-Laurent et ayant répondu aux premiers critères de l'analyse des classes d'âge a été sélectionné pour faire partie des territoires à l'étude. Le territoire expérimental consiste donc en un échantillon de 24 forêts, de grandeur et de structure d'âge différentes, réparties sur l'ensemble de la région du Bas-Saint-Laurent.

Les figures 9 et 10 illustrent la représentativité des territoires étudiés en terme de composition du couvert par rapport à la région du Bas-Saint-Laurent.

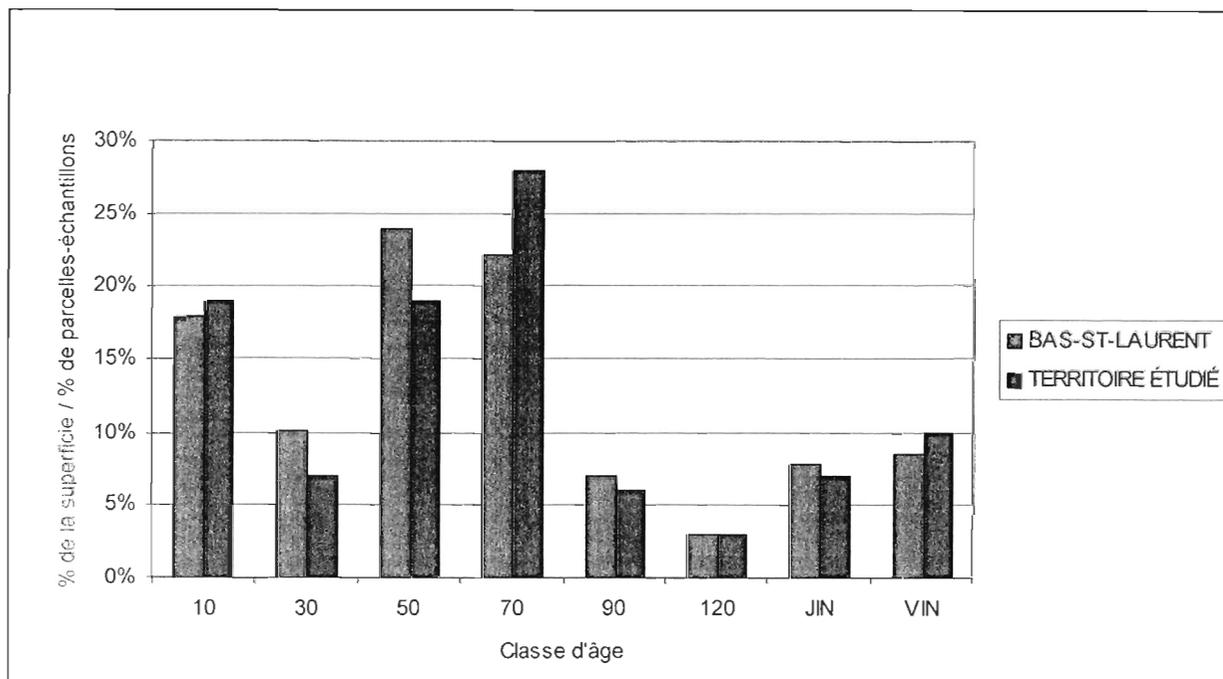
Fig. 9 : Comparaison du type de couvert entre les territoires étudiés et le territoire forestier public du Bas-Saint-Laurent



R : Résineux, MFi : Mélangé à dominance de feuillus intolérants, MFt : Mélangé à dominance de feuillus tolérants,

Fi : Feuillus intolérants, Ft : Feuillus tolérants, M : Mélangé, F : Feuillus.

Fig. 10 : Comparaison de la structure d'âge entre le territoire étudié et l'ensemble du Bas-Saint-Laurent



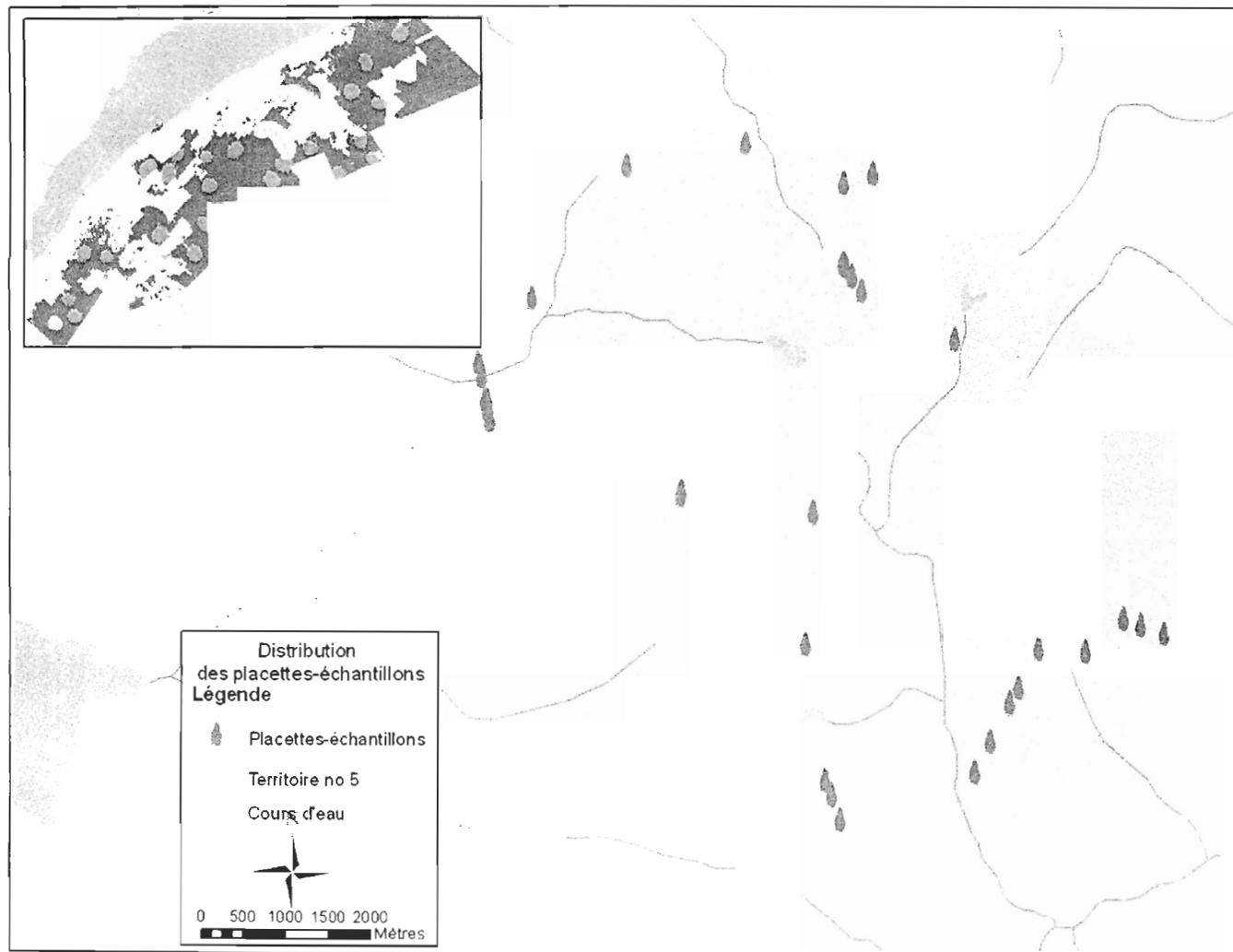
Données sources : Inventaire forestier du 3<sup>e</sup> décennal du MRNFQ

Les données sources de ce graphique proviennent de l'inventaire forestier du 3<sup>e</sup> décennal, qui prit fin en 2003, réalisé par le Ministère des Ressources naturelles et de la Faune du Québec par l'entremise de la carte des polygones forestiers (polyfor). Plusieurs données concernant l'âge sont manquantes sur ce document surtout en ce qui a trait aux très jeunes peuplements. Ce graphique permet tout de même d'apprécier la similitude entre le territoire étudié et la région en ce qui concerne l'âge des peuplements. Les plus grands écarts se retrouvent chez les peuplements de 30, 50 et 70 ans, mais ne représentent que 3 %, 5 % et 6 % respectivement.

Chacun des secteurs étudiés comporte plusieurs placettes échantillons temporaires du troisième inventaire décennal. Le nombre moyen est de 26 placettes échantillons résineuses (surface terrière des essences résineuses  $\geq 75$  %). Le nombre de placettes échantillons varie de 5 à 53 pour l'ensemble du territoire étudié.

