

**Effets réels quinquennaux des coupes  
partielles pratiquées de 1995 à 1999  
dans des érablières**

**Hors série**

Direction de la recherche forestière





**Effets réels quinquennaux des coupes  
partielles pratiquées de 1995 à 1999  
dans des érablières**

**Hors série**

par

François GUILLEMETTE, ing. f., M. Sc.

Sébastien MEUNIER, ing. f., M. Sc.,

Marie-Claude LAMBERT, stat.

et

Steve BÉDARD, ing. f., M. Sc.

Gouvernement du Québec  
Ministère des Ressources naturelles  
et de la Faune  
Direction de la recherche forestière  
2009



## Résumé

Ce rapport présente les résultats après cinq ans de la mesure du dispositif des effets réels des coupes partielles dites « de jardinage », comme elles étaient pratiquées au cours des années 1995 à 1999 dans les érablières sur forêts publiques du Québec. Le dispositif se compose de placettes témoins et partiellement coupées réparties dans 234 zones forestières du Québec méridional. Ces placettes ont été mesurées à trois reprises afin de calculer l'accroissement périodique et la mortalité. Les données ont été mesurées avant la coupe, après la coupe et cinq années après la coupe.

Les prélèvements moyens mesurés dans ce dispositif satisfont généralement les critères du Manuel d'aménagement forestier, bien qu'il y ait eu une tendance à récolter près de la limite supérieure permise. Cependant, le prélèvement n'a pas permis d'améliorer substantiellement les peuplements. Un tel résultat est difficilement acceptable d'un point de vue sylvicole puisqu'il entraîne des effets négatifs perceptibles sur le rendement dans les régions où les forêts de feuillus ont le plus d'importance.

Les résultats démontrent que le traitement a eu des effets différents sur l'accroissement net selon les régions :

- dans l'Est, le traitement n'a eu aucun effet significatif. Toutefois les accroissements sont élevés, autant dans les parcelles témoins que traitées et ils sont comparables à ceux des placettes expérimentales de recherche situées dans la même région. Compte tenu de ces croissances, il serait possible d'y effectuer un retour en coupe de jardinage après  $20 \pm 5$  ans;
- dans le Centre, le traitement a eu un effet significatif et comparable à celui des placettes expérimentales de recherche établies dans cette région. Il serait possible d'y effectuer un retour en coupe de jardinage après environ 25 ans si l'accroissement net maintient le même rythme au cours des prochaines périodes quinquennales;

- dans les Laurentides, l'Outaouais et au Témiscamingue, les valeurs obtenues dans les placettes traitées sont nettement inférieures à celles obtenues dans les placettes expérimentales, pour des peuplements de composition semblable. Le faible accroissement net obtenu dans les placettes traitées des effets réels s'explique essentiellement par un taux de mortalité élevé. Ce résultat est la conséquence d'un mauvais choix de tiges lors de la récolte, ce qui a eu comme effet de laisser sur pied une quantité importante de tiges non vigoureuses. Selon les résultats obtenus, si le taux de mortalité ne diminue pas de façon significative, les effets escomptés au Manuel d'aménagement forestier (rotation de  $20 \pm 5$  ans) ne se concrétiseront pas et la rotation sera plus longue que prévue.

## Table des matières

|   | page |
|---|------|
| <b>Résumé</b> .....   | iii  |
| <b>Liste des tableaux</b> .....   | vii  |
| <b>Liste des figures</b> .....  | ix   |
| <b>Introduction</b> .....   | 1    |
| <b>Chapitre premier – Méthode</b> .....                                 | 5    |
| 1.1 Dispositif .....  | 5    |
| 1.2 Le traitement des données .....                                     | 8    |
| 1.3 Analyses statistiques .....   | 9    |
| 1.3.1 Peuplement .....  | 9    |
| 1.3.2 Arbre .....   | 12   |
| <b>Chapitre deux – Résultats</b> .....                                  | 13   |
| 2.1 Portrait avant coupe .....  | 13   |
| 2.2 Portrait de la coupe .....  | 15   |
| 2.3 Effets des modifications apportées aux normes de coupe en 1997..... | 16   |
| 2.3.1 Protection des tiges de vigueur 1 d'essences désirées.....        | 16   |
| 2.3.2 Protection des perches .....                                      | 18   |
| 2.4 Accroissement annuel périodique des peuplements.....                | 18   |
| 2.4.1 Accroissement des survivants .....                                | 22   |
| 2.4.2 Recrutement.....  | 22   |
| 2.4.3 Accroissement brut .....  | 23   |
| 2.4.4 Mortalité .....   | 23   |

|  | Page      |
|--|-----------|
| 2.4.5 Accroissement net .....  | 24        |
| 2.4.6 Accroissement selon la classe de vigueur .....                                       | 24        |
| 2.5 Accroissement diamétral des tiges.....   | 26        |
| 2.5.1 Érable à sucre .....   | 26        |
| 2.5.2 Bouleau jaune .....  | 28        |
| 2.5.3 Hêtre à grandes feuilles .....   | 28        |
| 2.5.4 Sapin baumier .....  | 28        |
| <b>Chapitre trois - Discussion</b> .....   | <b>33</b> |
| 3.1 Coupes pratiquées .....  | 33        |
| 3.2 Accroissement et mortalité dans les peuplements.....                                   | 34        |
| 3.2.1 Région de l'Est.....   | 36        |
| 3.2.2 Région du Centre.....  | 37        |
| 3.2.3 Laurentides .....  | 38        |
| 3.2.4 Outaouais.....   | 39        |
| 3.2.5 Témiscamingue.....   | 40        |
| 3.3 Accroissement diamétral des tiges.....   | 41        |
| <b>Conclusion</b> .....  | <b>43</b> |
| <b>Références bibliographiques</b> .....   | <b>45</b> |
| <b>Annexe A</b> - Normes pour la pratique de la coupe de « jardinage » de 1995 à 1999..... | <b>51</b> |
| <b>Annexe B</b> - Résultats selon le volume marchand brut.....                             | <b>54</b> |

## Liste des tableaux

|                    |   | page |
|--------------------|---|------|
| <b>Tableau 1.</b>  | Nombre de territoires étudiés selon la région, l'unité de gestion et l'année d'implantation .....   | 7    |
| <b>Tableau 2.</b>  | Répartition de la surface terrière marchande (%) selon l'essence et la région .....   | 14   |
| <b>Tableau 3.</b>  | Répartition de la surface terrière marchande avant la coupe de tous les traitements (AVC) et après la coupe des peuplements traités (APC) selon la classe de vigueur et la région.....  | 15   |
| <b>Tableau 4.</b>  | Surface terrière marchande avant la coupe, prélevée et après la coupe, selon la région et le traitement.....  | 16   |
| <b>Tableau 5.</b>  | Évaluation normative du potentiel théorique et réel de la qualité des peuplements et du traitement selon la région et la période .....  | 16   |
| <b>Tableau 6.</b>  | Surface terrière marchande (m <sup>2</sup> /ha) des arbres d'essences désirées et de vigueur 1, avant la coupe, martelée et prélevée selon la région et la période .....  | 19   |
| <b>Tableau 7.</b>  | Paramètres d'évaluation normative de la protection des perches (dhp de 10 à 22 cm).....   | 19   |
| <b>Tableau 8.</b>  | Accroissement annuel périodique (m <sup>2</sup> /ha/an) moyen ajusté selon la surface terrière moyenne avant coupe des survivants, du brut et du net, selon la région, et des seuils obtenus ( <i>p</i> ) des tests statistiques.....               | 20   |
| <b>Tableau 9.</b>  | Proportion des grappes d'une valeur nulle (partie 1) et accroissements annuels périodiques moyens ajustés en surface terrière (partie 2) pour les recrues et les morts, selon la région, et seuils obtenus ( <i>p</i> ) des tests statistiques..... | 21   |
| <b>Tableau 10.</b> | Moyennes non ajustées des surfaces terrières et des composantes d'accroissement annuel sur la période quinquennal selon la région et le traitement .....  | 22   |
| <b>Tableau 11.</b> | Résultats des tests statistiques du modèle d'accroissement diamétral de l'érable à sucre.....   | 26   |
| <b>Tableau 12.</b> | Résultats des tests statistiques du modèle d'accroissement diamétral du bouleau jaune.....  | 29   |
| <b>Tableau 13.</b> | Résultats des tests statistiques du modèle d'accroissement diamétral du hêtre à grandes feuilles .....  | 30   |
| <b>Tableau 14.</b> | Résultats des tests statistiques du modèle d'accroissement diamétral du sapin baumier.....  | 31   |



## Liste des figures

|  | page |
|--|------|
| <b>Figure 1.</b> Superficie traitée par coupe partielle de jardinage et par coupe à diamètre limite au Québec pour les années 1986 à 2006 .....  | 2    |
| <b>Figure 2.</b> Répartition géographique des grappes de placettes-échantillons des peuplements de feuillus.....   | 6    |
| <b>Figure 3.</b> Structure diamétrale des tiges selon la région. Les valeurs moyennes sont indiquées au sommet de leurs colonnes respectives et les barres verticales représentent les limites de l'intervalle de confiance à 95 % de ces moyennes .....                 | 14   |
| <b>Figure 4.</b> Répartition de la surface terrière dans les placettes témoins (T) et coupées (CP) selon la classe de vigueur (1 à 6) et la région, avant la coupe, prélevée et après la coupe .....   | 17   |
| <b>Figure 5.</b> Accroissement annuel périodique de la surface terrière (m <sup>2</sup> /ha/an) des survivants, de la mortalité et net selon la classe de vigueur (1 à 6), le traitement (T = témoins et CP = coupe partielle) et la région. Moyennes non ajustées ..... | 25   |
| <b>Figure 6.</b> Accroissements annuels périodiques moyens et intervalles de confiance à 95 % du dhp de l'érable à sucre selon le traitement, la vigueur et quatre niveaux de dhp .....  | 27   |
| <b>Figure 7.</b> Accroissements annuels périodiques moyens et intervalles de confiance à 95 % du dhp de l'érable à sucre selon le domaine bioclimatique, la vigueur et le dhp .....  | 27   |
| <b>Figure 8.</b> Accroissements annuels périodiques moyens et intervalles de confiance à 95 % du dhp du bouleau jaune selon le domaine bioclimatique, la vigueur et le traitement.....   | 29   |
| <b>Figure 9.</b> Accroissements annuels périodiques moyens et intervalles de confiance à 95 % du dhp du hêtre à grandes feuilles selon le dhp, le traitement et la vigueur .....   | 30   |
| <b>Figure 10.</b> Accroissements annuels périodiques moyens et intervalles de confiance à 95 % du dhp du sapin baumier selon le dhp, le traitement, la vigueur et le domaine bioclimatique .....   | 32   |



## Introduction

« Le bois a toujours occupé une place prépondérante dans l'économie du Québec. Aussi loin que l'on puisse remonter depuis le début de la colonisation française sur les rives du fleuve Saint-Laurent, la forêt a été l'objet d'exploitation commerciale. L'écorce de pruche pour les tanneries, la cendre pour les fabriques de potasse et de perlasse, le charbon de bois pour les Forges du Saint-Maurice et celles de Batiscan, les bois francs pour les tonneliers, les menuisiers et les charrons, le pin et le chêne pour la construction navale, presque toutes les essences forestières avaient une utilité commerciale » (HARDY et SÉGUIN 1984).

Ainsi, la forêt de feuillus du sud du Québec, située à proximité des villes et des villages, a été profondément altérée par l'influence humaine : défrichage, feux, agriculture et élevage (MAJCEN 1995). Elle était traitée comme une ressource inépuisable et jusqu'aux années 1980, les coupes dites « à diamètre limite » étaient fréquemment utilisées (MAJCEN 1995). Ces coupes avaient souvent comme effet de laisser sur pied des tiges de mauvaise qualité et de diminuer le potentiel du peuplement résiduel (MRN 1994, MAJCEN 1995). Elles constituaient fréquemment un écrémage, de par la récolte ciblée des tiges de belle qualité d'essences convoitées pour la mise en marché de bois de qualité supérieure.

Au début des années 1980, la réduction des volumes disponibles en bois de qualité a suscité l'application de la coupe de jardinage dans les érablières afin de maintenir leur productivité et d'assurer le rendement soutenu en bois de haute qualité. La coupe de jardinage est issue d'une longue tradition forestière de plusieurs pays d'Europe centrale. Elle y a été mise en pratique vers la fin du XIX<sup>e</sup> siècle, notamment dans les forêts à structure inéquienne dominées par le sapin pectiné (*Abies alba* Mill.). Plus près de nous, aux États-Unis, elle a été introduite dans les forêts de feuillus à structure inéquienne du Nord-Est, surtout dans les érablières vers le milieu du XX<sup>e</sup> siècle, grâce à l'influence des Européens. Au Québec, en se basant sur les connaissances acquises dans ces pays et en tenant compte des études réalisées sur la structure et la croissance des érablières québécoises, c'est dans ce type de forêts que la pratique de la coupe de jardinage fut initiée au début des années 1980. Plusieurs placettes expérimentales ont été établies dans diverses régions du Québec méridional par la Direction de la recherche forestière (DRF) du

ministère des Ressources naturelles et de la Faune (MRNF). D'abord pratiquée sur une base expérimentale, cette coupe a pris de l'ampleur au cours des années 1990, période au cours de laquelle elle a graduellement remplacé la coupe à diamètre limite dans les forêts de feuillus à structure inéquienne du domaine de l'État (Figure 1). Ainsi, en 1994, la Stratégie d'aménagement des forêts stipulait « que la coupe de jardinage soit pratiquée dans tous les peuplements lorsqu'ils répondent aux caractéristiques dendrométriques, écologiques et floristiques exigées par ce traitement » (MRN 1994).

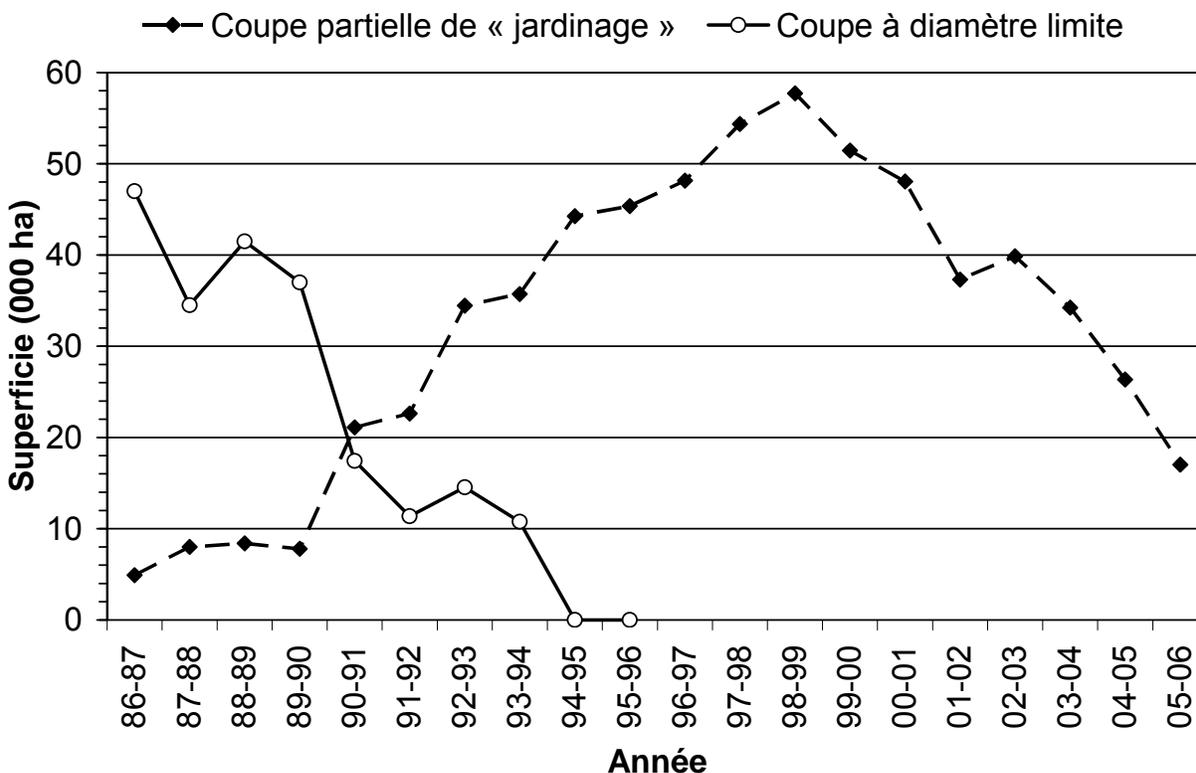


Figure 1. Superficie traitée par coupe partielle de « jardinage » et par coupe à diamètre limite au Québec pour les années 1986 à 2006.

En plus des travaux de recherche et de démonstration, le MRNF s'est doté d'un dispositif provincial de mesure des effets réels des coupes partielles de « jardinage » exécutées par les bénéficiaires de contrat d'approvisionnement et d'aménagement forestier (CAAF). Ce dispositif a été établi sur une période de cinq ans, de 1995 à 1999. L'objectif principal de ce dispositif était de vérifier si les hypothèses relatives à la production, énoncées dans le Manuel d'aménagement forestier (MAF) (MRN 1998b), se confirmeraient à la suite de l'application du traitement par les bénéficiaires de CAAF. En effet, déjà à cette époque des inquiétudes étaient soulevées quant à la possibilité que ces coupes n'amélioreraient pas la qualité de la forêt de feuillus.

Des résultats préliminaires des premiers suivis quinquennaux ont été publiés pour les placettes-échantillons établies en 1995 et 1996 (BÉDARD et BRASSARD 2002) et de 1995 à 1998 (BÉDARD *et al.* 2004). Ils ont démontré que les effets escomptés au MAF (rotation de  $20 \pm 5$  ans) ne se concrétiseraient pas puisqu'il fallait anticiper une rotation plus longue. Le faible accroissement net obtenu dans les placettes-échantillons traitées des effets réels s'expliquait essentiellement par un taux de mortalité élevé. L'accroissement net dans les peuplements coupés n'était pas significativement supérieur à celui des peuplements témoins et indiquait que la qualité de ces peuplements ne s'était pas améliorée par la coupe. Ce résultat est difficilement acceptable d'un point de vue sylvicole puisqu'il serait la conséquence d'un mauvais choix de tiges lors de la récolte, ce qui a eu comme effet de laisser sur pied une quantité importante de tiges non vigoureuses de faible qualité. En effet, les priorités de récolte n'ont pas été observées de la façon recommandée par les sylviculteurs (ARBOGAST 1957, TRIMBLE *et al.* 1974, SMITH et LAMSON 1982, MAJCEN *et al.* 1990). En conséquence, le terme « coupe partielle » est maintenant proposé pour désigner ces coupes qui ne se conformaient pas à la pratique de la coupe de jardinage.

La présente étude couvre la première période quinquennale complète (1995 à 1999) de mesure du dispositif des peuplements de feuillus et finalise les analyses préliminaires de BÉDARD et BRASSARD (2002) et BÉDARD *et al.* (2004). Le fait d'avoir un plus grand nombre de territoires échantillonnés permet maintenant d'analyser les résultats selon une nouvelle perspective, soit celle de différencier l'une de l'autre les régions à l'étude.



## Chapitre premier

### Méthode

#### 1.1 Dispositif

Le dispositif a été établi au Québec, en majorité dans le domaine bioclimatique de l'érablière à bouleau jaune (ROBITAILLE et SAUCIER 1998) et aussi en partie dans ceux de l'érablière à tilleul et de la sapinière à bouleau jaune (Figure 2). Les principaux dépôts de surface des territoires à l'étude sont des tills. La température et les précipitations annuelles moyennes varient d'environ 2,5 à 5,0 °C et d'environ 800 à 1500 mm, respectivement (RÉGNIÈRE et ST-AMANT 2008). En plus de gradients locaux causés par des différences d'altitude, les variables climatiques régionales suivent un gradient entre le sud-ouest et le nord-est de la province; le sud-ouest étant plus chaud et plus sec que le nord-est.

Un total de 444 grappes<sup>1</sup> de placettes-échantillons permanentes du dispositif d'effets réels des coupes partielles pratiquées de 1995 à 1999 ont été retenues pour la présente étude à caractère régional. Les grappes retenues étaient localisées dans des peuplements dont l'appellation cartographique et le type écologique sont associés à l'érable à sucre (*Acer saccharum* Marsh.). Sur les 536 grappes du dispositif complet, les 92 grappes exclues du présent rapport sont localisées dans des bétulaies jaunes résineuses. Les 444 grappes retenues sont réparties comme suit : 232 grappes dans des peuplements traités et 212 grappes dans des peuplements témoins. Cet ensemble est distribué sur 234 territoires d'interventions de la province.

---

<sup>1</sup> Une grappe est définie comme un ensemble de placettes situées dans une même zone d'intervention et dans des peuplements dont l'appellation cartographique est semblable puisqu'ils ont été soumis au même traitement. Pour la grande majorité des grappes, les placettes sont situées à l'intérieur d'un même peuplement selon la cartographie.

