

EFFET DE L'ELAGAGE SUR LA PRODUCTION DE SEVE CHEZ L'ERABLE A SUCRE

Phase II : Les effets à moyen et long termes
sur le potentiel de coulée de sève

Rapport **FINAL**
année 2008

Présenté à **Gervais Pellerin (Ing. F., M. Sc.)**
Conseiller – Recherche scientifique – Ressources forestière

Pour Hydro-Québec Distribution



Décembre 2008



Équipe de réalisation de l'IQAFF*



Coordonnateurs scientifiques et de rédaction : Sylvain Delagrance, Ph.D.
François Lorenzetti, Ph.D.
Frédéric Doyon, Ph.D.

Équipe technique : Daniel Bouffard
Julie Poirier
Régis Pouliot
Natalia Rojas

*IQAFF : Institut québécois d'Aménagement de la Forêt feuillue
58 Principale, Ripon, Québec, J0V 1V0
Tél : 819-983-6589 ; Fax : 819-983-6588
Courriel : iqaff@iqaff.qc.ca
Site internet : www.iqaff.qc.ca

Pour citation :

Delagrance S, Lorenzetti F et Doyon F. 2008. EFFET DE L'ELAGAGE SUR LA PRODUCTION DE SEVE CHEZ L'ERABLE A SUCRE. Phase II : Les effets à moyen et long terme sur le potentiel de coulée de sève. Institut québécois d'Aménagement de la Forêt feuillue, Ripon, Québec. Rapport Final. 31 p + Annexes.

REMERCIEMENTS

Les auteurs tiennent à remercier Christian Buteau (Hydro-Québec Distribution) pour son aide dans la coordination des contacts entre l'IQAFF et les différents bureaux régionaux d'Hydro-Québec. Nous remercions également Pierre Grondin (Hydro-Québec Distribution Outaouais), Sylvie Bégin (Hydro-Québec Distribution Mauricie) et Christian Malo (Hydro-Québec Distribution Montérégie) pour leur précieuse collaboration et pour avoir fourni toutes les informations disponibles sur les historiques d'élagage dans leur région respective. Les auteurs remercient Daniel Bouffard, Julie Poirier, Régis Pouliot et Natalie Rojas pour leur aide cruciale dans la prise et l'analyse des données.

Table des matières

REMERCIEMENTS	ii
I – PRESENTATION DU PROJET	1
A- Problématique	1
B- Mécanismes de coulée et approche	1
C- Objectifs	3
II- CALENDRIER ANNÉE 2008	4
III- MATERIEL ET METHODES	5
A- Sites de mesures	5
1) <i>Sites d'élagages expérimentaux</i>	5
2) <i>Sites d'élagages opérationnels</i>	6
B- Mesures et méthodes pour l'analyse à moyen et long termes	8
1) <i>Vigueur et diamètre</i>	8
2) <i>Estimation de réduction de cime</i>	9
3) <i>Croissance radiale</i>	10
IV – RÉSULTATS ANNÉE 2008	12
A- Impact a moyen terme d'un élagage sur la croissance diamétrale	12
1) <i>Élagage expérimental printanier de 2007 (site AAF)</i>	12
2) <i>Élagage expérimental estival de 2007 (site EPO)</i>	14
B- Impact a moyen terme d'un élagage opérationnel sur la croissance diamétrale	16
1) <i>Vigueur de cime et de tige après un élagage opérationnel</i>	23
2) <i>Croissance diamétrale après un élagage opérationnel</i>	18
C- Impact a long terme d'un programme d'élagage opérationnel	23
1) <i>Notions préliminaires pour l'analyse</i>	23
2) <i>Croissance diamétrale après un programme d'élagage opérationnel (12 ans)</i>	25
IV – CONCLUSIONS	29
ANNEXE	31

I – PRESENTATION DU PROJET

A) *Problématique*

Dans le cadre de l'entretien des lignes électriques domestiques, Hydro-Québec Distribution a développé un programme de maîtrise de la végétation qui sécurise, sur une portion de 6 à 9 mètres, ses installations de basse et moyenne tension vis-à-vis du développement des cimes d'arbres avoisinants (Figure 1).

Dans le cas des érablières exploitées en vue de la récolte de sève (secteurs zonés verts), il existe une problématique liant la maîtrise de la végétation (l'élagage) et la productivité de sève des érables.

Cependant, il n'existe, à l'heure actuelle, aucune étude ayant démontrée quel pourrait être l'impact de l'élagage (positif ou négatif) sur la croissance et la productivité de sève de l'érable à sucre. Il n'est d'ailleurs pas établi que cet impact soit mesurable et quel pourrait être l'évolution de l'effet de l'élagage (i) à court, moyen et long termes, (ii) dans une dynamique d'élagages répétés ou encore (iii) en fonction de la saison à laquelle le traitement est effectué.

B) *Mécanismes de coulée et approche*

La coulée de sève sucrée au printemps chez l'érable à sucre est un phénomène dont l'entière compréhension n'est pas encore définie. Cependant, il est admis que cette aptitude, d'un intérêt économique non négligeable pour le Québec, associe (i) la solubilisation des sucres stockés dans les tissus pérennes de l'arbre, (ii) le gel et le dégel



Figure 1. Exemple d'un élagage sécurisant le passage de lignes électriques en milieu urbain.

de la sève à l'intérieur des rameaux, branches et tronc et (iii) la circulation du haut vers le bas et du bas vers le haut de la sève dans les tissus vivant de l'arbre.

L'hypothèse la plus admise suggère d'ailleurs qu'à la période du gel/dégel au printemps, les températures extérieures négatives entraînent le gel de l'eau contenue dans les parois juxtaposant les vaisseaux conducteurs. En gelant, l'eau comprime des micro-bulles d'air en commençant par les rameaux (plus sensibles au froid) puis les branches et le tronc. Cette compression partant du haut vers le bas entraîne alors une aspiration de l'eau du sol dans les vaisseaux pour combler le « vide » créé. Lorsque les températures redeviennent positives, l'eau se dégèle et l'air qu'elle emprisonnait se décompresse. L'air dilaté et l'eau dégelée imposent alors, sous l'effet de la gravité, une pression positive dans le tronc permettant la coulée en cas d'entaille (Figure 2).

Parallèlement, le printemps correspond à la période où les sucres stockés dans l'arbre (principalement les racines) se solubilisent dans la sève pour être transporter au niveau de la cime et participer à la construction des nouvelles feuilles. A cette saison, la concentration en sucre dans la sève augmente grandement et cela jusqu'à 50% de plus chez l'érable à sucre.



Figure 2.
Coulée de sève après entaillage due à la pression positive dans le tronc.

Dans le cadre de la maîtrise de la végétation, la coulée de sève est directement reliée à deux autres facteurs susceptibles d'être affectés par un élagage :

- (i) la capacité de conduction de sève. Elle représente l'activité effective de circulation de la sève (le flux de sève), tant au printemps que durant la période estivale. En cas de blessures ou de bris de branches, la cicatrisation des arbres se fait par l'arrêt de la fonction de conduction pour éviter les infections ou empêcher leur diffusion dans tous les tissus. Ceci se produit par la création d'un cale ligneux qui isole les vaisseaux atteints du reste de l'arbre. De plus, la perte de branches ou une blessure au niveau du tronc entraîne généralement une entrée d'air dans

les vaisseaux conducteurs (on parle d'embolisme ou de cavitation) qui rompt la colonne d'eau de l'arbre et diminue sa capacité de conduction.

- (ii) la croissance radiale. Elle représente la surface par laquelle la sève peut circuler et elle est un très bon indicateur de la santé générale de l'arbre qui, si elle est bonne, devrait être garante d'une production de sève en quantité et de qualité. La perte de branches peut réduire la croissance de l'individu par la perte de tissus photosynthétiques (tissus responsables de la fixation du CO₂ atmosphérique et de la synthèse des sucres élaborés). Bien entendu, l'effet de l'élagage sur la croissance ne sera pas visible à court terme, mais il pourrait l'être à moyen et long termes.

Il faut noter cependant que l'arbre possède un certain nombre de mécanismes internes de réponse à la perte de conduction tels que la circulation transversale de la sève et le maintien d'un plus grand nombre de cernes actifs dans l'aubier. Il n'est donc pas exclu que ces caractéristiques permettent à l'arbre élagué (particulièrement pour des intensités d'élagage faibles) de ne pas subir d'impact sur sa croissance ou son efficacité de conduction de sève.

C) Objectifs

Le but final de l'étude est d'obtenir un modèle permettant d'évaluer l'impact de l'élagage sur la productivité de l'érable à sucre à court, moyen et long termes. Ce modèle sera détaillé en fonction de l'intensité d'élagage et de différentes classes de diamètre pour les individus élagués. Pour obtenir cette évaluation, les points suivants ont été, sont ou seront éclaircis (cf. aussi le calendrier des activités dans la Tableau 1):

- (1.) Comment estimer l'intensité d'un élagage?
- (2.) Comment évolue à court et moyen termes le flux de sève d'individus élagués?
- (3.) **Quelle est la relation entre la croissance radiale passée des arbres (effet à moyen et long termes) et l'historique d'élagage?**

(4.) **Peut-on déceler un effet saisonnier (période de l'année où l'application de l'élagage est réalisé) sur la croissance des individus après élagage?**

et

(5.) Existe-t-il un lien entre la croissance radiale des érables à sucre et leur flux de sève et comment l'élagage influence ce lien ?

Pour l'année 2008, le protocole et les analyses produites mettaient l'emphase sur les points 3 et 4 de ces objectifs. Ensemble ces 2 points ont formé la phase II du projet, soit l'effet à moyen et long termes sur le potentiel de coulée de l'érable à sucre via un impact sur la croissance radiale.

II- CALENDRIER ANNÉE 2008

Dans son ensemble, la réalisation du plan d'échantillonnage est prévue sur 4 années durant lesquelles les mesures et leurs analyses seront échelonnées (Tableau 1). Maintenant dans l'année 3, la visite des sites permettant l'analyse de l'effet à moyen et à long termes a été faite ainsi que la prise de données correspondantes. Un calendrier de l'ensemble du projet précisant les activités réalisées est disponible en annexe 1.

Tableau 1 : Récapitulatif du calendrier des principales étapes de l'étude.

Étapes	Année 1	Année 2	Année 3	Année 4
Achat de matériel	√	√		
Visite de sites	√		√	×
Mesure terrain	√	√	√	×
Élagage expérimental		√		
Analyse de données	√	√	√	×
Élaboration du modèle d'intensité d'élagage		√		
Élaboration du modèle d'impact	√	√	√	×
Rapport d'activité	√	√	√	
Guide d'évaluation de l'élagage				×
Rapport final		√	√	×

√ : Réalisé

× : A réaliser pour les années subséquentes

III- MATERIEL ET METHODES

A- Sites de mesures

1) Sites d'élagages expérimentaux

Les 2 sites élagués expérimentalement en 2007 ont été revisités 2 années de croissance après la réalisation des travaux (Figure 1). Ces sites avaient été choisis par rapport à leur similitude avec les érablières qu'Hydro-Québec élague le long des différents réseaux. Sur ces sites, un élagage graduel avait été fait sur 24 arbres sélectionnés. L'intensité de l'élagage allait de 0 à 40% de réduction de cime (Delagrangé et al. 2007).

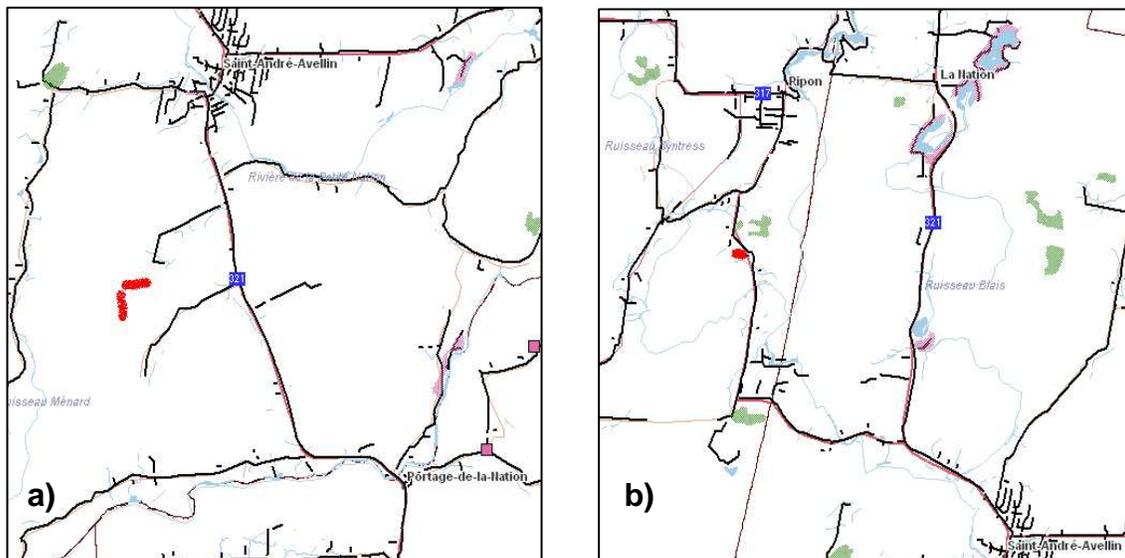


Figure 3. a) Site de l'érablière de production l'Epoque (EPO) et b) site de l'érablière de production l'Arbre Aux Fruits (AAF) en Outaouais

Le Tableau 2 regroupe l'information relative aux arbres et aux élagages expérimentaux réalisés sur les sites AAF et EPO en 2007. Les RRC (cf. section III.B.2. pour plus de détails sur l'estimation du ratio de réduction de cime) ont donc varié entre 0 et environ 40% ce qui, notons le, est un gradient bien au-delà de ce qui est pratiqué lors des élagages opérationnels.

Tableau 2. Récapitulatif de la répartition des individus élagués sur le gradient d'intensité d'élagage et de DHP.

Classe d'intensité*	Intensité d'élagage	DHP de l'arbre	SITE AAF		SITE EPO	
			%	cm	%	cm
-	0.0	27	0.0	20	0.0	20
Tem	0.0	25	0.0	25	0.0	25
Tem	0.0	27	0.0	24	0.0	24
FA	4.2	21	6.0	37	6.0	37
FA	7.7	28	9.2	26	9.2	26
FA	10.4	21	11.5	24	11.5	24
MO	13.1	25	25.5	38	25.5	38
MO	15.8	20	28.1	27	28.1	27
MO	26.0	23	32.6	38	32.6	38
FO	32.4	33	38.5	35	38.5	35
FO	37.9	25	39.5	22	39.5	22
FO	41.9	19	40.5	27	40.5	27

* : TEM, FA, MO et FO correspondent respectivement aux classes d'intensité d'élagage témoin, faible, moyenne et forte.

2) Sites d'élagages opérationnels

Pour déterminer l'effet à long terme, 7 sites (Figure 2) ont été visités en Outaouais, en Mauricie et en Estrie. Ces sites ont été choisis en considérant les différentes fréquences d'élagage ainsi que les différents types d'élagage réalisés. Dans chacun des cas, les arbres échantillonnés se trouvaient en bordure d'un peuplement d'érable à sucre qui était visiblement soumis à un régime d'élagage régulier.

De 12 à 25 arbres par site ont été sélectionnés pour un total de 152 arbres sur l'ensemble des 7 sites. Parmi ces arbres, de 3 à 7 par site correspondaient à des individus témoins. C'est-à-dire que suivant leur configuration par rapport au réseau électrique (légèrement en retrait ou sur des section où le réseau se déplaçait de l'autre côté du chemin), ces arbres n'avaient pas eu à subir d'élagage lors des 20 à 30 dernières années. Une vérification visuelle était faite sur chaque individu au niveau de cicatrices (même très âgées) au niveau du tronc et du branchage.

