



Étude préliminaire des causes de mortalité 10 ans après jardinage

Rapport présenté par:

Philippe Nolet, M.Sc.

Daniel Bouffard, M. Sc.

à



et

au

Ministère des Ressources naturelles de la Faune et des parcs

Unité de gestion 64

Octobre 2005

Résumé

La coupe de jardinage est le traitement sylvicole le plus utilisé en forêt feuillue publique depuis le début des années 1990. Les rendements attendus associés à ce traitement sont basés en partie sur les dispositifs expérimentaux de la Direction de la Recherche Forestière (Majcen 1994; Majcen et al. 1995; Bédard et Majcen 2003) et sur le module d'accroissement de SYLVA II. En 2002, après plus de 10 ans d'utilisation à grande échelle de ce traitement, Bédard et Brassard (2002) déposaient un rapport, basé sur des données provenant du réseau des effets réels, indiquant que la mortalité 5 ans après jardinage en forêt publique est approximativement deux fois plus élevée que celle observée dans les dispositifs expérimentaux de la DRF ou encore supérieure à celle rapportée par certains chercheurs (Erdmann et Oberg 1973; Crow et al. 1981; Forget et al. 2004). Dans le cadre du présent rapport, nous visons à identifier les pistes qui semblent les plus prometteuses pour l'explication des hauts taux de mortalité observés dans 11 secteurs de coupe de la région de Mont-Laurier. Plus de 200 parcelles situées dans divers types de peuplements composés majoritairement de feuillus tolérants ont été visitées à trois reprises entre 1994 et 2004 (inventaires pré- et post-traitement de jardinage, puis 10 ans après traitement). Les résultats démontrent ou tendent à démontrer que : i) la mortalité dans la région à l'étude est très élevée ; ii) les grosses tiges (> 40 cm) présentent de plus fortes probabilités de mortalité que les petites tiges; iii) le chablis est une cause très importante de mortalité puisqu'il explique plus de 60% de celle-ci iv) la qualité de site, exprimée soit par les caractéristiques physico-chimiques ou par la croissance de l'érable à sucre, semble pouvoir contribuer à l'identification des peuplements à jardiner et ceux qu'ils seraient préférables d'éviter de jardiner ; v) la croissance de l'érable à sucre a subi des variations importantes dans les 15 dernières années. Depuis 1997, l'identification d'au moins quatre très mauvaises années de croissance pourraient avoir influencé la mortalité observée dans les érablières. Nous concluons que des efforts devront être mis en place afin de mieux comprendre l'importance des diverses grandes causes potentielles de mortalité après jardinage (choix des tiges, chablis, qualité de site et conditions climatiques défavorables) et de leurs inter-relations.

Table des matières

Résumé	1
Table des matières	2
Liste des tableaux et figures	3
Introduction	4
Méthodologie.....	7
Résultats et Discussion	11
Implications pour l'aménagement et pour la recherche.....	22
Références	24
Remerciements	26

Liste des tableaux et figures

Tableaux

Tableau 1a. Statistiques descriptives générales de surface terrière, mortalité et recrutement pour l'ensemble des parcelles inventoriées du secteur à l'étude.....	11
Tableau 1b. Statistiques descriptives générales de surface terrière, mortalité et recrutement pour les parcelles ayant moins de trois arbres morts renversés et/ou brisés.	12

Figures

Figure 1. Pourcentage de mortalité par essence entre 1994 et 2004 après traitement de jardinage.....	13
Figure 2. Pourcentage des arbres morts par essence et par classe de vigueur.....	14
Figure 3. Pourcentage des arbres morts par classe de DHP et vigueur pour l'érable à sucre.	15
Figure 4. Pourcentage des arbres morts par essence et classe de DHP.	16
Figure 5. Relation entre la mortalité réelle observée pendant une période de 10 ans dans les placettes et la mortalité prédite à partir de l'essence, du DHP et de la vigueur des tiges résiduelles après intervention en 1994 dans ces mêmes parcelles.	17
Figure 6. Relation entre la mortalité sur pied 10 ans après jardinage et la concentration en potassium de l'horizon B du sol	18
Figure 7. Relation entre la mortalité sur pied 10 ans après jardinage et la croissance moyenne de l'érable à sucre sur une période de 10 ans.....	19
Figure 8. Variation annuelle de la croissance de l'érable à sucre au cours des 15 dernières années dans diverses régions.	20

Introduction

La coupe de jardinage est le traitement sylvicole le plus utilisé en forêt feuillue publique depuis le début des années 1990. Les rendements attendus associés à ce traitement sont basés en partie sur les dispositifs expérimentaux de la Direction de la Recherche Forestière (Majcen 1994; Majcen et al. 1995; Bédard et Majcen 2003) et sur le module d'accroissement de SYLVA II. En 2002, après plus de 10 ans d'utilisation à grande échelle de ce traitement, Bédard et Brassard (2002) déposaient un rapport, basé sur des données provenant du réseau des effets réels, indiquant que la mortalité 5 ans après jardinage en forêt publique est approximativement deux fois plus élevée que dans les dispositifs expérimentaux de la DRF ou encore supérieure à celle rapportée par plusieurs chercheurs (Erdmann et Oberg 1973; Crow et al. 1981; Forget et al. 2004). Les auteurs émettent l'hypothèse que cette forte mortalité est due à une mauvaise sélection des tiges lors de l'application du traitement, considérant que trop d'arbres non vigoureux sont laissés sur pied après traitement.

Dans les études réalisées sur les effets réels des coupes de jardinage au Québec (Bédard et al. 2004; Nolet et Forget 2004), on note une très grande variabilité du niveau de mortalité autant dans les secteurs traités que les secteurs témoins. Il est logique de croire qu'une partie de cette variabilité s'explique par l'hétérogénéité des conditions des sites échantillonnés.

Plusieurs études démontrent que le niveau de mortalité ou de vigueur des peuplements feuillus varie selon les caractéristiques de site. Horsley et al. (2000) ont observé dans le nord de la Pennsylvanie que tous les peuplements où le dépérissement était modéré à sévère étaient situés sur les sommets, les contreforts ou le haut des revers qui n'avaient pas subi l'effet des glaciers. Les peuplements situés sur des sites exposés à la glaciation ou des sites plus bas non touchés par la glaciation n'étaient pas affectés par le dépérissement. Duchesne et al. (2002) et Duchesne et al. (2004) montrent que la croissance et la mortalité de l'érable à sucre (*Acer saccharum* Marsh.) sont associées à des sites plus pauvres et plus acides. Selon Whitney (1999), la présence de l'érable à sucre a augmenté dans plusieurs états américains sur une grande variété de sites et ce, parfois sur des emplacements qui lui sont guères appropriés. D'après ce dernier, la colonisation de sites marginaux peut expliquer en partie le déclin observé chez l'érable à sucre, puisque sur ces sites cette espèce présente une croissance plus lente et donc, une détérioration à un âge plus

précoce avant de succomber à des maladies. De grandes superficies de peuplements de pin blanc (*Pinus strobus* L.), purs ou mixtes, ont été récoltées du début de la colonisation jusque vers la fin du 19^{ième} siècle dans la région à l'étude (Mont Laurier). Il est plausible que l'érable à sucre ait pu profiter, comme au Wisconsin (Stearns et Likens 2002), de ces perturbations anthropiques.