La figure 11 illustre le territoire no. 5 et la distribution des placettes à l'intérieur de celui-ci.

Fig. 11 : Distribution des placettes échantillons temporaires sur le territoire 5



## **2.2 Calcul de la possibilité forestière**

Le calcul de la possibilité forestière comporte trois composantes, soit les inventaires forestiers, la simulation de la croissance des peuplements et le modèle de simulation de l'aménagement forestier qui permet de calculer la possibilité annuelle de coupe à rendement soutenu (Bernier-Cardou, 2004).

### 2.2.1 Inventaires forestiers

Dans notre cas, les données d'inventaire proviennent des placettes échantillons temporaires du troisième inventaire forestier décennal du Ministère des Ressources naturelles du Québec. Cet inventaire nous permet d'obtenir pour chaque arbre marchand (dhp > 9 cm) d'une placette de 400 m<sup>2</sup>, l'essence et le diamètre par classe de 2 cm mesuré à 1,3 m de hauteur (dhp). De plus, les mesures de la hauteur et de l'âge de trois tiges dominantes ou co-dominantes d'essences représentatives du type de peuplement sont données. Les gaules (tiges ayant un dhp compris entre 1 et 9 cm) sont aussi dénombrées par classe de diamètre de 2 cm dans une sous placette de 40 m<sup>2</sup>.

### 2.2.2 Modèle de croissance

La méthode de simulation utilisée pour l'estimation de la possibilité forestière est celle réalisée par l'approche indépendante mandatée par le Ministère des Ressources naturelles, de la Faune et des Parcs pour le rapport Coulombe (MRNFPQ, 2004). Nous avons utilisé le modèle de croissance d'arbres Northeastern Twigs (NE-Twigs) notamment employé par le US Forest Service (Raulier *et al.*, 2004). NE-Twigs est un modèle permettant la prédiction de la croissance en surface terrière des tiges individuelles d'une placette, peu importe leur essence, en fonction de leur dimension relative par rapport aux

autres arbres de la placette, et un modèle décrivant la probabilité de survie de ces mêmes arbres (Raulier *et al.*, 2004).

Les paramètres de l'équation de croissance en surface terrière ( $iG$  en  $\text{cm}^2/\text{an}$ ) d'une tige entre le temps  $t$  et  $t+1$  sont estimés par un modèle de croissance potentielle asymptotique (éq. 1). Cette asymptote est modulée par l'indice de qualité de station et diminuée par un modificateur ( $G_{\text{sup}}$ ) tenant compte du statut social de l'arbre dans la placette.

$$1. \quad iG = b_1 * iqs * (1 - \exp(-b_2 * dhp)) * \exp(-b_3 * G_{\text{sup}}) + \varepsilon_{g,a} + \varepsilon$$

où :

- $iqs$  est un indice de qualité de station moyen correspondant à la hauteur dominante du peuplement à 50 ans;
- $dhp$  est le diamètre moyen à hauteur de poitrine (1,3 m) de la tige entre le temps  $t$  et  $(t+1)$ ;
- $G_{\text{sup}}$  est un indice de compétition moyen entre le temps  $t$  et  $(t+1)$  (définition ci-dessous);
- $b_1$ ,  $b_2$ , et  $b_3$  sont des paramètres (tableau 1);
- $\varepsilon_{g,a}$  et  $\varepsilon$  sont les termes d'erreurs considérés.  $\varepsilon_{g,a}$  tient compte de la répétition des mesures sur un même arbre et  $\varepsilon$  représente les erreurs résiduelles du modèle.

L'indice de compétition ( $G_{\text{sup}}$ ), nommé surface terrière supérieure, est la sommation des surfaces terrières des tiges dont le diamètre est supérieur à l'arbre observé. La tige ayant

la plus grande surface terrière de la placette a un indice de compétition égal à zéro. Voici l'équation de la surface terrière supérieure :

$$2. G_{sup} = \Sigma(gN_g) + (g_a(N_g - n))/2$$

où :

- $g$  est la surface terrière individuelle de tous les arbres dont la surface terrière est supérieure à celle de l'arbre sous calcul ( $g_a$ );
- $g_a$  est la surface terrière de l'arbre sous calcul;
- $N_g$  est le nombre de tiges à l'hectare de surface terrière  $g$ ;
- $n$  vaut 25 pour les tiges de 9,1 cm de diamètre (dhp) et plus et 250 pour les gaules (tiges de 9 cm et moins de dhp);
- la sommation calcule l'effet de toutes les tiges plus grosses que l'arbre sous calcul alors que la seconde portion de l'équation tient compte de l'effet compétitif des arbres dont la surface terrière est la même que celle de l'arbre sous calcul.

Tableau 1 : Valeurs des paramètres pour l'équation 1

ESSENCES	$b_1$	$b_2$	$b_3$
Bouleau jaune	1,41	0,033	0,024
Bouleau blanc	0,8	0,056	0,057
Épinette blanche	1,1	0,078	0,05
Épinette noire	0,28	0,07	0,021
Érable à sucre	1,87	0,02	0,031
Peuplier faux-tremble	2,45	0,015	0,041
Pin gris	1,84	0,011	0,044
Sapin baumier	1,52	0,022	0,032
Thuya occidental	4,63	0,008	0,021

Tiré de Raulier *et al.*, 2004

La probabilité annuelle de survie (s) est égale à :

$$3. s = 1 - (1 + e^n)^{-1} + \varepsilon$$

où :

$$4. n = c_1 + c_2 * (dhp + 1) ** c_3 * \exp(-c_4 * dhp - c_5 * Gsup + c_6 * iqs)$$

où :

- dhp, Gsup et iqs sont telles que définies à l'équation 1;
- $c_1$  à  $c_6$  sont des paramètres (Tableau 2);
- $\varepsilon$  est le terme d'erreur résiduel.

Tableau 2 : Valeurs des paramètres pour l'équation 3

ESSENCES	$c_1$	$c_2$	$c_3$	$c_4$	$c_5$	$c_6$
Bouleau jaune		2,59	0,39	0,018	0,0092	
Bouleau blanc		0,74	1,04	0,042	0,0132	-0,007
Épinette blanche		0,56	1,33	0,046	0,0107	-0,038
Épinette noire		2,68	0,32	0,019	0,0006	-0,004
Érable à sucre	1,69	0,12	1,51	0,045	0,0026	-0,018
Peuplier faux-tremble	1,5	0,01	2,59	0,09	0,0168	-0,006
Pin gris	1,01	0,14	1,7	0,075	0,0183	-0,006
Sapin baumier		1,16	0,79	0,039	0,0016	-0,022
Thuya occidental		0,18	1,75	0,057	-0,0075	-0,065

Tiré de Raulier *et al.*, 2004

La considération dans ce modèle du diamètre de la tige, de son indice de compétition et de son indice de qualité de station permet d'englober les principaux facteurs expliquant la croissance.

Ces équations (1 à 4) ont été calibrées pour 9 essences commerciales au Québec par Raulier *et al.* (2004) à partir du réseau de placettes échantillons permanentes du Ministère des Ressources naturelles du Québec. Pour les autres essences retrouvées dans les territoires sous étude, nous avons attribué des équivalences. Le tableau 3 montre celles-ci.

Tableau 3 : Essences équivalentes utilisées pour les équations 1 à 4

ESSENCES	ÉQUIVALENCES
Bouleau jaune	Bouleau jaune
Bouleau blanc	Bouleau blanc
Cerisier tardif	Érable à sucre
Épinette blanche	Épinette blanche
Épinette noire	Épinette noire
Épinette de Norvège	Épinette blanche
Épinette rouge	Épinette noire
Érable rouge	Érable à sucre
Érable à sucre	Érable à sucre
Frêne noir	Érable à sucre
Hêtre à grandes feuilles	Érable à sucre
Mélèze laricin	Épinette noire
Peuplier baumier	Peuplier faux-tremble
Peuplier à grandes dents	Peuplier faux-tremble
Peuplier faux-tremble	Peuplier faux-tremble
Pin blanc	Pin gris
Pin gris	Pin gris
Pin rouge	Pin gris
Pin sylvestre	Pin gris
Sapin baumier	Sapin baumier
Thuya occidental	Thuya occidental

NE-Twigs permet d'actualiser les surfaces terrières (équation 1) des différentes tiges et non leur volume. Les tarifs de cubage de Perron (1985) ont été utilisés pour évaluer le volume des arbres. L'utilisation de cette méthode demande également la connaissance de la hauteur des tiges. Pour ce faire, nous avons utilisé l'équation 1 de Pothier et Savard

(1998) qui permet d'estimer la hauteur à partir de la hauteur totale moyenne des arbres échantillons d'une placette et du diamètre (dhp) moyen des arbres échantillons de la même placette.