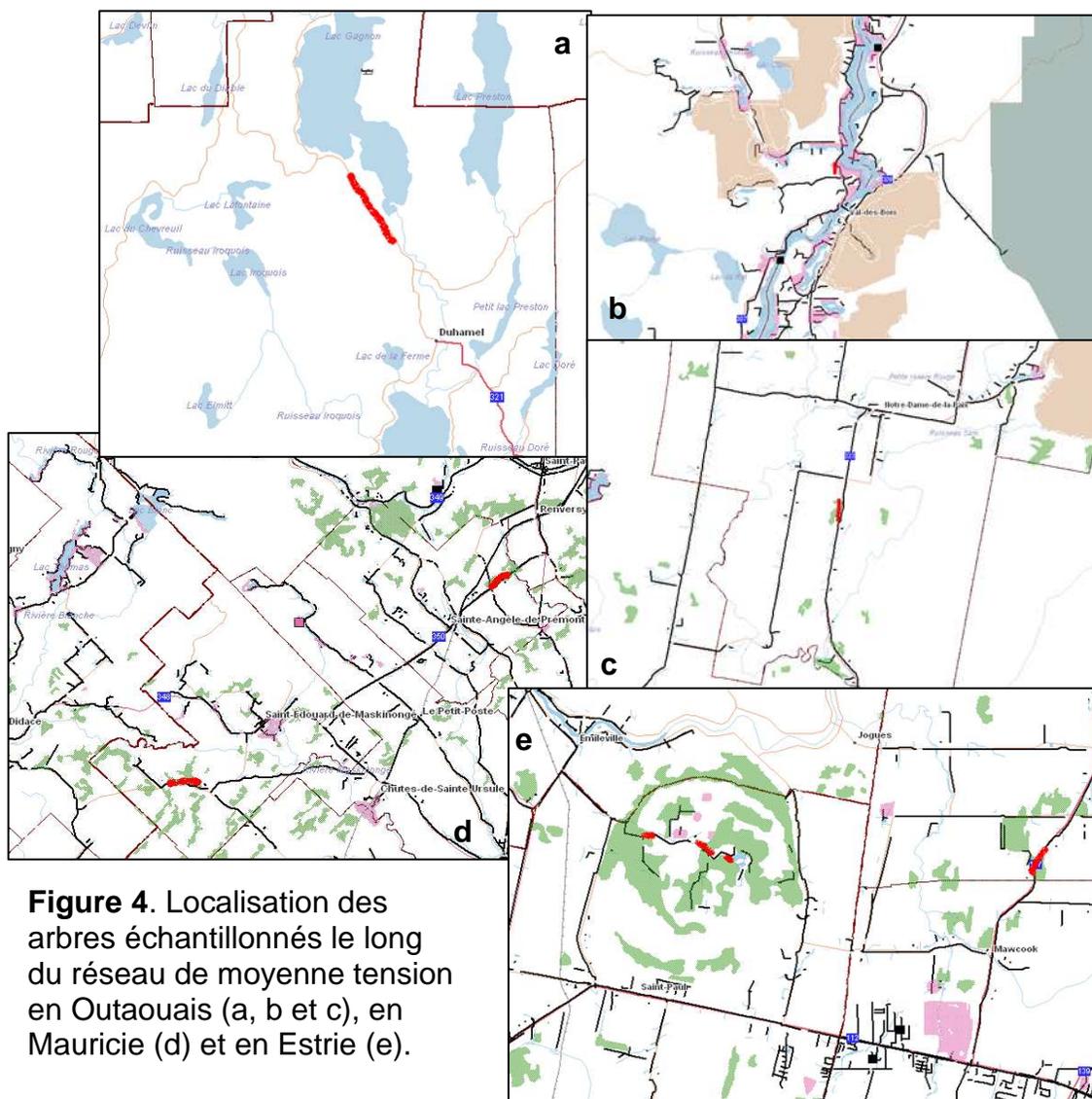


Figure 4. Localisation des arbres échantillonnés le long du réseau de moyenne tension en Outaouais (a, b et c), en Mauricie (d) et en Estrie (e).

L'information relative aux passages des élagages opérationnels est regroupée dans le Tableau 3. Ce tableau a été élaboré grâce à la collaboration précieuse de Pierre Grondin (Hydro-Québec Distribution Outaouais), Sylvie Bégin (Hydro-Québec Distribution Mauricie) et Christian Malo ((Hydro-Québec Distribution Montérégie). En considérant que l'information pour laquelle on peut avoir le maximum de certitude regroupait les 3 derniers passages et couvrait une période de 12 ans, l'analyse de la croissance à long terme a été réalisée sur cette même période de temps.

Table 3. Récapitulatif des historiques d'élagage le long des lignes du RMT qui ont été visitées pour identifier l'effet à long terme.

Ligne	Municipalité	Région.	Réseau	Passages				
				n	n-1	n-2	n-3	n-4
CHE235	Duhamel	O	<i>M</i>	2004	1999	1994		
CHE235	Duhamel	O	<i>T</i>	2006	2002	1997	1994	1992
FRH238	St-Paul-D'Abbotsford	E	<i>M</i>	2006	2000	1996	1992	
FRH238	St-Paul-D'Abbotsford	E	<i>T</i>	2006	2000	1996	1992	
LEC245	Ste-Cécile-de-Milton	E	<i>M</i>	2007	2001	1996	1992	
LEC245	Ste-Cécile-de-Milton	E	<i>T</i>	2007	2001	1996	1992	
PAP232	Namur	O	<i>M</i>	2005	1997	1992		
PAP232	Namur	O	<i>T</i>	2006	2001	1998	1992	
NDL224	Val des bois	O	<i>M</i>	2006	2002	1996	1992	
NDL224	Val des bois	O	<i>T</i>	2008	2004	1993		
CHR232	St-Angèle-de-Prémont	M	<i>M</i>	2005	2001	1998	1995	
CHR232	St-Angèle-de-Prémont	M	<i>T</i>	2005	2001	1998	1995	
CHR232	St-Didace	M	<i>M</i>	2005	2001	1998	1995	
CHR232	St-Didace	M	<i>T</i>	2005	2001	1998	1995	

n : dernier passage (le plus récent), En gras sont indiqués les historiques d'élagage des secteurs qui ont été visités. En gris sont notés les élagages probables mais ne pouvant être confirmés.

B- Mesures et méthodes pour l'analyse à moyen et long termes

1) Vigueur et diamètre

Sur chacun des 7 secteurs retenus, des arbres témoins et élagués ont été visuellement examinés par une seule et même personne. Les mesures prises évaluaient la vigueur de la cime (notée entre 1 (très bonne) et 5 (très mauvaise)) et le pourcentage de dépérissement de cime (% du volume de cime théoriquement actif qui est occupé par des branches mortes). Ensuite, la vigueur de la tige a été notée (entre 1 (très bonne) et 5 (très mauvaise)) et le nombre de défauts (blessures, caries, renflements, fentes, etc.) a été évalué. Finalement, le diamètre à hauteur de poitrine (DHP, cm) a été mesuré à l'aide d'un galon circonférentiel. Cette dernière mesure était principalement utile pour s'assurer que

les arbres échantillonnés étaient au même stade de développement et donc comparables. En effet il est connu que la croissance diamétrale varie beaucoup au cours du développement de l'arbre (Duchesne et al. 2003). Ne pas tenir compte du DHP dans l'analyse de l'effet d'un facteur externe pourrait donc amener à un effet confondant sur des différences de croissance diamétrale.

2) Estimation de réduction de cime

La détermination de la réduction de cime (en pourcentage) a été faite en utilisant la théorie des « tuyaux » (élaborée par Shinozaki et al. 1964 et développée par Mäkelä et Valentine 2006) qui définit une relation constante et très proche de 1 entre le carré d'une section « s » du tronc et la somme des carrés de toutes les sections « s₁, s₂, s_n » de tronc et de branches qui se développent au dessus (Figure 3). Pour déterminer rapidement l'intensité de réduction de cime, le ratio de réduction de cime (RRC) est calculé comme la somme des carrés des sections de branches élaguées divisée par le carré de la section du tronc à hauteur de poitrine (Figure 5).

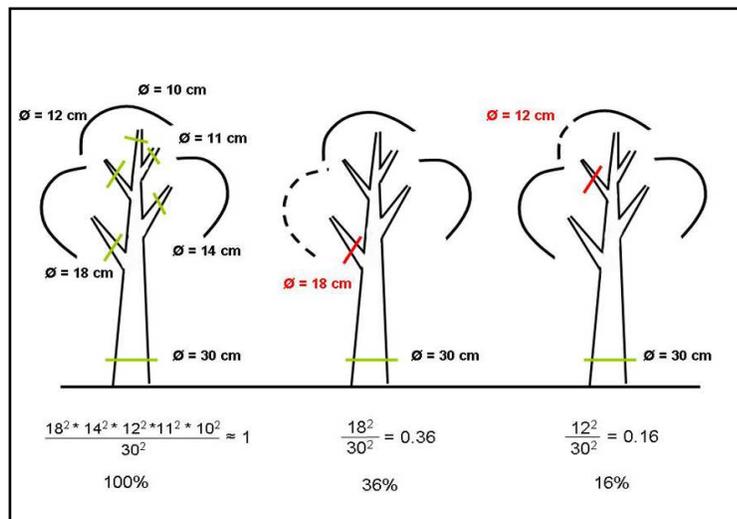


Figure 5. Schématisation du calcul du ratio de réduction de cime (RRC) à partir de la théorie des tuyaux (Shinozaki et al. 1964)

On notera que les ratios sont cumulatifs pour chaque branche élaguée. Dans l'exemple de la Figure 3, si les deux branches de gauche sont retirées, le RRC devient alors 0.52 soit

52%. De la même façon si toutes les branches sont retirées, le RRC atteint une valeur de 1 soit 100% de réduction de cime. Un outil de détermination rapide est disponible en annexe (Annexe 2).

Sur le terrain, les cicatrices des arbres élagués ont donc été classées en 3 groupes relativement à leur âge; très récentes, anciennes et très anciennes. Ces 3 catégories représenteraient donc les 3 derniers passages opérationnels réalisés sur les sites. Mentionnons que si la mesure de l'intensité du dernier passage pouvait être faite avec beaucoup de confiance, plus l'âge des cicatrices augmentait plus l'intensité d'élagage pouvait être sous estimée. En effet, avec le temps, certaines petites cicatrices ont pu se refermer sans possibilité de les comptabiliser. Cependant, les cicatrices de très petite taille ont un impact minimal sur le RRC ce qui rend la sous estimation négligeable.

3) Croissance radiale

L'analyse de la croissance radiale a été faite par le biais de carottes échantillons qui sont prélevées dans le tronc de l'arbre à l'aide d'une sonde Pressler. Ces carottes sont prélevées à hauteur de poitrine à raison de 3 carottes par arbres (cf. Forget et al. 2007).



Figure 4 :
Carottes échantillons pour l'analyse de la croissance radiale

Bien que responsable d'un alourdissement du temps d'analyse, cette répétition d'échantillonnage est nécessaire pour s'assurer d'une bonne mesure de la croissance qui peut être variable tout au long de la circonférence de l'arbre. Ces carottes, pour être analysées, sont ensuite séchées, colées et sablées très finement (Figure 4). La lecture de la largeur des cernes est alors faite en utilisant des loupes binoculaires, une table roulante de précision couplée à un logiciel d'analyse (Velmex Inc., Bloomfield, NY, USA) (Figure 5).

En considérant les sites élagués expérimentalement, le total de carottes analysées s'élève donc à plus de 450.

Grâce à cette méthode, il est possible d'identifier une croissance en mm pour chaque année de vie de l'arbre. Par comparaison avec l'historique des individus, il est ensuite possible d'associer les années de croissance avec les conditions climatiques de ces mêmes années et/ou l'application de traitements pouvant influencer la croissance.

Pour isoler l'effet de l'application d'un traitement de la variabilité interannuelle climatique, il est alors nécessaire d'avoir recours à différentes techniques de « nettoyage » des fréquences de variations ou de relativisation des données (Jardon et al. 2003)

Dans cette étude, la période de temps analysée relativement courte (12 ans) ainsi que l'utilisation du groupe d'arbres témoins ont permis de minimiser le recours à ces techniques. En effet, sur de courtes périodes, la variabilité à faible fréquence (Esper et al. 2002) n'est pas visible et n'a donc pas besoin d'être traitée. Ensuite, en comparant les moyennes de croissance (calculée sur exactement la même période de temps) entre un groupe traité et un groupe témoin, ceci permet de s'affranchir de la variabilité interannuelle, car tout effet climatique annuel est similairement représenté et s'annule dans les 2 groupes. Cependant, certaines corrections restent nécessaires. Pour pouvoir comparer des sites entre eux ou lorsque la croissance est regardée à plus court terme (ex. 3 ans), la relativisation (i) par rapport à une année référence ou (ii) par rapport à l'année précédente (pour suivre la dynamique d'évolution) permet de comparer chaque individu, quelle que soit sa croissance absolue réelle. En effet, dans ce type d'étude, l'important n'est pas la valeur absolue de croissance mais bien l'importance de l'effet d'un traitement sur la modification de cette valeur absolue.



Figure 5 : Lecture des 15 dernières années de croissance.

IV – RÉSULTATS ANNÉE 2008

A- Impact a moyen terme d'un élagage sur la croissance diamétrale

Dans ce volet de l'étude, 2 groupes d'arbres élagués expérimentalement au printemps (site AAF) et en été (site EPO) ont été mesurés pour déterminer l'effet à moyen terme (1 ans) et saisonnier sur la croissance diamétrale. Ces sites sont les même qui avait été utilisés pour identifier l'effet à court terme de l'élagage sur le flux de sève (Delagrange et al. 2007).

1) Élagage expérimental printanier de 2007 (site AAF)

Dans un premier temps, pour s'affranchir de différences initiales absolues entre individu et entre les différents groupes, la croissance diamétrale mesurée a été relativisée par rapport à une année référence (2004). Ainsi, chaque courbe débute à 1, et il est possible de suivre plus aisément l'évolution de la croissance relativement à cette valeur (Figure 8).