Bien que ces études démontrent l'importance de la qualité de site pour l'érable à sucre, celle-ci n'est pas considérée lors de l'élaboration de la prescription sylvicole en forêt feuillue (MRNFP 2003). Ainsi, une portion de la mortalité élevée observée suite aux coupes de jardinage peut plausiblement s'expliquer par le fait que ces traitements sont effectués en partie dans des peuplements déjà en déclin en raison de la qualité des sites. En simulant une coupe de jardinage théorique qui maximise la récolte des arbres défectueux sur des parcelles établies en 1993 et remesurées en 2003 dans la région de Mont-Laurier, Nolet et Forget (2004) tendent à démontrer que même un tel traitement ne permettrait pas d'abaisser la mortalité au niveau des dispositifs de la DRF. Pour les décideurs, il est essentiel de pouvoir discriminer si la mortalité est due à une mauvaise application de la coupe de jardinage ou si elle est liée à la qualité des sites. Si la mortalité est due au traitement, la solution consisterait à changer les modalités d'application de celui-ci. Si par contre, la mortalité est due à la qualité de site, il faut alors revoir en profondeur les stratégies sylvicoles utilisées dans ces peuplements afin de s'assurer du rendement soutenu (Duchesne et al. 2005).

Dans le cadre du présent rapport, nous visons à identifier les pistes qui semblent les plus prometteuses pour l'explication des hauts taux de mortalité observés dans la région à l'étude. Ces pistes seront explorées plus à fond dans le cadre du projet intitulé : «Localisation des peuplements à forte mortalité suite aux coupes de jardinage dans la région des Laurentides», lequel est financé par le Programme de mise en valeur des ressources du milieu forestier (Volet I) pour une période de trois ans. Ainsi, dans le cadre du présent rapport :

1. Nous évaluons dans quelle mesure les caractéristiques à l'échelle de la tige peuvent être utiles pour prédire la mortalité à l'échelle du peuplement;
2. Nous quantifions la mortalité due aux chablis et tentons d'apporter des éclaircissements sur cette importante cause de mortalité;

3. Nous évaluons comment la mortalité sur pied est influencée par les caractéristiques de site (propriétés physico-chimiques ainsi que le potentiel de croissance pour l'érable à sucre exprimée par la croissance diamétrale);
4. Présentons les variations annuelles de la croissance diamétrale de l'érable à sucre au cours des 15 dernières années et discutons des implications de ces mêmes variations.

Méthodologie

Secteur d'étude

La présente étude a été menée dans 11 secteurs de situés dans la région de Mont Laurier, dans l'unité de paysage du même nom définie par Robitaille et Saucier (1998), entre les latitudes 46° 05' et 46° 37' et les longitudes 75° 16' et 75° 44'. La végétation est représentative du domaine bioclimatique de l'érablière à bouleau jaune (Saucier et al. 1998) et le climat du type subpolaire subhumide, continental. Le relief, peu accidenté, est formé de coteaux et de collines présentant des sommets arrondis et des versants généralement peu inclinés (Robitaille et Saucier 1998). Les roches métamorphiques constituent la composante principale du substrat rocheux, alors que les dépôts de surface sont surtout dominés par des tills minces et épais, et dans une moindre mesure, par des dépôts juxta-glaciaires et des affleurements rocheux (Robitaille et Saucier 1998). La température et les précipitations moyennes annuelles observées dans cette région se situent respectivement entre 2.5 à 5.0 °C et 900 et 1000 mm (25-30 % sous forme de neige), alors que la longueur de la saison de croissance oscille entre 170 et 180 jours. La végétation potentielle des sites mésiques de milieu de pente est l'érablière à bouleau jaune (*Betula alleghaniensis* Britton), ou encore l'érablière à tilleul d'Amérique (*Tilia americana* L.) sur sol calcaire. L'érablière à ostryer de Virginie (*Ostrya virginiana* (Mill.) K. Koch), et dans une moindre mesure l'érablière à tilleul d'Amérique et hêtre à grandes feuilles (*Fagus grandifolia* Ehrh.), apprécient les hauts de pente bien drainés. La bétulaie jaune à sapin baumier (*Abies balsamea* (L.) Mill.) et la sapinière à érable rouge (*Acer rubrum* L.) préfèrent les bas de pente.

Protocole d'échantillonnage et paramètres évalués dans les parcelles

Plus de 200 parcelles semi-permanentes situées dans divers secteurs de coupe et types de peuplements composés majoritairement de feuillus tolérants ont été visitées à trois reprises entre 1994 et 2004. Les peuplements ainsi inventoriés à l'aide d'un prisme de facteur 2 avaient un minimum de 70 ans et une densité égale ou supérieure à 60%. Les travaux menés à l'automne - 1994 - et à l'hiver - 1995 - (inventaires pré- et post-traitement de jardinage) ont été réalisés par les compagnies forestières responsables de l'exploitation de cette zone, alors que ceux de 2004 furent menés par l'équipe de recherche de l'IQAFF. Dans le cadre du présent projet, 150 parcelles ont été retenues pour les fins d'analyse. En raison de données manquantes ou d'une

présence insuffisante de l'érable à sucre, certaines parcelles ont été rejetées. En plus du martelage des tiges à couper, les données récoltées sur les tiges uniquement de plus de 9.1 cm lors de l'inventaire pré-traitement étaient les suivantes: l'essence, le diamètre à hauteur de poitrine (DHP - par classes de 2 cm) et la classe de vigueur (Majcen et al. 1995). La présence de blessure sur les tiges résiduelles et l'identification des arbres réellement abattus représentaient les paramètres examinés lors de l'inventaire post-traitement. En 2004, les paramètres initiaux ont été remesurés sur les arbres résiduels et les recrues, en plus d'identifier les tiges mortes et les facteurs responsables de cette mortalité. Dans le but d'évaluer la qualité des sites, la hauteur de certaines tiges d'érable à sucre, généralement deux par parcelle, a été mesurée chez des arbres co-dominant ou dominant de belle venue et de DHP moyen (25 à 50 cm). Un prélèvement de trois carottes a également été réalisé chez ces mêmes individus pour obtenir une estimation de la croissance des dix dernières années au moyen d'analyses dendrochronologiques. Toujours pour caractériser la qualité des sites, un échantillon de sol par parcelle a également été prélevé au niveau de l'horizon B.

Analyses chimiques

Dans un premier temps, les échantillons de sol ont été séchés et tamisés avec un treillis de 2 mm. Les cations échangeables K, Ca, Mg, Mn, Al, Fe et S ont été extraits à partir d'une solution non tamponnée de NH_4Cl (1N, 12 heures) et mesurés par spectrométrie d'émission atomique au plasma. Quant à la capacité d'échange cationique (CEC), elle correspond à la sommation des cations échangeables précédemment cités. Enfin, le pH provient de l'évaluation à l'aide d'une sonde de la concentration en ions hydrogène.

Analyses dendrochronologiques

Les carottes prélevées sur les tiges d'érable ont d'abord été séchées à l'air libre, puis collées à des languettes de bois avant d'être sablées, en trois étapes, avec du papier abrasif aux dimensions suivantes: 150 grains/ po^2 , 400 grains/ po^2 et 600 grains/ po^2 . L'évaluation de la largeur des cernes des dix dernières années de croissance a été effectuée à l'aide d'un stéréomicroscope Leica MZ12s (40 x) couplé à une table de numérisation électronique Velmex d'une précision de 10 microns. Un facteur de correction de l'ordre de + 4,8% (Haygreen et al. 1982) a été ajouté aux valeurs obtenues afin de corriger le rétrécissement des carottes lors du séchage. Les valeurs de

croissance radiale ont par la suite été multipliées par deux pour obtenir une croissance diamétrale. Une valeur moyenne de croissance par arbre a par la suite été calculée à partir des trois échantillons.