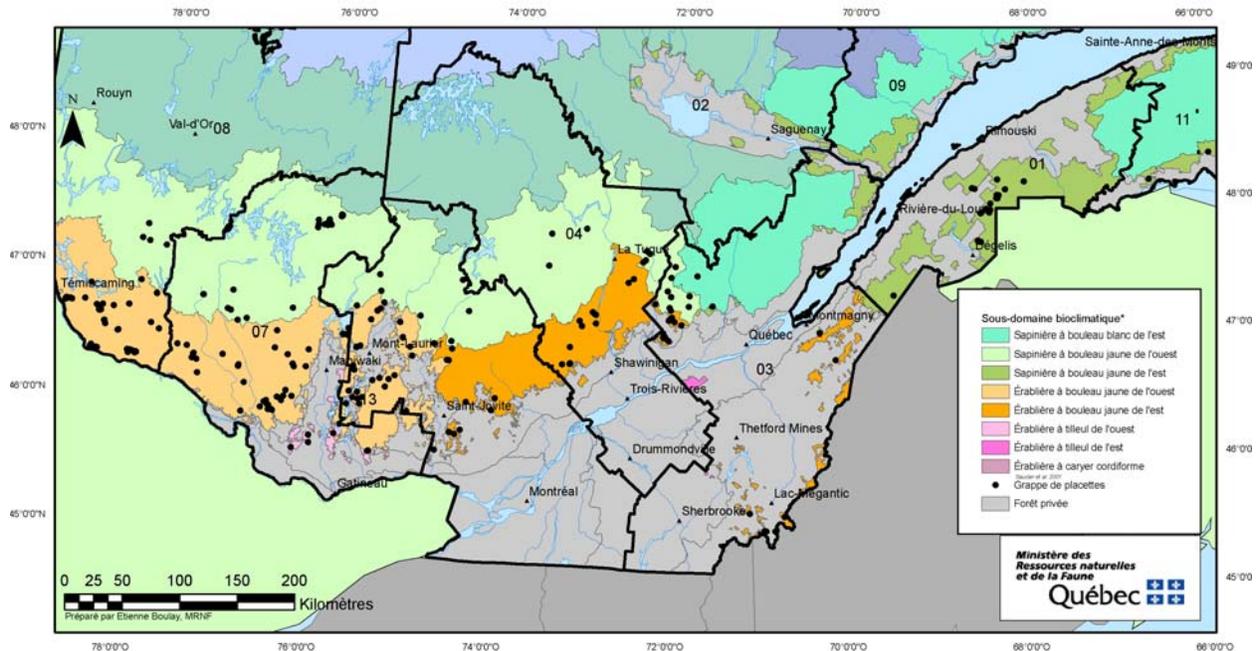


Figure 2. Répartition géographique des grappes de placettes-échantillons des peuplements de feuillus.

La sélection des peuplements à l'étude, la localisation des grappes et la prise de mesure des placettes ont été effectuées par les unités de gestion du MRNF (Tableau 1). Les peuplements étaient sélectionnés parmi l'ensemble des peuplements prévus à chaque année pour la coupe de « jardinage » ou de « préjardinage » par les industriels bénéficiaires de CAAF. Ces derniers ou leurs mandataires ont exécuté l'ensemble des opérations liées à la récolte. La répartition des peuplements suivis sur l'ensemble du territoire public du Québec méridional a donc été faite en fonction de l'importance des travaux de ce type de coupe exécutés par région, pour la période couvrant les années 1995 à 1999. Les grappes étaient implantées après martelage, mais avant la coupe. Cependant, 17 placettes réparties selon 5 grappes coupées au Témiscamingue en 1996 ont été implantées avant martelage et l'information sur le martelage de ces placettes n'a pas été notée. Ces placettes ont été conservées car elles permettent de connaître le prélèvement, même si elles ne sont pas utiles pour vérifier la conformité du martelage. En général, les tiges mesurées dans les placettes ont été identifiées après la coupe de manière à ne pas influencer les travaux de récolte.

Le dispositif comprend deux traitements, soit des placettes coupées selon la pratique des coupes dites « de jardinage » au cours de la période à l'étude et des placettes témoins, sans intervention. Les normes d'application de cette coupe pour la période à l'étude sont présentées à l'annexe A. Il est important de noter qu'en 1997 et 1998, il y a eu un resserrement normatif afin de limiter le prélèvement des tiges vigoureuses de qualité (vigueur 1). Le critère introduit avait comme objectif d'augmenter la proportion de tiges vigoureuses de qualité à au moins 35 % de l'augmentation maximale théoriquement possible.

Ce maximum théorique correspondait à la proportion maximale de tiges vigoureuses de qualité que le peuplement pouvait contenir après coupe en supposant que de telles tiges ne seraient pas coupées. L'augmentation maximale théoriquement possible était donc la différence entre cette proportion maximale théorique de tiges vigoureuses de qualité et la proportion initiale (avant coupe) de ces tiges dans le peuplement. Malgré cette exigence d'une amélioration relative du peuplement, il était encore possible de récolter des tiges vigoureuses de qualité. Une autre modification destinée à protéger les perches, en l'occurrence les tiges marchandes dont le dhp est de 9,1 à 23,0 cm, est survenue en 1997. Jusqu'en 1996, la norme stipulait qu'au plus 25 % des perches non martelées pouvaient avoir été coupées, renversées ou blessées. À partir de 1997, les tiges blessées n'étaient plus soumises à ce critère.

**Tableau 1. Nombre de territoires étudiés selon la région, l'unité de gestion et l'année d'implantation**

| Région *      | Unité de gestion                       | Année d'implantation |      |      |      |      | Total |
|---------------|--|----------------------|------|------|------|------|-------|
|               |  | 1995                 | 1996 | 1997 | 1998 | 1999 |       |
| Est           | Grand-Portage (011)                    | -                    | 5    | 4    | 2    | 2    | 13    |
|               | Bas-Saint-Laurent (012)                | -                    | 3    | 2    | -    | 3    | 8     |
|               | Baie-des-Chaleurs (111)                | -                    | -    | 1    | 1    | -    | 2     |
| Centre        | Portneuf-Laurentides (031)             | 1                    | 2    | 7    | 7    | 3    | 20    |
|               | Beauce-Estrie (034 ancienne 051)       | -                    | 2    | 1    | 1    | 1    | 5     |
|               | Appalaches (035)                       | -                    | -    | -    | 1    | 1    | 2     |
|               | Bas-Saint-Maurice (041)                | -                    | 4    | 2    | 2    | 2    | 10    |
|               | Windigo et Gouin (042 et 043)          | -                    | 3    | 1    | 2    | 3    | 9     |
| Laurentides   | Rivière-Rouge (061)                    | -                    | 6    | 1    | 1    | 4    | 12    |
|               | L'Assomption-Matawin (062)             | 1                    | 1    | 1    | 4    | 4    | 11    |
|               | La Lièvre (064)                        | 3                    | 11   | 8    | 5    | 5    | 32    |
| Outaouais     | Coulonge (071)                         | -                    | 7    | 4    | 4    | 2    | 17    |
|               | Basse-Lièvre (072)                     | 1                    | 3    | -    | -    | 1    | 5     |
|               | Haute-Gatineau et Cabonga (073 et 074) | -                    | 12   | 8    | 8    | 5    | 33    |
| Témiscamingue | Témiscamingue (081)                    | 11                   | 20   | 11   | 4    | 9    | 55    |
| Total         |  | 17                   | 79   | 51   | 42   | 45   | 234   |

\* Région : regroupements d'unités de gestion pour les fins d'analyses statistiques dans le présent rapport.

Bien que les grappes aient été réparties par paire (coupée et témoin), cette approche n'a pu être retenue pour former un bloc dans les analyses statistiques puisque, fréquemment, les peuplements coupés étaient à l'origine trop différents de ceux conservés comme témoins. Aussi, certaines grappes témoins étaient manquantes, car elles avaient été malencontreusement coupées lors des opérations. De plus, l'intensité d'échantillonnage entre les deux traitements était très différente. En effet, les grappes témoins étaient presque toutes composées d'une seule placette, comme prévu au protocole initial, alors que les grappes des peuplements coupés avaient fréquemment de 2 à 4 placettes. Ainsi, il y a en moyenne 1,04 placettes dans chaque grappe témoin contre 2,53 placettes dans chaque grappe coupée. En conséquence, le traitement statistique des données a été effectué comme s'il s'agissait de deux inventaires (témoins et traités) différents.

La collecte de données à l'intérieur des placettes a été faite avant la coupe, après la coupe et cinq années après la coupe. Les arbres dont le diamètre à hauteur de poitrine (dhp : 1,3 m) était de 91 mm et plus ont été numérotés et mesurés dans des placettes circulaires de 400 m<sup>2</sup>. Les mesures suivantes ont été prises à chaque mesurage sur ces arbres : essence, dhp (gallon circonférenciel au mm près) et classe de vigueur (MAJGEN *et al.* 1990). La classe de vigueur des feuillus (codes 1, 2, 3, 4) est obtenue selon l'interaction de deux classifications binomiales. D'abord, l'arbre est dit faible (codes 3 ou 4) ou vigoureux (codes 1 ou 2) s'il présente ou non un défaut majeur. Les principaux défauts majeurs sont les blessures majeures, le dépérissement ou le bris sur plus d'un tiers de la cime, la présence de pourriture, de champignon ou de chancre. Ensuite, l'arbre feuillu est dit de qualité (codes 1 ou 3) ou défectueux (codes 2 ou 4) s'il montre ou non un potentiel de détenir une bille de bois d'œuvre. Ce potentiel est défini comme le contenu d'une bille d'une longueur minimale de 2,5 m présente dans le tronc, ou dans une branche primaire, et pour laquelle le rendement minimum de débits clairs est de 50 %. Les débits ont une longueur minimale de 60 cm. Pour ce qui est des conifères, seulement la notion d'arbre vigoureux (code 5) ou faible (code 6) a été retenue. Les tiges classées 1 et 5 correspondent au capital forestier en croissance (CFC), selon LEAK *et al.* (1987), à la différence que les essences non désirées (peupliers, ostryer et hêtre) en sont exclues. L'état a été noté à chaque suivi, de même que les changements de dhp et de vigueur. Les états possibles de la tige étaient : survivante (résiduelle et martelée non récoltée), survivante blessée, abattue non récoltée, non martelée récoltée, martelée récoltée, morte sur pied et morte abattue par le vent. Le volume marchand brut des arbres (diamètre minimal de 9,1 cm) a été calculé selon les équations du tarif de cubage général de PERRON (1985). La relation entre le dhp et la hauteur des arbres a été estimée à partir de modèles fournis par la Direction des inventaires forestiers. Les placettes témoins étaient situées au centre d'un carré non coupé de 0,49 ha afin de limiter l'effet de la coupe avoisinante.

## 1.2 Le traitement des données

À l'échelle du peuplement, les données ont été additionnées par surface terrière (m<sup>2</sup>/ha) et par volume<sup>2</sup> marchand brut (m<sup>3</sup>/ha) selon les composantes suivantes de l'accroissement annuel périodique :

- accroissement annuel périodique des survivantes (AAS) : différence de dhp des tiges qui avaient 9,1 cm et plus de dhp au moment de la mesure après coupe et qui étaient toujours vivantes lors du suivi quinquennal;
- accroissement annuel périodique des recrues (AAR) : tiges dont le dhp a atteint 9,1 cm au cours de la période quinquennale;

---

<sup>2</sup> Les résultats en volume sont présentés à l'annexe B de façon à réduire la redondance dans la présentation des résultats.

- accroissement annuel périodique brut (AAB) : somme de AAS et AAR;
- mortalité annuelle périodique (AAM) : tiges vivantes après la coupe et mortes au cours de la période quinquennale;
- accroissement annuel périodique net (AAN) : différence de AAB et AAM.

De plus, les calculs des principales composantes de l'accroissement sont présentés par classe de vigueur. Des critères d'évaluation normative des coupes partielles ont aussi été calculés, notamment la notion de potentiel (maximum théorique) d'augmentation des tiges vigoureuses de qualité de même que le taux de protection des perches.

À l'échelle de l'arbre, l'accroissement annuel en diamètre a été calculé à partir des mesures du dhp des tiges vivantes après coupe et après cinq années de croissance.

Des regroupements ont été effectués pour l'ensemble de la province, de même que pour cinq régions du Québec (l'Est<sup>3</sup>, le Centre<sup>4</sup>, les Laurentides<sup>5</sup>, l'Outaouais et le Témiscamingue) et deux périodes d'installation des placettes (1995-1996 et 1997-1999). Ces regroupements ont été effectués à la fois de façon à respecter le plus possible la répartition des placettes selon les régions administratives et les grandes zones climatiques, de façon à obtenir au moins une vingtaine de grappes par groupe pour les fins d'analyses statistiques et de façon à tenir compte du changement de la pratique de coupe survenu en 1997 (Annexe A). Un découpage plus détaillé des résultats n'était pas souhaitable compte tenu de la variabilité élevée de l'AAM et l'AAN observée dans des peuplements de feuillus à l'échelle de petites placettes (400 m<sup>2</sup>) et suivie sur un court horizon (5 ans). D'ailleurs, le dispositif avait été planifié pour fournir des résultats à l'échelle provinciale.

### 1.3 Analyses statistiques

#### 1.3.1 Peuplement

Des analyses statistiques ont été effectuées sur les variables d'état des peuplements ainsi que sur les composantes de l'accroissement afin de déceler la présence de différences significatives entre les traitements, les régions et les deux périodes d'installation des placettes soumises à différentes normes de coupe (1995-1996 et 1997-1999). Les postulats de normalité des résidus et de normalité de la variance ont été vérifiés graphiquement.

---

<sup>3</sup> Région de l'Est : Bas-St-Laurent et Baie-des-Chaleurs.

<sup>4</sup> Région du Centre : Capitale-Nationale, Mauricie, Estrie et Beauce.

<sup>5</sup> Région des Laurentides : Laurentides et Lanaudière.

À l'exception de l'AAR et de l'AAM, les variables répondaient aux deux postulats des modèles d'analyse de variance ou de covariance. La surface terrière avant coupe a été retenue comme covariable pour l'analyse de l'AAS, l'AAB et l'AAN. Ces analyses statistiques ont été effectuées à l'aide de la procédure MIXED de SAS, version 9.1 (SAS INSTITUTE INC. 2004). Les moyennes présentées sont les moyennes non ajustées et ajustées par la covariable. Les résultats des comparaisons ont été obtenus des moyennes ajustées par la covariable ou par le modèle d'analyse de la variance lorsque la covariable n'était pas significative. Les tests sont reconnus comme significatifs lorsque le seuil  $\alpha$  est inférieur ou égal à 0,05 et une tendance significative est reconnue lorsque le seuil est inférieur ou égal à 0,10. Les seuils des comparaisons multiples sont ajustés avec une méthode de simulation disponible dans SAS (SAS INSTITUTE INC. 2004, HSU 1996, WESTFALL *et al.* 1999).

Les variables AAR et AAM ne répondaient pas aux deux postulats des modèles d'analyse de variance ou de covariance. En effet, la petite taille des placettes et le court horizon de suivi ont comme effet qu'il n'y a pas de tiges recues ou mortes dans de nombreuses placettes. Il en résulte une fréquence élevée de valeurs nulles (26 – 30 %) et les résidus ne suivent donc pas une distribution normale. Le modèle retenu est du type à surplus de zéro (*zero-inflated model*, LAMBERT 1992). Ce modèle permet de modéliser une situation d'un nombre excessif de zéro en estimant la probabilité d'observer (ou ne pas observer) des recues (ou des tiges mortes) à l'aide d'un modèle logistique d'une part et de prédire l'accroissement lorsqu'il y a présence de recues (tiges mortes) au moyen d'un modèle log normale d'autre part.

Soit l'accroissement  $y_{ijk}$ ,

$$y_{ijk} \sim 0 \quad \text{et une probabilité } p_{ijk}$$

$$\sim \log \text{ normale}(m_{ijk}, \sigma^2) \quad \text{et une probabilité } 1 - p_{ijk} \quad \text{et une médiane de } m_{ijk} = \exp(\mu_{ijk})$$

puisque  $\log y_{ijk} \sim \text{normale}(\mu_{ijk}, \sigma^2)$ , alors la probabilité après un temps  $t$  (ans) d'avoir un accroissement nul est composée de la partie du surplus de zéro et d'une partie de la normale :

$$\Pr(y_{ijk} = 0 \mid \mu_{ijk}, \sigma) = p_{ijk} + (1 - p_{ijk}) \int_{-\infty}^{\log(\min y_{ijk})} \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} \exp\left(-\frac{(x - \mu_{ijk})^2}{2\sigma^2}\right) dx.$$

Le  $\log(\min y_{ijk})$  est le logarithme de la valeur minimum des accroissements non nuls ( $\min y_{ijk}$ ).

La probabilité des accroissements non nuls est de :

$$\Pr(y_{ijk} = b \mid \mu_{ijk}, \sigma, \text{ avec } b \geq \min y_{ijk}) = (1 - p_{ijk}) \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} \exp\left(-\frac{(\log(b) - \mu_{ijk})^2}{2\sigma^2}\right).$$

La log vraisemblance  $\ell$  est ensuite maximisée :

$$\ell = z_{ijk} \log \left\{ p_{ijk} + (1 - p_{ijk}) \Phi \left( \frac{\log(\min y_{ijk}) - \mu_{ijk}}{\sigma} \right) \right\} + (1 - z_{ijk}) \left\{ \log(1 - p_{ijk}) - \log \left( \sqrt{2\pi\sigma^2} \right) - \frac{(\log y_{ijk} - \mu_{ijk})^2}{2\sigma^2} \right\}$$

pour  $z_{ijk} = \begin{cases} 1 & \text{si } y_{ijk} = 0 \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$  et  $\Phi$  la fonction de répartition de la loi normale centrée réduite.

La proportion de surplus de zéro est estimée à partir de l'équation

$$p_{ijk} = (p_{ijk\_annuel})^t$$

$$p_{ijk\_annuel} = \frac{1}{1 + \exp(-mulogit_{ijk})}$$

$$\text{où } mulogit_{ijk} = \beta_0 + \beta_{r_1} r_1 + \beta_{r_2} r_2 + \beta_{r_3} r_3 + \beta_{r_4} r_4 + \beta_{r_5} r_5 + a_{ij} + \beta_{tr} tr_{ijk} + \beta_2 G\_avc_{ijk}$$

et où  $r_i$  représentent les six variables indicatrices des différentes régions  $i$  ( $i = 1$  : Centre, 2 : Est, 3 : Laurentides, 4 : Outaouais, 5 : Témiscamingue 95-96, 6 : Témiscamingue 97-99),  $a_{ij}$  est un effet aléatoire de grappe  $j$  de la région  $i$ ,  $tr_{ijk}$  la variable indicatrice du traitement  $k$  appliqué à la grappe  $j$  de la région  $i$  ( $k = 1$  pour une grappe témoin et  $k = 0$  pour une grappe traitée) et  $G\_avc_{ijk}$  la surface terrière avant coupe de la grappe  $j$  de la région  $i$  ayant reçu le traitement  $k$ . Les  $\beta$  représentent les paramètres inconnus à estimer. La proportion de zéro attribuable au surplus  $p_{ijk}$  est sur une période de  $t = 5$  ans. L'interaction entre la région  $i$  et le traitement  $k$  de la proportion de surplus de zéro n'a pas été testée puisque cette interaction entraînait des problèmes de convergence attribuables au grand nombre de paramètres à estimer.

Le logarithme de l'accroissement annuel est issu d'une normale de moyenne  $\mu_{ijk}$  avec

$$\begin{aligned} \mu_{ijk} = & \alpha_0 + \alpha_{r_1} r_1 + \alpha_{r_2} r_2 + \alpha_{r_3} r_3 + \alpha_{r_4} r_4 + \alpha_{r_5} r_5 + b_{ij} + \alpha_{tr} tr_{ijk} \\ & + \alpha_{r_1 tr} (r_1 tr)_{1jk} + \alpha_{r_2 tr} (r_2 tr)_{2jk} + \alpha_{r_3 tr} (r_3 tr)_{3jk} + \alpha_{r_4 tr} (r_4 tr)_{4jk} + \alpha_{r_5 tr} (r_5 tr)_{5jk} \\ & + \alpha_2 G\_avc_{ijk} \end{aligned}$$

$(r_i tr)_{ijk}$  représente l'interaction entre la région  $i$  et le traitement  $k$  de la grappe  $j$ ,  $b_{ij}$  est un effet aléatoire

de grappe  $j$  de la région  $i$  avec  $(a_{ij}, b_{ij}) \sim \text{normale} \left( \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} \sigma_a^2 & \rho\sigma_a\sigma_b \\ \rho\sigma_a\sigma_b & \sigma_b^2 \end{pmatrix} \right)$ . Les  $\alpha$  représentent les paramètres inconnus à estimer.

Les effets aléatoires de grappes  $a_{ij}$  et  $b_{ij}$  ainsi que la covariance entre ceux-ci, sont pris en compte à l'aide de la procédure NLMIXED de SAS (SAS INSTITUTE INC. 2004). Les probabilités ajustées de la partie logistique ( $p_{ijk\_annee}$ ) ont été comparées entre elles ainsi que la moyenne ajustée de la normale ( $\mu_{ijk}$ ) afin de comparer l'effet de traitements ou de régions. Les seuils des comparaisons multiples ne sont pas ajustés pour avoir un seuil global de  $\alpha = 5 \%$ , mais chaque comparaison est faite à un seuil de 5 % en respectant le test global (LSD protégé). Un facteur de correction de biais est nécessaire pour retransformer la moyenne de la normale sur l'échelle d'origine ( $\exp\left(\frac{\sigma^2}{2}\right)$ , FLEWELLING et PIENAAR 1981).