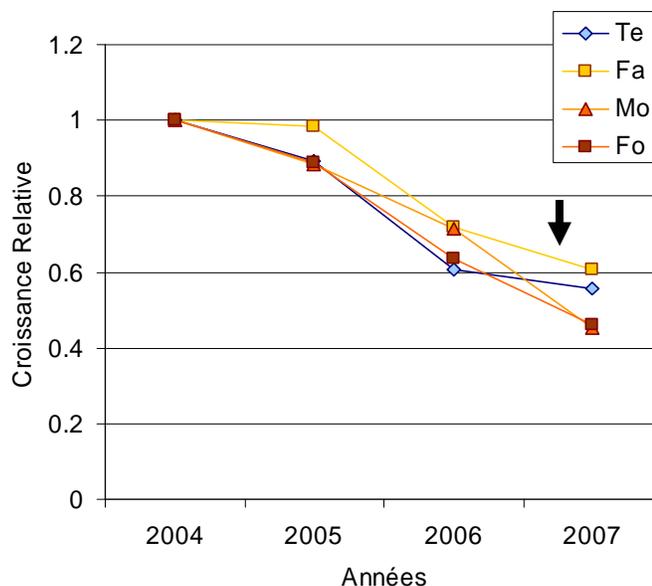


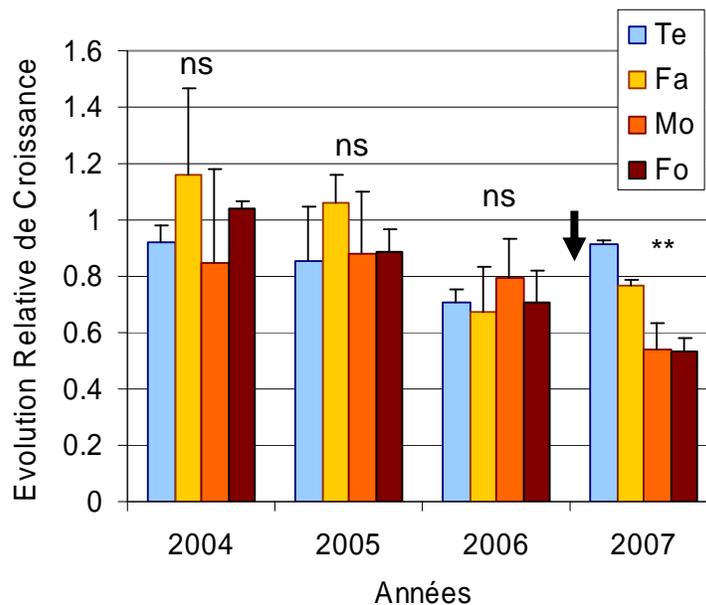
Figure 8. Évolution de la croissance diamétrale relative d'arbres soumis à différentes intensités d'élagage. La flèche indique l'année de l'élagage expérimental (Site AAF)

Avant tout, on note une baisse de croissance chez des 4 groupes d'individus échantillonnés (Témoins [Te], Élagué faiblement [Fa], Élagué modérément [Mo] et Élagué fortement [Fo]) et cela au cours des 4 années étudiées. Ce type de décroissance généralisée n'est malheureusement pas surprenante chez cette espèce et peut être liée à plusieurs causes telles qu'un déclin de vigueur due à la pollution ou encore aux changements climatiques (Duchesne et al. 2003, 2005). Cette tendance (indépendante des

traitements d'élagage) mise à part, on remarque que l'application de l'élagage expérimental printanier a eu un effet sur l'évolution de la croissance (entre 2006 et 2007). En effet, alors que la croissance du groupe Te subissait une légère diminution en 2007, la diminution de croissance des autres groupes (en particulier les Mo et Fo) était bien plus marquée.

En analysant cette fois-ci les données annuelles de croissance relativisées par rapport à la croissance de l'année précédente (figure 9), il est possible de mettre en évidence l'effet de l'élagage printanier. Suite à cet élagage peut-on observer une réduction significative de croissance en fonction de l'intensité du traitement (Figure 7 ; $F = 20.95, p < 0.01$).

Figure 9. Évolution année par année de la croissance diamétrale annuelle relativisée. La flèche indique l'année de l'élagage expérimental (Site AAF). ns : différences non significatives entre traitements, ** différences significatives.



Une représentation à partir des données individuelles de croissances (relativisées de la même manière) confirme que les croissances sont indépendantes de l'intensité d'élagage avant traitement, mais significativement affectées l'année après le traitement (Figure 8 ; $F = 13.18, p = 0.01$) (Figure 10).

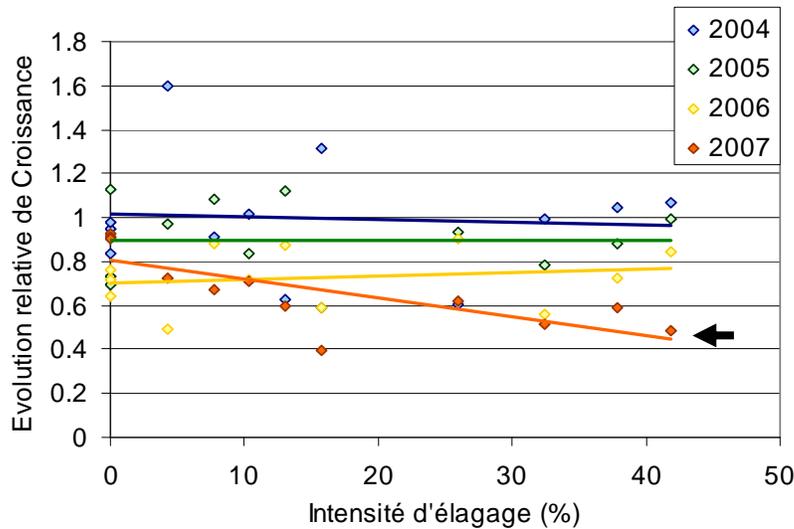


Figure 10. Évolution de la relation entre l'intensité d'élagage et la croissance diamétrale relativisée année par année. La flèche indique l'année de l'élagage expérimental (Site AAF)

Ceci suggère donc que l'augmentation de l'intensité d'un élagage expérimental printanier affecte significativement et négativement la croissance de l'érable à sucre lors de la première pousse après l'application de l'élagage.

2) Élagage expérimental estival de 2007 (site EPO)

Des analyses identiques ont été réalisées pour le site ayant subi l'élagage estival. Alors que sur le site AAF l'érable à sucre démontre une réduction pratiquement constante de la croissance diamétrale par rapport à l'année de référence 2004 (Figure 6), sur le site EPO, pourtant à moins de 10Km du site AAF, c'est surtout en 2007 que la réduction de croissance est apparente (Figure 11).

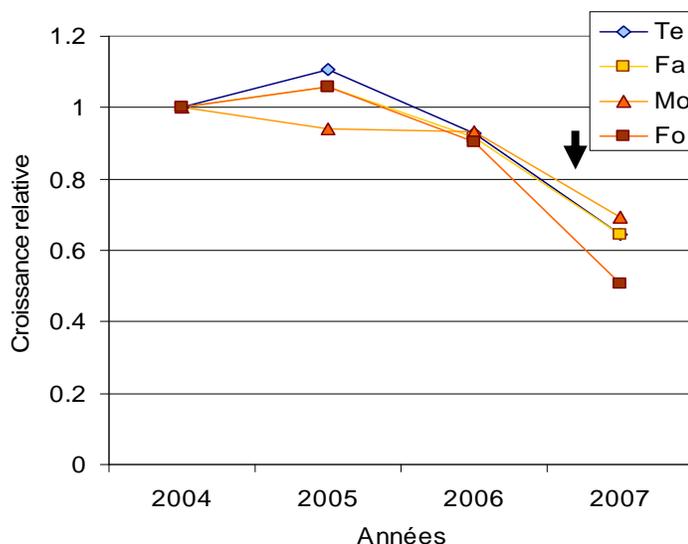


Figure 11. Évolution de la croissance diamétrale relative d'arbres soumis à différentes intensités d'élagage (la flèche indique l'année de l'élagage expérimental (Site EPO))

Malgré ces différences de patrons temporels entre les 2 sites, on observe un effet tout à fait identique de l'élagage sur la croissance des arbres du site EPO en 2007 (Figure 12 ; $F = 8.63, p = 0.02$).

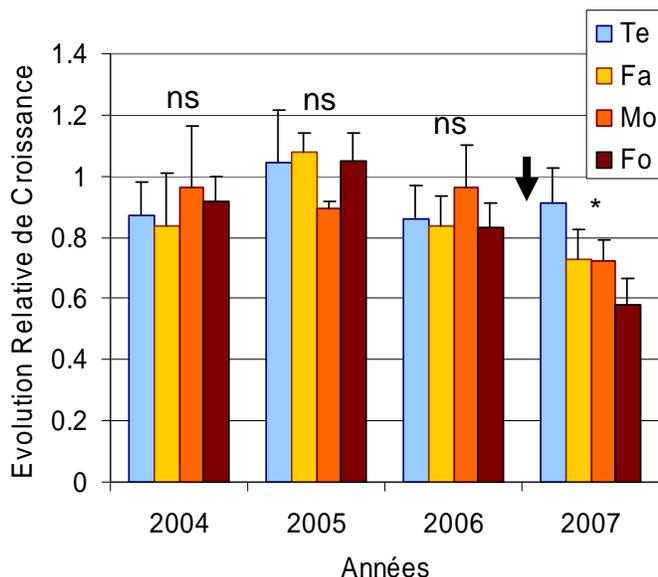


Figure 12. Évolution année par année de la croissance diamétrale annuelle relativisée. La flèche indique l'année de l'élagage expérimental (Site EPO). ns : différences non significatives entre traitements, * : différences significatives.

Seule différence, la réponse des arbres en fonction de l'intensité de l'élagage estival, quoique toujours significative ($F = 4.30, p = 0.04$), semble avoir été légèrement moins prononcée sur les réductions de croissance observées, comme en témoigne la pente plus faible de la relation entre la croissance et l'intensité d'élagage sur le site EPO (Figure 13).

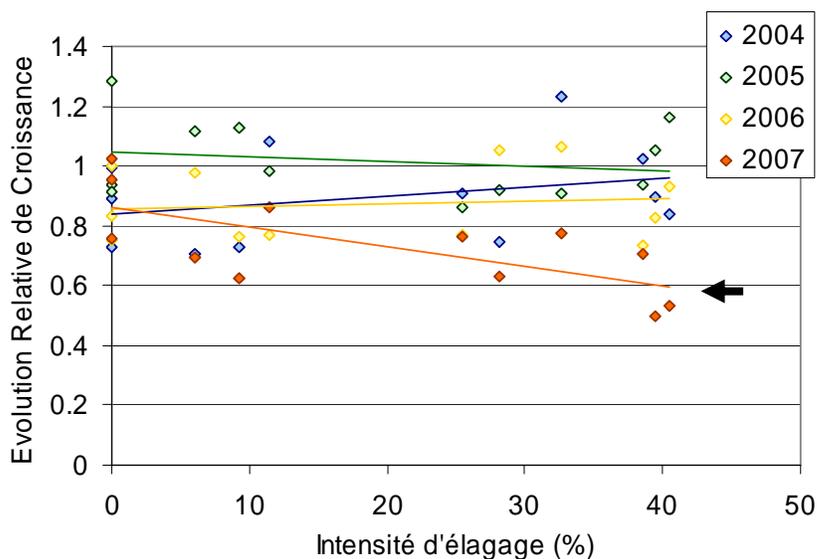


Figure 13. Évolution de la relation entre l'intensité d'élagage et la croissance diamétrale relativisée année par année. La flèche indique l'année de l'élagage expérimental (site EPO)

Il est donc possible de dresser le même constat sur les 2 sites étudiés. En effet, l'élagage estivale a eu un effet d'accentuation (baisse maximale d'environ 35% pour les intensités d'élagage les plus fortes) de la baisse de croissance déjà observée chez les individus témoins d'érable à sucre. Pourtant, pour l'élagage estival, on aurait pu s'attendre à un effet moins marqué (ou décalé d'une année) sur la croissance diamétrale du fait que la pousse annuelle était déjà commencée au moment de l'élagage. Le peu de différence observée entre la saison d'élagage sur la croissance radiale peut s'expliquer par le fait que dans les 2 cas, l'effet induit sur la croissance est directement relié à la perte de feuillage actif. Cette perte diminue alors l'accumulation de carbone pour la croissance et réduit la demande en eau pour la transpiration et donc la largeur du cerne (McDowell et al. 2002).

B- Impact à moyen terme d'un élagage opérationnel sur la croissance diamétrale

Dans cette section sont examinées les réponses à des élagages opérationnels pratiqués le long des lignes de distribution. Dans les secteurs retenus pour étude, les élagages opérationnels se succèdent à un rythme moyen d'un passage au 4 ans. Chacune de ces fenêtres de 4 ans constituent donc les périodes pour lesquelles il est possible d'examiner les effets à moyen terme.

1) Portrait des régions et secteurs

Trois régions ont été visitées pour vérifier l'impact à moyen et long termes d'élagages opérationnels sur la croissance diamétrale ; l'Outaouais (3 secteurs), la Mauricie (2 secteurs) et la Montérégie (2 secteurs). Un portrait des différents secteurs (Table 4) nous montre qu'il n'existe aucune différence pour les moyennes de DHP, de hauteur d'arbre et d'intensité d'élagage totale entre les 3 régions. En revanche, il existe des différences significatives au niveau de ces variables entre les 7 secteurs (Table 4).

Table 4. Portrait des différents secteurs visités pour l'effet à long terme d'un élagage sur la croissance diamétrale. Les moyennes de diamètre à hauteur de poitrine (DHP), de hauteur et d'intensité d'élagage subi sont indiquées en plus de l'analyse des différences.

Région	Secteur	DHP (cm)	Hauteur (m)	Intensité d'élagage (%) [#]
Outaouais (Duhamel)	A	27.5 ^{ab}	20.5 ^c	5.0 ^a
Outaouais (Val des Bois)	B	20.8 ^a	13.3 ^a	9.0 ^b
Outaouais (Namur)	C	27.5 ^{ab}	19.8 ^{abc}	8.1 ^{ab}
Mauricie (Ste-Angèle)	D	30.1 ^b	17.7 ^{ab}	5.4 ^{ab}
Mauricie (St-Didace)	E	27.3 ^{ab}	19.2 ^{abc}	6.7 ^{ab}
Montérégie (St-Paul)	F	39.6 ^c	21.3 ^c	3.9 ^a
Montérégie (Ste-Cécile)	G	31.7 ^{bc}	20.7 ^{bc}	6.7 ^{ab}

Analyse* des différences :

Effet régions (p)	n.s.	n.s.	n.s.
Effet secteurs (p)	< 0.01	0.01	< 0.01

: estimé par la méthode du ratio de réduction de cime (RRC), ***** : Analyse de variances à tiroirs (c'est-à-dire où l'effet des secteurs demeure associé aux régions dans lesquels on les retrouve). **n.s.** : non significatif à $\alpha = 5\%$, c'est-à-dire $p > 0.05$. La présence d'une lettre identique au niveau des valeurs moyennes indique une similitude au niveau du test statistique par secteur.

Devant ce portrait, il apparaît qu'aucune différence de croissance entre région ne pourrait provenir de différence de stade de développement ou de facteur relié à l'échelle régionale. En ce qui concerne les secteurs, les différences de DHP proviennent principalement des faibles valeurs mesurées dans un secteur de l'Outaouais (Val des Bois [B]) et des fortes valeurs mesurées dans un secteur de Montérégie (St-Paul [F]). Cependant, toutes ces valeurs entrent dans l'intervalle de DHP considéré comme la période de croissance optimale (cf. Duchesne et al. 2005), donc aucune différence n'est attendue sous l'effet de ce facteur. Parce que les élagages opérationnels se font au niveau des branches latérales, les différences de hauteur observées entre les secteurs ne peuvent pas être directement attribuables aux opérations. De plus, malgré ces différences de hauteur, on admet que tous les traitements ont affecté une portion identique de cime dans chacun des secteurs. Également, des différences significatives ont été démontrées entre secteurs pour les intensités d'élagage. Cependant, avec des intensités variant entre 3.9 et 9%, elles demeurent très similaires et faibles (en tenant compte du gradient établi dans les élagage expérimentaux).

Il est possible de comparer l'évolution de la croissance entre les secteurs (et cela indépendamment de leur région d'origine) sans risque d'incorporer une variabilité provenant de facteurs extérieurs tels que le stade de développement ou l'intensité d'élagage. Cependant, ceci n'enlève pas la possibilité d'observer des différences de valeurs absolues de croissance entre secteurs, lesquelles seraient reliées à la qualité de la station (p.ex. la fertilité du site) pour l'érable à sucre.