Analyses des données

Pour calculer l'accroissement net en surface terrière dans un peuplement à partir de placettes au prisme, il suffit de faire le compte du nombre d'arbres présents dans ces placettes en 2004 et d'en soustraire les individus présents après traitement de jardinage (1995). La mortalité correspond aux tiges qui étaient présentes après traitement de jardinage et qui sont mortes ou introuvables en 2004. L'accroissement brut se calcule en identifiant les nouveaux arbres présents en 2004, mais absents après traitement. Étant donné qu'un prisme de facteur 2 fut utilisé, il faut multiplier ces résultats par 2 pour les rapporter en surface terrière à l'hectare.

Des analyses de Khi-carré ont été effectuées afin de vérifier si la proportion des tiges mortes varie selon les essences, la classe de vigueur de 1994 et le DHP. Les résultats sont présentés selon les essences ou groupements d'essences suivants: l'érable à sucre (ERS), le bouleau jaune (BOJ), le hêtre à grandes feuilles (HEG), les autres essences feuillues (FEU), la pruche (PRU) et les autres essences résineuses (RES). La proportion de tiges mortes a été calculée en divisant la surface terrière des tiges mortes entre 1995 et 2004 par celle des tiges résiduelles après traitement de jardinage (1995).

L'échantillonnage effectué dans le cadre de cette étude ne constitue pas un échantillonnage entièrement aléatoire puisque nous devons travailler avec des placettes utilisées au préalable dans un contexte opérationnel. Ainsi, les peuplements (combinaisons secteur de coupe – types de peuplements) n'ont pas été échantillonnés avec la même intensité, de telle sorte que parmi les peuplements échantillonnés, le nombre de placettes pouvait varier. Toutefois, nous avons tout de même considéré ces placettes comme étant des éléments statistiques indépendants pour les raisons suivantes : a) une distance minimale de 180 m séparant chacune des placettes, et b) la très grande variabilité rencontrée en forêt feuillue en termes de composition et de structure des peuplements.

Les analyses à l'échelle de la tige ont démontré que l'essence, la vigueur de 1994 et le DHP ont un effet sur la probabilité de mortalité des tiges. Nous avons donc calculé la probabilité de mortalité pour chaque tige résiduelle en 1995 en fonction de l'essence, de la vigueur et du DHP. Ainsi, pour chaque tige du jeu de données des tiges résiduelles de 1995, nous connaissons son état (morte ou vivante) et sa probabilité de mortalité prédite. Nous avons ainsi pu calculer pour chacune des placettes une mortalité totale réelle ainsi qu'une mortalité totale prédite. Nous avons par la suite mis en relation, par analyse de régression linéaire simple, la mortalité prédite et la mortalité réelle afin de vérifier de quelle façon les informations à l'échelle de la tige permettent de prévoir la mortalité à l'échelle du peuplement. L'ensemble des données de ce projet de recherche a été analysé à l'aide du logiciel NCSS 2002 (Hintze 2001).

La mortalité sur pied a par ailleurs été mise en relation avec les variables physico-chimiques et la croissance des érables à sucre les plus vigoureux dans les parcelles. Étant donné que ces relations n'étaient pas linéaires, des seuils ont été identifiés visuellement. Ces seuils ont par la suite été utilisés dans des tests t de Student ou des tests de khi-carré.

Résultats et Discussion

La surface terrière moyenne des peuplements avant intervention en 1994, avec 25.6 m²/ha (34% en vigueur 1, 2 et 5), est légèrement inférieure à celle observée par Nolet et Forget (2004) pour l'année 1993 (27.4 m²/ha) (Tableau 1a). Quant au prélèvement moyen, il est similaire lorsqu'il est exprimé en terme de surface terrière et plus élevé si présenté en terme de proportion (29.2 %). La mortalité observée dans le secteur à l'étude est très élevée (0.435 m²/ha/an) si on la compare aux résultats de Nolet et Forget (2004) ou aux différents résultats des effets réels. L'accroissement brut observé entre 1994 et 2004 est de 60% inférieur (1.28 m²/ha) à celui noté par Nolet et Forget (2004), de telle sorte que la surface terrière 10 ans après intervention est de l'ordre de 17 % inférieure à celle observée immédiatement après les travaux de jardinage. Afin d'amenuiser l'effet des événements exceptionnels que sont les chablis sur la mortalité, d'autres statistiques descriptives ont été réalisées avec cette fois-ci les parcelles comportant moins de trois arbres morts renversés et/ou brisés par le vent (Tableau 1b). La valeur de la mortalité ainsi obtenue (2.93 m²/ha) s'avère comparable à ce qui a été observée par Nolet et Forget (2004) entre 1993 et 2003. Par ailleurs, le faible accroissement également observé pour ce groupe de parcelles, dix ans après traitement, explique la chute de plus de 10 % de la surface terrière chez les peuplements inventoriés dans le cadre de cette étude.

Tableau 1a. Statistiques descriptives générales de surface terrière, mortalité et recrutement pour l'ensemble des parcelles inventoriées du secteur à l'étude.

	Surface terrière (m ² /ha)					
	Avant coupe 1994	Récoltée	Après coupe 1994	Mortalité	Accroissement brut	2004
Moyenne	25.6	7.48	18.12	4.35	1.28	15.05
Écart-type	5.06	3.26	5,11	4.01	1.71	5.18

Par ailleurs, nos résultats indiquent que 60% de la mortalité observée est due à des chablis ou à des bris d'arbres, souvent eux-mêmes dus à des chablis. Ces résultats sont comparables à ceux présentés par Bédard et Brassard pour les effets réels qui obtenaient une valeur de 49%. Le phénomène des chablis n'est donc pas négligeable, mais tant les gestionnaires que les chercheurs y ont porté très peu d'attention au Québec jusqu'à maintenant, en forêt feuillue du moins.

Tableau 1b. Statistiques descriptives générales de surface terrière, mortalité et recrutement pour les parcelles ayant moins de trois arbres morts renversés et/ou brisés.

	Surface terrière (m ² /ha)					
	Avant coupe 1994	Récoltée	Après coupe 1994	Mortalité	Accroissement brut	2004
Moyenne	25.52	7.54	17.98	2.93	1.36	16.13
Écart-type	4.96	3.31	4,71	2.49	1.74	4.6

Pour la région à l'étude, 30 % de la surface terrière après traitement est concentrée dans les tiges de plus de 40 cm, alors que 42% de la mortalité observée se trouve dans cette classe de tiges. Les chablis semblent expliquer en partie cette constatation. Par exemple, on note chez les érables à sucre que la mortalité par chablis affecte 10% des tiges de moins de 40 cm, mais plus de 17 % des tiges de plus de 40 cm (Khi-carré; $p = 0,019$). Par ailleurs, chez les érables de plus de 24 cm, on note que le chablis est la cause de mortalité de 71% des tiges de vigueur 1, de 54% des tiges de vigueur 3 et de 40% des tiges de vigueur 4. Ce résultat statistiquement significatif ($p = 0,004$) ne signifie pas que les tiges vigoureuses sont plus touchées par les chablis, mais bien que les tiges de vigueur 3 et 4 ont plus de chances de mourir pour d'autres raisons.

Les chablis sont donc importants car :

1. Ils représentent la principale cause de mortalité dans la région à l'étude;
2. Ils semblent toucher davantage les grosses tiges et par conséquent celles avec le potentiel de valeur le plus élevé;
3. Ils touchent les tiges peu importe leur vigueur contrairement à la mortalité sur pied qui touchent les arbres en perte de valeur. Ainsi les pertes économiques dues aux chablis sont certainement plus élevées que celles dues à la mortalité sur pied.