### 1.3.2 Arbre

Les analyses statistiques de l'accroissement en diamètre des trois principales essences feuillues (érable à sucre, bouleau jaune [*Betula alleghaniensis* Britton.] et hêtre à grandes feuilles [*Fagus grandifolia* Ehrh.] et du sapin baumier (*Abies balsamea* [L.] Mill.) ont été effectuées afin de déterminer s'il y avait des différences significatives au seuil d'erreur  $\alpha = 5 \%$  entre les traitements, les classes de vigueur et les domaines bioclimatiques. Les données d'accroissement ont dû subir une transformation logarithmique, à la suite de l'addition d'une valeur de 1, afin de satisfaire les postulats des modèles d'analyse de covariance. Le logarithmique du dhp initial a été retenu comme covariable lorsque son effet était significatif dans le modèle soumis à la procédure MIXED de SAS (SAS INSTITUTE INC. 2004). Les moyennes présentées sont les moyennes ajustées par la covariable sur l'échelle logarithmique et sur l'échelle retransformée. Une correction de biais  $\exp\left(\frac{\sigma^2}{2}\right)$  est appliquée où  $\sigma^2$  correspond à la variance totale afin de revenir à l'échelle d'origine. La variance totale est la somme de la variance résiduelle et des variances associées aux effets aléatoires (CALAMA et MONTERO 2005, HALLIKAINEN *et al.* 2007). Des comparaisons multiples ont été effectuées au moyen d'une méthode de simulation disponible dans SAS afin d'ajuster les seuils (SAS INSTITUTE INC. 2004, HSU 1996, WESTFALL *et al.* 1999).

## Chapitre deux

### Résultats

#### 2.1 Portrait avant coupe

L'érable à sucre domine la surface terrière marchande des peuplements à l'étude à l'échelle provinciale (55 %), suivi par ordre décroissant du bouleau jaune (21 %), du hêtre à grandes feuilles (9 %) et puis d'une vingtaine d'autres essences de moindre abondance (Tableau 2). Les peuplements de la région de l'Est se démarquent de la moyenne provinciale avec une plus forte proportion d'érable à sucre (81 %) et moins de bouleau jaune (7 %). Ceux de la région du Centre se démarquent avec un peu moins d'érable à sucre (45 %) et un peu plus de bouleau jaune (31 %) que pour l'ensemble de la province.

La structure diamétrale de l'échantillonnage est représentative de peuplements à structure inéquienne dans l'ensemble des régions (Figure 3). Les peuplements échantillonnés dans la région de l'Est présentent un plus grand nombre de tiges dans les classes de petits dhp (surplus de 10 à 28 cm) et un plus faible nombre dans les classes de plus gros dhp (déficit 40 cm et plus) par rapport aux autres régions.

La surface terrière moyenne des tiges marchandes est relativement élevée avec 27,9 m<sup>2</sup>/ha, dont 11,1 m<sup>2</sup>/ha (40 %) sont constituées de tiges formant le capital forestier en croissance (CFC) (Tableau 3). La région de l'Est se démarque de la moyenne provinciale avec un niveau élevé de CFC (15,4 m<sup>2</sup>/ha), cela pourrait être en partie attribuable à la structure des peuplements laquelle comprend davantage de petites tiges (Figure 3). Par contre l'Outaouais se situe à l'opposé avec le plus faible niveau de CFC (8,6 m<sup>2</sup>/ha ou 31 %). Ce résultat pour l'Outaouais pourrait être en partie attribuable à une plus forte proportion de hêtre et d'érable rouge (*Acer rubrum* L.). Le hêtre est exclus du CFC, car non désiré, et

l'érable rouge est plus fréquemment défectueux. Cependant, même la proportion d'érable à sucre de vigueur 1 (31 %) était à l'origine plus faible que dans les autres régions (41 à 57 %).

**Tableau 2. Répartition de la surface terrière marchande (%) selon l'essence et la région**

| Essence * | Province | Est | Centre | Laurentides | Outaouais | Témiscamingue |
|-----------|----------|-----|--------|-------------|-----------|---------------|
| ERS       | 55       | 81  | 45     | 58          | 47        | 58            |
| BOJ       | 21       | 7   | 31     | 21          | 21        | 19            |
| HEG       | 9        | 4   | 10     | 10          | 11        | 6             |
| ERR       | 4        | 1   | 5      | 3           | 5         | 3             |
| CHR       | 1        | -   | -      | 0           | 3         | 3             |
| Fi        | 2        | 1   | 3      | 1           | 2         | 2             |
| Ft        | 1        | -   | 0      | 2           | 3         | 1             |
| SAB       | 2        | 2   | 2      | 3           | 2         | 2             |
| EPX       | 2        | 3   | 3      | 1           | 2         | 2             |
| PIN       | 0        | -   | -      | -           | 1         | 1             |
| PRU       | 1        | -   | 0      | 1           | 3         | 1             |
| THO       | 1        | 1   | 0      | 0           | 2         | 1             |

\* Essences : ERS : érable à sucre (*Acer saccharum* Marsh.), BOJ : bouleau jaune (*Betula alleghaniensis* Britton.), HEG : hêtre à grandes feuilles (*Fagus grandifolia* Ehrh.), ERR : érable rouge (*Acer rubrum* L.), CHR : chêne rouge (*Quercus rubra* L.), Fi : bouleau à papier (*Betula papyrifera* Marsh.), cerisier tardif (*Prunus serotina* Ehrh.) et peupliers (*Populus* spp.), Ft : frêne d'Amérique (*Fraxinus americana* L.), frêne noir (*Fraxinus nigra* Marsh.), noyer cendré (*Juglans cinerea* L.), orme d'Amérique (*Ulmus americana* L.), ostryer de Virginie (*Ostrya virginiana* [Mill.] K. Koch), tilleul d'Amérique (*Tilia americana* L.) et caryer cordiforme (*Carya cordiformis* [Wangenh.] K. Koch), SAB : sapin baumier (*Abies balsamea* [L.] Mill.), EPX : épinettes blanche (*Picea glauca* [Moench] Voss), rouge (*Picea rubens* Sarg.) et noire (*Picea mariana* [Mill.] B.S.P.), PIN : pins blanc (*Pinus strobus* L.) et rouge (*Pinus resinosa* Ait.), PRU : pruche du Canada (*Tsuga canadensis* (L.) Carr.), THO : thuya occidental (*Thuja occidentalis* L.).

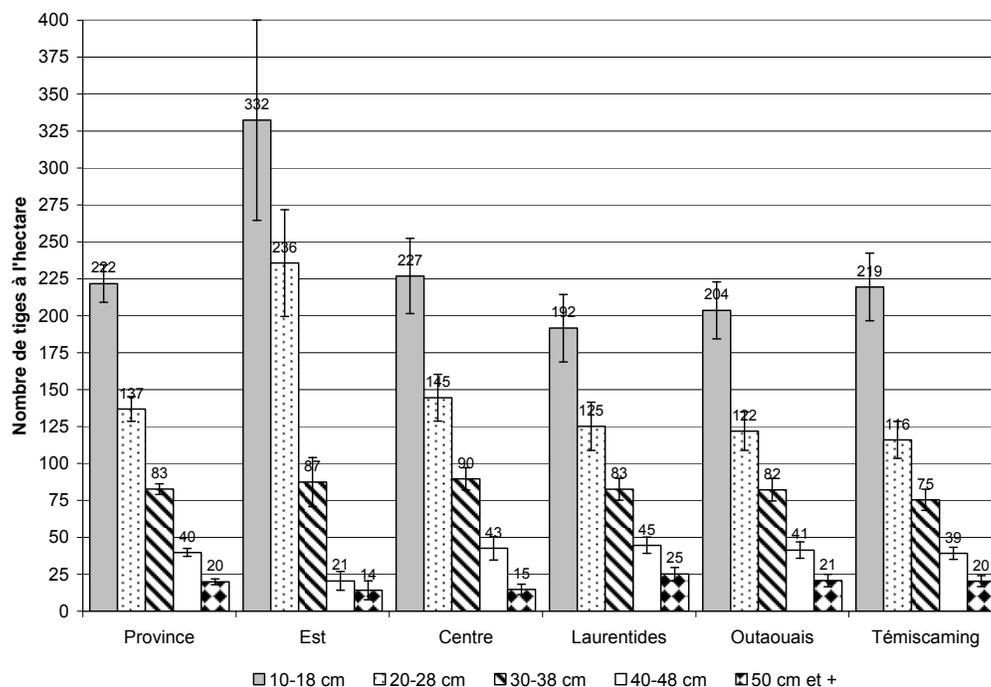


Figure 3. Structure diamétrale des tiges selon la région. Les valeurs moyennes sont indiquées au sommet de leurs colonnes respectives et les barres verticales représentent les limites de l'intervalle de confiance à 95 % de ces moyennes.

**Tableau 3. Répartition de la surface terrière marchande avant la coupe de tous les traitements (AVC) et après la coupe des peuplements traités (APC) selon la classe de vigueur et la région**

| Région et période | Surface terrière (m <sup>2</sup> /ha) |      |     |     |     |     |       |       |      | Proportion (%) |   |    |    |   |   |
|-------------------|---------------------------------------|------|-----|-----|-----|-----|-------|-------|------|----------------|---|----|----|---|---|
|                   | 1                                     | 2    | 3   | 4   | 5   | 6   | Total | CFC * | 1    | 2              | 3 | 4  | 5  | 6 |   |
| Province          | AVC                                   | 10,7 | 1,3 | 7,3 | 6,9 | 1,2 | 0,5   | 27,9  | 11,1 | 38             | 5 | 26 | 25 | 4 | 2 |
|                   | APC                                   | 8,0  | 0,9 | 3,9 | 4,7 | 0,8 | 0,3   | 18,6  | 8,4  | 43             | 5 | 21 | 25 | 4 | 2 |
| Est               | AVC                                   | 14,7 | 1,6 | 6,3 | 5,5 | 1,0 | 0,8   | 29,8  | 15,4 | 49             | 5 | 21 | 18 | 3 | 3 |
|                   | APC                                   | 11,8 | 0,9 | 2,7 | 3,0 | 0,8 | 0,3   | 19,5  | 12,2 | 60             | 5 | 14 | 16 | 4 | 1 |
| Centre            | AVC                                   | 11,6 | 1,3 | 6,5 | 6,7 | 0,9 | 1,1   | 28,0  | 11,6 | 41             | 5 | 23 | 24 | 3 | 4 |
|                   | APC                                   | 8,9  | 1,0 | 3,5 | 4,6 | 0,7 | 0,4   | 19,1  | 9,2  | 47             | 5 | 18 | 24 | 4 | 2 |
| Laurentides       | AVC                                   | 11,0 | 0,9 | 8,9 | 7,1 | 0,8 | 0,3   | 29,0  | 10,3 | 38             | 3 | 31 | 24 | 3 | 1 |
|                   | APC                                   | 7,4  | 0,6 | 5,3 | 4,7 | 0,5 | 0,2   | 18,7  | 7,2  | 39             | 3 | 28 | 25 | 3 | 1 |
| Outaouais         | AVC                                   | 7,9  | 2,1 | 7,5 | 8,5 | 1,1 | 0,5   | 27,5  | 8,6  | 29             | 7 | 27 | 31 | 4 | 2 |
|                   | APC                                   | 6,4  | 1,6 | 3,5 | 6,5 | 0,6 | 0,3   | 18,9  | 6,7  | 34             | 9 | 18 | 34 | 3 | 2 |
| Témiscamingue     | AVC                                   | 10,9 | 0,7 | 6,6 | 5,8 | 1,8 | 0,3   | 26,1  | 11,1 | 42             | 3 | 25 | 22 | 7 | 1 |
|                   | APC                                   | 8,1  | 0,4 | 3,5 | 3,8 | 1,2 | 0,3   | 17,4  | 8,9  | 47             | 3 | 20 | 22 | 7 | 2 |

\* CFC : capital forestier en croissance, soit la somme des classes de vigueur 1 et 5; le hêtre, l'ostryer et les peupliers non compris.

## 2.2 Portrait de la coupe

Le prélèvement moyen est de 9,0 m<sup>2</sup>/ha et varie de 8,6 à 9,9 m<sup>2</sup>/ha selon la région (Tableau 4, l'annexe B donne les résultats en volume). En proportion de la surface terrière avant la coupe, le taux de prélèvement moyen est de 33 % et varie de 31 à 35 % selon la région. Le prélèvement a laissé une surface terrière moyenne après la coupe de 18,6 m<sup>2</sup>/ha, laquelle varie de 17,4 à 19,5 m<sup>2</sup>/ha selon la région.

La répartition du prélèvement parmi les classes de vigueur a été plutôt proportionnelle à la répartition des classes de vigueur d'avant la coupe, sauf pour les arbres de vigueur 3 lesquels ont été prélevés en plus grande proportion et pour les arbres de vigueur 1 lesquels ont été prélevés en plus faible proportion (Figure 4). Les arbres de vigueur 3 composaient en moyenne 27 % de la surface terrière, mais 44 % du prélèvement. Pour ce qui est des arbres de vigueur 1, leur prélèvement cumulait 22 % de la surface terrière prélevée alors qu'ils composaient 38 % de la surface terrière d'avant la coupe. La proportion moyenne de tiges de vigueur 1 prélevée varie de 13 à 30 % selon la région, le minimum atteint en Outaouais et le maximum atteint dans l'Est. La proportion prélevée de tiges de vigueur 4 varie peu d'une région à l'autre, soit de 24 à 28 %. Après la coupe, la proportion d'arbres de vigueur 1 a augmenté dans toutes les régions, d'au moins 2 % dans les Laurentides à un maximum de 9 % dans l'Est. La surface terrière moyenne des arbres de vigueur 1 dans les peuplements varie d'un minimum de 6,4 m<sup>2</sup>/ha en Outaouais jusqu'à un maximum de 11,8 m<sup>2</sup>/ha dans l'Est (Tableau 3). Pour ce qui est de la proportion de tiges de vigueur 4, la seule diminution (3 %) est survenue dans la région de l'Est, tandis qu'elle est demeurée stable au Centre et a augmenté dans les autres régions, jusqu'à un maximum de 3 % dans l'Outaouais (Figure 4).

**Tableau 4. Surface terrière marchande avant la coupe, prélevée et après la coupe, selon la région et le traitement<sup>1</sup>**

| Région        | Tr | n   | Surface terrière (m <sup>2</sup> /ha) |     |             |     |    |                |     |
|---------------|----|-----|---------------------------------------|-----|-------------|-----|----|----------------|-----|
|               |    |     | Avant la coupe                        |     | Prélèvement |     |    | Après la coupe |     |
|               |    |     | Moy                                   | IC  | Moy         | IC  | %  | Moy            | IC  |
| Province      | T  | 212 | 28,4                                  | 0,9 |             |     |    |                |     |
|               | CP | 232 | 27,6                                  | 0,7 | 9,0         | 0,4 | 33 | 18,6           | 0,6 |
| Est           | T  | 23  | 30,8                                  | 2,9 |             |     |    |                |     |
|               | CP | 23  | 28,6                                  | 1,9 | 9,1         | 1,6 | 32 | 19,5           | 2,0 |
| Centre        | T  | 42  | 28,9                                  | 2,0 |             |     |    |                |     |
|               | CP | 45  | 27,8                                  | 1,5 | 8,7         | 1,1 | 31 | 19,1           | 1,4 |
| Laurentides   | T  | 49  | 30,0                                  | 1,6 |             |     |    |                |     |
|               | CP | 54  | 28,6                                  | 1,2 | 9,9         | 0,9 | 35 | 18,7           | 0,9 |
| Outaouais     | T  | 49  | 27,5                                  | 1,7 |             |     |    |                |     |
|               | CP | 55  | 27,5                                  | 1,7 | 8,6         | 0,9 | 31 | 18,9           | 1,4 |
| Témiscamingue | T  | 49  | 26,3                                  | 1,9 |             |     |    |                |     |
|               | CP | 55  | 26,2                                  | 1,3 | 8,7         | 0,8 | 33 | 17,4           | 0,9 |

Tr : traitement, T : témoin, CP : coupe partielle, n : nombre de grappes, Moy : moyenne, IC = intervalle de confiance ( $\alpha = 0,05$  table de t [ $\alpha/2$ , n-1])

<sup>1</sup> Les résultats équivalents sont présentés en volume marchand brut à l'annexe B1.

## 2.3 Effets des modifications apportées aux normes de coupe en 1997

### 2.3.1 Protection des tiges de vigueur 1 d'essences désirées

Le critère d'augmentation minimale de 35 % du potentiel théorique de la qualité appliqué dès 1997 a été conforme aux moyennes régionales et provinciale au cours des années concernées, même s'il était déjà presque en vigueur partout dès 1995-1996 (Tableau 5). Les régions de l'Est et des Laurentides étaient près du seuil avec des taux de 34 %, seul le Témiscamingue avait un taux nettement inférieur avec 27 %. À la suite de l'application de ce critère en 1997, la région du Témiscamingue a atteint le taux le plus élevé du potentiel (maximum théorique) d'augmentation de la qualité avec 61 %.

**Tableau 5. Évaluation normative du potentiel théorique et réel de la qualité des peuplements et du traitement selon la région et la période**

| Région        | Période | Avant la coupe     |                       |    | Prélèvement        |                       |    | Après la coupe        | Potentiel de qualité |           |
|---------------|---------|--------------------|-----------------------|----|--------------------|-----------------------|----|-----------------------|----------------------|-----------|
|               |         | Total              | Vig. 1, ess. désirées |    | Total              | Vig. 1, ess. désirées |    | Vig. 1, ess. désirées | Maximum théorique    | Augmenta. |
|               |         | m <sup>2</sup> /ha | m <sup>2</sup> /ha    | %  | m <sup>2</sup> /ha | m <sup>2</sup> /ha    | %  | %                     | %                    | %         |
| Province      | 95-96   | 27,9               | 10,5                  | 38 | 9,3                | 2,2                   | 23 | 45                    | 56                   | 38        |
|               | 97-99   | 27,4               | 9,6                   | 35 | 8,8                | 1,6                   | 18 | 43                    | 52                   | 48        |
| Est           | 95-96   | 26,9               | 16,7                  | 62 | 8,0                | 3,3                   | 41 | 71                    | 88                   | 34        |
|               | 97-99   | 29,5               | 13,1                  | 44 | 9,7                | 2,4                   | 25 | 54                    | 66                   | 43        |
| Centre        | 95-96   | 28,5               | 10,5                  | 37 | 10,0               | 1,6                   | 16 | 48                    | 57                   | 55        |
|               | 97-99   | 27,6               | 10,6                  | 39 | 8,2                | 1,7                   | 21 | 46                    | 55                   | 45        |
| Laurentides   | 95-96   | 28,9               | 9,2                   | 32 | 10,1               | 2,1                   | 21 | 38                    | 49                   | 34        |
|               | 97-99   | 28,5               | 9,8                   | 35 | 9,8                | 2,0                   | 20 | 42                    | 53                   | 41        |
| Outaouais     | 95-96   | 28,1               | 8,0                   | 28 | 8,6                | 1,1                   | 13 | 35                    | 41                   | 54        |
|               | 97-99   | 27,1               | 7,4                   | 27 | 8,6                | 1,0                   | 12 | 35                    | 40                   | 57        |
| Témiscamingue | 95-96   | 27,2               | 11,6                  | 43 | 9,3                | 2,9                   | 31 | 49                    | 65                   | 27        |
|               | 97-99   | 24,9               | 8,7                   | 35 | 8,1                | 1,1                   | 14 | 45                    | 52                   | 61        |

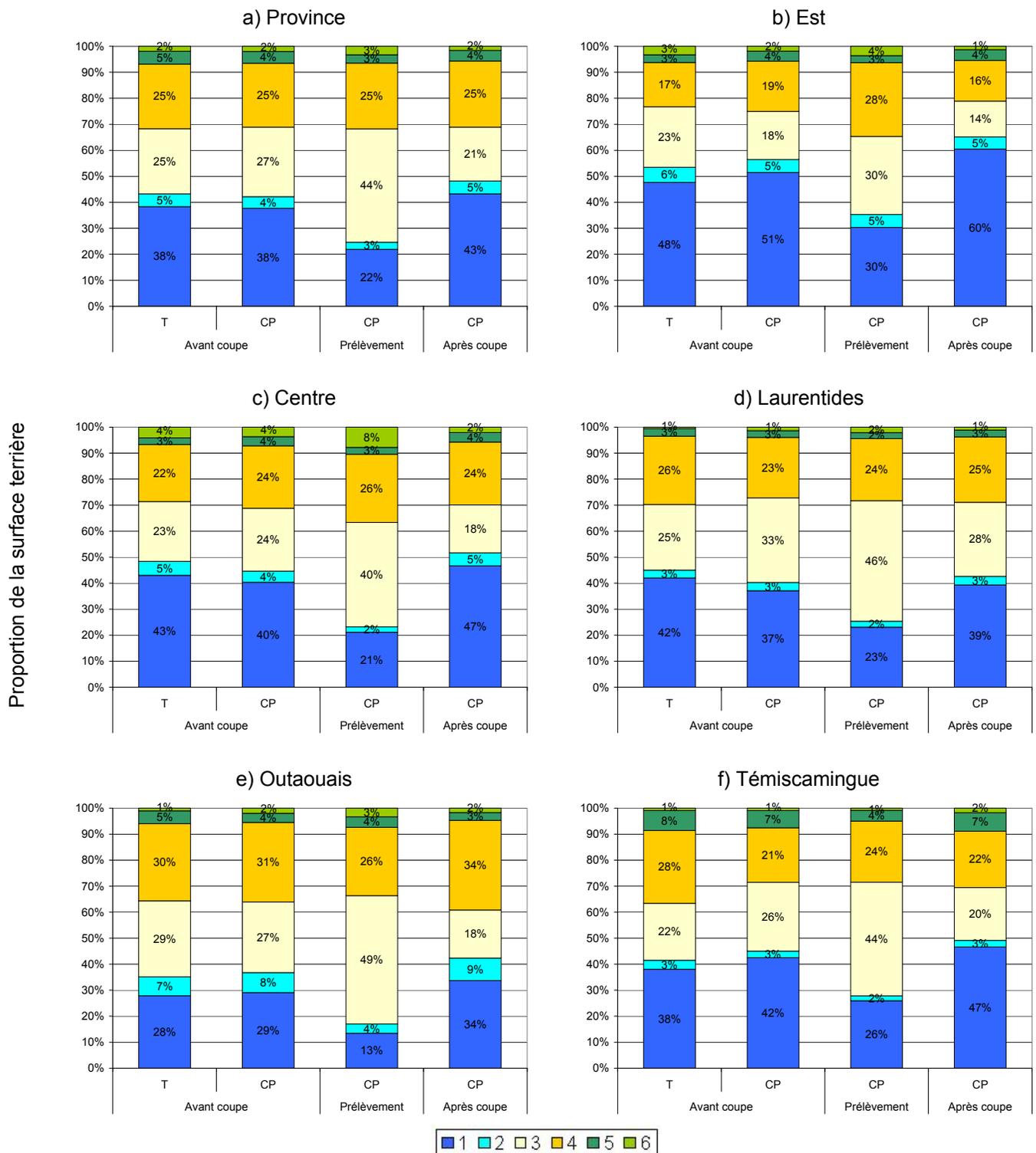


Figure 4. Répartition de la surface terrière dans les placettes témoins (T) et coupées (CP) selon la classe de vigueur (1 à 6) et la région, avant la coupe, prélevée et après la coupe.