2) Croissance diamétrale après un élagage opérationnel

À la Figure 14 (A à G), l'évolution de la croissance relative d'une année à l'autre pour les témoins et les élagués est présentée pour les 12 dernières années¹. Une valeur supérieure ou inférieure à 1 correspond respectivement à une augmentation ou une diminution de la croissance par rapport à l'année précédente. On notera que la présence de nombreuses valeurs inférieures à 1 chez les témoins indique qu'année après année la croissance est de moins en moins bonne, suggérant une tendance de diminution de la croissance chez l'érable à sucre durant ces 12 dernières années. Comme indiqué pour les sites élagués expérimentalement, cette décroissance pourrait être due à la pollution ou aux changements climatiques (déperissement) mais elle semble généralisée dans tout le sud du Québec.

Durant la période de 12 ans investiguée, 3 passages d'élagage ont été effectués (excepté pour le site de Namur où seulement 2 passages ont été répertoriés). L'examen de ces graphiques révèle qu'il est possible d'observer chez les individus élagués des variations de croissance de mêmes amplitudes que chez les individus témoin sans qu'un patron clair et récurrent puisse être mis en évidence. Cependant, on observe également que sur les 20 élagages opérationnels effectués, 17 ont amené à une évolution de croissance inférieure pour les arbres élagués comparativement aux individus témoins, l'année de la première pousse, ce qui est en accord avec les résultats obtenus lors des élagages expérimentaux.

¹ Également une relativisation de la croissance diamétrale par rapport à une année de référence unique (ici 1995) a été faite. Les graphiques des croissances ainsi relativisées, et des croissances absolues, sont présentées en annexe pour chaque secteur afin de ne pas surcharger le texte [cf. Annexes 3 à 9]).

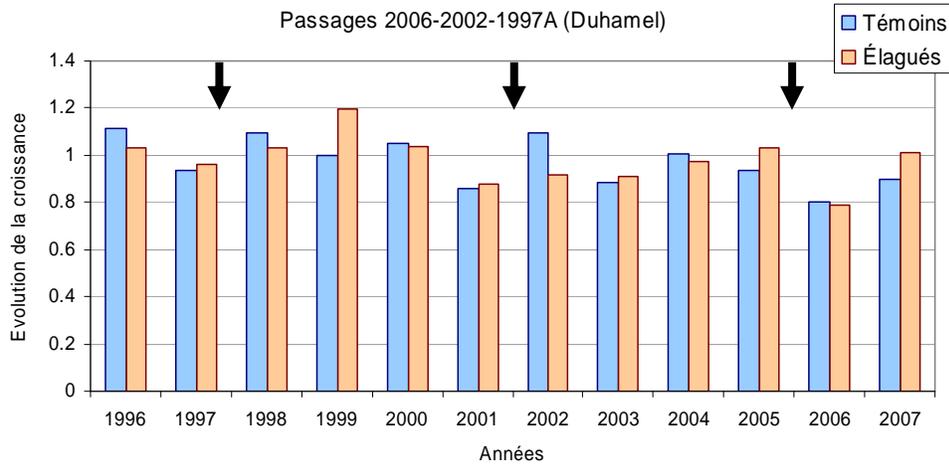
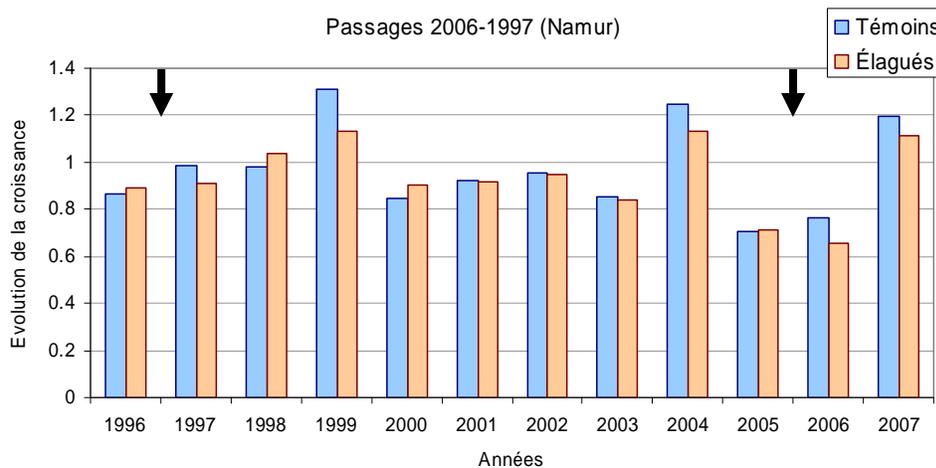
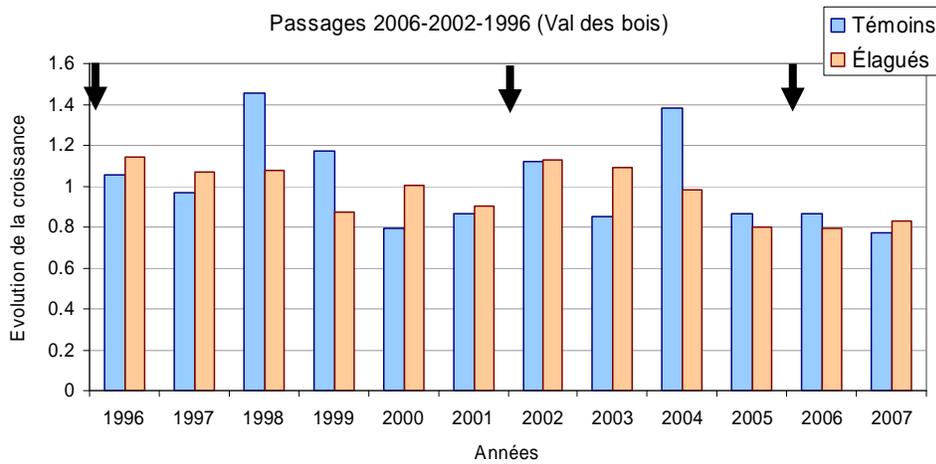


Figure 14A, B et C. Évolution de la croissance relativisée année par année. Les flèches indiquent les élagages opérationnels. La lettre A juxtaposée aux années signifie que l'élagage a été effectué en période automnale.



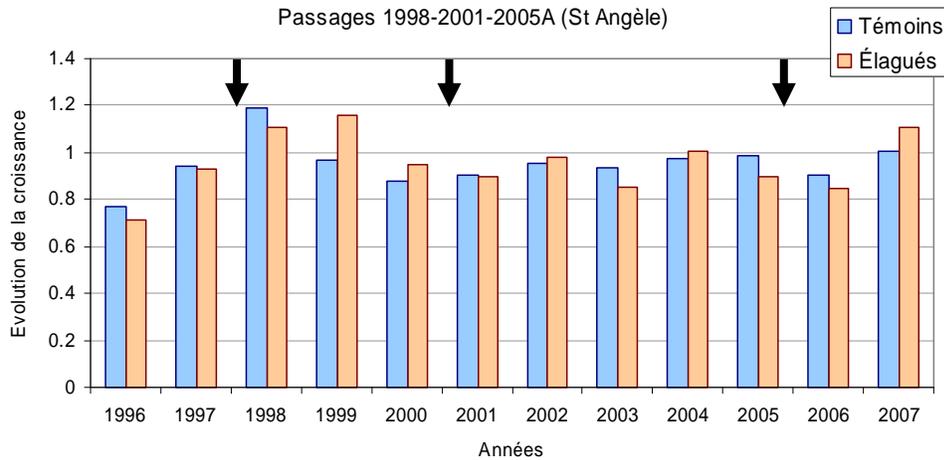
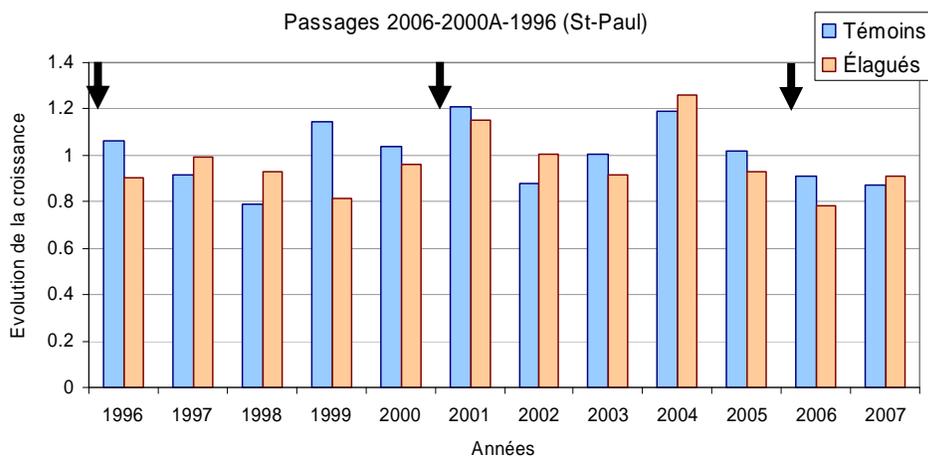
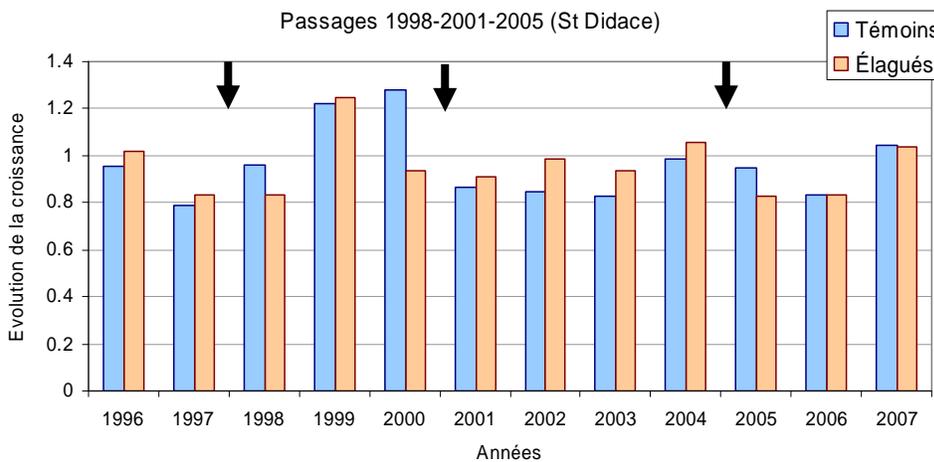


Figure 14D, E et F. Évolution de la croissance relativisée année par année. Les flèches indiquent les élagages opérationnels. La lettre A juxtaposée aux années signifie que l'élagage a été effectué en période automnale.



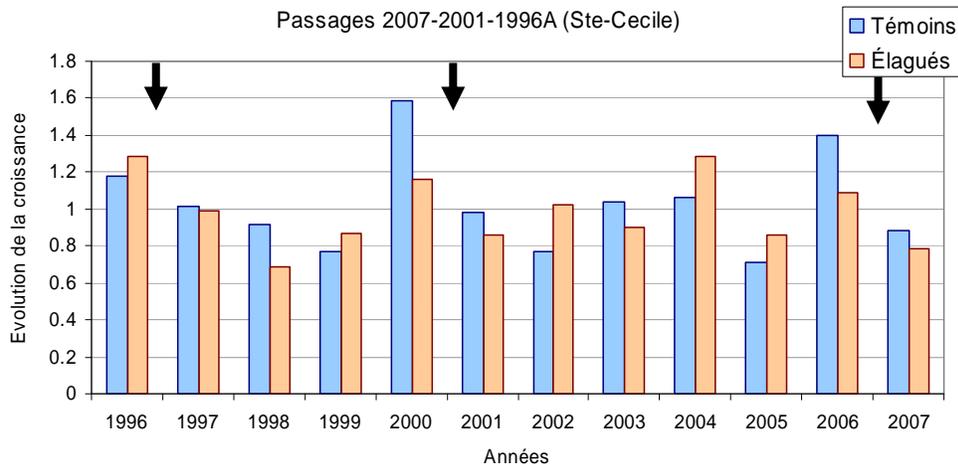


Figure 14G. Évolution de la croissance relativisée année par année. Les flèches indiquent les élagages opérationnels. La lettre A juxtaposée aux années signifie que l'élagage a été effectué en période automnale.

De plus, en observant l'année de la seconde pousse après l'élagage, sur les 19 élagages étudiés (pas de données de 2008 pour l'élagage de 2007 à Ste-Cécile), 17 ont amené à une évolution de croissance supérieure pour les arbres élagués comparativement au témoins l'année de la deuxième pousse (cf. Figure 14A à G). Ainsi, on peut soupçonner un effet stimulant de l'élagage sur la croissance lors de cette deuxième pousse, probablement associé avec la remobilisation de réserve pour combler la portion de cime perdue. En effet, ceci augmenterait la demande évaporative par rapport à l'année précédente, ce qui forcerait l'arbre à développer un cerne plus large pour conduire plus d'eau (McDowell et al. 2002). À la troisième année, plus aucune différence significative n'était visible entre témoins et élagués.

L'ensemble de ces variations est synthétisé dans la Figure 15 où l'on présente la différence de l'évolution de croissance entre la pousse avant le traitement et la 1^{ère} pousse après le traitement (Figure 15A) et la différence de l'évolution de croissance entre la 1^{ère} pousse après le traitement et la 2^{ème} pousse après le traitement (Figure 15B). Dans ces figures, des valeurs <0 signifient une diminution de croissance par rapport à l'année précédente et des valeurs >0, une augmentation. On peut voir que l'année de la première pousse, qu'elle que soit l'évolution de la croissance des témoins, l'évolution de croissance des élagués est toujours inférieure (Figure 15A) excepté pour les 3 cas où l'évolution de la croissance des témoins était la plus faible (c'est-à-dire où l'évolution de la croissance des témoins était < -0.2). De même, l'année de la deuxième pousse, l'inverse est vrai (Figure

14B), sauf pour les 2 cas où l'évolution de la croissance des témoins est la plus forte (c'est à dire où l'évolution de la croissance des témoins était > à 0.3).

Ce résultat particulier nous aide donc à conclure, que l'effet néfaste de l'élagage l'année de la première pousse est annulé lorsqu'il concorde avec les plus mauvaises années et que l'effet bénéfique de l'élagage l'année de la deuxième pousse est lui aussi annulé lorsqu'il coïncide avec de très bonne années.