Dans les prochaines années nous comptons donc étudier comment certains facteurs - tels que la structure résiduelle des peuplements et leur position topographique - influencent la mortalité due aux chablis. L'érable à sucre qui constitue environ les deux tiers de la surface terrière des peuplements montre un pourcentage de mortalité de l'ordre de 23 % sur une période de 10 ans (Figure 1 et tableau 2). L'érable rouge et les essences résineuses autre que la pruche présentent

des niveaux supérieurs de mortalité, alors que le hêtre et le bouleau jaune montrent des taux similaires, et la pruche et les autres essences feuillues des proportions inférieures. Chez les principales essences inventoriées (érable à sucre, bouleau jaune, hêtre à grandes feuilles et pruche d'Amérique), on note une mortalité accrue de l'ordre de 36 à 128 % par rapport aux résultats provenant de la période 1993 à 2003.

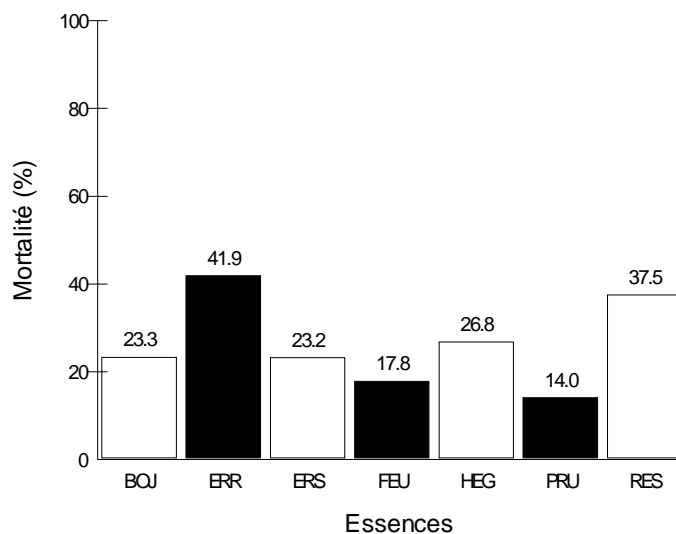


Figure 1. Pourcentage de mortalité par essence entre 1994 et 2004 après traitement de jardinage.

Tableau 2. Pourcentage total et par essence des arbres vivants et nombre total et par essence d'arbres recensés.

Essences	Pourcentage des arbres vivants	Arbres recensés
Total	76.2	1 368
Érable à sucre	76.8	898
Érable rouge	58.1	43
Bouleau jaune	76.7	133
Hêtre à grandes feuilles	73.2	142
Pruche	86	57
Autres feuillus	82.2	45
Autres résineux	62.5	40

Au même titre que les travaux de Nolet et Forget (2004), les résultats de cette étude montrent que la mortalité chez les essences les plus abondantes est davantage présente chez les tiges moins vigoureuses (Figure 2). L'augmentation de la mortalité en fonction de la vigueur des tiges est plus graduelle dans le cas de l'érable à sucre et du bouleau jaune, alors que l'écart est davantage abrupt entre les arbres vigoureux et non vigoureux chez le hêtre et les autres essences feuillues.

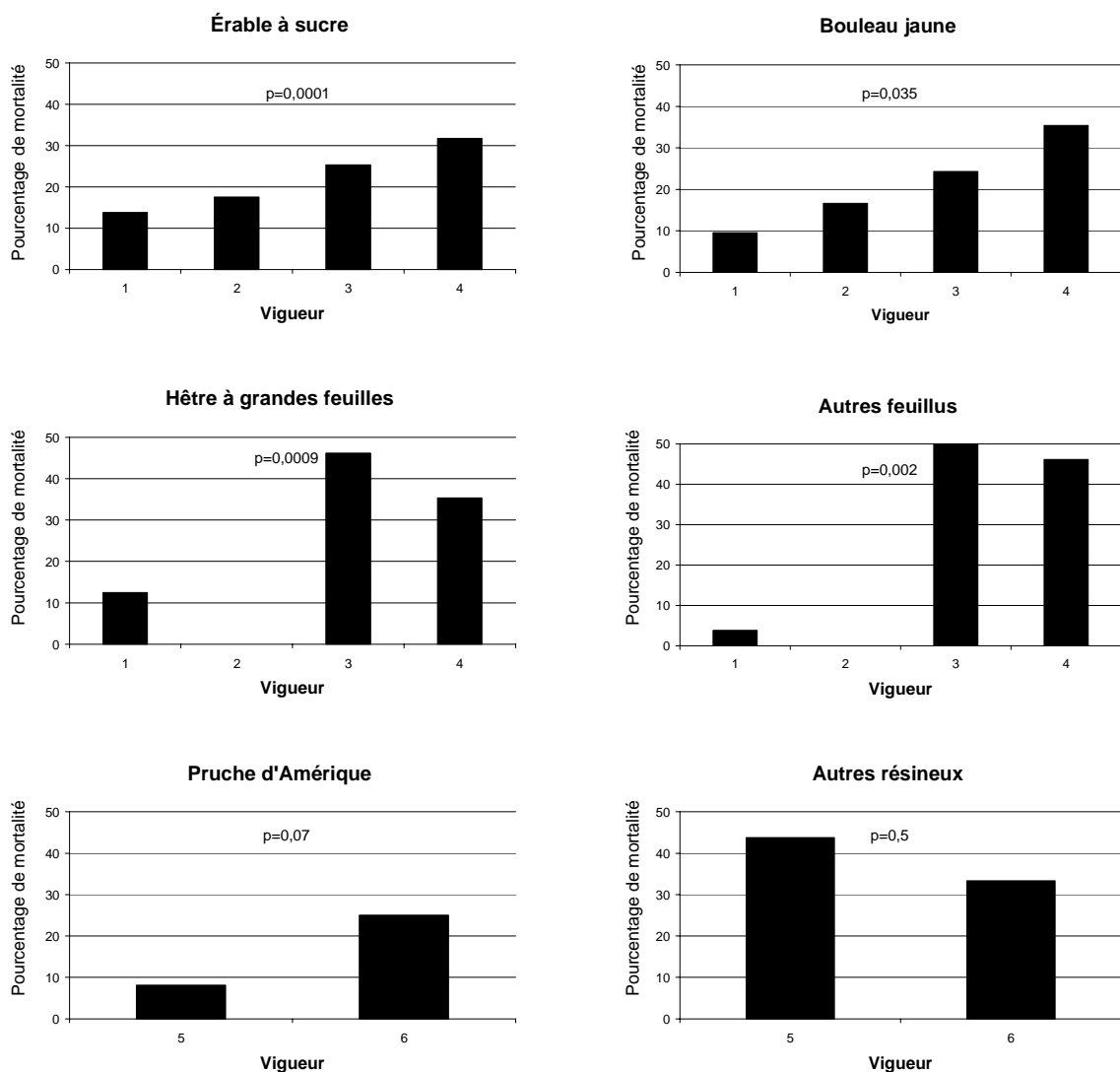


Figure 2. Pourcentage des arbres morts par essence et par classe de vigueur.

L'examen de la répartition de la mortalité des tiges d'érable à sucre par classes de DHP et de vigueur montre que celle-ci se concentre principalement dans les DHP élevés en présence d'arbres sains, et que cette distribution a tendance à s'uniformiser avec des sujets moins vigoureux (Figure 3). La probabilité de mourir d'une tige de vigueur 4 par rapport à une tige saine (vigueur 1) est respectivement 4.5, 3.5 et 2.4 fois plus élevée chez le hêtre, le bouleau jaune et l'érable à sucre. Ces résultats sont similaires à ceux observés pour la période 1993-2003, à l'exception de l'érable pour laquelle le ratio atteignait une valeur de 4, et démontrent encore une fois que les classes de vigueur sont utiles pour discriminer les arbres ayant les plus fortes probabilités de mourir.