Cependant, la modification apportée aux normes de coupe en 1997 dans le but de protéger les tiges vigoureuses d'essences désirées ne semble pas avoir eu d'effet significatif sur les surfaces terrières martelées et prélevées ( $p = 0,091$  et  $p = 0,065$ , respectivement) de ce groupe d'arbres à l'échelle provinciale (Tableau 6). Néanmoins, une tendance significative a été observée : le martelage et le prélèvement des tiges de vigueur 1 d'essences désirées au cours de la période 1995-1996 étaient de 1,7 et 2,2 m<sup>2</sup>/ha, respectivement, contre 1,2 et 1,6 m<sup>2</sup>/ha, respectivement, pour la période 1997-1999 (Tableau 6). Aussi, il n'y avait pas de différence significative de surface terrière avant coupe pour ce groupe d'arbres, quoiqu'il y ait eu une légère baisse entre les deux périodes. Cependant, les surfaces terrières avant coupe, martelées et prélevées des arbres de vigueur 1 d'essences désirées étaient significativement différentes ( $p = 0,003$ ,  $p = 0,004$  et  $p = 0,001$ , respectivement) entre les deux périodes dans la région du Témiscamingue (Tableau 6). En proportion, le martelage et le prélèvement des tiges de vigueur 1 d'essence désirées entre les périodes 1995-1996 et 1997-1999 sont passés de 21 et 25 %, respectivement, à 9 et 13 %, respectivement. Alors qu'au cours de la période 1995-1996 le martelage des tiges de vigueur 1 d'essences désirées au Témiscamingue était le plus élevé des régions étudiées (2,5 m<sup>2</sup>/ha), il atteignait la valeur régionale la plus faible (0,8 m<sup>2</sup>/ha) à la suite des modifications apportées aux normes. Ce changement coïncidait aussi avec une baisse significative de la surface terrière de ce groupe d'arbres avant la coupe, laquelle est passée de 11,6 à 8,7 m<sup>2</sup>/ha entre les deux périodes. Afin de tenir compte de l'effet possible des changements normatifs sur les différentes composantes de l'accroissement annuel périodique, les placettes établies au Témiscamingue pour les périodes 1995-1996 et 1997-1999 ont été désignées comme appartenant à deux « régions » différentes pour la suite des analyses.

### 2.3.2 Protection des perches

La région de l'Est se démarque des autres régions par un faible taux de perches non martelées coupées ou détruites (8,6 %), un faible taux de perches blessées (7,3 %) et les taux les plus élevés de grappes conformes à la norme (Tableau 7). Ce succès est encore plus marquant en raison de la plus grande présence de perches dans ces grappes, soit 448 à l'hectare contre 285 perches à l'hectare pour la moyenne provinciale. Les dommages infligés aux perches sont particulièrement élevés dans les régions des Laurentides (18,4 %), de l'Outaouais (13,5 %) et du Témiscamingue (13,4 %).

## 2.4 Croissance annuelle périodique des peuplements

La covariable surface terrière avant coupe a eu des effets significatifs ( $p \leq 0,0033$ ) sur les modèles d'analyse de la variance de AAS, AAR, AAB et AAN et a donc été retenue pour ces modèles (Tableaux 8 et 9). Les résultats des tests statistiques sur ces composantes de l'accroissement sont présentés sur les valeurs ajustées par la covariable, tandis que les valeurs moyennes non ajustées sont présentées au tableau 10.

**Tableau 6. Surface terrière marchande (m<sup>2</sup>/ha) des arbres d'essences désirées et de vigueur 1, avant la coupe, martelée et prélevée selon la région et la période**

| Région        | Période   | n   | Avant la coupe |     | Martelage |     |    | Prélèvement |     |    |
|---------------|-----------|-----|----------------|-----|-----------|-----|----|-------------|-----|----|
|               |           |     | Moy            | IC  | Moy       | IC  | %  | Moy         | IC  | %  |
| Province      | 1995-1996 | 94  | 10,5           | 1,0 | 1,7       | 0,4 | 16 | 2,2         | 0,5 | 21 |
|               | 1997-1999 | 138 | 9,6            | 0,8 | 1,2       | 0,3 | 13 | 1,6         | 0,4 | 17 |
| Est           | 1995-1996 | 8   | 16,7           | 6,3 | 1,8       | 1,7 | 11 | 3,3         | 2,3 | 20 |
|               | 1997-1999 | 15  | 13,1           | 4,5 | 1,6       | 1,4 | 13 | 2,4         | 1,7 | 19 |
| Centre        | 1995-1996 | 11  | 10,5           | 2,0 | 1,3       | 1,0 | 13 | 1,6         | 1,2 | 16 |
|               | 1997-1999 | 34  | 10,6           | 1,6 | 1,6       | 1,1 | 15 | 1,7         | 1,1 | 16 |
| Laurentides   | 1995-1996 | 21  | 9,2            | 1,5 | 1,7       | 0,9 | 18 | 2,1         | 1,0 | 23 |
|               | 1997-1999 | 33  | 9,8            | 1,6 | 1,3       | 0,5 | 14 | 2,0         | 0,7 | 20 |
| Outaouais     | 1995-1996 | 23  | 8,0            | 1,8 | 1,0       | 0,8 | 12 | 1,1         | 0,8 | 14 |
|               | 1997-1999 | 32  | 7,4            | 1,1 | 0,8       | 0,4 | 11 | 1,0         | 0,4 | 14 |
| Témiscamingue | 1995-1996 | 31  | 11,6a          | 1,7 |           |     |    | 2,9a        | 1,0 | 25 |
|               |           | 26  |                |     | 2,5a      | 1,0 | 21 |             |     |    |
|               | 1997-1999 | 24  | 8,7b           | 0,8 | 0,8b      | 0,4 | 9  | 1,1b        | 0,4 | 13 |

n : nombre de grappes, Moy : moyenne, IC : intervalle de confiance à 95 %. Des moyennes suivies de lettres différentes pour une même région indiquent la présence de différence significative ( $p < 0,05$ ) entre les deux périodes.

**Tableau 7. Paramètres d'évaluation normative de la protection des perches (dhp de 10 à 22 cm)**

| Région        | Période | Grappes | Avant la coupe |            | Perches non martelées, coupées ou détruites | Perches blessées | Grappes conformes à la norme 95-96 | Grappes conformes à la norme 97-99 |
|---------------|---------|---------|----------------|------------|---|------------------|------------------------------------|------------------------------------|
|               |         |         | Nombre         | Perches/ha |   |                  |                                    |                                    |
| Province      | 95-96   | 94      | 259            | 17,6       | 11,8  | 35               | 76                                 |                                    |
|               | 97-99   | 138     | 303            | 18,3       | 11,3  | 46               | 83                                 |                                    |
|               | Toutes  | 232     | 285            | 18,1       | 11,5  | 42               | 80                                 |                                    |
| Est           | 95-96   | 8       | 450            | 10,4       | 2,8   | 100              | 100                                |                                    |
|               | 97-99   | 15      | 448            | 7,6        | 9,7   | 67               | 93                                 |                                    |
|               | Toutes  | 23      | 448            | 8,6        | 7,3   | 78               | 96                                 |                                    |
| Centre        | 95-96   | 11      | 234            | 12,3       | 9,9   | 64               | 100                                |                                    |
|               | 97-99   | 34      | 325            | 12,8       | 7,7   | 71               | 88                                 |                                    |
|               | Toutes  | 45      | 303            | 12,7       | 8,1   | 69               | 91                                 |                                    |
| Laurentides   | 95-96   | 21      | 214            | 18,8       | 16,3  | 33               | 81                                 |                                    |
|               | 97-99   | 33      | 264            | 17,8       | 19,6  | 24               | 73                                 |                                    |
|               | Toutes  | 54      | 245            | 18,2       | 18,4  | 28               | 76                                 |                                    |
| Outaouais     | 95-96   | 23      | 248            | 19,9       | 11,3  | 30               | 65                                 |                                    |
|               | 97-99   | 32      | 268            | 15,1       | 15,0  | 44               | 88                                 |                                    |
|               | Toutes  | 55      | 260            | 17,0       | 13,5  | 38               | 78                                 |                                    |
| Témiscamingue | 95-96   | 31      | 256            | 21,0       | 16,3  | 13               | 65                                 |                                    |
|               | 97-99   | 24      | 281            | 17,4       | 10,0  | 33               | 79                                 |                                    |
|               | Toutes  | 55      | 267            | 19,4       | 13,4  | 22               | 71                                 |                                    |

**Tableau 8. Accroissement annuel périodique (m<sup>2</sup>/ha/an) moyen ajusté selon la surface terrière moyenne avant coupe des survivants, du brut et du net, selon la région, et des seuils obtenus (*p*) des tests statistiques**

| Région   | Tr                       | AAS       |       | AAB       |       | AAN <sup>†</sup> |       |
|--|--------------------------|-----------|-------|-----------|-------|------------------|-------|
|  |                          | Moy       | Err-t | Moy       | Err-t | Moy              | Err-t |
| Moyennes ajustées et seuils, par région et traitement                      |                          |           |       |           |       |                  |       |
| Est  | T                        | 0,51      | 0,02  | 0,54      | 0,03  | 0,44             | 0,09  |
|  | CP                       | 0,50      | 0,02  | 0,56      | 0,03  | 0,43             | 0,08  |
|  | <i>p</i>                 | 0,7527    |       | 0,4971    |       | 0,9164           |       |
| Centre   | T                        | 0,41      | 0,02  | 0,43 a    | 0,02  | 0,02 b           | 0,06  |
|  | CP                       | 0,44      | 0,02  | 0,49 b    | 0,02  | 0,27 a           | 0,06  |
|  | <i>p</i>                 | 0,1061    |       | 0,0191*   |       | 0,0027*          |       |
| Laurentides  | T                        | 0,40      | 0,02  | 0,42      | 0,02  | 0,20             | 0,06  |
|  | CP                       | 0,39      | 0,01  | 0,43      | 0,02  | 0,17             | 0,06  |
|  | <i>p</i>                 | 0,9212    |       | 0,5807    |       | 0,6598           |       |
| Outaouais  | T                        | 0,39      | 0,02  | 0,45      | 0,02  | 0,20             | 0,06  |
|  | CP                       | 0,37      | 0,01  | 0,43      | 0,02  | 0,06             | 0,05  |
|  | <i>p</i>                 | 0,3281    |       | 0,3922    |       | 0,0541           |       |
| Témiscamingue 95-96  | T                        | 0,37      | 0,02  | 0,43      | 0,03  | -0,24 b          | 0,08  |
|  | CP                       | 0,35      | 0,02  | 0,40      | 0,02  | 0,08 a           | 0,07  |
|  | <i>p</i>                 | 0,3546    |       | 0,3336    |       | 0,0017*          |       |
| Témiscamingue 97-99  | T                        | 0,37      | 0,02  | 0,41      | 0,03  | 0,09             | 0,09  |
|  | CP                       | 0,34      | 0,02  | 0,39      | 0,03  | 0,03             | 0,08  |
|  | <i>p</i>                 | 0,2312    |       | 0,5163    |       | 0,6109           |       |
| Moyennes ajustées et seuils, par traitement                                |                          |           |       |           |       |                  |       |
| Province   | T                        | 0,41      | 0,01  | 0,45      | 0,01  | 0,12             | 0,03  |
|  | CP                       | 0,40      | 0,01  | 0,45      | 0,01  | 0,17             | 0,03  |
|  | <i>p (Tr)</i>            | 0,3626    |       | 0,7421    |       | 0,1641           |       |
| Moyennes ajustées et seuils, par région                                    |                          |           |       |           |       |                  |       |
| Est  |                          | 0,50 a    | 0,02  | 0,55 a    | 0,02  | 0,43 a           | 0,06  |
| Centre   |                          | 0,42 b    | 0,01  | 0,46 b    | 0,02  | 0,14 ab          | 0,05  |
| Laurentides  |                          | 0,40 bc   | 0,01  | 0,43 b    | 0,01  | 0,19 ab          | 0,04  |
| Outaouais  |                          | 0,38 bc   | 0,01  | 0,44 b    | 0,01  | 0,13 b           | 0,04  |
| Témiscamingue 95-96  |                          | 0,36 c    | 0,02  | 0,42 b    | 0,02  | -0,08 ab         | 0,06  |
| Témiscamingue 97-99  |                          | 0,35 c    | 0,02  | 0,40 b    | 0,02  | 0,06 ab          | 0,06  |
|  | <i>p (Témiscamingue)</i> | 0,8226    |       | 0,6078    |       | 0,0965           |       |
|  | <i>p (région)</i>        | < 0,0001* |       | < 0,0001* |       | < 0,0001*        |       |
|  | <i>p (région x Tr)</i>   | 0,3487    |       | 0,1550    |       | 0,0007*          |       |
| Seuils obtenus des tests sur la covariable surface terrière avant la coupe |                          |           |       |           |       |                  |       |
|  | <i>p (S.T. avc)</i>      | < 0,0001* |       | 0,0014*   |       | < 0,0001*        |       |

Moy : moyenne, Err-t : erreur-type, AAS : accroissement annuel des survivants (m<sup>2</sup>/ha/an), AAB : accroissement annuel brut (m<sup>2</sup>/ha/an), AAN : accroissement annuel net (m<sup>2</sup>/ha/an). Les moyennes suivies de lettres différentes indiquent la présence de différence significative (*p* < 0,05).

<sup>†</sup> Une placette témoin de la région du Témiscamingue en 1998 a été retirée de l'analyse statistique en raison d'une forte mortalité afin d'être conforme aux postulats de l'ANOVA.

\* : indique une différence significative au seuil de 5 %.

**Tableau 9. Proportion des grappes d'une valeur nulle (partie 1) et accroissements annuels périodiques moyens ajustés en surface terrière (partie 2) pour les recrues et les morts, selon la région, et seuils obtenus ( $p$ ) des tests statistiques**

| Région  | Tr  | AAR       |       | AAM                   |           |       |                       |
|---|---|-----------|-------|-----------------------|-----------|-------|-----------------------|
|   |   | Moy. (%)  | Err-t | Moy. (%)              | Err-t     |       |                       |
| Partie 1. Proportion de grappes d'une valeur nulle attribuable au surplus de zéro ( $p_{i\_annuel}$ )   |   |           |       |                       |           |       |                       |
| Moyennes ajustées et seuils, par traitement   |   |           |       |                       |           |       |                       |
| Province  | T   | 0,86 a    | 0,02  | 0,80 a                | 0,02      |       |                       |
|   | CP  | 0,56 b    | 0,06  | 0,69 b                | 0,02      |       |                       |
|   | $p$ (Tr)  | < 0,0001* |       | < 0,0001*             |           |       |                       |
| Moyennes ajustées et seuils, par région   |   |           |       |                       |           |       |                       |
| Est   |   | 0,82 a    | 0,05  | 0,88 a                | 0,03      |       |                       |
| Centre  |   | 0,83 a    | 0,03  | 0,76 b                | 0,03      |       |                       |
| Laurentides   |   | 0,76 a    | 0,04  | 0,75 b                | 0,03      |       |                       |
| Outaouais   |   | 0,63 b    | 0,06  | 0,77 b                | 0,03      |       |                       |
| Témiscamingue 95-96   |   | 0,52 b    | 0,09  | 0,67 b                | 0,05      |       |                       |
| Témiscamingue 97-99   |   | 0,70 ab   | 0,07  | 0,66 b                | 0,05      |       |                       |
|   | $p$ (Témiscamingue)   | 0,0732    |       | 0,9051                |           |       |                       |
|   | $p$ (région)  | 0,0043*   |       | < 0,0001*             |           |       |                       |
| Seuils obtenus des tests sur la covariable (surface terrière avant la coupe)  |   |           |       |                       |           |       |                       |
|   | $p$ (S.T. avc)  | 0,0017*   |       | > 0,05                |           |       |                       |
| Partie 2. Valeur moyenne ajustée ; en logarithmique ( $\mu_{ijk}$ ) et retransformée ( $\exp(\mu_{ijk})$ *facteur) et erreur-type de la surface terrière des grappes d'une valeur non nulle |   |           |       |                       |           |       |                       |
|   |   | AAR       |       |                       | AAM       |       |                       |
|   |   | Moy.      | Err-t | m <sup>2</sup> /ha/an | Moy.      | Err-t | m <sup>2</sup> /ha/an |
| $\mu_{ijk}$ et $m_{ijk}$ ajustés et seuils, par traitement  |   |           |       |                       |           |       |                       |
| Province  | T   | -2,85 a   | 0,07  | 0,07                  | -1,26 a   | 0,10  | 0,51                  |
|   | CP  | -3,07 b   | 0,05  | 0,06                  | -1,66 b   | 0,09  | 0,34                  |
|   | $p$ (Tr)  | 0,0166*   |       |                       | 0,0034*   |       |                       |
| $\mu_{ijk}$ et $m_{ijk}$ ajustés et seuils, par région  |   |           |       |                       |           |       |                       |
| Est   |   | -2,82 ab  | 0,15  | 0,08                  | -1,86 b   | 0,24  | 0,28                  |
| Centre  |   | -3,03 bc  | 0,11  | 0,06                  | -1,46 b   | 0,14  | 0,42                  |
| Laurentides   |   | -3,31 c   | 0,10  | 0,05                  | -1,61 b   | 0,13  | 0,36                  |
| Outaouais   |   | -2,72 a   | 0,08  | 0,08                  | -1,46 b   | 0,13  | 0,42                  |
| Témiscamingue 95-96   |   | -2,97 b   | 0,10  | 0,06                  | -1,00 a   | 0,16  | 0,66                  |
| Témiscamingue 97-99   |   | -2,90 ab  | 0,13  | 0,07                  | -1,34ab   | 0,18  | 0,47                  |
|   | $p$ (Témiscamingue)   | 0,6474    |       |                       | 0,1452    |       |                       |
|   | $p$ (région)  | 0,0004*   |       |                       | 0,0315*   |       |                       |
|   | $p$ (région x Tr)   | 0,3884    |       |                       | 0,2002    |       |                       |
| Seuils obtenus des tests sur la covariable surface terrière avant la coupe  |   |           |       |                       |           |       |                       |
|   | $p$ (S.T. avc)  | 0,0033*   |       |                       | < 0,0001* |       |                       |
| Facteur de correction de biais  |   |           |       |                       |           |       |                       |
| Accroissement moyen   |   |           |       |                       |           |       |                       |
|   | $\text{prédit}=\exp(\mu_{ijk} \text{ ajusté})\text{*facteur}$ | 1,2595    |       |                       | 1,7876    |       |                       |

Moy : moyenne, Err-t : erreur-type, AAR : taux annuel de recrutement (m<sup>2</sup>/ha/an), AAM : taux annuel de mortalité (m<sup>2</sup>/ha/an). Des moyennes suivies de lettres différentes indiquent la présence de différence significative ( $p < 0,05$ ).

\* : indique une différence significative au seuil de 5 %.