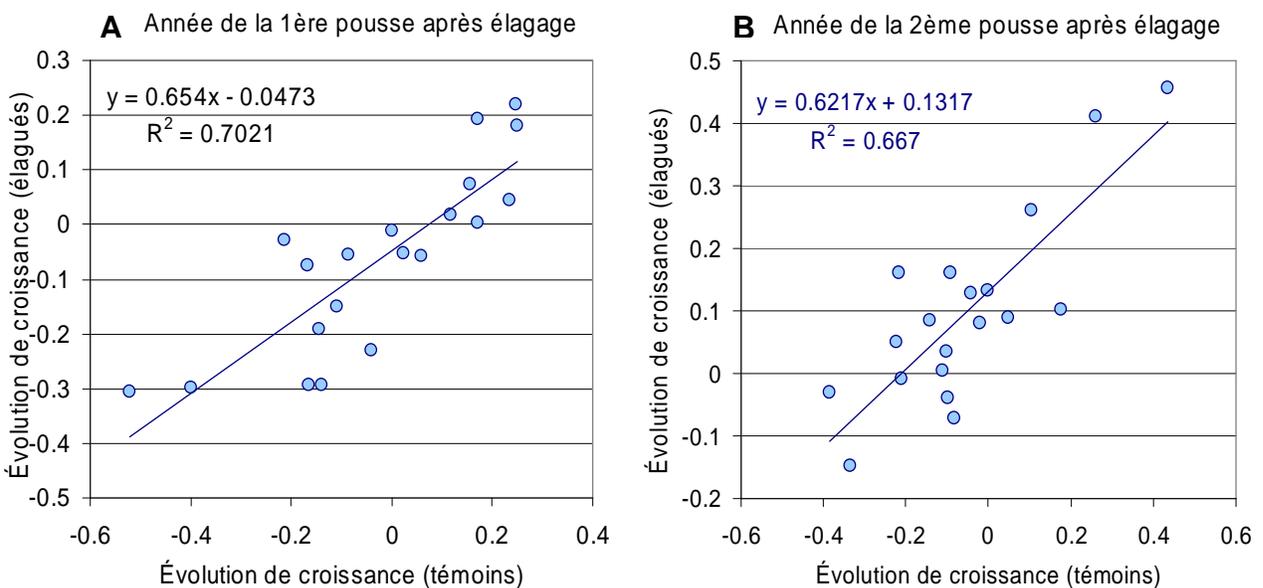


Figure 15. Relation entre l'évolution de la croissance des témoins (relativisée année par année) et celle réalisée par les arbres élagués à la même période. A) relation lors de l'année de la première pousse après élagage et B) relation lors de l'année de la deuxième pousse après l'élagage.

Plus globalement, on remarquera que les pentes de ces deux relations sont identiques (analyse non montrée), ce qui signifie que la perte occasionnée la première année est complètement compensée par le gain de la deuxième année. Sur un horizon de 3 ans, et bien qu'ayant des évolutions différentes, les deux groupes ne démontrent donc pas de différences significatives dans leur croissance. En effet, pour l'ensemble des 20 périodes d'élagages, l'étude de l'évolution de la croissance sur une période de 3 ans (pousse avant l'élagage, pousse après l'élagage et 2^{ème} pousse après l'élagage), montre que la

croissance des individus témoins a diminué en moyenne de 1.6% alors que celle des élagués de 2.1% (moyennes statistiquement non différentes : $F = 0.25$, $p = 0.619$).

Ainsi, à moyen terme, on observe que l'effet négatif de l'élagage s'éteint dès la seconde année suivant les opérations.

C- Impact a long terme d'un programme d'élagage opérationnel

1) Vigueur de cime et de tige après un programme d'élagage opérationnel

En ce qui concerne la vigueur de la cime, le pourcentage de dépérissement, la vigueur de la tige et le nombre de défauts (chancres, caries, blessures, bosses...), seule une différence dans la vigueur de la tige est ressortie significative en comparant les groupes d'individus témoins et élagués (cf. Table 5). Aucune différence n'a donc pu être mise en évidence entre les individus témoins et élagués pour le dépérissement de la cime, la vigueur de la cime et les défauts de la tige (cf. Table 5).

Table 5. Sommaire de l'analyse des différences pour la vigueur de la cime (VC), le dépérissement de la cime (DEP), la vigueur de la tige (VT) et du nombre de défauts de la tige (DEF) entre secteurs, entre arbres élagués et non élagués et leur interaction.

<u>Analyse* des différences :</u>	VC (%)	DEP (%)	VT (%)	DEF (nbr/tige)
Effet secteurs (p)	< 0.01	< 0.01	< 0.01	n.s.
Effet traitement [#] (p)	n.s.	n.s.	0.02	n.s.
Effet d'interaction (p)	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

* : Analyse de variances à 2 facteurs. **n.s.** : non significatif à $\alpha = 5\%$, c'est-à-dire $p > 0.05$. [#] : l'effet traitement concerne la comparaison entre élagués et non-élagués (indépendamment de l'intensité)

En revanche, des différences significatives entre secteur sur la vigueur de la cime, le pourcentage de dépérissement et la vigueur de la tige sont ressorties dans l'analyse. Ceci suggère donc que l'état général de vigueur des secteurs était très différent d'un secteur à l'autre et cela indépendamment de l'application d'un élagage opérationnel. On remarquera

dans la Figure 16, qu'une tendance (non significative) semble montrer que la qualité du site (au regard de l'éérable à sucre) aurait un lien avec chacun des indices de vigueur. En effet, plus l'éérable était capable de montrer des croissances moyennes absolues élevées chez les témoins, plus la vigueur de la cime et de la tige ont tendance à augmenter et plus le dépérissement et le nombre de défauts ont tendance à diminuer.

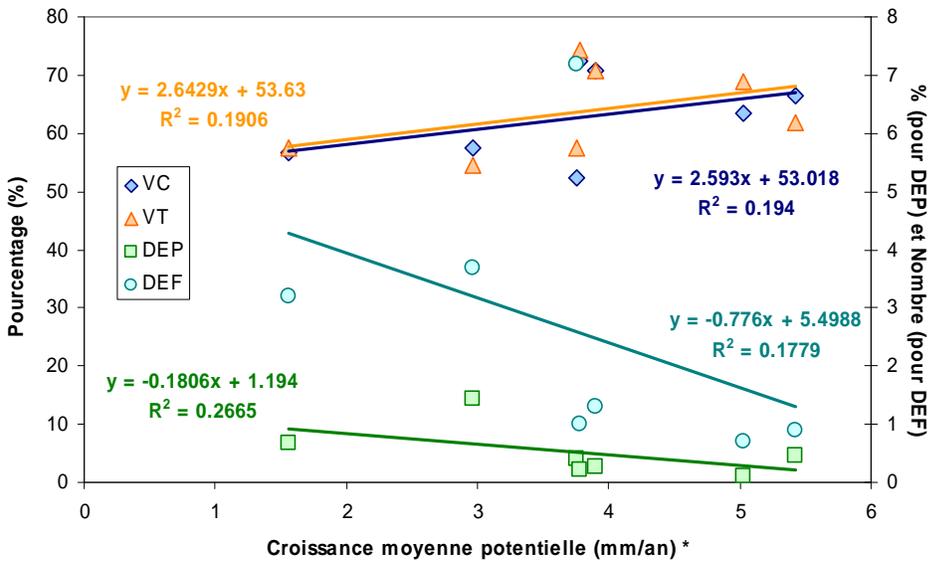


Figure 16. Relation entre un indice de qualité de site pour l'éérable à sucre (croissance moyenne potentielle mesurée sur des arbres témoins) et les paramètres de vigueur de cime et de tige.

2) Notions importantes pour l'analyse de l'effet à long terme sur la croissance

Pour identifier l'impact à long terme, les 7 secteurs ont été analysés mais cette fois sur une période de 12 ans, ce qui englobait généralement l'application de 3 élagages opérationnels (sauf pour le secteur C [Namur] en Outaouais où seulement 2 passages auraient été effectués durant cette période). Pour cette analyse, l'effet traitement (l'élagage) correspond donc à un effet cumulatif de plusieurs passages sur la même population d'arbres. Cependant, ceci ne signifie pas que chacun de ces arbres aient été élagué de la même façon et à la même intensité pour chacun des passages. Pour éviter tout biais, l'incorporation des individus élagués dans l'analyse a été faite avec la confirmation sur le terrain de la présence de traces (cicatrices) d'au moins 2 élagages et souvent de 3 élagages sur ces individus.

De plus, afin de faciliter l'interprétation de l'analyse de l'effet long terme, 2 paramètres intégrateurs de l'impact que pourrait avoir un élagage sur la croissance ont été produit : **la moyenne de croissance annuelle en diamètre sur la période de 12 ans et la pente de l'évolution de cette croissance pendant cette même période de 12 ans**. Pour vérifier que des différences potentielles entre les groupes n'existaient pas avant cette période de 12 ans, la croissance dite initiale en 1995 a aussi fait partie de l'analyse.

3) Croissance diamétrale après un programme d'élagage opérationnel (12 ans)

Aucune interaction entre les secteurs et le traitement ne s'est avérée significative sur les 3 variables testées (Table 6). Les interprétations de variations de la croissance à long terme en fonction des secteurs et celles en fonction des traitements sont donc présentées séparément.

Table 6. Résumé de l'analyse de l'effet secteur, l'effet traitement et de leur interaction sur la croissance moyenne (sur 12 ans), la croissance initiale (1995) et la pente de l'évolution de cette croissance durant les 12 ans.

<u>Analyse* des différences :</u>	Croiss_Moy		Croiss_Ini		Pente_Croiss	
	F	p	F	p	F	p
Effet « Secteur »	7.18	< 0.01	7.61	< 0.01	4.48	< 0.01
Effet « Traitement »	12.10	< 0.01	0.74	n.s.	4.07	0.04
Effet « d'Interaction »	0.91	n.s.	0.44	n.s.	1.32	n.s.

* : Analyse de variances à 2 facteurs. **n.s.** : non significatif à $\alpha = 5\%$, c'est-à-dire $p > 0.05$.

a) L'effet traitement

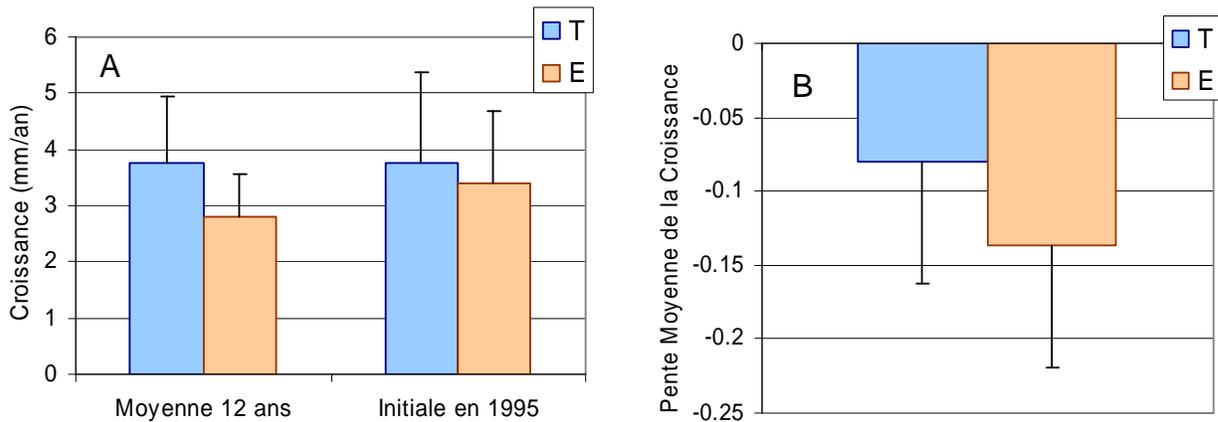
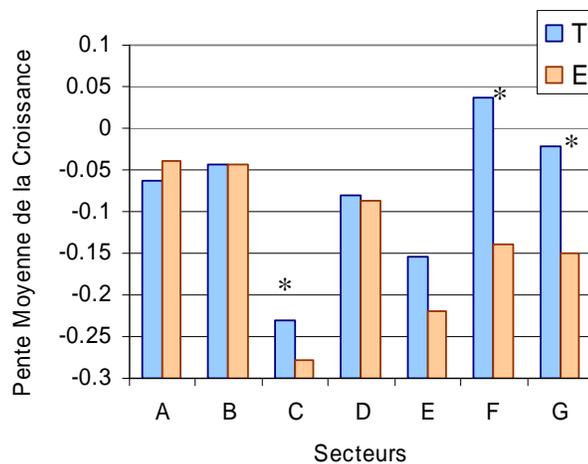


Figure 17. Moyenne de (A) la croissance diamétrale moyenne sur 12 ans et initiale en 1995 et (B) de la pente de la croissance diamétrale sur une période de 12 ans pour des individus témoins (T) et élagués (E).

Le programme d'élagage (3 passages) a eu un effet significatif sur la moyenne de croissance diamétrale de l'érable à sucre lorsque celle-ci est calculée sur une période de 12 ans (Table 6, Figure 17). Pour les secteurs C à G, ceci s'explique directement par une augmentation de la pente décroissante (déjà observée pour les individus témoins) (Table 6, Figure 17C). Cependant, il est important de noter qu'individuellement, seulement trois secteurs (Namur, St-Paul et Ste-Cécile) ont montré des différences significatives alors que les 4 autres ont montré des tendances similaires mais non significatives ou aucune différence (Figure 18, cf. aussi Annexes 3 à 9 Croissance Relative).

Figure 18. Moyenne de la pente de la croissance diamétrale sur une période de 12 ans pour des individus témoins (T) et élagués (E) en fonction des secteurs.



De plus, même si aucune différence significative entre le groupe témoin et le groupe élagué n'était visible pour la croissance initiale, là encore une tendance suggérait que les témoins avaient toujours en 1995 une meilleure croissance que les élagués (données non montrées). Ceci est important car cette tendance, même non significative, a fait en sorte que de très petites différences de pente entre témoins et élagués ont amené à des différences significatives dans la croissance moyenne globale (Table 6).

En calculant l'effet moyen de l'élagage sur l'ensemble des secteurs, on observe une diminution de 18% de la croissance moyenne sur une période de 12 ans pour les individus élagués comparativement aux individus non élagués.

a) L'effet secteur

Autre résultat intéressant, l'effet secteur semble très fort et cela pour tous les paramètres testés. D'abord, la croissance moyenne de l'ensemble des individus a grandement varié en fonction des secteurs (Table 6), ce qui suggère une qualité de site (vis-à-vis de l'érable à sucre) elle aussi très variable entre secteurs. Ceci est confirmé par le fait qu'en 1995, la croissance dite initiale était déjà très variable en fonction des secteurs (Table 6). Cependant, il a été très intéressant de voir que la pente de l'évolution de croissance (indépendamment du traitement) soit elle aussi ressortie significativement différente entre les secteurs (Table 6). La décroissance généralisée de l'érable à sucre (observée à l'échelle du sud du Québec), ne s'avère donc pas équivalente pour tous les sites. De plus, si l'on considère que l'effet de l'élagage est constant d'un site à l'autre (Table 6, cf. effet d'interaction non significatif), l'impact sur la croissance lui ne le sera pas car plus la décroissance originale sera forte, plus la perte (qui est un pourcentage de cette décroissance) sera elle aussi élevée.

Finalement, en utilisant la croissance moyenne des individus témoins comme indice de qualité de site (plus elle est élevée, plus la qualité du site est bonne), on s'aperçoit que la pente de croissance durant les 12 dernières années tend à être plus négative sur les sites ayant les meilleures qualités ($F = 4.79$, $p = 0.08$). Puisque l'effet du traitement sur la pente est le même sur tous les secteurs (Table 6, cf. effet d'interaction non significatif), l'impact

de l'élagage a donc tendance à être de plus en plus élevé avec l'augmentation de la qualité du site pour l'érable à sucre (Figure 18). En fait, sur le site le moins propice à la croissance de l'érable à sucre (Val des Bois), l'élagage semble même avoir eu un effet positif qui ne s'est cependant pas transformé dans les différences significatives. Ensuite, plus la qualité de site augmente et plus l'effet avait tendance à être négatif, pour atteindre près de 30% de réduction de la croissance moyenne sur 12 ans sur les sites plus riches.