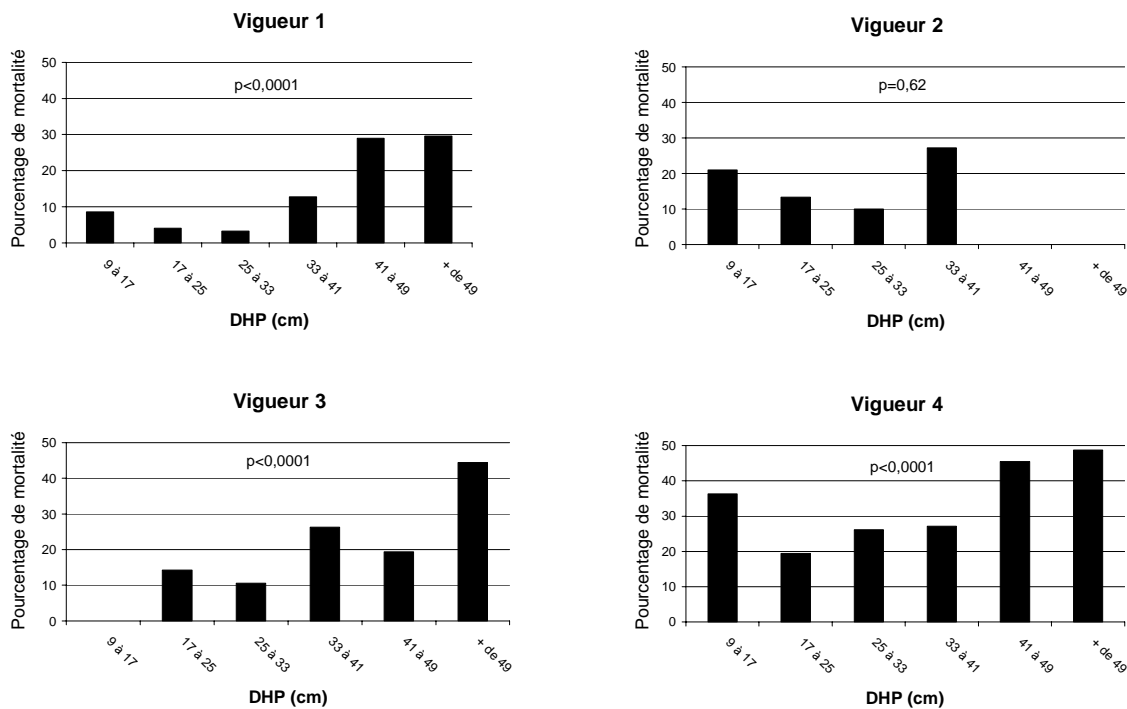


Figure 3. Pourcentage des arbres morts par classe de DHP et vigueur pour l'érable à sucre.

L'importance de la mortalité chez les jeunes tiges d'essences feuillues est liée à leur niveau de tolérance à l'ombre. Ainsi, on note chez une espèce semi-tolérante comme le bouleau jaune une mortalité beaucoup plus élevée dans la classe 9-17 cm (plus de 70 %) comparativement aux essences plus tolérantes comme l'érable à sucre et le hêtre (Figure 4). Pour les classes de DHP comprises entre 17 et 41 cm, la mortalité est passablement similaire chez ces mêmes espèces, et à

l'exception du hêtre, généralement inférieure à la mortalité notée chez les jeunes tiges. Enfin, le pourcentage de mortalité des arbres de forts diamètres est beaucoup plus élevé que celui observé au niveau des classes inférieures de DHP (Figure 4). Par ailleurs, le plus fort taux de mortalité chez l'érable à sucre est noté dans la classe de + 49 cm, alors que pour le hêtre il se situe dans la classe 41-49 cm avec près de 50%. Quant au bouleau jaune, la mortalité chez les vieilles tiges est similaire à celle notée pour le hêtre et inférieure de 25 % à celle identifiée chez l'érable à sucre. Enfin, on remarque que la probabilité de mourir de l'érable est 2 à 3 fois plus grande pour les arbres de plus de 49 cm que pour les arbres des classes intermédiaires. La même tendance est observée chez le hêtre mais dans la classe de 41-49 cm.

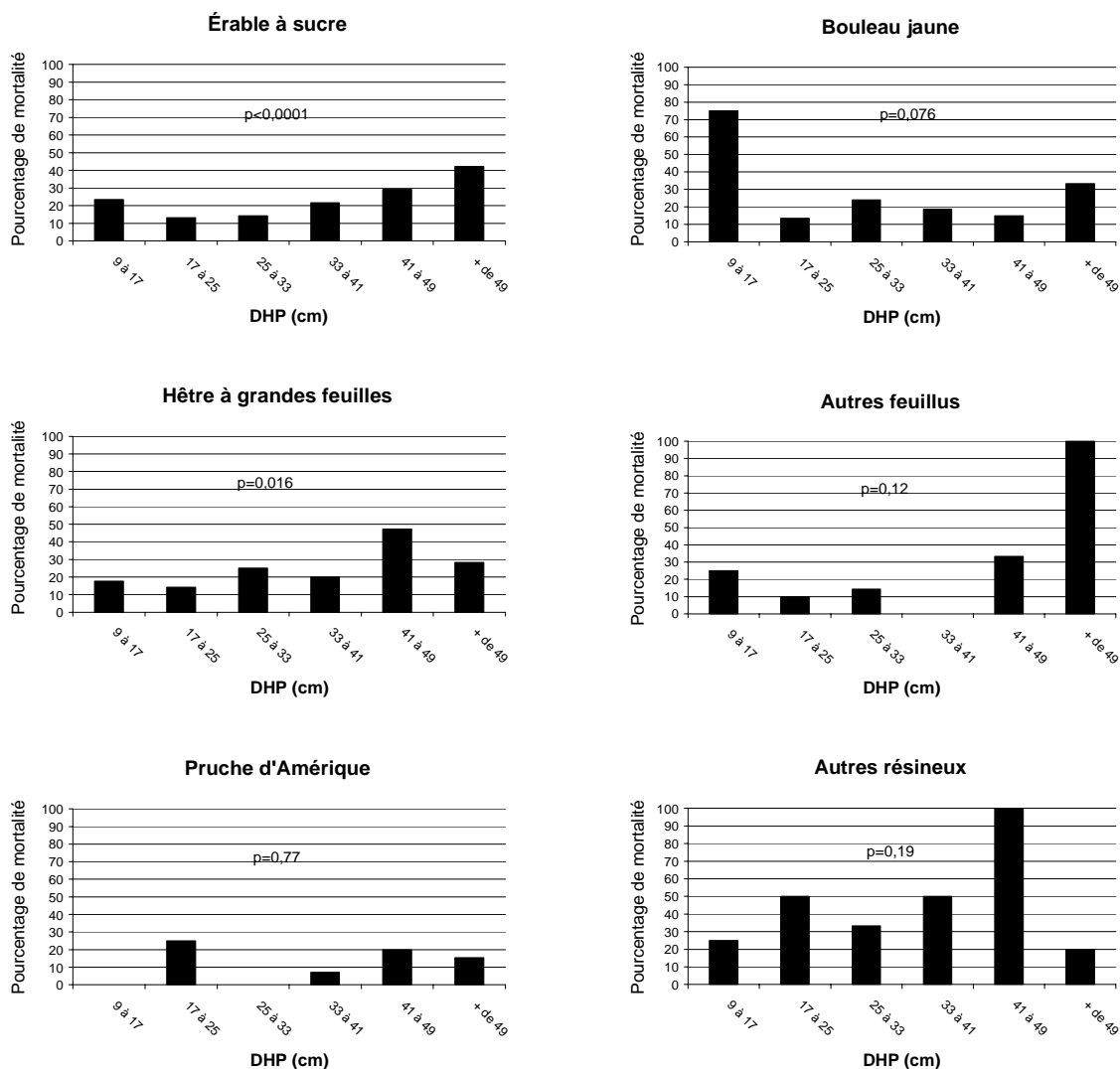


Figure 4. Pourcentage des arbres morts par essence et classe de DHP.