### 2.2.3 Modèle d'aménagement forestier

Le calcul de la possibilité a été réalisé grâce à une procédure programmée dans le progiciel SAS, nommée *Sylva-TS*, respectant les grands principes de *Sylva II* dont l'équation de conservation, l'horizon de simulation de 150 ans, les calculs sur une base périodique de 5 ans et les règles de priorisation de la récolte (Raulier *et al.*, 2004). La règle de récolte utilisée force le prélèvement d'au moins 50% du volume disponible dans les strates en décroissance afin de minimiser les pertes en matière ligneuse. Le reste du volume est récolté dans les strates mûres les mieux stockées. Cette règle permet de tenir compte en partie des coûts de récolte malgré le fait que la dispersion des peuplements et la distance de transport ne soient pas considérées (OIFQ, 1996).

Le territoire a également été divisé en strates. Les strates ont arbitrairement été établies pour *Sylva-TS* en divisant l'unité d'aménagement forestier en un certain nombre d'unités égales en surface. Ce nombre d'unités correspond au nombre de placettes d'inventaire dans l'unité d'aménagement forestier. Chacune des strates s'est donc vue attribuer une placette d'inventaire. Le volume marchand de chacune des strates à un temps donné est obtenu par la somme des volumes des tiges de la placette prédite par NE-Twigs. Le volume marchand disponible correspond au volume pouvant être récolté dans les strates disponibles à la coupe, selon les critères d'admissibilité définis pour chaque intervention.

L'hétérogénéité des différents territoires et placettes tant du point de vue de la composition que de la structure est alors respectée (Raulier *et al.*, 2004).

Suite à une coupe totale ou à la sénescence naturelle d'un peuplement, une nouvelle placette est créée. Pour ce faire, l'approche indépendante s'inspire du modèle *GYPSY* utilisé en Alberta pour le pin lodgepole (Raulier *et al.*, 2004). Le modèle génère pour une placette donnée, toutes essences confondues et à un âge donné, le nombre de tiges ainsi que leur distribution diamétrale. Les nouvelles placettes sont générées à la suite d'une coupe finale ou lorsque l'âge de bris a été atteint. L'âge de bris correspond à l'âge à partir duquel le volume marchand du peuplement baisse sous le seuil de la rentabilité économique. Cet âge est fixé par l'aménagiste (MRNFP, 2004). Lorsque les données sont insuffisantes pour déterminer précisément un âge de bris, celui-ci peut être déterminé au moment où la strate atteint 50 m<sup>3</sup>/ha (MRNFP, 2003). La simulation de la croissance de ces nouvelles placettes débutera lorsque celles-ci auront atteint l'âge moyen des placettes originales du territoire les plus jeunes (5 %). Le décompte de l'âge de la placette synthétique débute immédiatement après la coupe ou le bris, mais celle-ci n'apparaît dans les calculs seulement que lorsqu'elle a atteint l'âge moyen des placettes originales les plus jeunes (Raulier *et al.*, 2004). La liste des tiges des nouvelles placettes est créée à partir de la distribution des fréquences des diamètres (Raulier *et al.*, 2004). Ce nombre de tiges est ajouté à la liste des arbres de la placette. Par la suite, une valeur de diamètre, comprise dans les limites de cette classe diamétrale, est attribuée à chaque tige de façon aléatoire (distribution uniforme) (Huang *et al.*, 2001, dans Raulier *et al.*, 2004). Enfin, une essence est assignée à chaque tige par tirage aléatoire (distribution uniforme). La probabilité que

ce soit une essence en particulier est égale à la proportion de surface terrière que celle-ci occupait en début de simulation (Raulier *et al.*, 2004).

*Sylva-TS* comprend également un module itératif de recherche binaire qui permet de converger automatiquement vers un niveau de possibilité forestière à rendement soutenu maximal, contrairement à *Sylva II* où cette action doit être faite manuellement par essais et erreurs.

La programmation du modèle de croissance et du calcul de la possibilité a été réalisée sous la supervision de Frédéric Raulier professeur en aménagement forestier à l'Université Laval.

### 2.3 Élaboration des scénarios sylvicoles

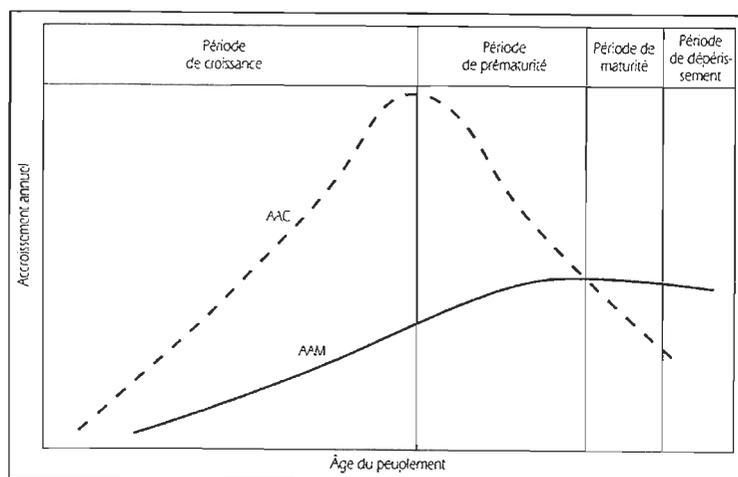
Au Québec, l'âge est le principal facteur considéré comme critère d'admissibilité aux différentes interventions sylvicoles. Contrairement aux méthodes normalement utilisées, nous avons choisi d'établir nos critères sur le volume marchand et la surface terrière des peuplements. Ces données sont calculées à partir de prises de mesures sur le terrain. Elles sont donc plus précises que l'âge qui est estimé. Nous avons alors utilisé l'accroissement annuel courant<sup>3</sup> et l'accroissement annuel moyen<sup>4</sup> pour déterminer l'âge

---

<sup>3</sup> Accroissement annuel courant : Augmentation en volume d'une année à l'autre; la sommation donne le volume du peuplement. Comme il est rarement possible de déterminer l'accroissement d'une année à l'autre, on utilise généralement une courte période de 5 ou 10 ans pour le calcul de celui-ci (OIFQ, 1996).

de maturité ou de prématurité. Comme le démontre bien la figure 12, le point de rencontre des courbes de l'accroissement annuel moyen et de l'accroissement annuel courant correspond à la limite entre ces deux classes. Ce point de rencontre correspond également à l'âge d'exploitabilité absolu qui vise l'obtention de la plus grande quantité de matière ligneuse dans le plus court laps de temps possible (OIFQ, 1996). L'âge d'exploitabilité absolu est généralement utilisé au Québec pour établir l'admissibilité des peuplements ou des strates à la coupe finale (CPRS).

Fig. 12 : Courbes d'accroissement annuel courant (AAC) et annuel moyen (AAM) pour un peuplement équienné



Tiré de OIFQ, 1996.

Le tableau 4 décrit les différents scénarios proposés.

<sup>4</sup> Accroissement annuel moyen : Moyenne de tous les accroissements annuels courants (OIFQ, 1996).