**Tableau 10. Moyennes non ajustées des surfaces terrières et des composantes d'accroissement annuel sur la période quinquennale selon la région et le traitement<sup>1</sup>**

| Région         | Tr | n   | Avant la                    | Après la                    | AAS  | AAR  | AAB  | AAM  | AAN   | Après<br>5 ans<br>m <sup>2</sup> /ha |
|----------------|----|-----|-----------------------------|-----------------------------|------|------|------|------|-------|--------------------------------------|
|                |    |     | coupe<br>m <sup>2</sup> /ha | coupe<br>m <sup>2</sup> /ha |      |      |      |      |       |                                      |
| Province       | T  | 212 | 28,4                        |                             | 0,40 | 0,04 | 0,44 | 0,34 | 0,10  | 29,0                                 |
|                | CP | 232 | 27,6                        | 18,6                        | 0,39 | 0,05 | 0,45 | 0,28 | 0,17  | 19,5                                 |
| Est            | T  | 23  | 30,8                        |                             | 0,52 | 0,02 | 0,55 | 0,15 | 0,39  | 32,8                                 |
|                | CP | 23  | 28,6                        | 19,5                        | 0,50 | 0,06 | 0,56 | 0,14 | 0,42  | 21,6                                 |
| Centre         | T  | 42  | 28,9                        |                             | 0,41 | 0,02 | 0,43 | 0,43 | 0,01  | 28,9                                 |
|                | CP | 45  | 27,8                        | 19,1                        | 0,44 | 0,05 | 0,48 | 0,21 | 0,28  | 20,5                                 |
| Laurentides    | T  | 49  | 30,0                        |                             | 0,40 | 0,02 | 0,42 | 0,25 | 0,17  | 30,8                                 |
|                | CP | 54  | 28,6                        | 18,7                        | 0,40 | 0,04 | 0,43 | 0,27 | 0,16  | 19,5                                 |
| Outaouais      | T  | 49  | 27,5                        |                             | 0,38 | 0,07 | 0,45 | 0,24 | 0,21  | 28,6                                 |
|                | CP | 55  | 27,5                        | 18,9                        | 0,37 | 0,07 | 0,43 | 0,37 | 0,07  | 19,3                                 |
| Témiscamingue* | T  | 49  | 26,3                        |                             | 0,36 | 0,05 | 0,41 | 0,53 | -0,12 | 25,7                                 |
|                | CP | 55  | 26,2                        | 17,4                        | 0,33 | 0,06 | 0,39 | 0,30 | 0,09  | 17,9                                 |

Tr : traitement, T : témoin, CP : coupe partielle, n : nombre de grappes, AAS : accroissement annuel des survivants, AAR : recrutement annuel, AAB : accroissement annuel brut, AAM : mortalité annuelle, AAN : accroissement annuel net.

\* Les résultats des deux périodes au Témiscamingue ont été fusionnés dans ce tableau étant donné l'absence de différence significative pour chacune des composantes de l'accroissement (Tableaux 8 et 9) entre ces deux périodes.

<sup>1</sup> Les résultats équivalents en volume marchand brut sont présentés à l'annexe B2.

#### 2.4.1 Accroissement des survivants

L'AAS est significativement différent entre les régions ( $p < 0,0001$ ), mais il n'y a pas de différence significative entre les traitements ( $p = 0,3626$ ) ni entre les deux périodes de mesure au Témiscamingue ( $p = 0,8226$ , Tableau 8). À l'échelle du peuplement, les arbres survivants s'accroissent significativement plus rapidement dans l'Est que dans les autres régions, de même que dans la région du Centre par rapport au Témiscamingue.

#### 2.4.2 Recrutement

La proportion de grappes d'une valeur de recrutement nulle est significativement plus élevée dans les peuplements témoins (86 %) que dans les peuplements coupés (56 %,  $p < 0,0001$ , partie 1 du tableau 9). Cependant, sur l'échelle logarithmique, la moyenne de surface terrière recrutée dans une grappe est significativement supérieure dans les grappes témoins (0,07 m<sup>2</sup>/ha/an sur l'échelle retransformée) par rapport aux grappes coupées (0,06 m<sup>2</sup>/ha/an,  $p = 0,0166$ ). Globalement, les moyennes non ajustées (qui comprennent tous les accroissements nuls) indiquent qu'à l'échelle provinciale l'AAR est légèrement plus élevé dans les peuplements coupés (0,05 m<sup>2</sup>/ha/an) que dans les peuplements témoins (0,04 m<sup>2</sup>/ha/an), mais cette différence (0,01 m<sup>2</sup>/ha/an, Tableau 10) est faible et a peu de signification comme explication des différences d'AAB et d'AAN entre les traitements.

La proportion de grappes d'une valeur de recrutement nulle est significativement différente entre les régions ( $p = 0,0043$ ) et, la valeur moyenne de surface terrière recrutée est aussi significativement différente entre les régions ( $p = 0,0004$ , partie 2 du tableau 9). Cependant, il n'y a pas de différences significatives entre les deux périodes de mesure au Témiscamingue ( $p = 0,0732$  et  $p = 0,6474$ , respectivement) pour les deux parties du modèle. La proportion de valeurs nulles est significativement plus élevée dans les régions de l'Est, du Centre et des Laurentides qu'en Outaouais et au Témiscamingue en 1995-1996. L'accroissement est significativement plus élevé dans la région de l'Outaouais que dans les régions du Témiscamingue 1995-1996, du Centre et des Laurentides. De plus, dans les Laurentides l'accroissement provenant du recrutement des grappes est significativement inférieur à celui observé dans les autres régions, à l'exception du Centre. Globalement, les moyennes non ajustées indiquent que l'AAR atteint une valeur maximale en Outaouais ( $0,07 \text{ m}^2/\text{ha}/\text{an}$ ) et une valeur minimale dans les grappes témoins de l'Est, du Centre et des Laurentides ( $0,02 \text{ m}^2/\text{ha}/\text{an}$ , Tableau 10).

#### 2.4.3 *Accroissement brut*

Tout comme pour l'AAS, l'AAB est significativement différent entre les régions ( $p < 0,0001$ ), mais il n'y a pas de différence significative entre les traitements ( $p = 0,7421$ ) ni entre les deux périodes de mesure au Témiscamingue ( $p = 0,6078$ , Tableau 8). Les comparaisons effectuées entre les régions indiquent que l'AAB observé dans la région de l'Est est significativement supérieur à ceux observés dans les autres régions.

#### 2.4.4 *Mortalité*

La proportion de grappes d'une valeur de mortalité nulle est significativement plus élevée dans les peuplements témoins (80 %) que dans les peuplements coupés (69 %,  $p < 0,0001$ , partie 1 du tableau 9), de même qu'elle est significativement plus élevée dans la région de l'Est que dans les autres régions ( $p < 0,0001$ ). Par contre, le taux de mortalité moyen est significativement supérieur dans les peuplements témoins par rapport aux peuplements coupés ( $p = 0,0034$ , partie 2 du tableau 9). Pour ce qui est des régions, le taux moyen de mortalité des grappes est significativement supérieur au Témiscamingue en 1995-1996 par rapport aux quatre autres régions ( $p = 0,0315$ ), mais il ne diffère pas significativement entre les deux périodes du Témiscamingue ( $p = 0,1452$ ).

Globalement, les moyennes non ajustées indiquent qu'à l'échelle provinciale le taux de mortalité est légèrement supérieur dans les peuplements témoins ( $0,34 \text{ m}^2/\text{ha}/\text{an}$ ) plutôt que dans ceux coupés ( $0,28 \text{ m}^2/\text{ha}/\text{an}$ , Tableau 10). De plus, la région de l'Est affiche des taux de mortalité nettement inférieurs aux autres régions ( $0,14$  à  $0,15 \text{ m}^2/\text{ha}/\text{an}$  contre  $0,21$  à  $0,53 \text{ m}^2/\text{ha}/\text{an}$ ).

#### 2.4.5 *Accroissement net*

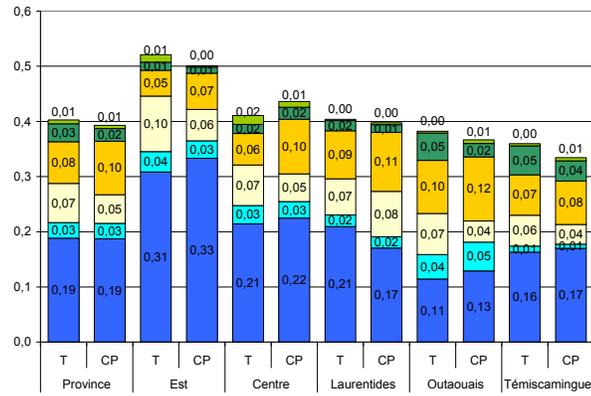
Les tests statistiques effectués sur l'AAN indiquent la présence d'une interaction significative ( $p = 0,0007$ ) entre la région et le traitement (Tableau 8). Cela signifie que l'effet du traitement est différent entre les régions ou que l'effet de la région est différent selon le traitement. Dans le premier cas, les résultats des comparaisons multiples montrent que l'AAN des peuplements témoins est significativement différent entre la région de l'Est et les régions du Centre et du Témiscamingue en 1995-1996. Des différences significatives pour les témoins sont également observées entre la région de Témiscamingue 1995-1996 et les régions de l'Outaouais et des Laurentides. Les comparaisons multiples des peuplements coupés, effectuées entre les régions, montrent que la région de l'Est est significativement différente de la région de l'Outaouais.

Dans le second cas, soit celui de la comparaison des résultats entre les traitements pour une même région, les résultats indiquent la présence de différences significatives à l'intérieur des régions du Centre et du Témiscamingue en 1995-1996, ainsi qu'une tendance significative ( $p = 0,0541$ ) en Outaouais. L'AAN de ces deux premières régions est supérieur dans les peuplements coupés par rapport aux peuplements témoins. Par contre en Outaouais, les peuplements témoins ont connu un meilleur accroissement net que ceux traités.

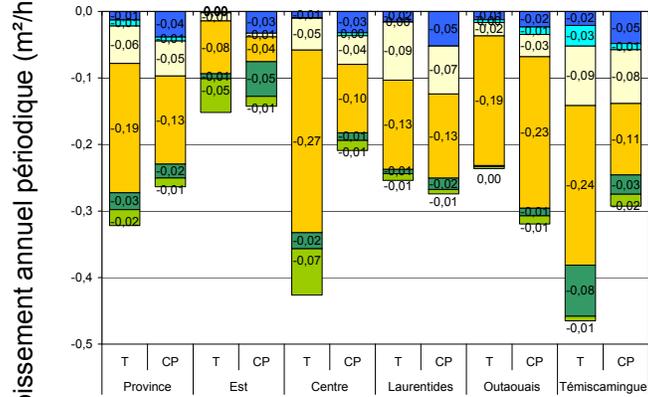
#### 2.4.6 *Accroissement selon la classe de vigueur*

Les tiges de vigueur 1 sont celles qui ont contribué le plus à l'accroissement des survivants et à l'accroissement net du peuplement, alors que les tiges de vigueur 4 sont la principale source de mortalité dans les peuplements (Figure 5). En effet, les tiges de vigueur 1 des peuplements traités ont cumulé un accroissement (tiges survivantes) annuel moyen périodique de  $0,19 \text{ m}^2/\text{ha}/\text{an}$  (Figure 5a), auquel s'ajoute un recrutement de  $0,02 \text{ m}^2/\text{ha}/\text{an}$  et une mortalité de  $-0,04 \text{ m}^2/\text{ha}/\text{an}$  (Figure 5b). Ainsi, leur accroissement net a atteint  $0,17 \text{ m}^2/\text{ha}/\text{an}$  (Figure 5c), soit un taux d'accroissement annuel périodique de 2,1 % ou un taux d'accroissement quinquennal de 10,5 %. À l'opposé, les tiges de vigueur 4 ont cumulé un accroissement annuel moyen périodique de  $0,10 \text{ m}^2/\text{ha}/\text{an}$  dans les peuplements traités, auquel s'ajoute un recrutement de  $0,01 \text{ m}^2/\text{ha}/\text{an}$  et une mortalité de  $-0,13 \text{ m}^2/\text{ha}/\text{an}$ . Ainsi, leur contribution à l'accroissement net des peuplements a été de  $-0,02 \text{ m}^2/\text{ha}/\text{an}$ , ce qui correspond à un taux annuel périodique de décroissance de 0,5 %, soit 2,6 % sur 5 ans. Pour ce qui est des tiges des quatre autres classes de vigueur, leur contribution à l'accroissement net a aussi été très faible, soit de  $-0,02$  à  $0,03 \text{ m}^2/\text{ha}/\text{an}$ . Les tendances observées par classe de vigueur dans les peuplements témoins sont semblables à celles observées dans les peuplements traités. La région de l'Est se démarque des autres régions, notamment parce que chaque classe de vigueur (1 à 4) apporte une contribution positive à l'AAN des arbres feuillus des peuplements traités.

a) Accroissement des survivants



b) Mortalité



c) Accroissement net

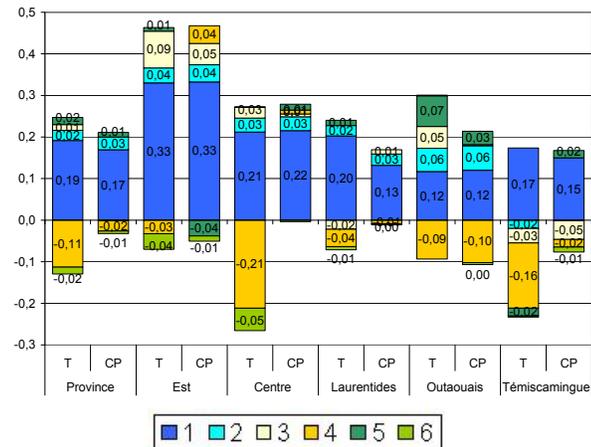


Figure 5. Accroissement annuel périodique de la surface terrière (m<sup>2</sup>/ha/an) des survivants, de la mortalité et net selon la classe de vigueur (1 à 6), le traitement (T = témoins et CP = coupe partielle) et la région. Moyennes non ajustées.

## 2.5 Accroissement diamétral des tiges

### 2.5.1 Érable à sucre

Le traitement, le domaine bioclimatique, la classe de vigueur et le dhp ont des effets significatifs sur l'accroissement annuel en dhp de l'érable à sucre et ces variables interagissent de façon complexe (Tableau 11). Cependant, les grandes tendances suivantes sont observables :

- l'accroissement des tiges des placettes traitées est significativement plus élevé que celui des tiges des placettes témoins et ce, notamment pour les plus petites tiges de toutes vigueurs et les plus grosses tiges non vigoureuses (Figure 6);
- l'accroissement des tiges vigoureuses (vigueurs 1 et 2) ou des tiges de qualité (vigueurs 1 et 3) est généralement plus élevé que celui des autres tiges, sauf celui des plus grosses tiges de vigueur 2 des placettes témoins (Figure 6);
- l'accroissement des tiges des érablières du domaine de la sapinière à bouleau jaune est généralement plus élevé que celui des tiges du domaine de l'érablière à bouleau jaune et ce, notamment pour les plus grosses tiges vigoureuses (Figure 7).

**Tableau 11. Résultats des tests statistiques du modèle d'accroissement diamétral de l'érable à sucre**

| Effets fixes                         | DI<br>(numérateur)      | DI<br>(dénominateur) | Valeur F | $p > F$   |
|--------------------------------------|-------------------------|----------------------|----------|-----------|
| Domaine bioclimatique                | 1                       | 7130                 | 4,87     | 0,0274*   |
| Traitement                           | 1                       | 7177                 | 31,91    | < 0,0001* |
| Domaine x traitement                 | 1                       | 7247                 | 3,25     | 0,0716    |
| Vigueur                              | 3                       | 7005                 | 19,15    | < 0,0001* |
| Domaine x vigueur                    | 3                       | 7004                 | 8,97     | < 0,0001* |
| Traitement x vigueur                 | 3                       | 7064                 | 2,78     | 0,0393*   |
| Domaine x traitement x vigueur       | 3                       | 7179                 | 0,16     | 0,9217    |
| Log du dhp                           | 1                       | 7024                 | 1,93     | 0,1643    |
| Log du dhp x domaine                 | 1                       | 7003                 | 7,79     | 0,0053*   |
| Log du dhp x traitement              | 1                       | 7124                 | 25,01    | < 0,0001* |
| Log du dhp x domaine x traitement    | 1                       | 7174                 | 3,86     | 0,0495*   |
| Log du dhp x vigueur                 | 3                       | 7010                 | 23,55    | < 0,0001* |
| Log du dhp x vigueur x domaine       | 3                       | 7010                 | 9,54     | < 0,0001* |
| Log du dhp x vigueur x traitement    | 3                       | 7066                 | 3,09     | 0,0261*   |
| Estimés des paramètres de covariance |                         |                      |          |           |
|                                      | $\sigma^2_{grappe}$     | 0,0431               |          |           |
|                                      | $\sigma^2_{placette}$   | 0,0319               |          |           |
|                                      | $\sigma^2_{résiduelle}$ | 0,1905               |          |           |

DI : nombre de degrés de liberté.

\* : indique une différence significative au seuil de 5 %.

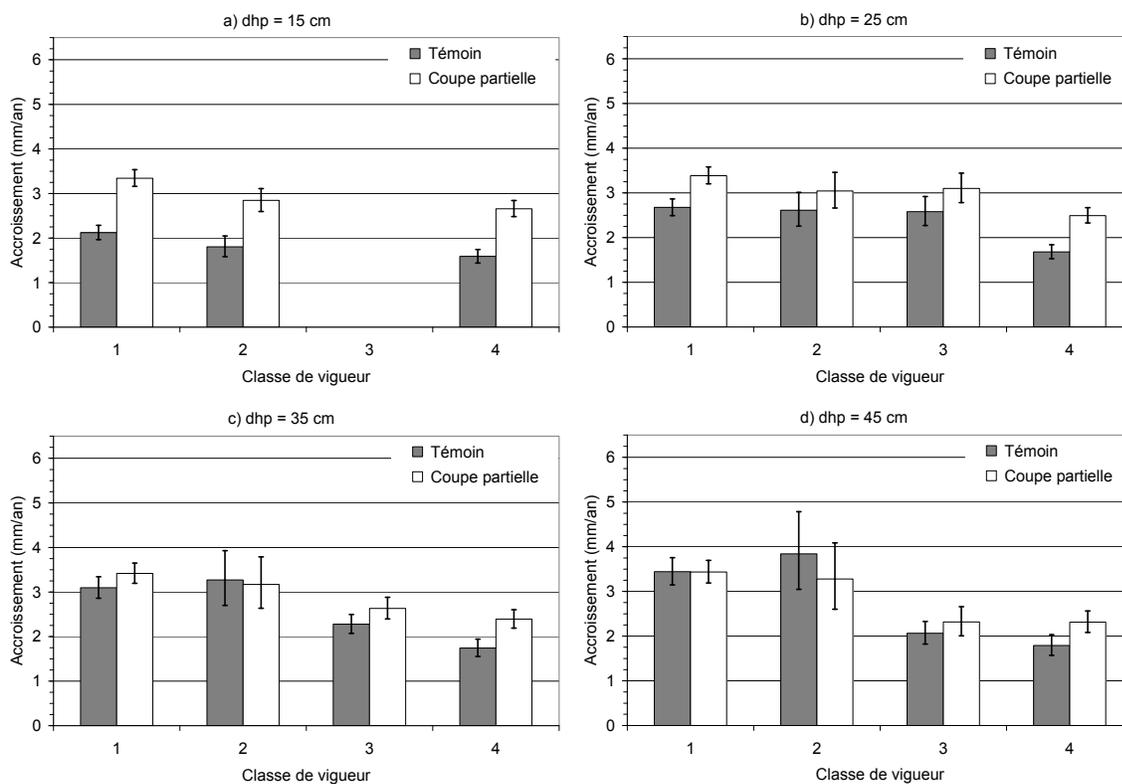


Figure 6. Accroissements annuels périodiques moyens et intervalles de confiance à 95 % du dhp de l'érable à sucre selon le traitement, la vigueur et quatre niveaux de dhp.

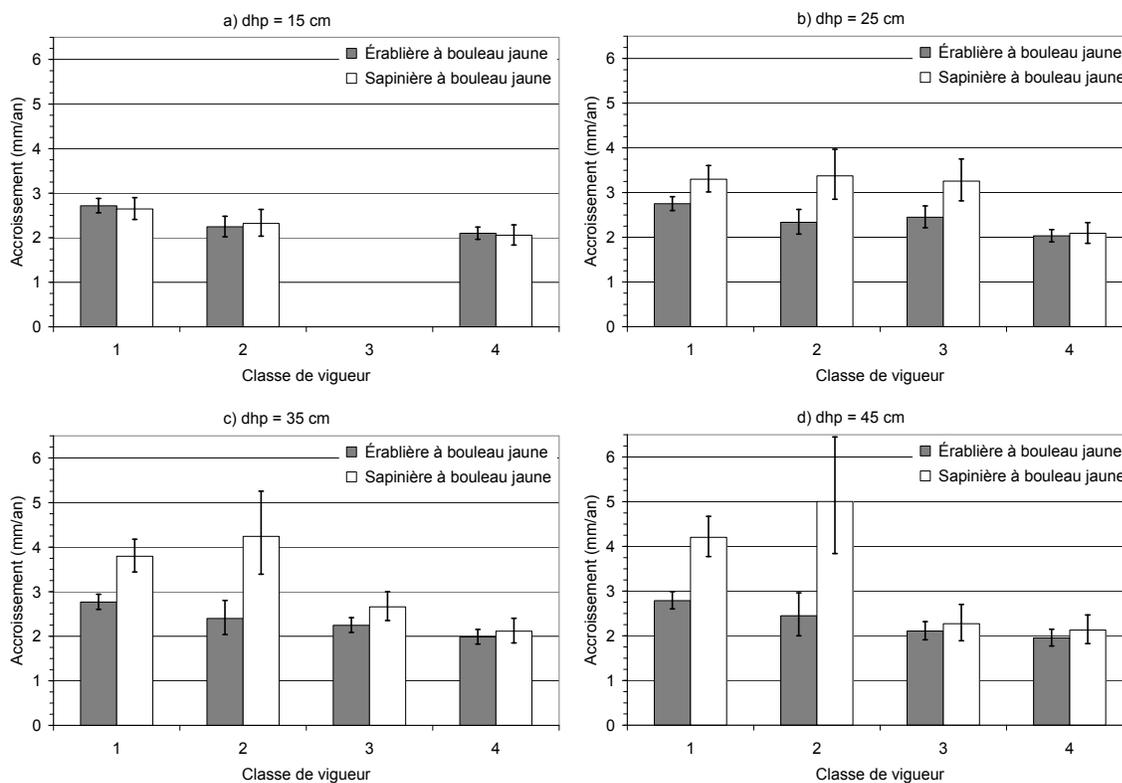


Figure 7. Accroissements annuels périodiques moyens et intervalles de confiance à 95 % du dhp de l'érable à sucre selon le domaine bioclimatique, la vigueur et le dhp.