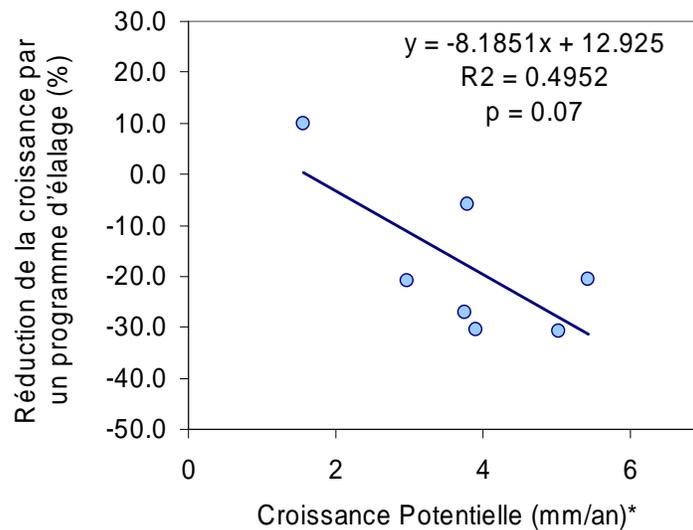


Figure 19. Réduction de croissance associée à un programme d'élagage sur une période de 12 ans (généralement 3 passages opérationnels)

Cette relation pourrait devenir importante dans le cadre d'une estimation de l'impact de l'élagage en fonction des secteurs. Il serait en effet possible d'estimer l'impact potentiel d'un programme d'élagage sur une lisière d'érablière, en utilisant la croissance moyenne d'individus témoins proches non élagués et pourtant dans des conditions environnementales très similaires.

IV – CONCLUSIONS

L'effet à moyen terme

Les sites ayant subi les élagages expérimentaux ont clairement montré qu'il existait un impact de l'élagage sur la croissance dès la première pousse après l'élagage. Cet impact augmente d'ailleurs avec l'augmentation de l'intensité de l'élagage ; sur nos sites, un élagage faible (inférieur à 15% de la cime) a eu pour effet de diminuer de 15 à 20% la croissance diamétrale alors qu'un élagage fort (près de 40% de la cime) a diminué cette même croissance de plus de 30%. Cependant, l'analyse à moyen terme des élagages opérationnels réalisés dans 7 secteurs différents nous a permis de voir que si l'effet négatif lors de la première pousse était avéré, un effet positif était induit lors de la deuxième pousse après l'élagage (effet de réponse). D'ailleurs, sur un horizon de 3 ans, aucun impact significatif n'a pu être démontré sur la croissance (diminution de 0.5% de la croissance comparativement au groupe témoin).

Aucun effet de la période (saison) d'élagage n'a pu être mis en évidence lors de cette étude. Cependant, seules 2 périodes (printemps et été) ont été testées expérimentalement et dans le cadre des élagages opérationnels. De plus, les historiques de passages disponibles n'étaient pas assez détaillés pour permettre de tester le facteur saisonnier sur l'effet à long terme, mais il semble clair que l'effet de l'élagage n'est pas différent s'il est fait au printemps ou à l'automne. La seule remarque à faire est que l'impact de l'élagage se fait ressentir l'année de la première pousse après l'application du traitement.

Effet à long terme

En ce qui concerne l'effet à long terme, très peu d'effets ont été mis en évidence sur la vigueur des arbres suite à un programme d'élagages répétés (12 ans). Seul l'aspect visuel de la tige (du aux bosses de cicatrisation) est ressorti durant l'analyse. L'ensemble des autres aspects de vigueur (de cime ou de tige) s'est plutôt avéré dépendant du secteur (et donc à la qualité du site pour l'érable à sucre) que du programme d'élagage. En revanche, l'élagage a eu pour effet de diminuer la croissance diamétrale moyenne (de 18%) sur la période étudiée de 12 ans. Ceci provenait directement de l'addition (i) de l'effet de l'élagage durant la période via une augmentation de la décroissance déjà observée chez le groupe témoin et (ii) d'un effet passé (probablement l'historique d'élagage) qui avait généré au début de la période étudiée une tendance où les arbres élagués avait initialement une croissance légèrement plus faible.

Cependant, une assez grande variabilité a été révélée entre les secteurs, où certains voyaient leur croissance clairement affectée par le programme d'élagage et d'autres pas du tout ou même stimulée par ce même traitement. En discriminant les secteurs selon leur potentiel à permettre une bonne croissance à l'érable à sucre, il s'avère que l'effet du programme d'élagage était d'autant plus marqué sur la croissance que celle-ci était bonne sur ce site. Ainsi, on pourrait conclure que moins l'érable à sucre performe sur un site, moins les effets d'un programme d'élagage seront apparents.

L'ensemble de ces résultats démontre qu'un programme d'élagage (sur 12 ans) correspond à un stress faible qui atteint les individus à long terme et d'abord dans leur croissance et seulement si celle-ci est bonne. Ceci concorde avec la théorie voulant qu'un déclin de croissance est le premier signe (avant tout autre signe visuel de vigueur de cime ou de tige) à être identifié sous l'effet d'un stress Duchesne et al. 2003).

Mise en contexte de ces conclusions

En premier lieu il est important de reconnaître que les analyses de croissance diamétrale ont montré une diminution de croissance généralisée chez l'érable à sucre et cela sur la quasi totalité des sites visités. Cette décroissance n'est en rien reliée au programme d'élagage d'Hydro-Québec distribution mais plutôt associée à une modification des conditions environnementales (acidification des sols, pollution, changements climatiques, etc.) non favorable pour cette essence. Cependant, il a semblé clair que l'élagage pouvait avoir un effet sur les secteurs déjà affectés par la décroissance de l'érable à sucre.

Ensuite, dans un contexte de potentiel de coulée de sève, il est important de rappeler que la relation entre la croissance diamétrale et la superficie d'aubier conductrice de sève n'a pas encore été établie. Cette relation est importante car il est soupçonné que si la croissance diamétrale est réduite, la superficie conductrice l'est aussi, diminuant le potentiel de coulée. Toutefois, afin de conclure sur ce point, il sera nécessaire de réaliser une analyse de cette relation entre croissance diamétrale et superficie conductrice. En effet, la baisse de superficie des cernes pourrait être atténuée par une augmentation du nombre de cernes conducteurs.

Finalement, il ne faut pas perdre de vue que cette étude est faite à l'échelle de l'individu. A l'échelle du peuplement, les arbres de bordures pouvant être élagués ne peuvent représenter une proportion supérieure à 10% des arbres d'un peuplement. Donc, les effets identifiés au niveau de l'arbre se trouveront grandement diminués lorsque qu'on considèrera l'ensemble d'un peuplement.

RÉFÉRENCES

- Delagrange S., Lorenzetti F. et Doyon F. 2007 Effet de l'élagage sur la circulation de sève chez l'érable à sucre. Rapport final Phase 1 - Effets à court et moyen terme. Institut québécois d'Aménagement de la Forêt feuillue, Ripon, Québec. Rapport Final. 26 p + Annexes.
- Duchesne L., Ouimet R., Morneau C. 2003. Assessment of sugar maple health based on basal area growth pattern. *Can. J. For. Res.* 33: 2074–2080
- Duchesne L., Ouimet R., Moore J-D., and Paquin R. 2005. Changes in structure and composition of maple-beech stands following sugar maple decline in Québec, Canada. *Forest Ecology and Management* 208: 223-236.
- Esper J., Cook E.R. et Schweingruber F.H. 2002. Low-Frequency Signals in Long Tree-Ring Chronologies for Reconstructing Past Temperature Variability. *Science* 295 : 2250 - 2253
- Forget E., Nolet P., Doyon F., Delagrange S., and Jardon Y. 2007. Ten-year response of northern hardwood stands to commercial selection cutting in southern Quebec, Canada. *Forest Ecology and Management* 242: 764-775.
- Jardon, Y., Morin, H. and Dutilleul, P. 2003. Periodicity and synchronism of spruce budworm outbreaks in Quebec. *Canadian Journal of Forest Research*, 33 :1947-1961.
- Mäkelä et Valentine 2006 Crown ratio influences allometric scaling in trees. *Ecology*. 87 : 2967–2972
- McDowell N., Barnard H., Bond B.J., Hinckley T., Hubbard R.M., Ishii H, Köstner B., Magnani F., Marshall J.D., Meinzer F.C., Phillips N., Ryan M.G., and Whitehead D. 2002. The relationship between tree height and leaf area:sapwood area ratio. *Oecologia* 132: 12-20
- Shinozaki, K., Yoda, K., Hozumi, K., Kira, T., 1964. A quantitative analysis of plant form: the pipe model theory. I. Basic analyses. *Japanese Journal of Ecology*. 14, 97-105.
- Soutrenon A. 1990. Elagage artificiel et problèmes phytosanitaires chez les feuillus. *La forêt privée, revue forestière européenne*. 195 : 23-33.

ANNEXES

ANNEXE 1 - CALENDRIER DÉTAILLÉ DE L'ÉTUDE PAR ANNÉE

Année 1 (2006)

- Achat de matériel (Sonde à dissipation de chaleur pour mesure de flux de sève).
- Sélection de sites.
- Terrain (été)
 - Calibration des appareils (Sonde à dissipation de chaleur pour mesure de flux de sève)
 - Mesure des flux de sève pour des arbres non élagués en bordure de champs.
 - Carottage des troncs pour l'analyse de ces mêmes arbres.
 - Détermination des relations de références entre : Surface de conductivité / Croissance radiale / Flux de sève, pour ces arbres.
- Évaluation de l'intensité de l'élagage sur les différents individus.
- Analyse des données.
- Rapport d'activités.

Année 2 (2007)

- Achat de matériel (Capteurs de Pression, température et humidité relative).
- Terrain
 - Au printemps : élagage des sites pour les mesures au printemps 2007. Mesures (flux de sève, pression de sève et carottage) et comparaison des relations entre : Surface de conductivité / Croissance radiale / Flux de sève, pour des arbres élagués et non élagués en bordure de champs.
 - A l'été : (i.) poursuite des mesures du printemps et (ii.) carottage d'arbres ayant subi un historique connu d'élagage (cycle d'élagage documenté par Hydro-Québec) afin d'analyser l'impact sur la croissance et l'effet de la période d'élagage).
- Analyse des données.
- Production d'un rapport préliminaire.

Année 3 (2008)

- Sélection de sites ailleurs au Québec et prise de carottes pour l'analyse de la croissance.
- Terrain
 - Au printemps et été: nouvelles mesures (flux de sève et carottage) et comparaison des relations entre : Surface de conductivité / Croissance radiale / Flux de sève, pour des arbres élagués et non élagués en 2007.
- Visite des sites élagués sur le RMT dans trois régions du Québec pour définir l'importance de l'intensité et de la période de l'élagage.
- Analyse des données
- Production d'un rapport préliminaire avec un guide sur l'évaluation de l'intensité de l'élagage.

Année 4 (2009)

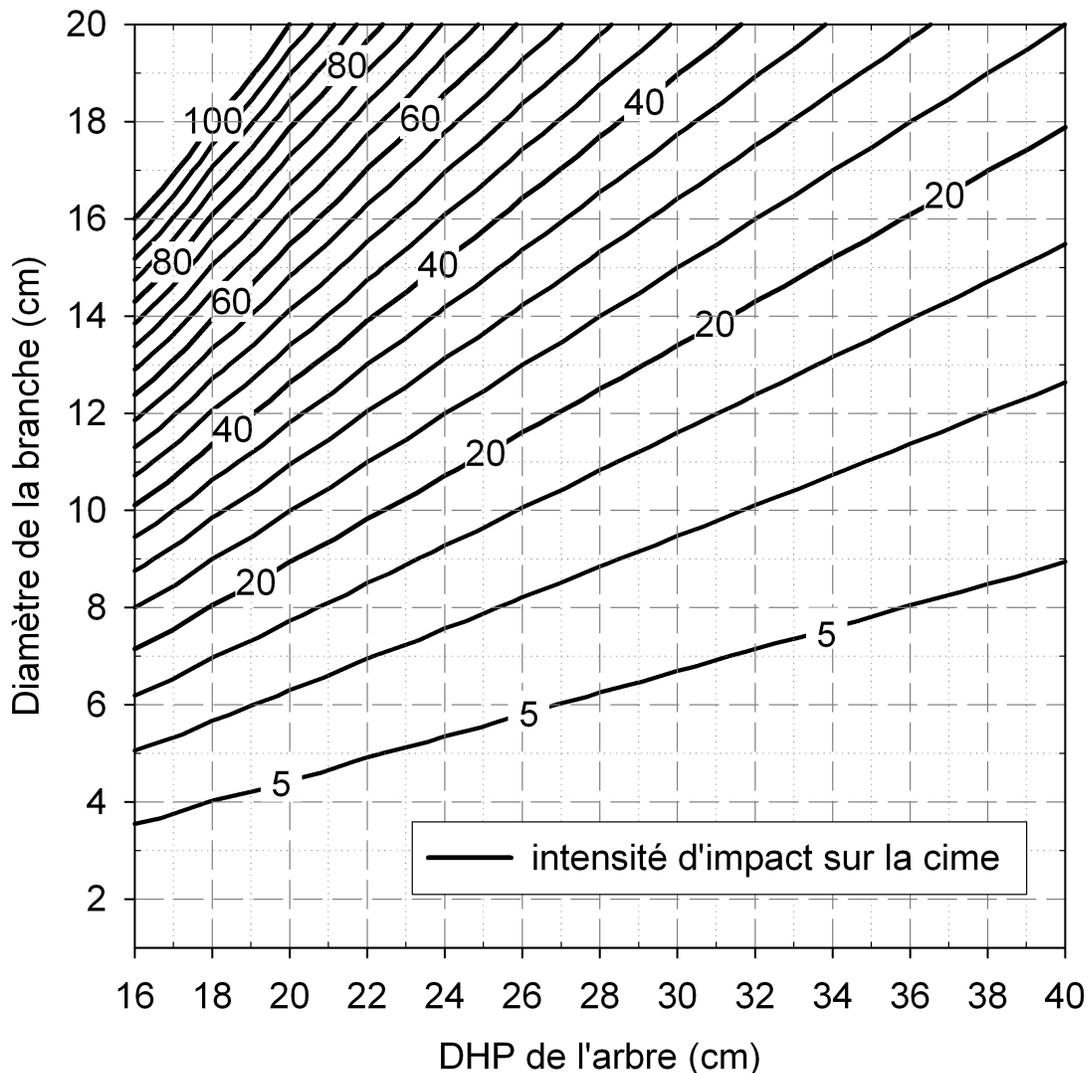
- Terrain
 - Au printemps et/ou été: Retour sur le site élagué en 2006 et mesures (flux de sève, pression de sève et carottage) et comparaison des relations entre : Surface de conductivité / Croissance radiale / Flux de sève, pour des arbres élagués (2006) et non élagués. Ceci permettra de vérifier l'impact de l'élagage à moyen terme [dans la 3^{ème} année]
 - Mesures complémentaires (si besoin ressenti au cours des années).
- Analyse des données.
- Production d'un rapport final et du modèle d'évaluation de l'impact.
- Présentation des résultats (Hydro-Québec, UPA, etc.).

ANNEXE 2 - MODELE GRAPHIQUE D'ESTIMATION DE L'INTENSITE D'ELAGAGE.