Tableau 4 : Description des scénarios sylvicoles étudiés

		Éclaircie commerciale MRN	Éclaircie commerciale adaptée No. 1	Éclaircie commerciale adaptée No. 2	Coupe progressive No.1	Coupe progressive No.2	Conversion	CPRS
<b>Critères d'admissibilité des peuplements</b>	<b>Composition</b>	Résineux	Résineux	Résineux	Résineux	Résineux	Résineux	Résineux
	<b>Âge</b>	PREMATURE AAC>AAM + Au moins 10 ans depuis la dernière éclaircie	PREMATURE AAC>AAM + Au moins 10 ans depuis la dernière éclaircie	PREMATURE AAC>AAM + Au moins 10 ans depuis la dernière éclaircie	Après l'âge d'exploitabilité absolu 9cm+ (AAC<AAM)	Après l'âge d'exploitabilité absolu 9cm+ (AAC<AAM)	Ne s'applique pas	Après l'âge d'exploitabilité absolu 9cm+ (AAC<AAM)
	<b>Volume marchand</b>	Non spécifié	≥120m <sup>3</sup> /ha	≥120m <sup>3</sup> /ha	≥80m <sup>3</sup> /ha	≥80m <sup>3</sup> /ha	Ne s'applique pas	≥50m <sup>3</sup> /ha
	<b>Volume moyen par tige</b>	Non spécifié	Non spécifié	≥0,070m <sup>3</sup> /tige	Non spécifié	Non spécifié	Ne s'applique pas	Non spécifié
	<b>Surface terrière</b>	≥23m <sup>2</sup> /ha	Non spécifié	Non spécifié	≥23m <sup>2</sup> /ha	≥23m <sup>2</sup> /ha	30m <sup>2</sup> /ha entre les sentiers	Non spécifié
	<b>Réseau de sentiers</b>	Permanents de 4m de largeur espacés de 27m (15% superficie)	Permanents de 4m de largeur espacés de 15m (27% superficie)	Permanents de 4m de largeur espacés de 15m (27% superficie)	Temporaires de 5m de largeur espacés de 20m	Temporaires de 5m de largeur espacés de 20m	Permanents de 4m de largeur espacés de 15m (27% superficie)	Temporaires
	<b>Règles de sélection des tiges</b>	Une sur trois, la plus petite (Éclaircie par le bas de 25% surface terrière entre sentiers)	Une sur trois, au hasard (Éclaircie libre de 33% entre les sentiers)	Une sur trois, au hasard (Éclaircie libre de 33% entre les sentiers)	Une sur trois, la plus grosse (Éclaircie des dominants de 50% entre les sentiers)	Une sur trois, la plus grosse (Éclaircie des dominants de 50% entre les sentiers)	Une sur quatre, au hasard (Éclaircie libre de 25% entre les sentiers)	Ne s'applique pas
	<b>Récolte partielle attendue</b>	15% dans les sentiers+ (85%*25%entre les sentiers)=35%	27% dans les sentiers +(73%*33% entre les sentiers)=51%	27% dans les sentiers+(73%*33% entre les sentiers)=51%	25% sentiers + (50% * 50%, dans la zone d'intervention entre les sentiers)+(0%*25	25% sentiers + (50% * 50%, dans la zone d'intervention entre les sentiers)+(0%*25	Première intervention : 27% sentiers + (25% * 73%, dans la zone d'intervention	Ne s'applique pas

					% dans la zone inaccessible entre les sentiers)=50%	% dans la zone inaccessible entre les sentiers)=50%	entre les sentiers)=45%	
	<b>Effets des sentiers (Ajustement de la surface productive)</b>	85% de la surface productive initiale	73% de la surface productive initiale	73% de la surface productive initiale	25% en peuplement intact 50% en peuplement éclairci	25% en peuplement intact 50% en peuplement éclairci	73% de la surface productive initiale	Ne s'applique pas
	<b>Nombre de coupes partielles possibles</b>	Illimité Tant que le peuplement ne rencontre pas les critères de la coupe finale	Illimité Tant que le peuplement ne rencontre pas les critères de la coupe finale	Illimité Tant que le peuplement ne rencontre pas les critères de la coupe finale	Une coupe partielle avant la coupe finale	Une coupe partielle avant la coupe finale	Illimité À chaque fois que les critères de la coupe partielle sont rencontrés	Ne s'applique pas
	<b>Moment de la coupe finale</b>	Au moins 15 ans après la dernière coupe partielle, si mature (AAC<AAM)	Au moins 10 ans après la dernière coupe partielle, si mature (AAC<AAM)	Au moins 10 ans après la dernière coupe partielle, si mature (AAC<AAM)	Au moins 10 ans après la coupe partielle	Au moins 20 ans après la coupe partielle	Aucune	Ne s'applique pas

Éclaircie commerciale MRN : Nous avons tenté de reproduire l'éclaircie commerciale selon les différents critères proposés par le MRNFPQ (2003). Cependant, contrairement aux critères du MRNFPQ (2003), nous avons choisi d'utiliser les courbes d'accroissement en volume des peuplements pour déterminer le temps propice à l'intervention. Ainsi, un peuplement dont l'accroissement annuel courant est plus grand que l'accroissement annuel moyen est en prématurité. Il sera en période de maturité lorsque la situation contraire se produira (OIFQ, 1996). Le MRNFPQ exige également une surface terrière résiduelle (après éclaircie) de  $15 \text{ m}^2/\text{ha}$ . Nous proposons donc une surface terrière initiale d'au moins  $23 \text{ m}^2/\text{ha}$  pour une récolte de 35 % du peuplement ( $23 \text{ m}^2/\text{ha} - 35 \% = 15 \text{ m}^2/\text{ha}$ ). Le taux de récolte (35 %) fait aussi partie des exigences du MRNFPQ (2003). En ce qui a trait aux réseaux de sentiers, ceux-ci sont créés lors de la première intervention et réutilisés par la suite. Ceci génère un volume de récolte à la première éclaircie qui n'est pas récurrent par la suite.

Éclaircie commerciale adaptée No.1 : Nous avons déterminé de nouveaux critères d'éclaircie commerciale de manière à tenter d'élargir le nombre de peuplements pouvant faire l'objet de celle-ci. Un volume marchand minimal de  $120 \text{ m}^3/\text{ha}$  a été prescrit afin d'obtenir un volume de récolte d'au moins  $40 \text{ m}^3/\text{ha}$  pour une intensité de récolte maximale de 33 % (Hannah, 1988).

Éclaircie commerciale adaptée No.2 : Elle est semblable à l'éclaircie commerciale adaptée No.1, excepté que ce scénario demande un volume minimum par tige de  $0,070 \text{ m}^3/\text{tige}$  de façon à diminuer au maximum les coûts d'abattage et de façonnage. Ce principe découle d'une étude effectuée par FERIC (Meek, 2000). Ce scénario présume l'emploi d'un

système de récolte entièrement mécanisé par bois courts pour réaliser son éclaircie commerciale. Cette technique est très répandue dans l'est du Canada et offre les meilleures possibilités de viabilité dans l'atteinte des objectifs du traitement (Meek, 2000).

Coupe progressive No.1 : Ce type de récolte reproduit le patron de coupe à sélection rapprochée proposé par Lussier *et al.* (2005). Ce système prévoit la séparation du territoire en bandes de 20 m de largeur. Sur chacune de ces bandes, il y a un sentier de 5 m de large où la totalité des tiges sont coupées. De part et d'autre de ce sentier il y a une récolte partielle de 50% des tiges sur une bande de 5 m, puis une dernière bande de 5 m est laissée intacte. La récolte partielle coupe une tige sur trois avec la priorité de couper la plus grosse (Lussier *et al.*, 2005). Ce système récolte donc 50 % du peuplement en récolte partielle (première passe), le reste du peuplement sera prélevé lors de la coupe finale. Un volume minimal de 80 m<sup>3</sup>/ha est exigé pour obtenir une récolte d'au moins 40 m<sup>3</sup>/ha et une intensité de coupe de 50 % telle que préconisé par Hannah (1988). Selon Tesch et Mann (dans Nyland, 2002), une surface terrière résiduelle comprise entre 12 et 34 m<sup>2</sup>/ha est conseillée. Pour respecter ce principe, il faut donc avoir une surface terrière minimale de 23 m<sup>2</sup>/ha. La coupe finale aura lieu au moins 10 ans après la coupe partielle, car nous estimons que c'est le temps nécessaire à l'installation des semis.

Coupe progressive No.2 : Elle est semblable à la précédente à l'exception du temps écoulé entre chaque récolte qui est de 20 ans. Ce délai devrait permettre à la régénération d'atteindre 100 cm de hauteur répondant ainsi aux critères d'une coupe avec protection de la haute régénération (CPHR).

Coupe de conversion : La conversion de peuplements réguliers en peuplements irréguliers est réalisée par des interventions fréquentes et de faibles intensités. Selon la littérature sur la coupe progressive, il faut de manière optimale conserver le peuplement entre 12 et 34 m<sup>2</sup>/ha (Tesch et Mann, 1991, dans Nyland, 2002). Si nous voulons garder le peuplement entre 20 et 30 m<sup>2</sup>/ha, ce qui correspond à des volumes compris entre 118 et 163 m<sup>3</sup>/ha, nous pouvons récolter 45 m<sup>3</sup>/ha (163-118=45), c'est-à-dire 28 % du peuplement entre les sentiers permanents. Selon nos simulations, à 25 m<sup>2</sup>/ha de surface terrière résiduelle, l'accroissement net en volume est de 3 m<sup>3</sup>/ha/an. Par conséquent, cela prendrait environ 15 ans pour reconstituer le volume récolté. Ceci fixe de manière approximative l'intervalle entre les interventions.