Étant donné que des facteurs tels que l'essence, le DHP et la vigueur semblent influencer la mortalité des tiges, nous avons donc calculé une probabilité de mortalité de mourir pour chaque combinaison essence - classe de DHP - classe de vigueur. De là, nous avons pu calculer une mortalité attendue (ou prédite) pour chacune des parcelles échantillonnées. Cette mortalité prédite a par la suite été mise en relation avec la mortalité réelle observée dans les parcelles. Cette relation montre une fiabilité semblable ($R^2 = 0.34$; Figure 5) à celle obtenue par Nolet et Forget (2004) pour la période 1993-2003. Dans ce précédent rapport, nous émettions l'hypothèse que la qualité de site pouvait avoir un effet important sur la mortalité observée après jardinage et, par le fait même, que l'on ne peut expliquer la mortalité à l'échelle du peuplement seulement avec les caractéristiques de tige. Dans le cadre du présent rapport, diverses analyses ont été effectuées pour vérifier les relations entre, d'une part les différentes variables physico-chimiques et le potentiel du site pour l'érable à sucre (tel qu'exprimé par la croissance des arbres vigoureux) et, d'autre part, la mortalité sur pied.

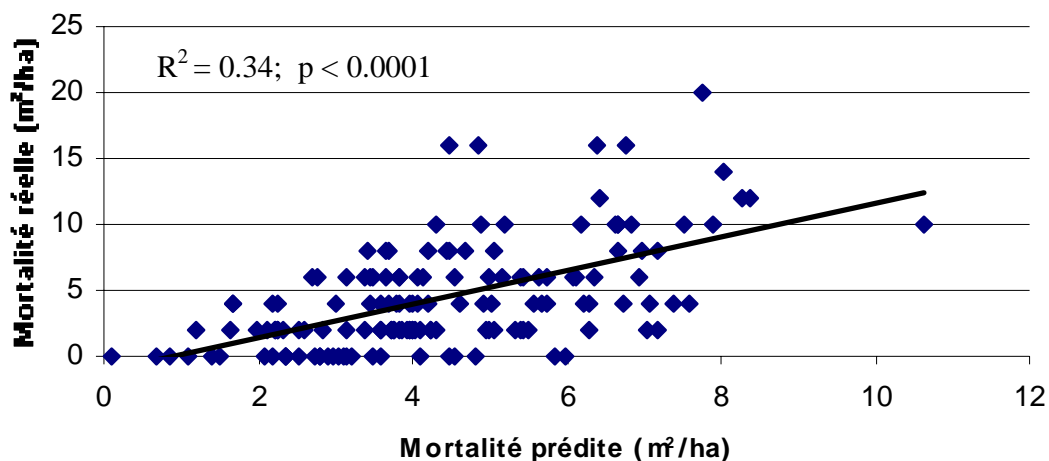


Figure 5. Relation entre la mortalité réelle observée pendant une période de 10 ans dans les placettes et la mortalité prédite à partir de l'essence, du DHP et de la vigueur des tiges résiduelles après intervention en 1994 dans ces mêmes parcelles.

Nous présentons à la figure 6 la relation entre la concentration en potassium de l'horizon B du sol et la mortalité sur pied. Il apparaît clair dans un premier temps que cette relation n'est pas linéaire. Au-dessus d'un certain seuil (80 mg/kg), la mortalité moyenne s'avère être 2 fois plus faible qu'en dessous de ce même seuil. Il semble en effet que les plus fortes mortalités

surviennent dans les peuplements avec dont le sol est moins bien pourvu en potassium. À la figure 7, nous présentons la relation entre la qualité de site pour l'érable à sucre et la mortalité sur pied. La relation n'est pas linéaire, mais il semble que les sites avec les meilleurs potentiels pour l'érable à sucre sont ceux qui ont le plus de chance de présenter des mortalités nulles.

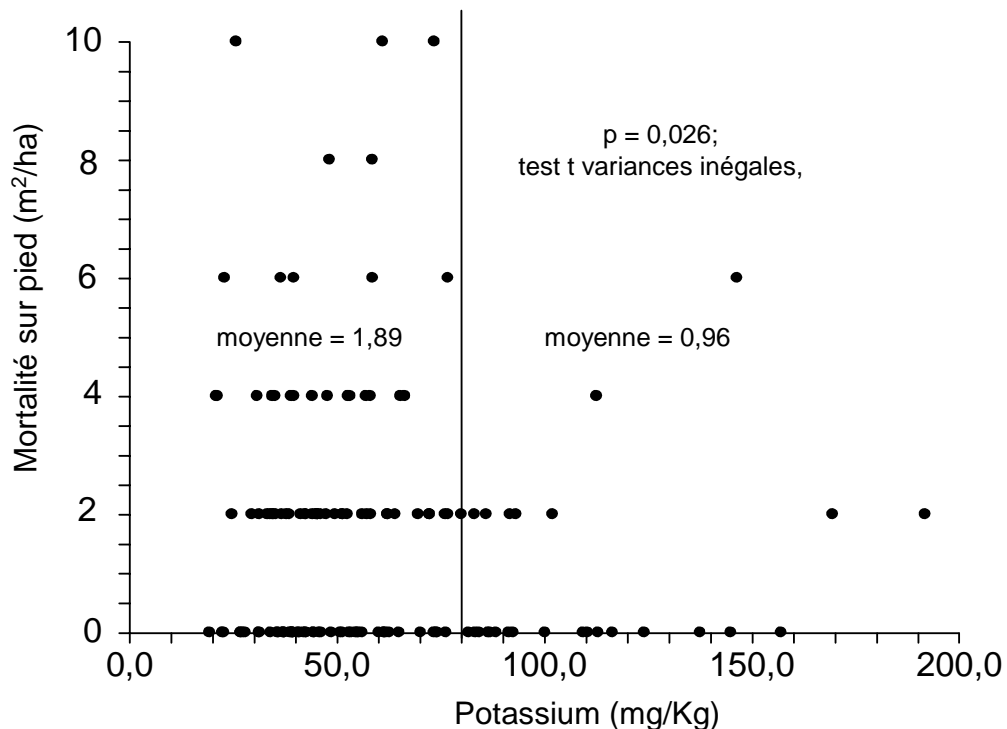


Figure 6. Relation entre la mortalité sur pied 10 ans après jardinage et la concentration en potassium de l'horizon B du sol.

Nous convenons que ces résultats, même s'ils sont statistiquement significatifs, ne sont pas aussi convaincants que ce à quoi nous nous serions attendus. Il demeure toutefois que ces deux résultats sont intéressants puisqu'ils s'avèrent complémentaires. En fait, les sites dont l'horizon B présente une faible teneur en potassium indiquent les endroits à plus fortes probabilités de mortalité élevée, alors que les sites favorables à la croissance de l'érable à sucre montrent les endroits avec les plus fortes probabilités d'absence de mortalité. Nous espérons, d'une part, confirmer ces résultats dans les prochaines années et, d'autre part, vérifier si avec une description

plus détaillée de la qualité de site (dépôt, épaisseur, pente, drainage, situation topographique) s'il ne serait pas possible de peaufiner cette relation.