Ce modèle se base sur la connaissance 1) du diamètre à hauteur de poitrine de l'individu élagué et 2) du diamètre de la branche coupée. Si plusieurs branches doivent être coupées, l'addition des intensités estimées pour chaque branche permet d'évaluer l'intensité total de la réduction de cime (RRC : ratio de réduction de cime). **IMPORTANT : Cet outil graphique donne une évaluation approximative (par tranche 5%) de l'intensité d'élagage.**

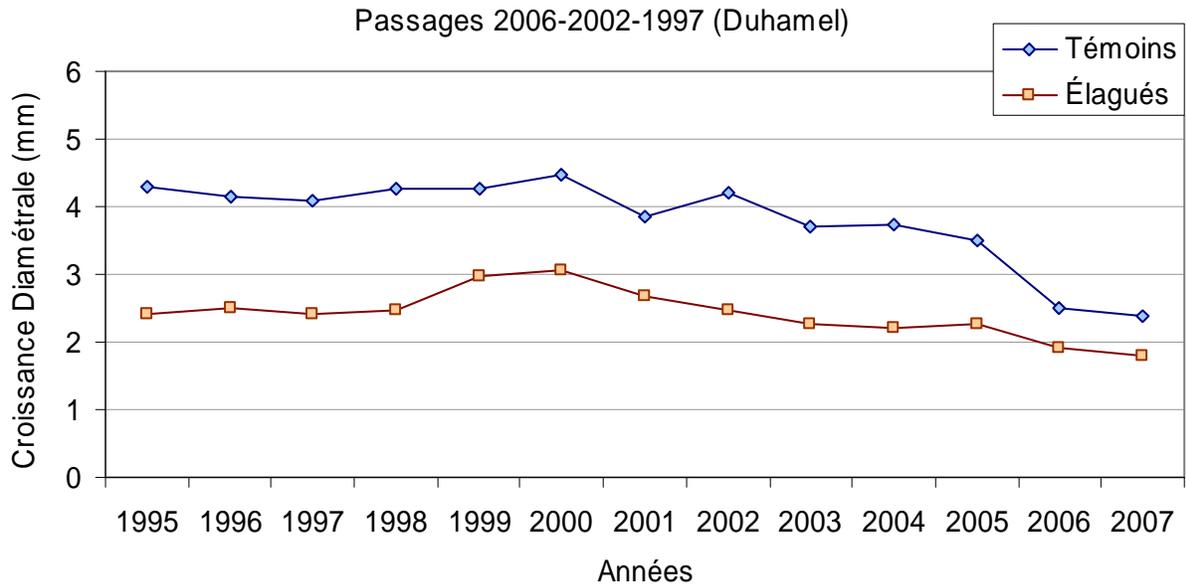
Modèle de calcul de l'intensité de l'élagage sur la cime (%)

" Calculé à partir du diamètre de branche et du DHP "

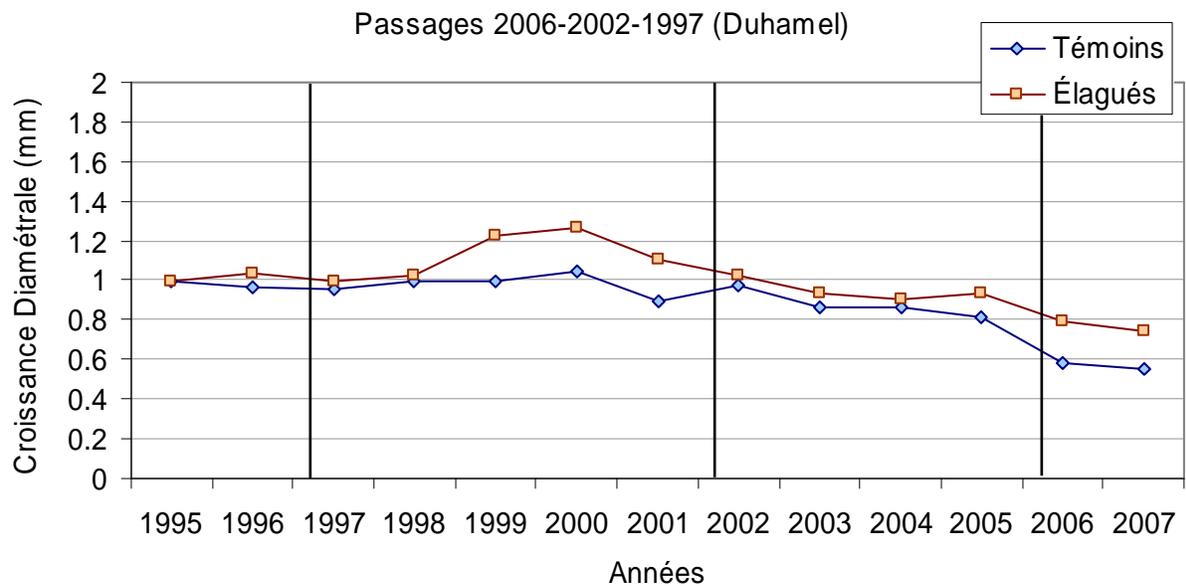


ANNEXE 3 – SITE DE DUHAMEL (OUTAOUAIS)

Valeur de croissance diamétrale pour les 2 groupes (témoins et élagués)

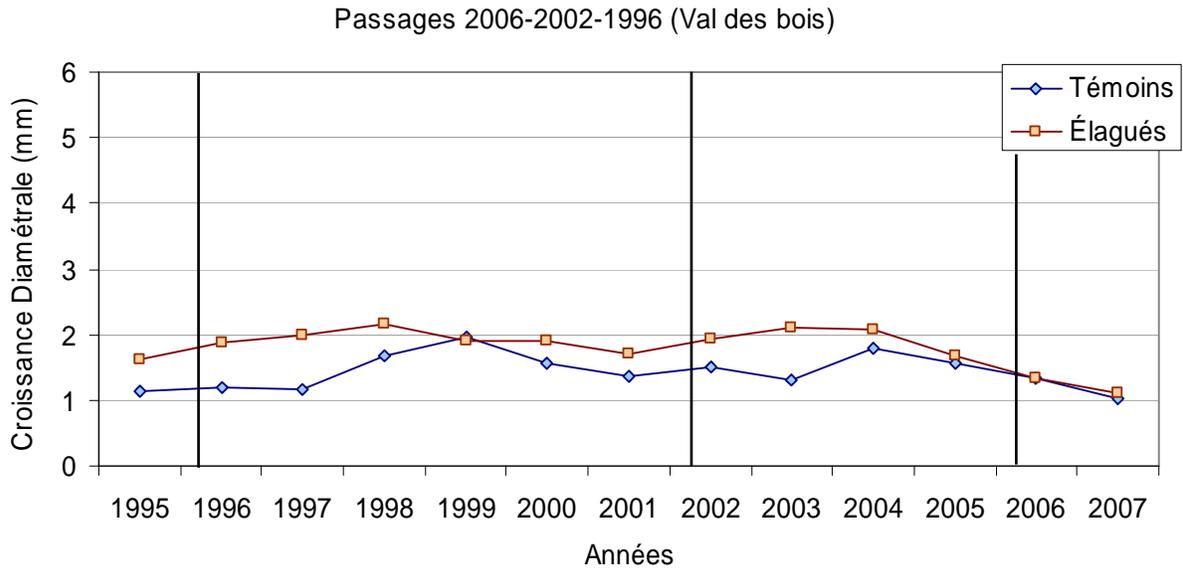


Valeur de croissance diamétrale relative (à 1995) pour les 2 groupes (témoins et élagués)

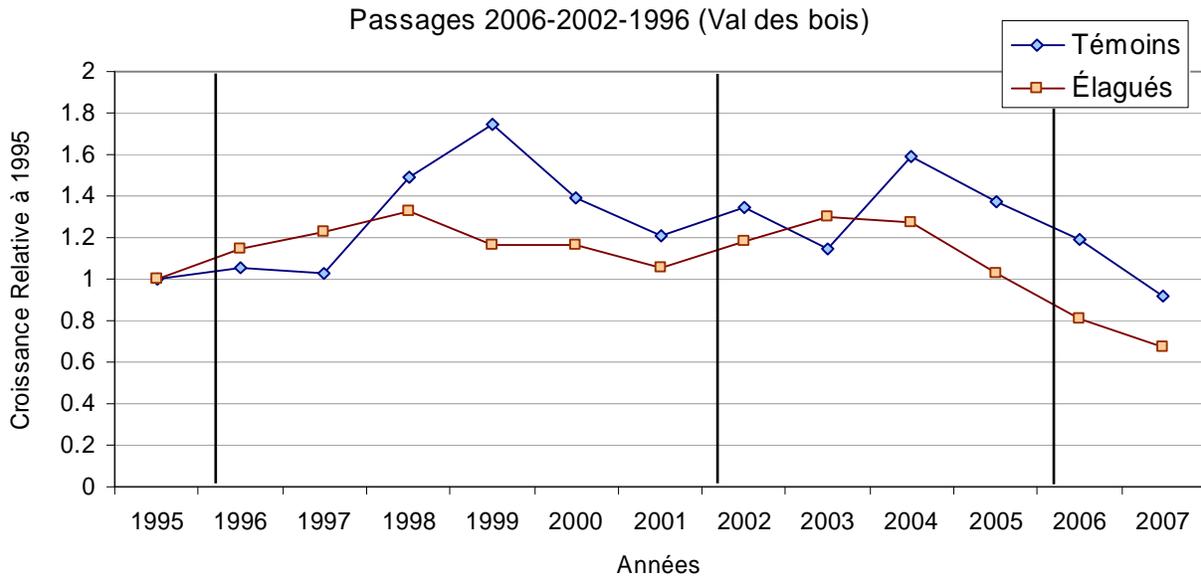


ANNEXE 4 – SITE DE VAL DES BOIS (OUTAOUAIS)

Valeur de croissance diamétrale pour les 2 groupes (témoins et élagués)

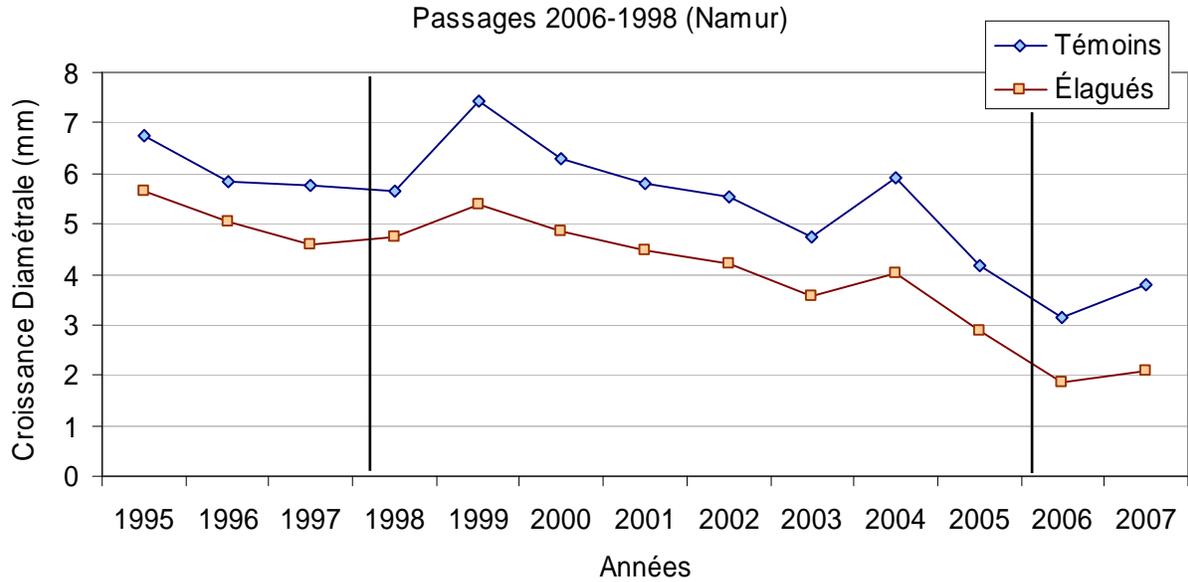


Valeur de croissance diamétrale relative (à 1995) pour les 2 groupes (témoins et élagués)

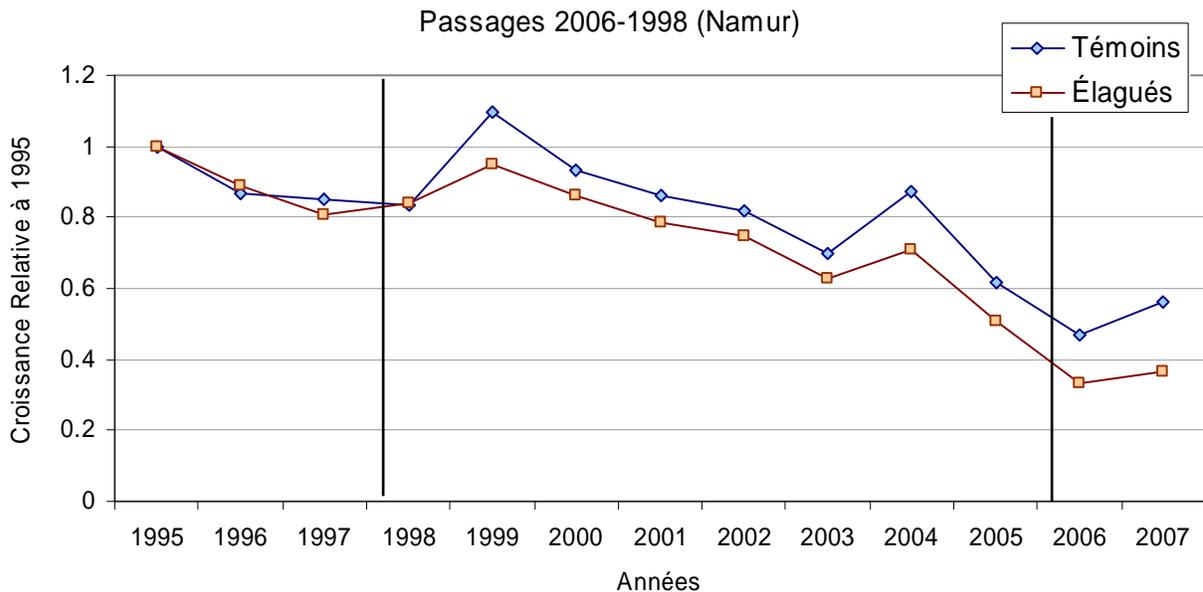


ANNEXE 5 – SITE DE NAMUR (OUTAOUAIS)

Valeur de croissance diamétrale pour les 2 groupes (témoins et élagués)

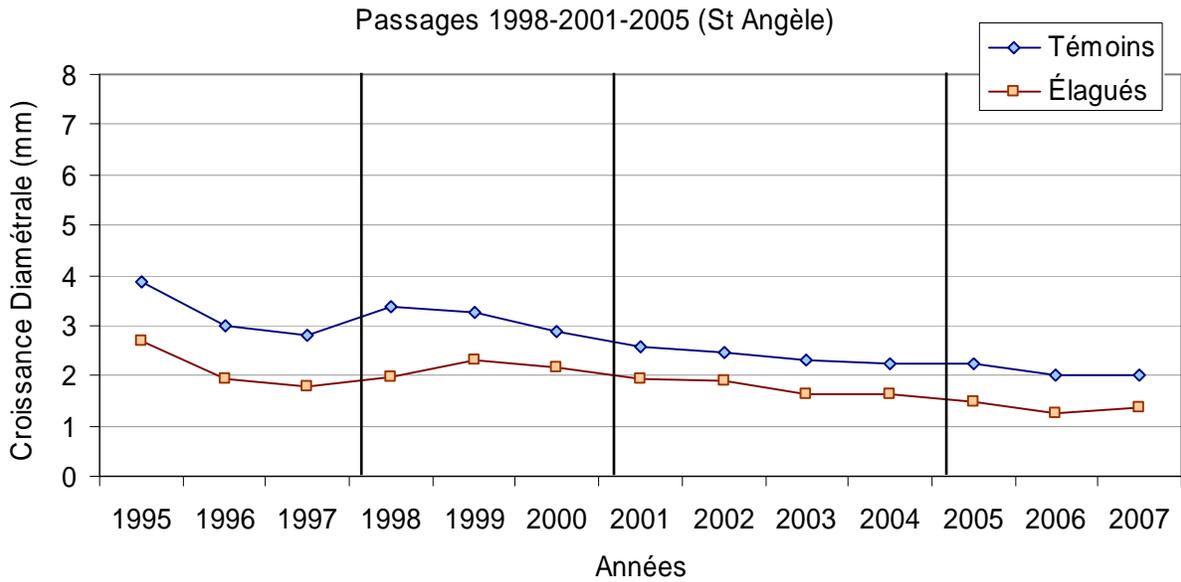


Valeur de croissance diamétrale relative (à 1995) pour les 2 groupes (témoins et élagués)