#### **2.4 Analyse de l'impact des différents scénarios sylvicoles**

Pour comparer la possibilité forestière et le volume moyen par tige récoltée entre les scénarios, nous avons effectué sur SAS une analyse de variance (ANOVA). Lorsque l'hypothèse nulle était rejetée, nous avons effectué un test de Duncan afin de connaître où se situaient les différences significatives entre les scénarios sylvicoles étudiés.

Afin de déterminer l'influence de la structure d'âge des peuplements sur la possibilité annuelle de coupe, nous avons fait croître artificiellement les placettes échantillons de chaque unité d'aménagement forestier. Nous avons utilisé les équations de croissance de NE-Twigs. Cette simulation s'est effectuée sur une période de 25 années. Par la suite, nous avons calculé la proportion de peuplements dont l'accroissement annuel moyen avait culminé de manière à connaître la phase de maturité des unités d'aménagement. Nous

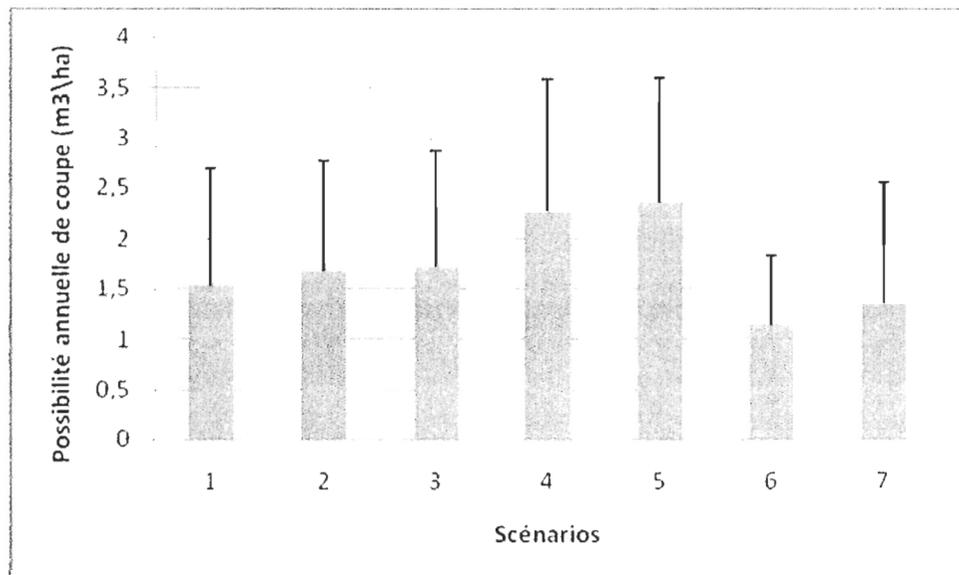
avons analysé les résultats en comparant le gain de possibilité forestière comparativement à une CPRS et la proportion de peuplements matures.

## CHAPITRE 3 : RÉSULTATS

### 3.1 Possibilité annuelle de coupe

Le calcul de la possibilité effectué indique que la possibilité annuelle de coupe varie selon le scénario sylvicole utilisé. La figure 13 montre cette variation.

Fig. 13 : Possibilité annuelle moyenne de coupe pour les 7 scénarios d'aménagement



Les scénarios sont : 1. Éclaircie commerciale MRN; 2. Éclaircie commerciale adaptée No.1; 3. Éclaircie commerciale adaptée No. 2; 4. Coupe progressive No.1; 5. Coupe progressive No.2; 6. Conversion; 7. CPRS

Une analyse de variance montre que ces variations sont significatives (0,05) (tableau 5).

Tableau 5 : Analyse de variance testant l'effet du scénario d'aménagement sur la possibilité annuelle de coupe

Source	DL	Somme des carrés	Carré moyen	Valeur F	Pr > F
<b>Modèle</b>	6	29,6537277	4,9422879	3,80	0,0015
<b>Erreur</b>	161	209,6272871	1,3020328		
<b>Total corrigé</b>	167	239,2810148			

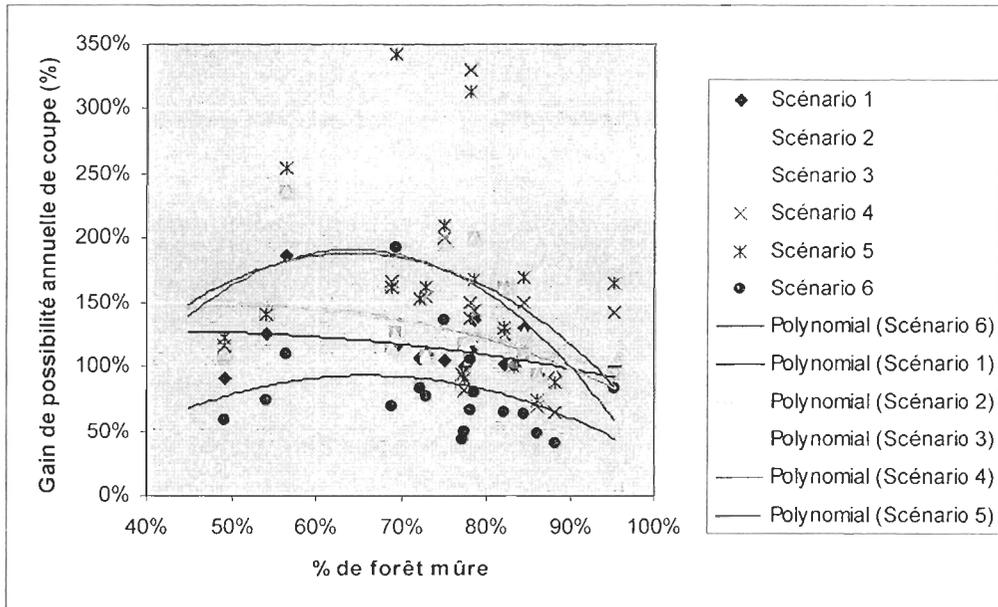
Le test de Duncan regroupe les scénarios semblables. Le tableau 6 montre que les scénarios de coupe progressives et d'éclaircies commerciales adaptées augmentent significativement la possibilité forestière par rapport aux scénarios de CPRS, de conversion et d'éclaircie commerciale du MRN.

Tableau 6 : Test de comparaison des moyennes de Duncan pour la possibilité annuelle de coupe

Groupement de Duncan	Moyenne	Nb	Scénario
A	2,3	24	5
A	2,2	24	4
B	1,7	24	3
B	1,7	24	2
B	1,5	24	1
B	1,3	24	7
B	1,1	24	6

Selon la troisième hypothèse, la possibilité annuelle de coupe devrait également varier selon la structure d'âge des peuplements. L'échantillon comprend une gamme d'unités d'aménagement de structures d'âge différentes. La figure 14 montre le gain de possibilité par rapport à la proportion de forêts mûres de chaque unité d'aménagement.

Fig. 14 : Gain de possibilité par rapport au scénario de CPRS en fonction de la proportion de forêts mûres (ie. qui excèdent l'âge d'exploitabilité absolu)



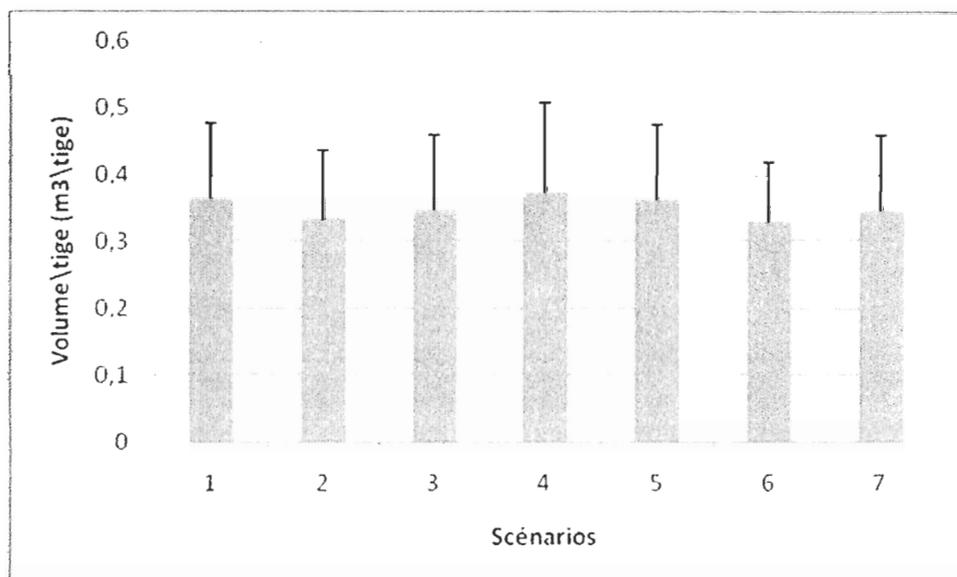
Les scénarios sont : 1. Éclaircie commerciale MRN; 2. Éclaircie commerciale adaptée No.1; 3. Éclaircie commerciale adaptée No. 2; 4. Coupe progressive No.1; 5. Coupe progressive No.2; 6. Conversion