### 2.5.2 *Bouleau jaune*

Les variables les plus significatives pour expliquer l'accroissement diamétral du bouleau jaune sont d'abord la vigueur et le traitement, relativement aux effets simples et à l'interaction, de même que l'appartenance au domaine bioclimatique (Tableau 12 et Figure 8). L'accroissement du bouleau jaune des peuplements témoins est significativement inférieur à celui des peuplements traités pour les classes de vigueur 1 et 4 ( $p < 0,0001$ ). Seules les tiges de vigueur 4 des peuplements témoins ont connu un accroissement significativement ( $p < 0,0034$ ) inférieur aux autres classes de vigueur de ces mêmes peuplements. En revanche, autant les tiges de vigueur 3 que celles de vigueur 4 ont eu un accroissement significativement inférieur aux tiges de vigueur 1 ( $p < 0,0001$ ) des peuplements traités. Pour ce qui est du domaine bioclimatique, l'accroissement moyen est significativement plus élevé dans le domaine de la sapinière à bouleau jaune (2,83 mm/an) que dans celui de l'érablière à bouleau jaune (2,30 mm/an). Le dhp n'a pas été retenu dans le modèle ( $p > 0,05$ ) pour expliquer l'accroissement en diamètre du bouleau jaune, puisque son effet n'était pas significatif.

### 2.5.3 *Hêtre à grandes feuilles*

L'accroissement en diamètre du hêtre situé en peuplement témoin est proportionnel à son dhp et il est inversement proportionnel à son dhp s'il est situé en peuplement traité (Tableau 13 et Figure 9). L'effet du traitement est seulement significatif dans les plus petites classes de dhp. La classe de vigueur a aussi un effet significatif (Figure 9b) : les tiges de classe de vigueur 1 ont un accroissement significativement supérieur à celui des tiges des classes 3 et 4 ( $p < 0,0053$ ) et les tiges de la classe 2 ont un accroissement significativement supérieur à celles de la classe 4 ( $p = 0,0375$ ). Il est important de rappeler que les analyses ont été effectuées seulement pour le domaine de l'érablière à bouleau jaune étant donné la faible présence du hêtre dans les placettes du domaine de la sapinière à bouleau jaune.

### 2.5.4 *Sapin baumier*

L'accroissement du sapin baumier est proportionnel à son diamètre (Tableau 14 et Figure 10a). Le traitement et la vigueur ont aussi des effets significatifs sur l'accroissement du sapin, mais seulement dans le domaine de la sapinière à bouleau jaune (Tableau 14 et Figure 10b,c). Les sapins situés dans les coupes partielles de cette région ont un accroissement significativement supérieur à ceux situés dans les peuplements témoins ( $p < 0,0001$ ). Il en est de même pour les sapins vigoureux par rapport aux non vigoureux de cette même région ( $p < 0,0001$ ). Il n'y a pas d'autres différences significatives.

**Tableau 12. Résultats des tests statistiques du modèle d'accroissement diamétral du bouleau jaune**

| Effets fixes                         | DI<br>(numérateur) | DI<br>(dénominateur) | Valeur F | $p > F$   |
|--------------------------------------|--------------------|----------------------|----------|-----------|
| Domaine bioclimatique                | 1                  | 306                  | 10,08    | 0,0017*   |
| Traitement                           | 1                  | 522                  | 33,72    | < 0,0001* |
| Domaine x traitement                 | 1                  | 522                  | 0,11     | 0,7458    |
| Vigueur                              | 3                  | 2432                 | 36,72    | < 0,0001* |
| Domaine x vigueur                    | 3                  | 2432                 | 2,57     | 0,0525    |
| Traitement x vigueur                 | 3                  | 2415                 | 3,65     | 0,0121*   |
| Domaine x traitement x vigueur       | 3                  | 2415                 | 0,54     | 0,6546    |
| Estimés des paramètres de covariance |                    |                      |          |           |
| $\sigma^2_{grappe}$                  | 0,0353             |                      |          |           |
| $\sigma^2_{placette}$                | 0,0176             |                      |          |           |
| $\sigma^2_{résiduelle}$              | 0,2327             |                      |          |           |

\* : indique une différence significative au seuil de 5 %.

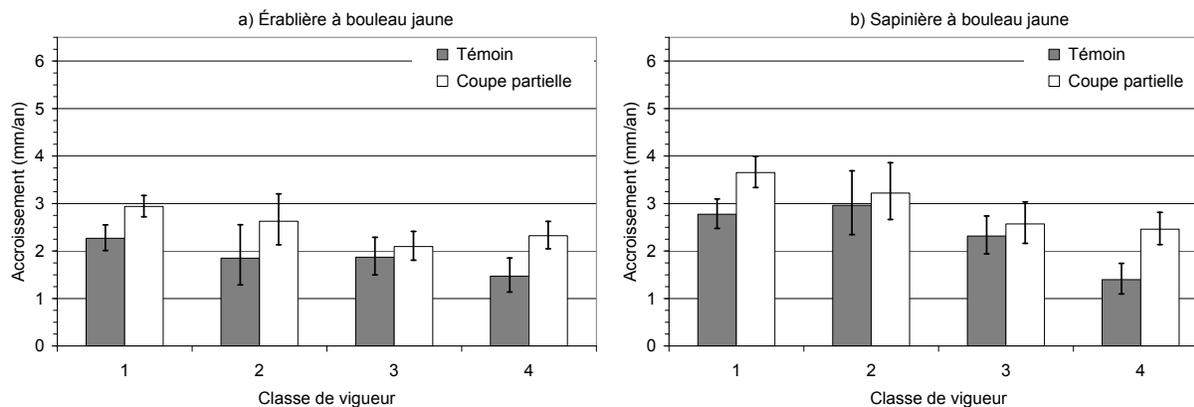


Figure 8. Accroissements annuels périodiques moyens et intervalles de confiance à 95 % du dhp du bouleau jaune selon le domaine bioclimatique, la vigueur et le traitement.

**Tableau 13. Résultats des tests statistiques du modèle d'accroissement diamétral du hêtre à grandes feuilles**

| Effets fixes                         | DI<br>(numérateur) | DI<br>(dénominateur) | Valeur<br>F | $p > F$   |
|--------------------------------------|--------------------|----------------------|-------------|-----------|
| Traitement                           | 1                  | 1244                 | 50,10       | < 0,0001* |
| Vigueur                              | 3                  | 1142                 | 10,19       | < 0,001*  |
| Traitement x vigueur                 | 3                  | 1168                 | 2,53        | 0,0559    |
| Log du dhp                           | 1                  | 1241                 | 3,18        | 0,0748    |
| Log du dhp x traitement              | 1                  | 1240                 | 39,35       | < 0,0001* |
| Estimés des paramètres de covariance |                    |                      |             |           |
| $\sigma^2_{grappe}$                  | 0,0049             |                      |             |           |
| $\sigma^2_{placette}$                | 0,0188             |                      |             |           |
| $\sigma^2_{résiduelle}$              | 0,1582             |                      |             |           |

\* : indique une différence significative au seuil de 5 %.

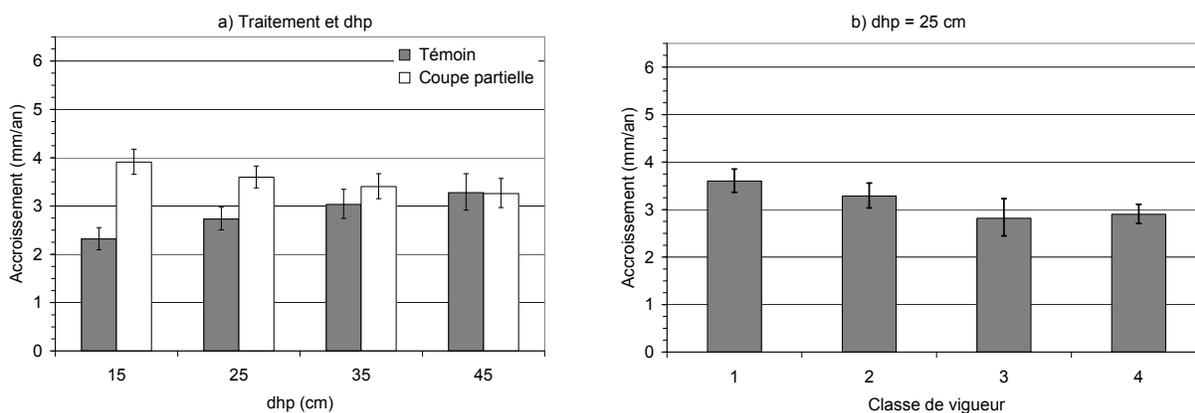


Figure 9. Accroissements annuels périodiques moyens et intervalles de confiance à 95 % du dhp du hêtre à grandes feuilles selon le dhp, le traitement et la vigueur.

**Tableau 14. Résultats des tests statistiques du modèle d'accroissement diamétral du sapin baumier**

| Effets fixes                         | DI<br>(numérateur)      | DI<br>(dénominateur) | Valeur F | $p > F$   |
|--------------------------------------|-------------------------|----------------------|----------|-----------|
| Domaine bioclimatique                | 1                       | 176                  | 0,16     | 0,6907    |
| Traitement                           | 1                       | 275                  | 20,73    | < 0,0001* |
| Domaine x traitement                 | 1                       | 265                  | 4,61     | 0,0326*   |
| Vigueur                              | 1                       | 1112                 | 27,05    | < 0,0001* |
| Domaine x vigueur                    | 1                       | 1122                 | 6,41     | 0,0115*   |
| Traitement x vigueur                 | 1                       | 1128                 | 2,88     | 0,0902    |
| Domaine x traitement x vigueur       | 1                       | 1128                 | 2,88     | 0,0902    |
| Log du dhp                           | 1                       | 1117                 | 29,62    | < 0,0001* |
| Estimés des paramètres de covariance |                         |                      |          |           |
|                                      | $\sigma^2_{grappe}$     | 0,0571               |          |           |
|                                      | $\sigma^2_{placette}$   | 0,0277               |          |           |
|                                      | $\sigma^2_{résiduelle}$ | 0,1434               |          |           |

\* : indique une différence significative au seuil de 5 %.

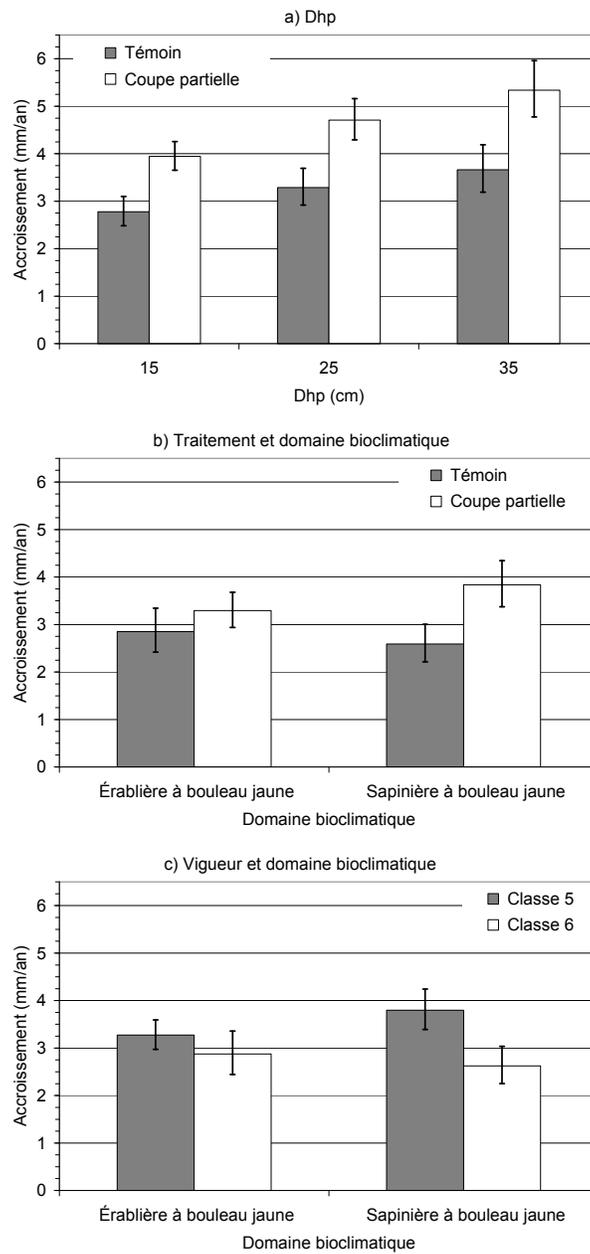


Figure 10. Accroissements annuels périodiques moyens et intervalles de confiance à 95 % du dhp du sapin baumier selon le dhp, le traitement, la vigueur et le domaine bioclimatique.

## Chapitre trois

### Discussion

#### 3.1 Coupes pratiquées

Tout d'abord, il est important de signaler que ce dispositif n'a pas été conçu de façon à évaluer si chaque peuplement ou chaque territoire d'intervention était conforme aux normes de l'époque. La dimension des parcelles (400 m<sup>2</sup>) est limitée et ne constitue qu'une infime portion de chaque territoire traité. Cependant, l'analyse à l'échelle régionale permet d'identifier les grandes tendances de l'application des coupes par les bénéficiaires de CAAF pour la période couverte par le dispositif.

Les prélèvements moyens obtenus dans ce dispositif de mesure des effets réels satisfont généralement les critères du Manuel d'aménagement forestier. En effet, l'intensité de prélèvement variait de 31 à 35 % selon la région, ce qui est conforme à l'intervalle de 25 à 35 % recommandé dans le MAF (Tableau 4). Cependant, nous avons noté une tendance à récolter plus près de la limite supérieure de l'intervalle que près du centre. Ce biais est d'autant plus important lorsque le prélèvement est exprimé en volume marchand brut. En effet, ce taux de prélèvement variait de 33 à 37 % selon la région, avec une moyenne provinciale de 35 %, tandis que le taux moyen recommandé était de 30 % (Annexe B). Néanmoins, la surface terrière résiduelle est demeurée au-dessus du seuil minimal de 16 m<sup>2</sup>/ha avec des moyennes régionales de 17,4 à 19,5 m<sup>2</sup>/ha (Tableau 4). L'examen des résultats obtenus eu égard au prélèvement selon la classe de vigueur révèle qu'une proportion relativement importante de tiges de la classe de vigueur 1 a été prélevée. En moyenne, ces tiges représentaient de 12 à 41 % de la surface terrière prélevée, selon la région et la période. Les résultats indiquent également que la proportion des tiges de la classe de vigueur 1 après la coupe n'a que légèrement augmenté, soit de 2 à 9 % selon la région

(Figure 4). Néanmoins, autant pour la période 1995-1996 que 1997-1999, l'augmentation du potentiel de qualité satisfaisait presque toujours le critère minimum de 35 % du potentiel théorique d'augmentation instauré en 1997 (Tableau 5). La seule exception notable était le Témiscamingue en 1995-1996 avec un taux de 27 %, mais ce taux est passé à 61 % en 1997-1999.

Malgré une application généralement conforme des critères du Manuel, ce type de prélèvement est difficilement acceptable d'un point de vue sylvicole puisqu'il ne permet pas d'améliorer substantiellement le peuplement. En effet, on observe que le prélèvement des tiges de la classe de vigueur 4 a été relativement faible et semblable à la proportion occupée par cette classe de tiges dans les peuplements, soit 25 % (Figure 4). En ce qui concerne les tiges de la classe de vigueur 3, bien qu'elles constituent en moyenne 44 % du prélèvement, l'intensité de leur prélèvement s'est avérée inférieure à ce qu'on aurait pu s'attendre en raison de leur contenu en bois d'oeuvre et de leur probabilité de mortalité plus élevée (BÉDARD *et al.* 2004, FORTIN *et al.* 2008b). Une coupe partielle qui comprend un aspect d'amélioration favorise la croissance des meilleurs individus et minimise les pertes causées par la mortalité. Un traitement qui aurait mis l'accent sur la récolte des tiges les moins vigoureuses aurait réduit davantage la quantité de ces tiges dans le peuplement résiduel. On se retrouve actuellement avec des proportions moyennes de tiges non vigoureuses variant de 31 à 54 % après traitement (moyenne provinciale de 48 %, Figure 4). Un prélèvement plus judicieux et un meilleur contrôle des blessures infligées aux arbres auraient possiblement permis de réduire cette proportion moyenne à moins de 40 %. La proportion moyenne de la surface terrière résiduelle des arbres non vigoureux des dispositifs expérimentaux de la DRF était de 29 % (données non publiées) après la coupe de jardinage. Cet état a été atteint par une récolte prioritaire des arbres non vigoureux et possiblement par un meilleur choix des peuplements à jardiner. En effet, LEAK *et al.* (1987) recommandent de pratiquer la coupe de jardinage dans les peuplements qui comprennent au moins 9 m<sup>2</sup>/ha de CFC. Or, les faibles niveaux moyens de CFC observés avant la coupe dans certaines régions indiquent qu'une partie des peuplements traités ne répondait probablement pas à ce critère (Tableau 3).

### **3.2 Accroissement et mortalité dans les peuplements**

L'analyse de l'accroissement annuel périodique de l'ensemble de la province a démontré des résultats légèrement supérieurs à ceux obtenus précédemment pour les périodes 1995-1996 (BÉDARD et BRASSARD 2002) et 1995-1998 (BÉDARD *et al.* 2004). En effet, l'accroissement net pour la période 1995-1999 a été de 0,17 m<sup>2</sup>/ha/an dans les érablières traitées (Tableau 10). BÉDARD et BRASSARD (2002) avaient rapporté des valeurs de 0,11 et 0,12 m<sup>2</sup>/ha/an pour les années 1995-1996 et 1996-1997, respectivement. Cependant, ces valeurs étaient applicables non seulement aux érablières, mais aussi à des bétulaies jaunes (Bj) et des bétulaies jaunes résineuses (BjR). Le rapport de la période 1995-1996 à

1998-1999 (BÉDARD *et al.* 2004) présentait des valeurs de 0,19, 0,18 et 0,02 m<sup>2</sup>/ha/an pour l'érablière, l'érablière à bouleau jaune et l'érablière à feuillus tolérants, respectivement. La moyenne pondérée de ces trois strates d'érablières était de 0,14 m<sup>2</sup>/ha/an. Ces résultats indiquent que l'accroissement net était à son plus bas au début de la période quinquennale d'établissement des placettes puisqu'il s'est amélioré progressivement. Cette situation serait causée par la répartition annuelle de l'échantillonnage entre les régions. En effet, d'un côté la proportion des grappes des deux régions d'où proviennent les meilleurs accroissements, soit l'Est et le Centre, est passée de 6 % en 1995 à près de 35 % au cours des années 1997 à 1999 (Tableau 1). De l'autre côté, le poids relatif des deux régions dont les accroissements sont les plus faibles, soit l'Outaouais et le Témiscamingue, a diminué progressivement au cours de la période à l'étude. Il est passé de 71 à 38 % de 1995 à 1999. Il est aussi possible que cette variation interannuelle soit en partie attribuable à un épisode d'extrêmes climatiques. OUMET *et al.* (2008) ont rapporté qu'un épisode d'extrêmes climatiques survenu en 1995-1996 avait ralenti l'accroissement d'une érablière située sur un site pauvre de Duchesnay de Portneuf. Cependant, nous ne sommes pas en mesure d'extrapoler cette situation aux autres régions pour la même période.

Malgré cette légère amélioration des érablières, l'accroissement net provincial est environ la moitié de ce qui a été observé dans les dispositifs de recherche de la DRF (BÉDARD *et al.* 2004), ce qui est encore trop faible pour espérer satisfaire les objectifs de retours prévus au Manuel d'aménagement forestiers (reconstitution de la surface terrière initiale en  $20 \pm 5$  ans) si ces accroissements se maintiennent. Or, il est peu probable que ces niveaux d'accroissement changent beaucoup au cours des prochaines périodes quinquennales. D'un côté, si l'on s'appuie sur les résultats obtenus dans les dispositifs expérimentaux pour une plus longue période, l'accroissement annuel net augmente généralement un peu durant la deuxième période quinquennale, puis redevient semblable par la suite (BÉDARD et MAJGEN 2004). Ce gain de la seconde période quinquennale est surtout attribuable à une augmentation de l'accroissement des tiges survivantes, majoritairement des tiges vigoureuses, conséquence de l'effet de l'éclaircie. De l'autre côté, il est difficile d'anticiper un scénario semblable avec les effets réels puisque la proportion des tiges non vigoureuses laissée sur pied après la coupe est plus importante que celle observée dans les placettes expérimentales.