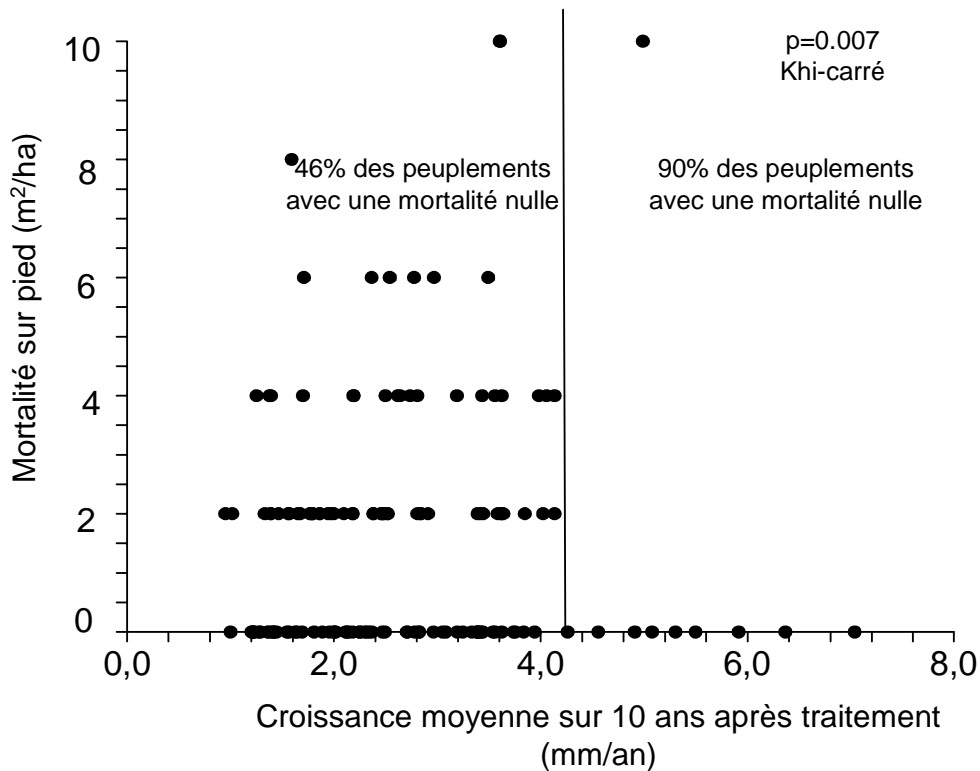


Figure 7. Relation entre la mortalité sur pied 10 ans après jardinage et la croissance moyenne de l'érable à sucre sur une période de 10 ans

Enfin, nous avons vérifié comment la croissance diamétrale de l'érable à sucre a varié au cours des 15 dernières années pour le secteur à l'étude. Nous avons illustré cette variation en ajoutant des séries chronologiques pour l'érable à sucre provenant d'autres études effectuées par l'IQAFF (Figure 8). Notre objectif n'est pas de comparer les régions où les secteurs entre eux, car les protocoles d'échantillonnage étaient sensiblement différents entre les études, mais bien de voir les similarités dans les variations de croissance inter-annuelles entre les sites.

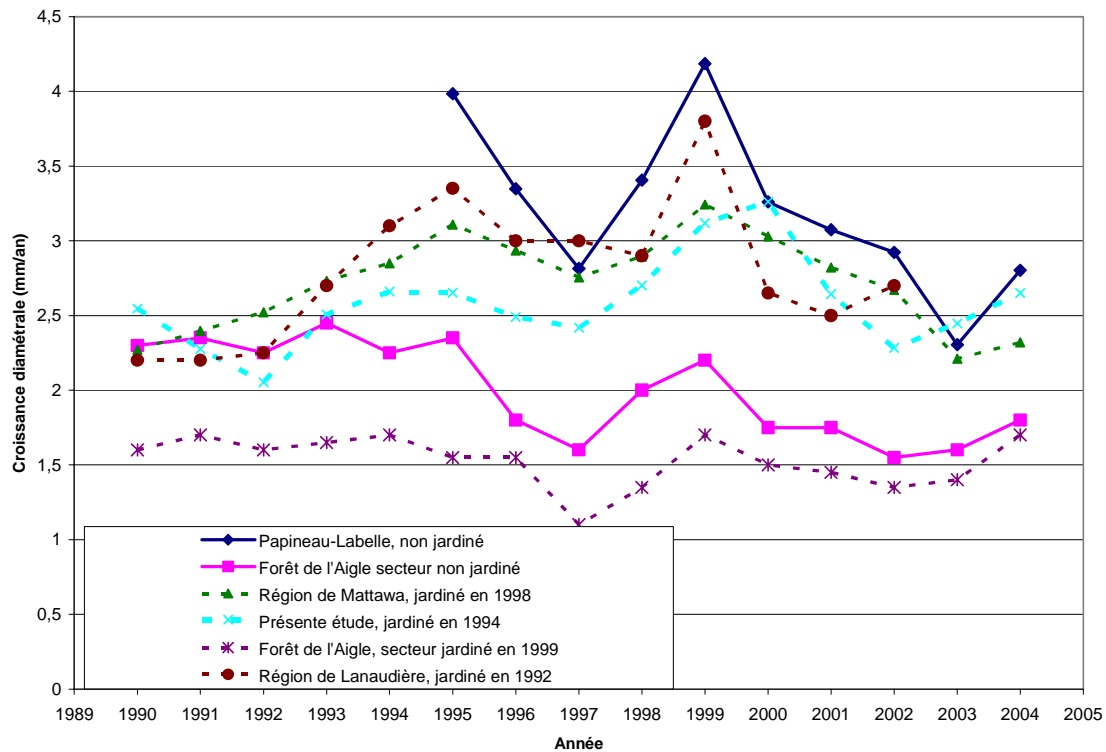


Figure 8. Variation annuelle de la croissance de l'érable à sucre au cours des 15 dernières années dans diverses régions.

De cette illustration, nous ressortons les points suivants :

- L'année 1997 a été une très mauvaise année dans la plupart des cas. Les années 2001, 2002 et 2003 correspondent aussi à de mauvaises années pour la croissance de l'érable à sucre. Nous émettons l'hypothèse, et ce sera à vérifier dans les années à venir, que ces faibles croissances sont imputables à des conditions climatiques défavorables.
- L'année 1999 a été particulièrement favorable à la croissance de l'érable à sucre.
- L'effet du jardinage sur la croissance de l'érable à sucre est généralement peu visible lors des premières années suivant le traitement, sauf peut-être pour la région de Lanaudière. Ce constat n'implique pas nécessairement une absence d'effet de la part du jardinage, mais plutôt une situation où les effets bénéfiques potentiels de ce type de traitement auraient eu comme impact d'amoindrir l'effet négatif de conditions climatiques défavorables.

Il est fort probable que ces mauvaises années de croissance ont eu également un effet sur la mortalité de l'érable à sucre. Les mauvaises années de croissance mentionnées ont donc probablement influencé les hauts taux de mortalité observés dans les effets réels du jardinage au Québec et dans la présente étude. C'est là une autre hypothèse à vérifier.

Il demeure que les mauvaises années se sont multipliées dans la dernière décennie et cela est extrêmement préoccupant. De cette constatation, la question suivante se pose : sur quelle période de croissance devrait-on se baser pour établir nos pronostics de rendements futurs ? Ces pronostics pourraient être très différents selon que l'on utilise les années 1991-1995 ou 2000-2004 par exemple. Il semble plus prudent, étant donnée l'incertitude en regard des variations climatiques, de procéder à des estimations basées sur diverses hypothèses de croissance afin d'identifier, non pas une seule valeur de rendement, mais une gamme de rendements possibles.