On constate que l'effet de la structure d'âge sur la possibilité annuelle de coupe n'est pas constant en fonction de la proportion de forêt mûre, mais plutôt curvilinéaire pour l'ensemble des scénarios étudiés. Le gain de possibilité annuelle de coupe est maximal à environ 65 % de forêt mûre pour les scénarios de coupe progressive et de conversion (scénarios 4, 5 et 6). Il est maximal à environ 45 % pour les scénarios d'éclaircie commerciale (scénarios 1, 2 et 3).

### 3.2 Volume par tige récoltée

Comme l'illustre la figure 15, le volume par tige récoltée varie légèrement selon le scénario sylvicole. En effet, les coupes progressives montrent le plus fort volume moyen par tige récoltée.

Fig. 15 : Volume moyen par tige récoltée



Les scénarios sont : 1. Éclaircie commerciale MRN; 2. Éclaircie commerciale adaptée No.1; 3. Éclaircie commerciale adaptée No. 2; 4. Coupe progressive No.1; 5. Coupe progressive No.2; 6. Conversion; 7. CPRS

Cependant, l'analyse de variance ne note aucune différence significative entre les traitements.



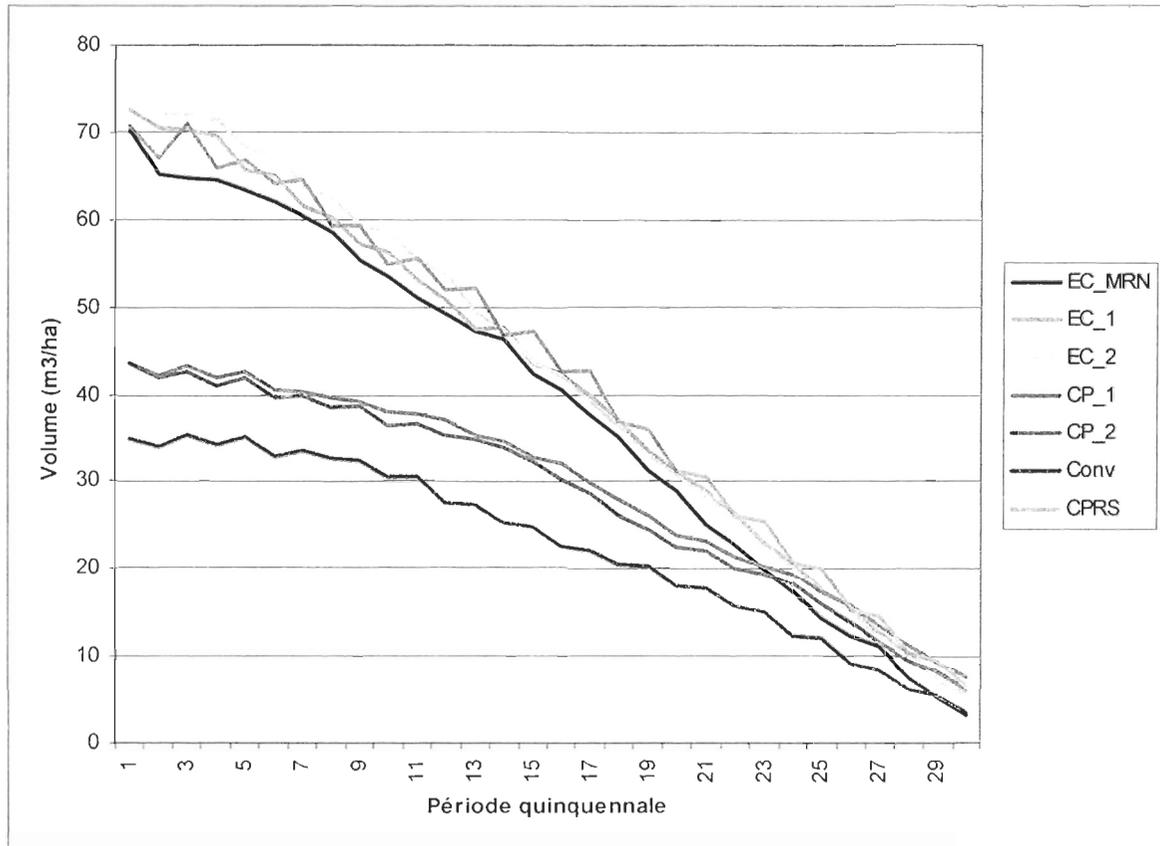
Tableau 7 : Analyse de variance testant l'effet du scénario d'aménagement sur le volume par tige récoltée

Source	DF	Somme des carrés	Carré moyen	Valeur F	Pr > F
Modèle	6	0,12730822	0,02121804	1,83	0,097
Erreur	161	1,87004516	0,01161519		
Total corrigé	167	1,99735338			

### 3.3 Volume disponible

Le volume disponible est la quantité de bois d'un territoire qui peut être récoltée en fonction des critères d'admissibilité établis pour les traitements sylvicoles. Cette quantité varie selon les périodes quinquennales et les scénarios. La figure 16 montre la moyenne des volumes disponibles à la récolte pour chaque période quinquennale.

Fig. 16 : Moyenne pour les 24 territoires des volumes disponibles à la récolte en fonction des sept scénarios d'aménagement.



Une analyse de variance montre que la quantité de bois disponible est significativement différente pour les 25 premières périodes quinquennales, pendant lesquelles ont noté les plus grands écarts entre les scénarios d'aménagement. Les scénarios de coupes progressives et de conversion en mode inéquienne se démarquent des autres par une plus faible disponibilité. Par la suite, les différences s'atténuent en valeur absolue pour devenir statistiquement non significatives à partir de la période 22. Le tableau 8 montre les probabilités associées à chacune des analyses de variance effectuées.

Tableau 8 : Probabilités associées aux analyses de variance pour le volume de bois disponible.

Périodes	Pr > F
1 à 20	<0,0001
21	0,0016
22	0,0018
23	0,0130
24	0,0197
25	0,0628
26	0,0250
27	0,1757
28	0,0844
29	0,1555
30	0,0928

## CHAPITRE 4 : DISCUSSION

### 4.1 Hypothèse 1

Comme mentionné lors de la première hypothèse, la possibilité annuelle de coupe s'est accrue par rapport à un scénario de CPRS lorsque les coupes progressives sont utilisées (fig. 13). Cette différence est significative selon l'analyse de variance effectuée ( $P=0,0015$ ). Selon le test de Duncan, les deux scénarios de coupe progressive sont significativement différents des scénarios d'éclaircie commerciale du MRN, de la conversion et de la coupe avec protection de la régénération et des sols. Le classement des scénarios de coupe partielle en fonction de leur effet de possibilité, qui met la coupe progressive en tête de liste, peut s'expliquer par une fenêtre d'admissibilité plus large et des rendements de récolte supérieurs aux autres scénarios.

Cette étude montre également que le volume par tige récoltée tend à être plus élevé lorsqu'il est question de coupe progressive. Ce phénomène vient du fait que la priorité de

récolte dans cette intervention est axée sur l'abattage de grandes tiges. Rappelons que le volume par tige est un élément sensible des coûts de récolte partielle (Meek 2000). Cependant cette différence avec les autres traitements n'est pas significative ( $P=0,097$ ).

#### **4.2 Hypothèse 2**

La deuxième hypothèse stipule une diminution de la possibilité annuelle de coupe lorsque le scénario de conversion est utilisé comparativement à la CPRS en plus d'un volume disponible dans le temps plus régulier. Knoke et Plusczyk (2001) notent également une diminution de la quantité de matière ligneuse et de revenu lors d'une transformation comparativement à une sylviculture équienne. Cette perte est principalement due à la récolte hâtive de tiges encore productives pendant le procédé (Knoke et Plusczyk, 2001) et au niveau faible des récoltes. Ces hypothèses ne sont validées par notre étude. En effet, la possibilité attachée à la conversion n'est pas significativement différente de celle associée à la CPRS (figure 13). Quant à la régularité dans le temps du volume disponible à la récolte, la figure 15 ne montre pas une plus grande régularité que les autres scénarios, du moins pour les 150 années de l'horizon de simulation. Il n'y aurait donc pas de différence notable dans la disponibilité des bois.