La forte mortalité observée dans les coupes partielles des effets réels (0,28 m<sup>2</sup>/ha/an, Tableau 10) est principalement responsable de ce constat concernant le faible niveau de l'accroissement net. Les peuplements résiduels comprennent de fortes proportions d'arbres non vigoureux, et particulièrement d'arbres de la classe de vigueur 4 (Figure 4). Ces groupes d'arbres ont un accroissement généralement plus faible (BÉDARD *et al.* 2004, FORTIN *et al.* 2008a), des probabilités de mortalité bien plus fortes (BÉDARD *et al.* 2004, FORTIN *et al.* 2008b, GUILLEMETTE *et al.* 2008) et contribuent surtout à réduire l'accroissement net des peuplements plutôt qu'à l'augmenter (Figure 5c).

Cependant, les dernières analyses effectuées sur la période quinquennale complète ont permis d'identifier des différences régionales significatives (Tableaux 8 à 10). Ces différences sont observables selon un gradient d'ouest en est, lequel est semblable à celui des conditions climatiques (température et précipitations). Les régions de l'ouest sont plus chaudes et sèches que celles situées vers l'est. La mortalité est plus élevée et les accroissements des survivants, bruts et nets sont plus faibles dans l'ouest que vers l'est. Des taux de mortalité plus élevés pour les arbres des érablières situées sur les sites les plus chauds du Québec ont aussi été rapportés dans les dispositifs de la DRF (GUILLEMETTE *et al.* 2008, FORTIN *et al.* sous presse).

### 3.2.1 Région de l'Est

D'après les conditions mesurées dans l'est, il serait possible d'envisager un retour de la coupe de jardinage après  $20 \pm 5$  ans si l'accroissement net observé au cours de la première période quinquennale se maintient sur toute la rotation. En effet, les résultats indiquent des accroissements élevés pour les tiges survivantes (0,50-0,52 m<sup>2</sup>/ha/an, Tableau 10) et pour le brut (0,55-0,56 m<sup>2</sup>/ha/an), une mortalité acceptable (0,14-0,15 m<sup>2</sup>/ha/an) et un accroissement net élevé (0,39-0,42 m<sup>2</sup>/ha/an) autant dans les peuplements témoins que dans les peuplements traités. À ce rythme, on peut espérer reconstituer plus de 8 m<sup>2</sup>/ha de surface terrière en une vingtaine d'années. Les résultats de la première période quinquennale des trois placettes expérimentales (0,5 ha chacune) de la DRF dans la région de l'Est ont aussi montré des accroissements nets élevés dans la coupe de jardinage (0,40 m<sup>2</sup>/ha/an) et les peuplements témoins (0,45 m<sup>2</sup>/ha/an) de cette région (d'après BÉDARD *et al.* 2004).

L'accroissement net élevé, observé autant dans les témoins que dans les traités, amène à penser que ce succès serait en grande partie le fruit des caractéristiques initiales des peuplements et de leur environnement plutôt que de la seule qualité du traitement. En effet, les peuplements étudiés dans la région de l'Est se distinguent des autres par une abondance de tiges de petit et de moyen dhp, une abondance de tiges vigoureuses, peu de grosses tiges et peu de tiges non vigoureuses (Tableau 3 et Figure 3). Or, de telles tiges ont normalement de plus faibles probabilités de mortalité (FORTIN *et al.* 2008b) et de plus forts accroissements (FORTIN *et al.* 2008a). De plus, les peuplements sont localisés dans une région au climat plus frais et plus humide : température et précipitation annuelles moyennes d'environ 2 °C et 1100 mm, respectivement<sup>6</sup>. Néanmoins, le prélèvement effectué dans cette région aurait aussi été plus favorable à l'accroissement que celui des autres régions. En effet, c'est la seule région où la proportion de la surface terrière de tiges de vigueur 4 a été réduite par la coupe (de 19 à

---

<sup>6</sup> Variables climatiques annuelles moyennes (30 ans) estimées selon BioSIM (RÉGNIERE et ST-AMANT 2008) pour les aires à l'étude.

16 %) et où la proportion de tiges de vigueur 1 est élevée (60 %, Figure 4). De plus, la proportion de perches blessées était l'une des plus faibles (7 %, tableau 7). Ces caractéristiques nous permettent d'anticiper un accroissement net élevé au cours des prochaines années. Toutefois, l'accroissement net des prochaines périodes quinquennales des peuplements témoins sera probablement plus faible puisque la proportion de tiges non vigoureuses est plus élevée. De plus, la densité est déjà très élevée pour des érablières (32,8 m<sup>2</sup>/ha, Tableau 4), ce qui devrait prochainement stimuler la mortalité.

Il ne faudrait pas extrapoler les résultats obtenus aux érablières à hêtre de cette région car le hêtre ne constituait que 4 % de la surface terrière des territoires étudiés (Tableau 2). Or, depuis le début de la décennie 2000 la maladie corticale du hêtre est la cause de la mortalité élevée rapportée pour cette essence dans ces peuplements. L'accroissement net des érablières à hêtre est donc enclin à être bien inférieur aux résultats présentés.

### 3.2.2 Région du Centre

Il serait possible d'envisager un retour de la coupe de jardinage après 20 à 25 ans des territoires étudiés de la région du Centre si l'accroissement net observé au cours de la première période quinquennale se maintient sur toute la rotation. En effet, les résultats observés après coupe indiquent que les accroissements des tiges survivantes (0,44 m<sup>2</sup>/ha/an, Tableau 10) sont bons et ceux du brut élevés (0,48 m<sup>2</sup>/ha/an), que la mortalité atteint un niveau acceptable (0,21 m<sup>2</sup>/ha/an) et que l'accroissement net est bon (0,28 m<sup>2</sup>/ha/an). À ce rythme, on peut espérer reconstituer de 5 à 7 m<sup>2</sup>/ha de surface terrière en 20 à 25 ans et porter celle-ci à 24-26 m<sup>2</sup>/ha avant la prochaine coupe. Ces coupes partielles ont significativement stimulé l'accroissement net des peuplements de cette région (0,28 m<sup>2</sup>/ha/an, Tableau 8) en comparaison des peuplements témoins (0,01 m<sup>2</sup>/ha/an). Ces résultats d'accroissement net sont comparables à ceux de la première période quinquennale de douze placettes expérimentales de la DRF de la région du Centre (dont neuf situées à Duchesnay). En effet, les accroissements nets de la coupe de jardinage étaient de 0,36 m<sup>2</sup>/ha/an et ceux des peuplements témoins de 0,02 m<sup>2</sup>/ha/an (d'après BÉDARD *et al.* 2004).

Un taux de mortalité plus faible et un accroissement net plus élevé sont des effets normalement rapportés pour des coupes partielles de surfaces terrières comme celles de la présente étude (ERDMANN et OBERG 1973, MAJČEN *et al.* 2005). Sous les conditions climatiques relativement fraîches et humides (2-3 °C et 1000-1200 mm/an) des territoires de cette région, les taux de mortalité des tiges, même celles non vigoureuses, peuvent demeurer relativement bas (FORTIN *et al.* sous presse). L'épaisseur des dépôts de surface contribuerait aussi positivement à l'accroissement net, puisque les territoires de cette région ont le plus de dépôts épais (31 % des territoires ont un dépôt > 1 m selon la cartographie). Il en est

résulté un bon niveau d'accroissement net même si les peuplements ont été peu améliorés (Figure 4). Aussi, la proportion de perches blessées était l'une des plus faibles (8 %, Tableau 7).

Il est toutefois difficile d'anticiper le maintien du même rythme de l'accroissement net au cours des prochaines périodes quinquennales dans cette région. Le fait d'avoir maintenu une grande proportion (44 %) de la surface terrière en tiges non vigoureuses, et particulièrement en tiges de la classe de vigueur 4 (24 %), présente des risques à plus long terme en matière d'accroissement net et de qualité des produits ligneux disponibles (Figure 4). Il faut aussi se rappeler que la région Centre rassemble cinq unités de gestion passablement dispersées et de conditions différentes allant des Appalaches au Bouclier canadien. Il faut donc s'attendre à une forte variabilité des résultats s'ils sont répartis par unité de gestion. Il est donc difficile de poser une hypothèse eu égard au rendement à venir de ces territoires.

### 3.2.3 Laurentides

Selon les conditions mesurées dans la région des Laurentides, il serait difficile d'envisager un retour de la coupe de jardinage à l'intérieur de 25 ans si l'accroissement net observé au cours de la première période quinquennale se maintient sur toute la rotation. En effet, les résultats observés après coupe (Tableau 10) indiquent que les accroissements des tiges survivantes (0,40 m<sup>2</sup>/ha/an) et du brut (0,43 m<sup>2</sup>/ha/an) sont bons, que la mortalité atteint un niveau élevé (0,27 m<sup>2</sup>/ha/an) et que l'accroissement net est faible (0,16 m<sup>2</sup>/ha/an). À ce rythme, on ne peut espérer reconstituer qu'environ 4 m<sup>2</sup>/ha de surface terrière en 25 ans et y élever sa moyenne à 22,7 m<sup>2</sup>/ha. Ces résultats sont nettement inférieurs à ceux de la première période quinquennale des quatorze placettes expérimentales de la DRF situées dans cette région (dont onze situées à Sainte-Véronique). En effet, ces derniers ont montré des accroissements nets deux fois plus élevés dans la coupe de jardinage (0,31 m<sup>2</sup>/ha/an, d'après BÉDARD *et al.* 2004) que dans les coupes partielles des effets réels. Cette différence d'accroissement net est uniquement attribuable à un meilleur contrôle de la mortalité (0,12 m<sup>2</sup>/ha/an au lieu de 0,27 m<sup>2</sup>/ha/an), lequel est fort probablement la conséquence d'un choix plus judicieux des tiges à prélever lors des coupes de jardinage. En effet, la surface terrière résiduelle des tiges de vigueur 1 y était près de 3 m<sup>2</sup>/ha plus élevée que sur les territoires d'effets réels, d'une surface terrière totale équivalente. Les accroissements des survivants et bruts étaient les mêmes, indiquant que la qualité des stations était probablement semblable pour les deux dispositifs.

Le traitement n'a pas eu d'effet significatif sur la mortalité et l'accroissement net dans cette région (Tableaux 8 et 9). Pourtant, les variables climatiques annuelles moyennes (2,4 °C et 1020 mm) sont comparables à celles de la région du Centre, ce qui devrait atténuer la mortalité. Cependant, l'amélioration des peuplements par la coupe est à peine perceptible selon les classes de vigueur et la proportion de la surface terrière de tiges non vigoureuses est très élevée (54 %, Figure 4). La proportion

de perches blessées est aussi très élevée (18 %, Tableau 7) et de telles tiges ont une probabilité de mortalité plus élevée (GUILLEMETTE *et al.* 2008).

#### 3.2.4 Outaouais

L'accroissement net des érablières traitées et mesurées en Outaouais est pratiquement nul (Tableau 10), ce qui est loin d'atteindre les objectifs fixés au MAF. En effet, les résultats observés après coupe indiquent que les accroissements des tiges survivantes (0,37 m<sup>2</sup>/ha/an, Tableau 10) et du brut (0,43 m<sup>2</sup>/ha/an) sont bons, mais que la mortalité atteint un niveau très élevé (0,37 m<sup>2</sup>/ha/an), ce qui donne un accroissement net presque nul (0,07 m<sup>2</sup>/ha/an) et égal au recrutement. L'accroissement net est même supérieur dans les peuplements témoins (0,21 m<sup>2</sup>/ha/an) en raison de la mortalité (0,24 m<sup>2</sup>/ha/an) moindre. Les résultats de la première période quinquennale de huit placettes expérimentales de la DRF dans le sud de l'Outaouais ont montré de meilleurs accroissements nets dans la coupe de jardinage (0,19 m<sup>2</sup>/ha/an) (d'après BÉDARD *et al.* 2004). L'accroissement des survivants (0,36 m<sup>2</sup>/ha/an) et du brut (0,40 m<sup>2</sup>/ha/an) y étaient même inférieurs à ceux de la moyenne régionale des effets réels, laquelle comprend aussi des territoires situés beaucoup plus au nord (exemple : unité de gestion 74 située au nord de Maniwaki). Encore une fois, cette différence d'accroissement net est attribuable à un meilleur contrôle de la mortalité, lequel est fort probablement la conséquence d'un choix plus judicieux des tiges à prélever lors des coupes de jardinage.

Ces coupes partielles des effets réels n'ont pas permis de réduire substantiellement la proportion élevée de la surface terrière de tiges non vigoureuses (de 60 à 54 %), et celle des tiges de la classe de vigueur 4 a même augmenté (de 31 à 34 %, Figure 4). Ce sont les tiges les plus sujettes à mourir. Une proportion élevée (13,5 %, Tableau 7) des perches ont été blessées par les coupes, ce qui contribue aussi à augmenter la mortalité. Aussi, la proportion initiale de tiges composant le CFC était faible (31 %, 8,6 m<sup>2</sup>/ha, Tableau 3), indiquant que probablement le seuil minimal de CFC recommandé par LEAK *et al.* (1987) pour la pratique de la coupe de jardinage ( $\geq 9$  m<sup>2</sup>/ha pour 23 m<sup>2</sup>/ha, soit 40 %) n'était pas respecté dans bien des territoires et que de longues séries de coupes d'amélioration seraient nécessaires pour améliorer le CFC et l'accroissement net. Les conditions climatiques en Outaouais sont aussi parmi les plus sèches (précipitations = 920 mm/an) des territoires étudiés et, dans le sud de l'Outaouais, parmi les plus chaudes (moyenne annuelle jusqu'à 3,3 °C). Ce qui contribuerait à augmenter les taux de mortalité des tiges.

### 3.2.5 Témiscamingue

Selon les conditions mesurées au Témiscamingue, l'accroissement net est pratiquement nul, autant dans les peuplements traités que témoins (Tableau 10), ce qui compromet grandement l'atteinte des objectifs fixés au MAF. De plus, les accroissements des peuplements traités ne diffèrent pas significativement entre les deux périodes de mesures (1995-1996 et 1997-1999) selon l'évolution des normes d'intervention; elles sont donc regroupées. Les résultats observés après coupe indiquent que les accroissements des tiges survivantes (0,33 m<sup>2</sup>/ha/an, Tableau 10) et du brut (0,39 m<sup>2</sup>/ha/an) sont relativement faibles, que la mortalité atteint un niveau élevé (0,30 m<sup>2</sup>/ha/an) et que l'accroissement net est presque nul (0,09 m<sup>2</sup>/ha/an). L'accroissement net des témoins est même négatif (-0,12 m<sup>2</sup>/ha/an), ce qui donne des résultats comparables à ceux rapportés en volume par SAUCIER (2006) pour les érablières de ces unités d'aménagement forestiers (081-51 et 081-52) à partir des 68 placettes permanentes de la Direction des inventaires forestiers (DIF). En effet, les accroissements des survivants, la mortalité et l'accroissement net des témoins des effets réels étaient de 3,36, 4,58 et de -1,08 m<sup>3</sup>/ha/an, respectivement, comparativement à 2,89, 4,56 et de -1,26 m<sup>3</sup>/ha/an, respectivement, à la dernière période de mesure décennale de la DIF (Annexe B et SAUCIER 2006). Cette situation s'est sans doute peu améliorée au cours des dernières années, autant pour les peuplements témoins que traités, notamment à cause de la tempête de vent qu'a subi cette région en juillet 2006. Pour ce qui est des résultats de la DRF dans cette région, elle ne dispose que d'une seule placette expérimentale de coupe de jardinage et autant l'accroissement des survivants (0,49 m<sup>2</sup>/ha/an) que l'accroissement net (0,56 m<sup>2</sup>/ha/an le premier 5 ans) y sont élevés (BÉDARD *et al.* 2004). C'est une érablière à bouleau jaune typique (MAJGEN *et al.* 1984) située sur une pente douce, ce qui laisse croire qu'il s'agirait d'un site riche pourvu d'un drainage modéré. Comme peu d'informations sont disponibles, il est difficile de comparer les résultats d'effets réels avec ceux de dispositifs expérimentaux.

La mortalité des coupes partielles du Témiscamingue est élevée et l'accroissement net très faible, même si la composition des peuplements résiduels, selon les proportions de surface terrière par classe de vigueur, était comparable à celle des peuplements du Centre et supérieure à celle des peuplements des Laurentides et de l'Outaouais (Figure 4). Les peuplements ont été très peu améliorés par la coupe et le taux de blessure des perches était élevé (13,4 %, Tableau 7). Les conditions climatiques parmi les plus chaudes et sèches (3,1 °C et 950 mm/an) de l'étude peuvent expliquer une partie de la mortalité observée. Le prélèvement n'a pas permis d'améliorer de façon notable la composition des peuplements selon les classes de vigueur (Figure 4). Selon la cartographie, les grappes de placettes étudiées sont davantage situées sur des dépôts minces (< 50 cm, 41 % des grappes) et sur moins de dépôts épais (> 1 m, 6 % des grappes) que celles étudiées des autres régions, ce qui contribuerait à réduire l'accroissement net moyen. On y retrouve aussi plus fréquemment des essences associées aux stations

à sol mince ou à drainage plus rapide, comme le chêne rouge, les pins, l'ostryer et la pruche, que dans les régions situées plus à l'est que l'Outaouais (Tableau 2).

### **3.3 Accroissement diamétral des tiges**

De façon générale, l'accroissement diamétral des tiges des quatre essences étudiées varie selon le traitement, la classe de vigueur, le dhp et le domaine bioclimatique (Tableaux 11 à 14, Figures 6 à 10). Une des grandes tendances est que la coupe partielle a eu un effet positif sur l'accroissement diamétral, surtout pour les tiges de plus petit dhp (érable à sucre et hêtre) et certaines classes de vigueur (effet variable). L'augmentation de l'accroissement diamétral des arbres survivants après coupe partielle est un effet courant et bien répertorié au Québec (MAJGEN *et al.* 2005, FORGET *et al.* 2007, FORTIN *et al.* 2008a). De façon générale les tiges vigoureuses ou de qualité présentent des taux d'accroissement supérieurs aux tiges de moins belle venue, comme l'ont rapportés aussi BÉDARD *et al.* (2004) et FORTIN *et al.* (2008a). Aussi, l'accroissement en diamètre est généralement supérieur dans les érablières du domaine bioclimatique de la sapinière à bouleau jaune comparativement à celles de l'érablière à bouleau jaune. Cet effet serait attribuable à des conditions climatiques plus fraîches et humides, lesquelles réduiraient les stress hydriques que subissent les arbres en saison de croissance. Cependant, les arbres atteignent généralement une hauteur plus élevée dans les domaines bioclimatiques situés plus au sud et, par conséquent, l'accroissement en volume peut y être supérieur même si l'accroissement en diamètre y est inférieur aux domaines situés plus au nord.



## Conclusion

Le dispositif de mesure des effets réels des coupes partielles dites « de jardinage » a été mis en place afin de vérifier si les hypothèses énoncées dans le MAF sont confirmées par les traitements effectués sur forêt publique et si les volumes attribués pouvaient être prélevés à perpétuité. L'analyse des résultats de l'ensemble du dispositif, soit cinq années d'établissement de placettes, permet maintenant d'évaluer à une échelle plus régionale l'atteinte des objectifs du MAF.

En se basant sur les accroissements nets mesurés dans ce dispositif pour la première période quinquennale après la coupe, la période de rotation des territoires, où les coupes partielles de 1995 à 1999 ont été effectuées, sera généralement plus longue que celle prévue dans le MAF, sauf pour la région de l'Est et peut-être celle du Centre de la province. Les régions visées par cette augmentation de la période de rotation sont surtout caractérisées par l'importance de la mortalité annuelle des peuplements qui ont fait l'objet d'une telle coupe partielle. Ce traitement a laissé sur pied un capital forestier pour lequel les tiges non vigoureuses se retrouvent en très forte proportion. Cet état résulterait de deux causes importantes : la forte abondance initiale d'arbres non vigoureux dans certains territoires et un effort insuffisant d'amélioration des peuplements. L'effet de maintenir sur pied des tiges non vigoureuses sur la mortalité semble aussi plus important dans les régions situées à l'ouest de la province, qu'à l'est. Ces régions sont caractérisées par un climat plus chaud et plus sec, de même que davantage de sols plus minces.

Étant donné l'importance des tiges non vigoureuses dans les peuplements résiduels, il est fort probable que l'accroissement net demeure inférieur à celui des dispositifs expérimentaux au cours des prochaines années. Les résultats obtenus pour ces derniers, bien que partiels, semblent indiquer que les hypothèses de rotation de 15 à 25 ans, prévues dans le MAF à la suite d'une coupe de jardinage, demeurent valables en ce qui concerne les érablières.

Les résultats expérimentaux et ceux obtenus dans ce rapport, à propos de l'accroissement et de la mortalité selon la classe de vigueur, montrent l'importance d'assurer un prélèvement qui accorde la priorité aux tiges à très haut risque de mortalité lors de la pratique de coupes partielles en forêt de feuillus. Cette pratique favorise la croissance des meilleures tiges et diminue les pertes engendrées par la mortalité, surtout celles attribuables aux tiges non vigoureuses. En conséquence, l'ajustement des pratiques est nécessaire si l'on veut assurer un aménagement durable de cette ressource, tout en garantissant un approvisionnement en bois de qualité à long terme.

Il est important de rappeler que ces résultats sont basés sur seulement les cinq premières années après la coupe et que les résultats de 10 ans préciseront les tendances à plus long terme.