Implications pour l'aménagement et pour la recherche

À ce stade-ci de notre réflexion sur la mortalité après jardinage, nous ne croyons pas pertinent de terminer avec une section conclusion puisque nous n'avons pas les éléments pour conclure de façon arrêtée sur les causes de la forte mortalité observée après jardinage dans la région à l'étude. À partir des résultats obtenus, nous pouvons toutefois avancer quelques constats et hypothèses qui peuvent avoir des implications importantes pour l'aménagement :

- La mortalité dans la région à l'étude est très élevée et confirme les résultats obtenus lors d'une étude précédente (Nolet et Forget 2004);
- Les tiges non vigoureuses présentent de plus fortes probabilités de mortalité que les tiges vigoureuses;
- Les grosses tiges (> 40 cm) présentent de plus fortes probabilités de mortalité que les petites tiges;
- Le chablis est une cause très importante de mortalité puisqu'il explique plus de 60% de la mortalité dans la région. Alors que la mortalité sur pied touche principalement les tiges en pertes de vigueur, le chablis frappe sans égard à celle-ci. Les grosses tiges semblent plus touchées par les chablis. La mortalité par chablis a donc fort probablement un effet économique beaucoup plus important que la mortalité sur pied. Les trois dernières constatations peuvent influencer les modalités de martelage lors des coupes de jardinage. Ainsi, un effort doit être fait pour récolter les tiges les moins vigoureuses, comme cela est préconisé depuis longtemps. Afin de réduire la mortalité après jardinage, et spécialement la mortalité par chablis, on devrait davantage concentrer la récolte sur les grosses tiges, ou encore, identifier des modalités de récolte qui diminueraient après traitement le risque de renversement de ces grosses tiges.
- La qualité de site, exprimée soit par les caractéristiques physico-chimiques ou par la croissance de l'érable à sucre, semble pouvoir contribuer à identifier les peuplements à jardiner et ceux qu'ils seraient préférables d'éviter de jardiner. Les relations identifiées dans le cadre de la présente recherche demande toutefois à être peaufinées.

- La croissance de l'érable à sucre a subi des variations importantes au cours des 15 dernières années. En fait, quatre très mauvaises années de croissance ont été identifiées depuis 1997. Ces mauvaises années ont certainement influencé la mortalité observée dans les érablières et ont probablement pour origine - en partie ou en totalité - des conditions climatiques défavorables. Dans un futur rapproché, il sera donc important de confirmer la ou les causes de ces mauvaises années de croissance et d'établir si l'on doit s'attendre dans le futur à une répétition de facteurs prédisposants non favorables à la croissance de l'érable à sucre.

Ainsi, des efforts devront être mis lors des années à venir afin de mieux comprendre l'importance et les inter-relations entre les diverses grandes causes potentielles de mortalité après jardinage : le choix des tiges, les chablis, la qualité de site et les conditions climatiques défavorables.

Références

- Bédard, S. et F. Brassard. 2002.** Les effets réels des coupes de jardinage dans les forêts publiques du Québec en 1995 et 1996. Gouv. Québec. 15 p.
- Bédard, S. et Z. Majcen. 2003.** Growth following single-tree selection cutting in Québec northern hardwoods. *For. Chron.* 79: 898-905.
- Bédard, S., Meunier, S., Blais, L. et Z. Majcen. 2004.** Les effets réels des coupes de jardinage dans les forêts publiques du Québec de 1995 à 1998. Rapport technique 483.
- Crow, T.R., Jacobs, R.D., Oberg, R.R. et C.H. Tubbs. 1981.** Stocking and structure for maximum growth in sugar maple selection stands. USDA, For. Serv., Res. Pap. NC-199. 16 p.
- Duchesne, L., Ouimet, R. et D. Houle. 2002.** Basal area growth of sugar maple in relation to acid deposition, stand health, and soil nutrient. *J. Environ. Qual.* 31: 1676-1683.
- Duchesne, L., Ouimet, R., Moore, J-D. et R. Paquin. 2005.** Changes in structure and composition of maple-beech stands following sugar maple decline in Québec, Canada. *For. Ecol. Manage.* 208: 223-236.
- Erdmann, G.G. et R. Oberg. 1973.** Fifteen-year results from six cutting methods in second-growth northern hardwoods. USDA, For. Serv., Res. Pap. NC-100. 12 p.
- Forget, E. et P. Nolet. 2005.** Évaluation de la croissance et de la mortalité des érablières de la région de Lanaudière après jardinage: une approche dendrochronologique. Institut Québécois d'Aménagement de la Forêt Feuillue, Ripon, Québec. 30 p.
- Haygreenm, J.G., Bower, J.L. et K. Lilly. 1982.** Forest products and wood science – an introduction. The Iowa State University Press, Ames, Iowa. 484 p.
- Hintze, J.L. 2002.** NCSS 2001. User's guide-1. Number cruncher statistical systems. Kaysville, Utah. 570 p.
- Horsley, S.B., Long, R.P., Bailey, S.W., Hallett, R.A. et T.J. Hall. 2000.** Factors associated with the decline disease of sugar maple on the Allegheny Plateau. *Can. J. For. Res.* 30: 1365-1378.
- Majcen, Z. 1994.** Historique des coupes de jardinage dans les forêts inéquiennes au Québec. *Rev. For., Fr.* XLVI: 375-384.
- Majcen, Z., Groleau, L., Boulay, P., Hamel, J., Beaudoin, S., Blais, L. et M. Ménard. 1995.** Résultats après 10 ans d'un essai de coupe jardinatoire dans une érablière. Gouv. Québec. Mémoire de recherche 122. 23 p.

- MRNFP. 2003.** Méthodes d'échantillonnage pour les inventaires d'intervention et pour les suivis des interventions forestières – Exercice 2004-05 -. Gouv. Québec. 425 p.
- Nolet, P. et E. Forget. 2004.** Accroissement et mortalité 10 ans après jardinage dans la région des Hautes-Laurentides. Institut Québécois d'Aménagement de la Forêt Feuillue, Ripon, Québec. 26 p.
- Robitaille, A. et J.-P. Saucier. 1998.** Paysages régionaux du Québec méridional. Publications du Québec, Sainte-Foy. 213 p.
- Saucier, J.-P., J.-F. Bergeron, P. Grondin et P. Robitaille. 1998.** Les régions écologiques du Québec méridional (3e version): un des éléments du système hiérarchique de classification écologique du territoire mis au point par le ministère des Ressources naturelles du Québec. L'Aubelle 124: 1-12.
- Stearns, F. et G.E. Likens. 2002.** One hundred years of recovery of a pine forest in northern Wisconsin. *Am. Midl. Nat.* 148: 2-19.
- Whitney, G.G. 1999.** Sugar maple: abundance and site relationship in the pre- and post-settlement forest. Pp. 14-18, *In* Sugar maple ecology and health: Proceeding of an International Symposium, *Ed.* Horsley, S.B. et R.P. Long. USDA, For. Serv., Northeast. Res. Stn. GTR-NE-261, 45 p.

Remerciements

Les auteurs tiennent à souligner l'apport essentiel des personnes suivantes à la bonne conduite de ce projet: Mario Charrette et son équipe pour la collecte des données sur le terrain; Lise Brine pour les analyses dendrochronologiques; et Carol De Blois du Laboratoire de chimie organique et inorganique du MRNFP pour les analyses de laboratoire. Cette étude a été financée par Nexfor via le Programme de mise en valeur du milieu forestier (Volet I) du ministère des Ressources naturelles, de la faune et des parcs en association avec Les Entreprises Lauzon Ltée.