#### **4.3 Hypothèse 3**

La troisième hypothèse réfère à l'effet des scénarios sylvicoles qui devrait être différent selon la structure d'âge du peuplement. L'analyse graphique suggère une tendance non linéaire entre l'effet de possibilité et la proportion de peuplements matures, avec un maximum lorsque les unités d'aménagement ont environ 45 ou 65 % de forêts ayant dépassé l'âge d'exploitabilité. Cependant, du fait qu'il y ait très peu de peuplements ayant

ces caractéristiques au sein de l'échantillon, il est difficile de savoir s'il s'agit d'une tendance réelle ou bien d'un artefact. En effet, la majorité des unités d'aménagement à l'étude possède une structure d'âge par surabondance de peuplements qui ont dépassé l'âge d'exploitabilité absolu : 84 % des unités d'aménagement ont plus de 60 % de leurs peuplements qui sont matures ou surmatures. Par conséquent, cette forte homogénéité de l'échantillon ne permet pas d'évaluer correctement l'effet de la structure d'âge sur les gains de possibilité associés aux tactiques de coupes partielles.

En raison de la surabondance de peuplements mûrs et surannés, la période critique se trouve en fin de simulation dans tous les scénarios analysés. Cette tendance est cohérente avec les résultats de calcul présentés par Bergeron (2004) pour le Bas-Saint-Laurent. Cependant, à la différence de ce dernier, nos résultats ne présentent pas de période critique secondaire dans 35 à 40 ans d'aujourd'hui.

Plusieurs éléments peuvent expliquer cet écart :

1) Contrairement à *Sylva II* où l'âge d'exploitabilité est estimé à partir des courbes de rendement de Pothier et Savard (1998), nous avons déterminé l'âge d'exploitabilité absolu selon la culmination de l'accroissement annuel moyen. Il faut préciser que l'âge d'exploitabilité correspond à l'âge où le peuplement est disponible à la récolte et non nécessairement au moment de son exploitation. La figure 14 montre une très grande proportion de peuplements dont la maturité est atteinte lors du début de la simulation. Selon la figure 10, les peuplements initiaux n'avaient pas de structure d'âge par surabondance de peuplements matures. Il est possible que les équations de croissance

de *Sylva-Ts* prennent mal en considération les peuplements non-matures, occasionnant ainsi une lacune au niveau du recrutement.

2) L'expérience montre que le calcul de la possibilité forestière est très sensible à l'estimation de la croissance des peuplements. Les équations du North-Eastern Twigs calibrées pour le Québec semblent prédire moins de croissance nette, et ce, malgré le fait que des correctifs aient été apportés pour s'approcher le plus possible des rendements des tables de production de Pothier et Savard (1998) utilisées dans *Sylva II*. Ce phénomène retarde l'atteinte de l'âge d'exploitabilité ce qui a un impact sur le volume disponible dans le temps.

3) L'absence d'une relève suffisante peut aussi avoir un impact sur le volume de bois disponible à la récolte. La création de nouvelles placettes suite à une coupe ou à l'atteinte de l'âge de bris est inspirée du modèle GYPSY utilisé en Alberta (Raulier *et al.*, 2004). Cette méthode est différente de celle utilisée dans *Sylva II*. Le manque de régénération après coupe peut influencer négativement la possibilité annuelle de coupe en faisant diminuer progressivement le volume de bois disponible dans le temps, sans aucune relève pour remplacer les peuplements récoltés ou trop vieux. Cependant aucune analyse approfondie n'a été réalisée ici pour comparer la performance des modules de remplacement de peuplements employés dans les deux modèles.

4) Notre étude fait abstraction de toutes formes d'affectations laissant l'ensemble de la superficie à la production de bois. Ceci a pour effet d'augmenter le volume de bois disponible à la récolte.

5) Les unités d'aménagement forestier faisant l'objet de notre étude sont de petites dimensions (superficie moyenne de 4 789 ha) et comprennent souvent peu de strates (moyenne de 26 placettes échantillons par territoire). Il faut rappeler que, dans notre cas, chaque placette équivaut à une strate. Comme l'algorithme utilisé pour le calcul de la possibilité traite des strates entières et non des fractions de celles-ci, un petit nombre de strates peut empêcher d'ajuster finement la possibilité annuelle de coupe. Puisque *Sylva II* tout comme *Sylva-TS* sont des méthodes qui demandent énormément d'information, un très grand nombre de strates est donc nécessaire au bon fonctionnement de ces modèles. Pour cette raison les calculs de possibilité effectués par le Forestier en Chef sur des territoires de petite superficie sont faits en utilisant la méthode aire-volume avec rendement soutenu en superficie au lieu du système *Sylva II*. Cette méthode permet de normaliser le plus rapidement possible la forêt sans qu'il n'y ait rupture tout au long de la révolution. Le calcul s'effectue à l'aide d'un chiffrier *Excel* et quelques données d'intrant dont la superficie nette disponible par classe d'âge, l'âge de maturité des essences principales objectifs, le volume net par groupe d'essences à maturité, le volume moyen net par groupes d'essences pour les strates actuellement matures et l'âge de sénescence.

#### 4.4 Hypothèse 4

La quatrième hypothèse de cette étude stipulait que l'application d'une intervention d'éclaircie commerciale applicable à une plus grande gamme de peuplements aurait un impact supérieur sur la possibilité annuelle de coupe que la pratique courante d'éclaircie par le bas. Les résultats nous démontrent que l'éclaircie telle que décrite dans le manuel d'aménagement (MRNFPQ, 2003) et les éclaircies adaptées 1 et 2 ne présentent pas de différence significative quant à la possibilité de récolte qu'elle génère. Deux explications sont ici possibles :

- (a) Malgré l'élargissement des critères d'admissibilité, les territoires à l'étude comprennent probablement peu de peuplements recherchés par les critères supplémentaires faisant la différence entre l'éclaircie du MRN et les éclaircies commerciales adaptées.
- (b) La quantité de peuplements aptes aux interventions de coupe partielle a effectivement été accrue, mais cette augmentation n'a pas eu lieu pendant la période critique.

L'analyse de l'évolution de la disponibilité dans le temps semble appuyer la première hypothèse, en raison de la similarité des courbes entre les traitements d'éclaircie (adaptée ou non) et le scénario de CPRS.

Quant à la comparaison des deux scénarios d'éclaircie commerciale adaptée, la différence en ce qui a trait à la grosseur des tiges pouvant être récoltées n'affecte pas la possibilité, ni la moyenne du volume moyen par tige récoltée pendant tout l'horizon de simulation. Les tiges enlevées dans les deux scénarios sont donc d'un gabarit comparable, sans différence quant aux coûts d'abattage et de façonnage.

## CHAPITRE 5 : CONCLUSION

Les modèles permettant le calcul de la possibilité forestière sont composés de plusieurs modules et d'algorithmes complexes. Plusieurs travaux de programmation ont été effectués afin d'adapter le modèle Sylva-TS utilisé lors de la commission Coulombe (2004) à la récolte de coupes partielles. Les résultats obtenus diffèrent des résultats issus des calculs de possibilité publiés antérieurement. Plusieurs hypothèses pour expliquer ces différences sont présentées au point 4.3. Nous croyons qu'ils offrent tout de même de bonnes opportunités de réflexion. Ainsi, pour des unités d'aménagement en surabondance de peuplements mûrs et surannés, la coupe progressive peut potentiellement accroître la possibilité annuelle de coupe par rapport à un scénario d'aménagement basé uniquement sur la coupe avec protection de la régénération est des sols. Selon la tendance, l'éclaircie commerciale a aussi un bon potentiel d'augmentation de la possibilité forestière par rapport à un scénario de CPRS. La conversion des peuplements vers le régime inéquienne n'a pas eu d'effet significatif sur la possibilité forestière ou la disponibilité des bois, du moins à l'intérieur de l'horizon de simulation. Bien sûr d'autres travaux, qu'ils soient de simulation ou terrain, devront être effectués afin de mieux documenter les différents scénarios sylvicoles.