## Références bibliographiques

ARBOGAST, C. Jr., 1957. *Marking guides for northern hardwoods under the selection system*. USDA For. Serv., Lake States For. Exp. Stn., Stn. Pap. No. 56. 21 p.

BÉDARD, S. et F. BRASSARD, 2002. *Les effets réels des coupes de jardinage dans les forêts publiques du Québec de 1995 à 1997*. Ministère des Ressources naturelles, Direction de la planification et des communications. 15 p.

BÉDARD, S. et Z. MAJCEN, 2004. *Résultats de 15 ans des coupes de jardinage dans les forêts feuillues du Québec méridional*. Forum de transfert sur la recherche en aménagement et en environnement forestier. Action concertée fonds nature et technologies - Fonds forestier, programme de recherche stratégique en aménagement et environnement forestiers. Sainte-Foy, le 6 avril 2004. p. 177-183.

BÉDARD, S., S. MEUNIER, L. BLAIS et Z. MAJCEN, 2004. *Les effets réels des coupes de jardinage dans les forêts publiques du Québec de 1995 à 1998*. Gouvernement du Québec, ministère des Ressources naturelles, Direction de la recherche forestière. Rapport interne n° 483. 50 p.

CALAMA, R. et G. MONTERO, 2005. *Multilevel linear mixed model for tree diameter increment in stone pine (Pinus pinea): a calibrating approach*. *Silva Fennica* 39(1) : 37–54.

ERDMANN, G.G. et R.R. OBERG, 1973. *Fifteen-year results from six cutting methods in second-growth northern hardwoods*. North Cent. Exp. Stn., Res. Pap. NC-100. St. Paul, Minnesota. 12 p.

FLEWELLING, J. et L.V. PIENAAR, 1981. *Multiplicative regression with lognormal errors*. *Forest Science* 27(2) : 281-289.

- FORGET, E., P. NOLET, F. DOYON, S. DELAGRANGE et Y. JARDON, 2007. *Ten-year response of northern hardwood stands to commercial selection cutting in southern Quebec, Canada*. *Forest Ecology and Management* 242 : 764–775.
- FORTIN, M., S. BÉDARD, J. DEBLOIS et S. MEUNIER, 2008a. *Accounting for error correlations in diameter increment modelling: a case study applied to northern hardwood stands in Quebec, Canada*. *Can. J. For. Res.* 38 : 2274–2286.
- FORTIN, M., S. BÉDARD, J. DEBLOIS et S. MEUNIER, 2008b. *Predicting individual tree mortality in northern hardwood stands under uneven-aged management in southern Québec, Canada*. *Ann. For. Sci.* 65(2) : 205.
- FORTIN, M., S. BÉDARD et J. DEBLOIS, sous presse. *SaMARE : un modèle par tiges individuelles destiné à la prévision de la croissance des érablières inéquiennes du Québec méridional*. Gouvernement du Québec, ministère des Ressources naturelles, Direction de la recherche forestière. Mémoire de recherche.
- GUILLEMETTE, F., S. BÉDARD et M. FORTIN, 2008. *Evaluation of a tree classification system in relation to mortality risk in Québec northern hardwoods*. *The Forestry Chronicle* 84 : 886-899.
- HALLIKAINEN, V., M. HYPÖNEN, J. HYVÖNEN et J. NIEMELÄ, 2007. *Establishment and height development of harvested and naturally regenerated Scots pine near the timberline in North-East Finnish Lapland*. *Silva Fennica* 41(1) : 71–88.
- HARDY, R. et N. SÉGUIN, 1984. *Forêt et société en Mauricie : la formation de la région de Trois-Rivières*. Boréal Express, Montréal. 222 p.
- HSU, J.C., 1996. *Multiple comparisons: theory and methods*. Chapman and Hall, London, UK. 277 p.
- LAMBERT, D., 1992. *Zero-inflated Poisson regression, with an application to defects in manufacturing*. *Technometrics* 34(1) : 1-14.
- LEAK, W.B., D.S. SOLOMON et P.S. DEBALD, 1987. *Silvicultural guide for northern hardwood types in the northeast (revised)*. USDA For. Serv., Northeast. For. Exp. Stn., Res. Pap. NE-603. 36 p.

- MAJCEN, Z., 1995. *Historique des coupes de jardinage dans les forêts inéquiennes au Québec*. Géographes 6 : 63-71.
- MAJCEN, Z., S. BÉDARD et S. MEUNIER, 2005. *Accroissement et mortalité quinze ans après la coupe de jardinage dans quatorze érablières du Québec méridional*. Gouvernement du Québec, ministère des Ressources naturelles, Direction de la recherche forestière. Mémoire de recherche n° 148. 39 p.
- MAJCEN, Z., Y. RICHARD et M. MÉNARD, 1984. *Écologie et dendrométrie dans le sud-ouest du Québec. Étude de douze secteurs forestiers*. Gouvernement du Québec, ministère de l'Énergie et des Ressources (Forêts), Service de la recherche. Mémoire de recherche n° 85. 333 p.
- MAJCEN, Z., Y. RICHARD, M. MÉNARD et Y. GRENIER, 1990. *Choix des tiges à marquer pour le jardinage d'érablières inéquiennes. Guide technique*. Gouvernement du Québec, ministère de l'Énergie et des Ressources (Forêts), Direction de la recherche et du développement, Service de la recherche appliquée. Mémoire n° 96. 96 p.
- MINISTÈRE DES RESSOURCES NATURELLES, 1994. *Aménager pour mieux protéger les forêts : une stratégie*. Gouvernement du Québec, ministère des Ressources naturelles, Direction des programmes forestiers. 197 p.
- MINISTÈRE DES RESSOURCES NATURELLES, 1995. *Instructions relatives à l'application du règlement sur la valeur des traitements sylvicoles admissibles en paiement des droits. (Édition révisée) Exercice 1995-1996*. Gouvernement du Québec, ministère des Ressources naturelles, Direction de l'assistance technique. 175 p.
- MINISTÈRE DES RESSOURCES NATURELLES, 1996. *Instructions relatives à l'application du règlement sur la valeur des traitements sylvicoles admissibles en paiement des droits. Exercice 1996-1997*. Gouvernement du Québec, ministère des Ressources naturelles, Direction de l'assistance technique. 74 p.
- MINISTÈRE DES RESSOURCES NATURELLES, 1997. *Instructions relatives à l'application du règlement sur la valeur des traitements sylvicoles admissibles en paiement des droits. Exercice 1997-1998*. Gouvernement du Québec, ministère des Ressources naturelles, Direction des services administratifs et techniques. 74 p.

- MINISTÈRE DES RESSOURCES NATURELLES, 1998a. *Instructions relatives à l'application du règlement sur la valeur des traitements sylvicoles admissibles en paiement des droits. Exercice 1997-1998.* Gouvernement du Québec, ministère des Ressources naturelles, Direction de l'assistance technique. 62 p.
- MINISTÈRE DES RESSOURCES NATURELLES, 1998b. *Manuel d'aménagement forestier, 3<sup>e</sup> édition, Québec.* Gouvernement du Québec, ministère des Ressources naturelles, Direction des programmes forestiers. 267 p.
- MINISTÈRE DES RESSOURCES NATURELLES, 1999. *Instructions relatives à l'application du règlement sur la valeur des traitements sylvicoles admissibles en paiement des droits. Exercice 1999-2000.* Gouvernement du Québec, ministère des Ressources naturelles, Direction de l'assistance technique. 67 p.
- OUMET, R., J.-D. MOORE et L. DUCHESNE, 2008. *Effects of experimental acidification and alkalization on soil and growth and health of Acer saccharum Marsh.* J. Plant Nutr. Soil Sci. 171 : 858–871.
- PERRON, J.Y., 1985. *Tarif de cubage général : volume marchand brut.* 2<sup>e</sup> publication révisée en février 1985. Gouvernement du Québec, ministère de l'Énergie et des Ressources, Service de l'inventaire forestier. 55 p.
- RÉGNIÈRE, J. et R. SAINT-AMANT, 2008. *BioSIM 9 - Manuel de l'utilisateur.* Service canadien des forêts, Centre de foresterie des Laurentides, Québec. Rapport d'Information LAU-X-134f. 74 p.
- ROBITAILLE, A. et J.-P. SAUCIER, 1998. *Paysages régionaux du Québec méridional.* Gouvernement du Québec, ministère des Ressources naturelles. 213 p.
- SAS INSTITUTE INC., 2004. *SAS/STAT 9.1 User's Guide.* SAS Institute Inc. Cary, NC. 5121 p.
- SAUCIER, J.-P., 2006. *Case study : Forests of management units 81-51 and 8152.* Conférence prononcée dans le cadre de l'IUFRO et tenue le 18 mai 2006 à Rouyn-Noranda.
- SMITH, H.C. et N.I. LAMSON, 1982. *Number of residual trees : A guide for selection cutting.* USDA For. Serv., North. East. For. Exp. Stat., Gen. Tech. Rep. NE-80. 33 p.

TRIMBLE, G.R., J.J. MENDEL et R.A. KENNEL, 1974. *A procedure for selection marking : combining silvicultural considerations with economic guidelines*. USDA For. Serv., North. East. For. Exp. Stat., Res. Pap. NE-292.13 p.

WESTFALL, P.H., R.D. TOBIAS, D. ROM, R.D. WOLFINGER et Y. HOCHBERG, 1999. *Multiple comparisons and multiple tests using the SAS system*. SAS Insitute Inc., Cary, NC. 416 p.



## ANNEXES

### Annexe A - Normes pour la pratique de la coupe de « jardinage » de 1995 à 1999

Le cadre normatif imposé par le Ministère aux bénéficiaires de CAAF a évolué durant la période couverte par le dispositif de suivi des effets réels. La pratique en vigueur dans les peuplements de feuillus venait de passer de la coupe à diamètre limite, pour laquelle toutes les tiges dont le diamètre égalait ou dépassait le minimum prescrit pouvaient être récoltées, à la coupe de jardinage, pour laquelle les tiges en perdition devaient être récoltées de façon prioritaire. Le texte qui suit présente la norme de la coupe de jardinage pour l'exercice 1995-1996 (MRN 1995) ainsi que son évolution dans le temps (MRN 1996, 1997, 1998a, 1999), comme illustré par les insertions de texte entre crochets, lesquelles sont précédées de l'année de l'ajout aux instructions.

Par coupe de jardinage, on désigne l'abattage ou la récolte d'arbres choisis individuellement, ou par petits groupes, dans une futaie inéquienne pour amener celle-ci, ou pour la maintenir, dans une structure jardinée équilibrée tout en assurant les soins culturels nécessaires aux arbres en croissance et en favorisant l'installation de semis. Une telle coupe nécessite la récolte des tiges, laquelle tient compte de l'ensemble des classes de diamètre, des essences, de la vigueur et de la qualité des tiges se trouvant dans le peuplement d'arbres. Au cours de l'intervention de récolte, la régénération et les gaules doivent être protégées.

Lorsque l'objectif du traitement exécuté est de régénérer le bouleau jaune, le pin blanc ou les épinettes, le débusquage des tiges doit se faire, de préférence, à un moment propice pour que le sol soit légèrement scarifié par le passage de la machinerie. Si la coupe est exécutée à un moment défavorable au bouleversement du sol, un scarifiage partiel doit être pratiqué au cours de la saison suivante [en 1996, « au cours de la saison suivante » est remplacé par « durant ou à la suite d'une bonne année semencière »].

#### Critères d'évaluation

Ces travaux sont admissibles en paiement des droits lorsque :

1. Le peuplement à traiter a atteint le stade de futaie inéquienne;
2. La surface terrière enlevée est comprise entre 25 et 35 % de la surface terrière initiale, y compris celle des arbres enlevés dans les chemins de débardage. Dans le cas du thuya, la surface terrière enlevée doit être comprise entre 20 et 30 % de la surface terrière initiale [en 1996, le paragraphe suivant a été ajouté : de façon facultative, ce pourcentage de prélèvement doit être respecté pour l'ensemble des classes de diamètre (10 cm et +) ou pour chacune des grandes classes de diamètre établies par l'unité de gestion];

3. Le martelage doit être exécuté dans le but d'atteindre un pourcentage de qualité d'au moins 90 %;
4. Le martelage des peuplements destinés à la production mixte de résineux et de feuillus tolérants à l'ombre est exécuté de façon à maintenir la composition mélangée;
5. Le pourcentage (établi au moyen des surfaces terrières) des tiges classées « vigoureuses de qualité (I) » de chacune des essences désirées ou d'un groupe d'essences désirées, est supérieur, après le traitement, à ce qu'il était avant le traitement [en 1996, est ajouté : et ce, pour chacune des grandes classes de diamètre établies par l'unité de gestion].  
[en 1997, le paragraphe suivant est ajouté : Cette augmentation de la qualité des tiges classées « vigoureuses de qualité (I) », doit être après :
  - le martelage : d'au moins 50 % du potentiel (maximum théorique) d'augmentation;
  - le traitement : le pourcentage d'augmentation recherché sera fixé ultérieurement.]
 [en 1998, le pourcentage d'augmentation a été fixé à au moins 35 % du potentiel (maximum théorique)];
6. La surface terrière des tiges récoltées est comprise entre 90 et 110 % de la surface terrière des tiges martelées pour les tiges dont le diamètre est égal ou supérieur à 24 cm [en 1997 on spécifie : supérieur à 10 cm (tiges martelées) ou à 24 cm (tiges non martelées, coupées ou renversées)]. Le nombre de tiges non martelées coupées, renversées ou blessées ne doit pas excéder 25 % du nombre total des tiges dans les classes de diamètre de 10 à 22 cm inclusivement; [à partir de 1997, le mot « blessées » a été retiré de la dernière phrase)];
7. La surface terrière résiduelle est d'au moins 16 m<sup>2</sup>/ha.

En rapport avec ce qui précède, ajout en 1998, à la suite du point 5, l'énoncé suivant : Le pourcentage (établi au moyen des surfaces terrières) des tiges blessées classées « vigoureuses de qualité II », « faibles de qualité III » et « vigoureuses de qualité V » des essences désirées ne doit pas excéder 10 % des tiges résiduelles classées II, III et V des essences désirées.

En rapport avec ce qui précède, ajout en 1999, à la suite du point 2, l'énoncé suivant : Les critères d'application des interventions conformes au prélèvement simulé (pour ce qui est de la récolte totale, par classe de diamètre, par essence ou par classe de qualité), inscrits au plan général d'aménagement forestier selon la 3<sup>e</sup> édition du Manuel d'aménagement forestier (février 1998) doivent être respectés. Ces critères de même que les modalités de suivi devront être intégrés dans les protocoles de suivi des interventions de l'aire commune concernée.

Un exemple de calcul du potentiel (maximum théorique) d'augmentation est présenté afin d'en faciliter la compréhension de ses effets sur la qualité des peuplements :

Un peuplement a une densité de 25 m<sup>2</sup>/ha, dont 10 m<sup>2</sup>/ha en tiges d'essences désirées de vigueur 1, ce qui représente une qualité initiale de 40 % (10 ÷ 25). Si la coupe porte sur 30 % de la surface terrière initiale, soit 7,5 m<sup>2</sup>/ha, la surface terrière résiduelle sera de 17,5 m<sup>2</sup>/ha. Si aucune tige de vigueur 1 n'est récoltée, la proportion maximale possible de tiges de vigueur 1 sera de 57 % (10 ÷ 17,5). Le potentiel (maximum théorique) d'augmentation de la proportion de tiges de vigueur 1 est alors de 17 % (57 % - 40 %). Il faut donc que la proportion de tiges de vigueur 1 après la coupe soit d'au moins 46 % (40 % + [35 % de 17 %]), soit 8,05 m<sup>2</sup>/ha (46 % de 17,5) si l'on veut satisfaire le critère d'atteindre après coupe un minimum de 35 % du potentiel (maximum théorique) d'augmentation. La norme permet donc de récolter un maximum de 2 m<sup>2</sup>/ha de tiges de vigueur 1 dans ce peuplement, ce qui représente 20 % des tiges de vigueur 1 du peuplement initial et 27 % du prélèvement.

## Annexe B - Résultats selon le volume marchand brut

Les résultats en volume marchand brut montrent que le volume moyen prélevé est de 78 m<sup>3</sup>/ha et varie de 69 à 90 m<sup>3</sup>/ha selon la région. En proportion du volume avant la coupe, le taux de prélèvement moyen est de 35 % et varie de 33 à 37 % selon la région. Le prélèvement a laissé sur pied un volume moyen après la coupe de 145 m<sup>3</sup>/ha. Ce volume varie de 129 à 154 m<sup>3</sup>/ha selon la région.

### B1. Volume marchand brut avant la coupe, prélevé et après la coupe, selon la région et le traitement

| Région        | Tr | n   | Volume marchand brut (m <sup>3</sup> /ha) |    |             |    |    |                |    |
|---------------|----|-----|---|----|-------------|----|----|----------------|----|
|               |    |     | Avant la coupe                            |    | Prélèvement |    |    | Après la coupe |    |
|               |    |     | Moy                                       | IC | Moy         | IC | %  | Moy            | IC |
| Province      | T  | 212 | 228                                       | 8  |             |    |    |                |    |
|               | CP | 232 | 222                                       | 7  | 78          | 4  | 35 | 145            | 5  |
| Est           | T  | 23  | 217                                       | 23 |             |    |    |                |    |
|               | CP | 23  | 198                                       | 17 | 69          | 13 | 35 | 129            | 16 |
| Centre        | T  | 42  | 220                                       | 18 |             |    |    |                |    |
|               | CP | 45  | 210                                       | 14 | 70          | 10 | 33 | 140            | 12 |
| Laurentides   | T  | 49  | 253                                       | 17 |             |    |    |                |    |
|               | CP | 54  | 243                                       | 13 | 90          | 9  | 37 | 153            | 8  |
| Outaouais     | T  | 49  | 227                                       | 18 |             |    |    |                |    |
|               | CP | 55  | 230                                       | 19 | 76          | 9  | 33 | 154            | 15 |
| Témiscamingue | T  | 49  | 215                                       | 19 |             |    |    |                |    |
|               | CP | 55  | 214                                       | 13 | 76          | 8  | 36 | 138            | 9  |

Tr : traitement, T : témoin, CP : coupe partielle, n : nombre de grappes, Moy : moyenne, IC = intervalle de confiance ( $\alpha = 0,05$  table de t [ $\alpha/2$ , n-1])

## Annexe B (suite)

### B2. Moyennes non ajustées des volumes marchands bruts et des composantes d'accroissement annuel sur la période quinquennale selon la région et le traitement

| Région        | Tr | n   | Avant la           | Après la | AAS  | AAR  | AAB  | AAM  | AAN   | Après<br>5 ans |
|---------------|----|-----|--------------------|----------|------|------|------|------|-------|----------------|
|               |    |     | coupe              | coupe    |      |      |      |      |       |                |
|               |    |     | m <sup>3</sup> /ha |          |      |      |      |      |       |                |
| Province      | T  | 212 | 228                |          | 3,72 | 0,10 | 3,82 | 2,78 | 1,04  | 233            |
|               | CP | 232 | 222                | 145      | 3,57 | 0,15 | 3,72 | 2,27 | 1,45  | 152            |
| Est           | T  | 23  | 217                |          | 4,42 | 0,06 | 4,48 | 1,03 | 3,46  | 234            |
|               | CP | 23  | 198                | 129      | 4,15 | 0,16 | 4,31 | 0,92 | 3,39  | 146            |
| Centre        | T  | 42  | 220                |          | 3,65 | 0,06 | 3,71 | 3,34 | 0,37  | 222            |
|               | CP | 45  | 210                | 140      | 3,75 | 0,14 | 3,89 | 1,61 | 2,28  | 151            |
| Laurentides   | T  | 49  | 253                |          | 3,98 | 0,05 | 4,03 | 2,10 | 1,93  | 263            |
|               | CP | 54  | 243                | 153      | 3,86 | 0,10 | 3,95 | 2,36 | 1,60  | 161            |
| Outaouais     | T  | 49  | 227                |          | 3,55 | 0,17 | 3,71 | 2,01 | 1,71  | 236            |
|               | CP | 55  | 230                | 154      | 3,40 | 0,18 | 3,59 | 3,21 | 0,38  | 156            |
| Témiscamingue | T  | 49  | 215                |          | 3,36 | 0,14 | 3,50 | 4,58 | -1,08 | 210            |
|               | CP | 55  | 214                | 138      | 3,06 | 0,15 | 3,22 | 2,33 | 0,89  | 142            |

Tr : traitement, T : témoin, CP : coupe partielle, n : nombre de grappes, AAS : accroissement annuel des survivants, AAR : recrutement annuel, AAB : accroissement annuel brut, AAM : mortalité annuelle, AAN : accroissement annuel net.







La Direction de la recherche forestière (DRF) a pour mandat de participer activement à l'amélioration de la pratique forestière au Québec en réalisant des travaux, principalement à long terme et d'envergure provinciale, qui intègrent des préoccupations de recherche fondamentale et appliquée. Elle subventionne aussi des recherches universitaires à court ou à moyen terme. Ces recherches, importantes pour le ministère des Ressources naturelles et de la Faune (MRNF), sont complémentaires aux travaux de la DRF ou réalisées dans des créneaux où elle ne s'implique pas. Elle contribue à la diffusion de nouvelles connaissances, d'avis et de conseils scientifiques et à l'intégration de ces nouvelles connaissances ou savoir-faire à la pratique forestière.