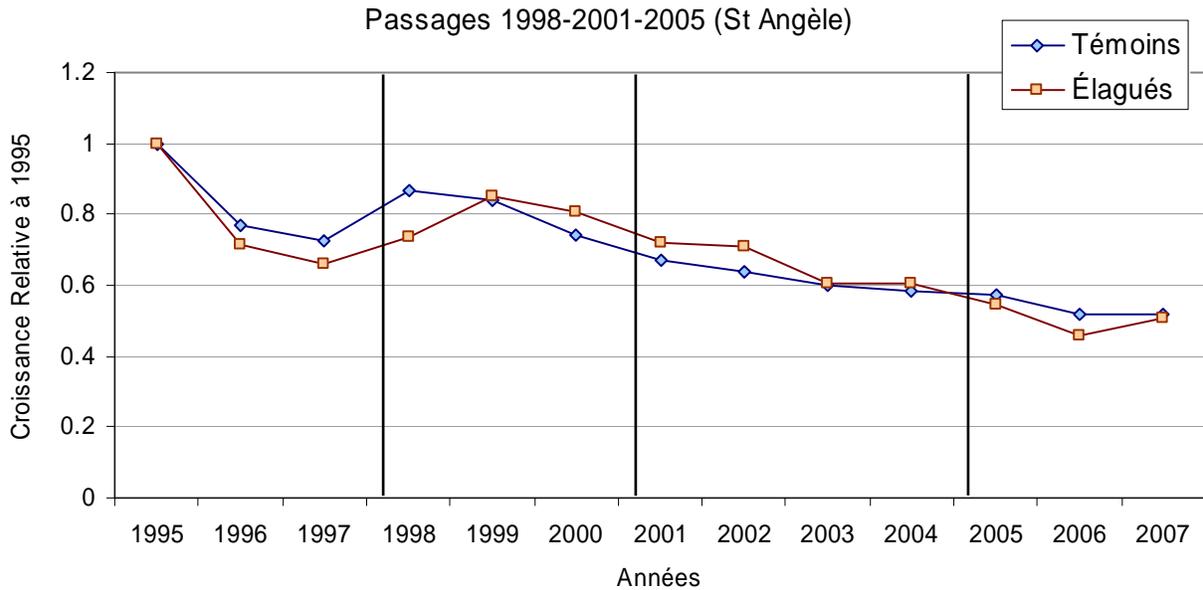


ANNEXE 6 – SITE DE STE-ANGELE DE PREMONT (MAURICIE)

Valeur de croissance diamétrale pour les 2 groupes (témoins et élagués)

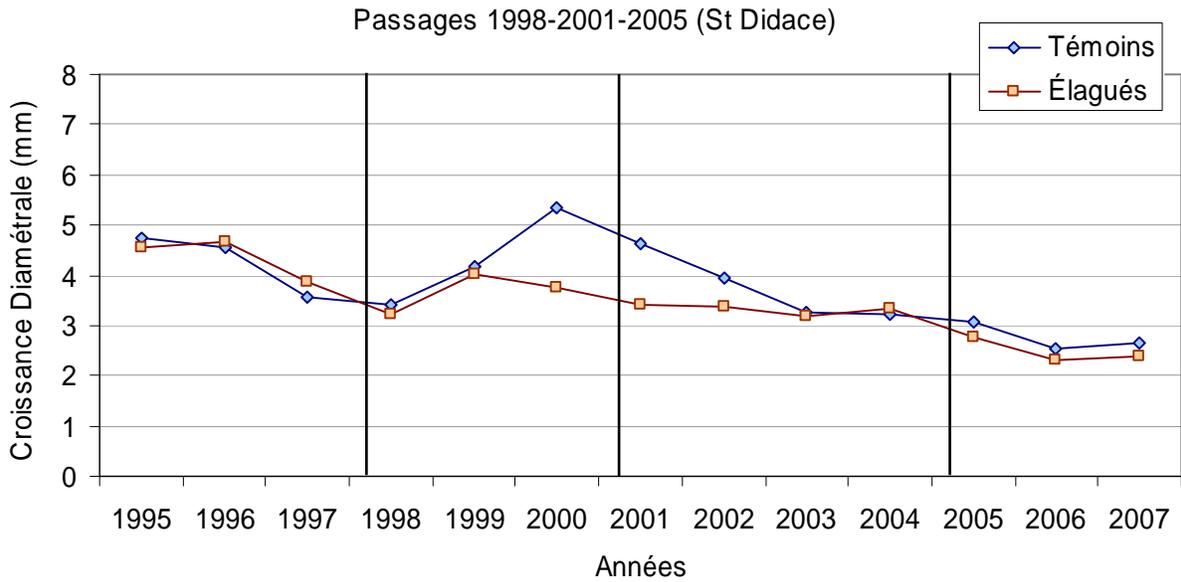


Valeur de croissance diamétrale relative (à 1995) pour les 2 groupes (témoins et élagués)

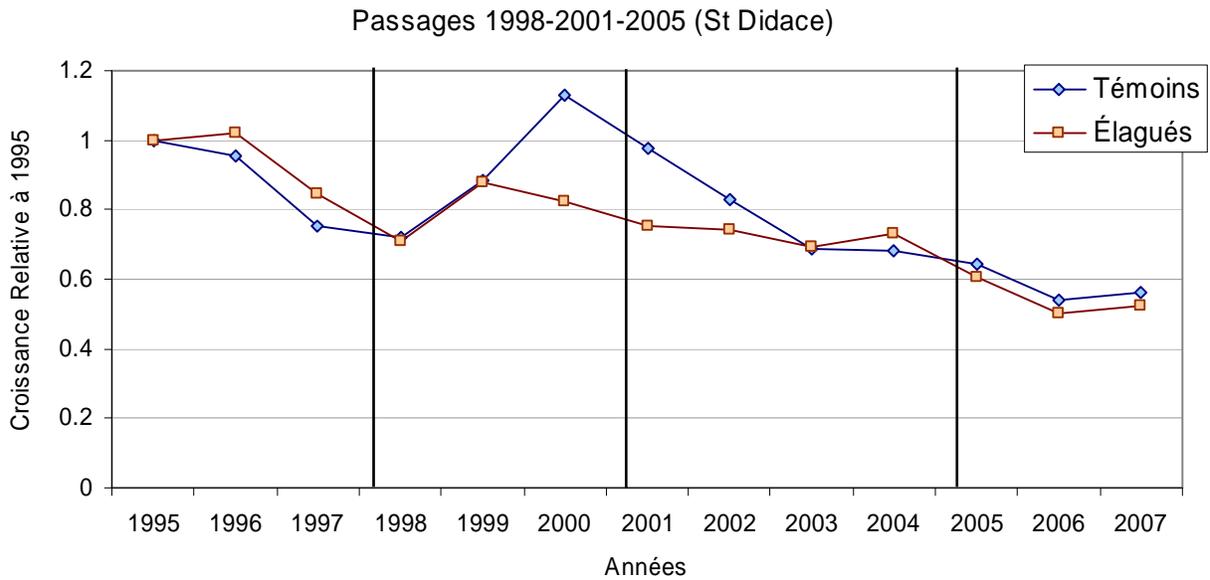


ANNEXE 7 – SITE DE ST-DIDACE (MAURICIE)

Valeur de croissance diamétrale pour les 2 groupes (témoins et élagués)

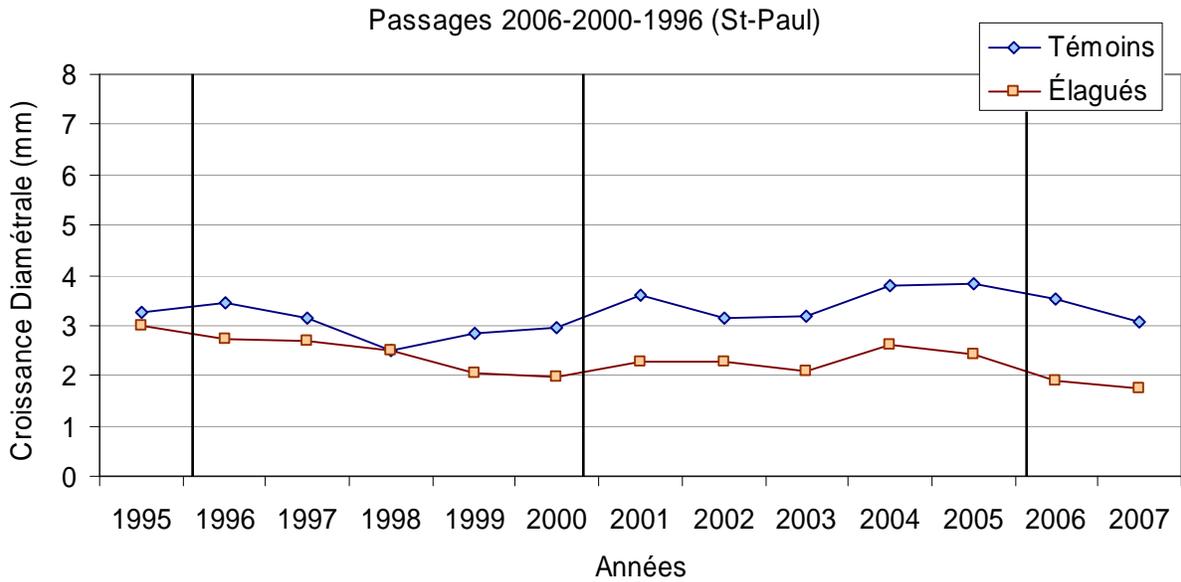


Valeur de croissance diamétrale relative (à 1995) pour les 2 groupes (témoins et élagués)

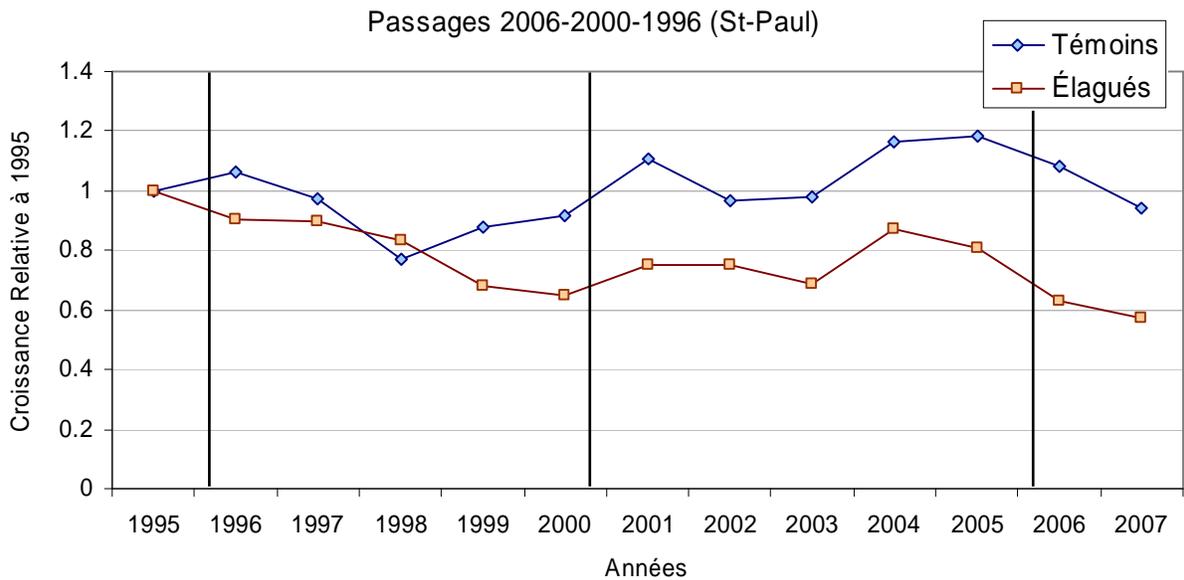


ANNEXE 8 – SITE DE ST-PAUL D'ABBOTSFORD (MONTÉRÉGIE)

Valeur de croissance diamétrale pour les 2 groupes (témoins et élagués)

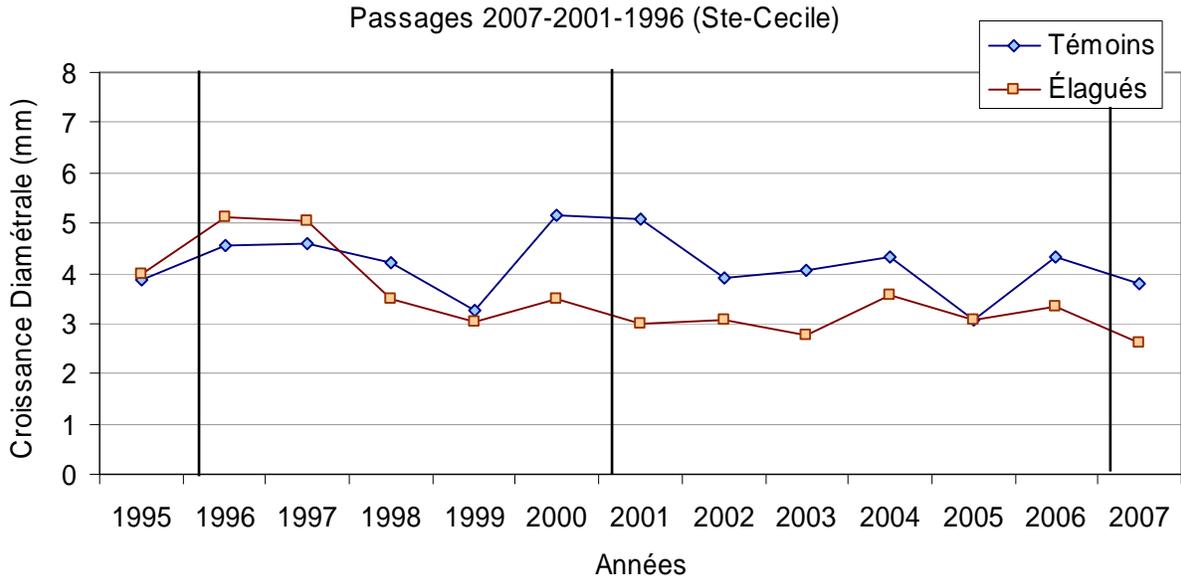


Valeur de croissance diamétrale relative (à 1995) pour les 2 groupes (témoins et élagués)



ANNEXE 9 – SITE DE STE-CECILE DE MILTON (MONTÉRÉGIE)

Valeur de croissance diamétrale pour les 2 groupes (témoins et élagués)



Valeur de croissance diamétrale relative (à 1995) pour les 2 groupes (témoins et élagués)