## LISTE DE RÉFÉRENCES

Bergeron, F. 2004. Portrait sommaire et état de situation des forêts bas-laurentiennes et de leur gestion. [http://www.commission-foret.qc.ca/pdf/Portrait\\_BSL.pdf](http://www.commission-foret.qc.ca/pdf/Portrait_BSL.pdf) consulté le 25 avril 2008.

Bergeron, F. 2006. Rendement forestier, annuel, moyen, soutenu ou accru?...la confusion. [http://www.oifq.com/bulletin/pdf/26nov/rend\\_bergeron.pdf](http://www.oifq.com/bulletin/pdf/26nov/rend_bergeron.pdf) consulté le 10 mai 2008.

Bernier-Cardou, M. 2004. Calcul de la possibilité forestière. Chapitre 2 dans Ministère des Ressources Naturelles, de la Faune et des Parcs. 2004. Rapport détaillé du comité scientifique chargé d'examiner le calcul de la possibilité forestière. Direction de la recherche forestière. 376 pages.

Buongiorno, J. 2004. Avis scientifique exprimé par un expert indépendant. Chapitre 12 dans Ministère des Ressources Naturelles, de la Faune et des Parcs. 2004. Rapport détaillé du comité scientifique chargé d'examiner le calcul de la possibilité forestière. Direction de la recherche forestière. 376 pages.

Buongiorno, J. Et Gilles, J.K. 2003. Decision Methods for Forest Resource Management. Academic Press. 439 pages.

Coulombe, G., Huot, J., Arsenault, J., Bauce, E., Bernard, J.T., Bouchard, A., Liboiron, M.A., Szaraz, G. 2004. Commission d'étude sur la gestion de la forêt publique québécoise. Rapport. Décembre 2004. Bibliothèque nationale du Québec. 307 pages.

Duchesne, L. et Raulier, F. 2004. Description sommaire et analyse critique de l'approche de modélisation de l'aménagement forestier pour fins d'évaluation de la possibilité forestière. Chapitre 1 dans Ministère des Ressources Naturelles, de la Faune et des Parcs. 2004. Rapport détaillé du comité scientifique chargé d'examiner le calcul de la possibilité forestière. Direction de la recherche forestière. 376 pages.

Gärtner, S. et A. Reif. 2004. The impact of forest transformation on stand structure and ground vegetation in the southern Black Forest, Germany. Plant and Soil 264, 35-51.

- Groot, A., J.-M. Lussier, A.K. Mitchell et D.A. MacIsaac. 2005. A silvicultural systems perspective on changing Canadian forestry practices. *The Forestry Chronicle* 81 (1), Janvier/Février 2005, 50-55.
- Hannah, P.R. 1988. The shelterwood method in northeastern forest types: A literature review. *N. J. Appl. For.* 5(1):70-77.
- Jobidon, R., Bédard, S., De Grandpré, L., Duchesne, L., Grondin, P., Jetté, J.P., Lussier, J.M., Pothier, D., Prigent, G., Ruel, J.C. 2003. Éclaircie commerciale pour le groupe de production prioritaire SEPM. Avis scientifique. MRNQ. Gouvernement du Québec. 80 pages.
- Knoke, T. et N. Plusczyk. 2001. On economic consequences of transformation of a spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) dominated stand from regular into irregular age structure. *For. Ecol. Manage.* 151, 163-179.
- Lafond, R. 2005. Gestion intégrée des ressources forestières. Centre collégial de développement de matériel didactique. 207 pages.
- Leblanc, M. et S. Déry. 2005. Lignes directrices pour l'implantation des refuges biologiques rattachées à l'objectif sur le maintien de forêts mûres et surannée. Ministère des Ressources Naturelles et de la Faune. Direction de l'environnement forestier. 21 p.
- Létourneau, J.P. 2000. Norme de cartographie écoforestière confection et mise à jour. Troisième programme de la connaissance de la ressource forestière. Forêt Québec. Direction des inventaires forestiers. MRNQ. Fév 2000. 84 pages.
- Lussier, J.M., Meek, P., Morin, H. 2005. Développement de systèmes de coupes progressives adaptées aux pessières noires boréales. Établissement du dispositif expérimental. Rapport d'étape. Ressources naturelles Canada-Service canadien des forêts. 1<sup>er</sup> mars 2005.
- Malcolm, D.C., W.L. Mason, G.C. Clarke. 2001. The transformation of conifer forests in Britain—regeneration, gap size and silvicultural systems. *For. Ecol. Manage.* 151, 7-23.
- Matthews, J.D. 1989. *Silvicultural Systems*. Oxford University Press. Oxford. 284 pages.

- Meek, P. 2000. Productivité et coûts de l'abattage-façonnage mécanisé en éclaircie commerciale : rapport synthèse. *Avantage*. Vol.1, No.41. Décembre 2000. 4 pages.
- Ministère des Ressources Naturelles, de la Faune et des Parcs. 2003. Manuel d'aménagement forestier. 4<sup>e</sup> édition. Gouvernement du Québec. 146 pages.
- Ministère des Ressources Naturelles, de la Faune et des Parcs. 2004. Rapport détaillé du comité scientifique chargé d'examiner le calcul de la possibilité forestière. Direction de la recherche forestière. 376 pages.
- Ministère des Ressources Naturelles, de la Faune et des Parcs. 2006. Report des plans généraux d'aménagement forestiers (PGAF) et baisse de l'attribution de la matière ligneuse. <http://www.mrnf.gouv.qc.ca/forets/modernisation/modernisation-pgaf.jsp> (Consulté le 10 novembre 2006).
- Nyland, R.D. 2002. *Silviculture Concepts and Applications*. 2<sup>nd</sup> edition. McGraw Hill series in forest resources. 682 pages.
- Nyland, R.D. 2003. Even- to uneven-aged: the challenges of conversion. *For. Ecol. Manage.* 172, 291-300.
- Observatoire de la foresterie du Bas-Saint-Laurent. 2003. Rapport sur l'état de la forêt publique au Bas-Saint-Laurent. [http://www.ofbsl.net/Rapport\\_final\\_Ztat\\_fpub.pdf](http://www.ofbsl.net/Rapport_final_Ztat_fpub.pdf) (Consulté le 3 octobre 2004).
- O'Hara, K.L. 2001. The silviculture of transformation – a commentary. *For. Ecol. Manage.* 151, 81-86.
- Ordre des ingénieurs forestiers du Québec. 1996. Manuel de foresterie. Presses de l'Université Laval. 1428 pages.
- Perron, J.Y. 1985. Tarif de cubage général, volume marchand brut. Ministère des Forêts, Service de l'inventaire forestier. ERF-3209-11. 52 pages.

- Pothier, D. et F. Savard. 1998. Actualisation des tables de production pour les principales espèces forestières du Québec. Gouvernement du Québec. 183 pages.
- Raulier, F., P. Bernier, M.C. Lambert et X.J. Guo. 2004. Calcul de la possibilité forestière par une approche indépendante. Chapitre 11 dans Ministère des Ressources Naturelles, de la Faune et des Parcs. 2004. Rapport détaillé du comité scientifique chargé d'examiner le calcul de la possibilité forestière. Direction de la recherche forestière. 376 pages.
- Ressources Naturelles Canada. 1995. Terminologie de la sylviculture au Canada. 2<sup>e</sup> édition. Direction générale des politiques, de l'économie et des affaires internationales. Service canadien des forêts. 114 pages.
- Schütz, J.P. 1997. Sylviculture 2: La gestion des forêts irrégulières et mélangées. Presses Polytechniques et Universitaires Romandes. 178 pages.
- Schütz, J.P. 2001. Opportunities and strategies of transforming regular forests to irregular forests. *For. Ecol. Manage.* 151, 87-94.
- Smith, D.M. 1986. The practice of silviculture. John Wiley and Sons. New York. 527 pages.
- Smith, D.M., B.C. Larson, M.J. Kelty, P. Merk, S. Ashton. 1997. The practice of silviculture. Applied Forest Ecology. Ninth edition. John Wiley and Sons. New York. 537 pages.
- Van der kelen, G. et G. Lessard. 2004. Entre les coupes progressives et le jardinage par trouées : le cas des coupes progressives irrégulières. Synthèse de littérature. CERFO. 123 pages.
- Wedeles, C.H.R., Van Damme L., Daniel C.J. et Sully L. 1995. Alternative Silvicultural Systems for Ontario's Boreal Mixed Wood: A Review of Potential Options. NODA/NFP Technical Report TR-18. 61 pages.

