

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

Phase III : Les effets de l'élagage sur la  
surface conductrice de sève

Rapport **FINAL**  
année 2009

Présenté à **Gervais Pellerin**  
Conseiller – Recherche scientifique – Ressources forestières

Pour Hydro-Québec Distribution



Décembre 2009



Institut québécois d'aménagement  
de la Forêt feuillue

## Équipe de réalisation de l'IQAFF\*



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

**Équipe technique :** Kim Bannon  
Régis Pouliot

\*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](mailto:iqaff@iqaff.qc.ca)  
Site internet : [www.iqaff.qc.ca](http://www.iqaff.qc.ca)

### **Pour citation :**

Delagrange S, Lorenzetti F et Doyon F. 2009. Effet de l'élagage sur la production de sève chez l'érable à sucre. Phase III : Les effets de l'élagage sur la surface conductrice de sève. Institut québécois d'Aménagement de la Forêt feuillue, Ripon, Québec. Rapport Final. 25 p + Annexes.

## **REMERCIEMENTS**

Les auteurs tiennent à remercier Pierre Grondin (Hydro-Québec Distribution Outaouais), pour sa précieuse collaboration dans l'obtention des informations disponibles sur les historiques d'élagage dans la région de l'Outaouais. Les auteurs remercient Kim Bannon pour les heures passées sur l'analyse dendrochronologique et Régis Pouliot pour son aide dans la planification et la récolte des échantillons sur le terrain.

## Table des matières

REMERCIEMENTS	ii
<b>I – PRESENTATION DU PROJET</b>	<b>1</b>
<b>A- Problématique</b> .....	<b>1</b>
<b>B- Mécanismes de coulée et approche</b> .....	<b>1</b>
<b>C- Objectifs</b> .....	<b>3</b>
<b>II- CALENDRIER ANNÉE 2009</b>	<b>4</b>
<b>III- MATERIEL ET METHODES</b>	<b>5</b>
<b>A- Sites de mesures</b> .....	<b>5</b>
1) <i>Sites d'élagages expérimentaux</i> .....	5
2) <i>Sites d'élagages opérationnels</i> .....	6
<b>B- Approche et mesures pour l'estimation de l'aubier</b> .....	<b>8</b>
1) <i>L'approche</i> .....	8
2) <i>Mesures des arbres</i> .....	10
3) <i>Dendrochronologie</i> .....	10
<b>IV – RÉSULTATS ANNÉE 2009</b>	<b>11</b>
<b>A- Impact de l'élagage sur la surface conductrice de sève</b> .....	<b>11</b>
1) <i>Élagage expérimental printanier de 2007 (site AAF)</i> .....	11
2) <i>Élagage expérimental estival de 2007 (site EPO)</i> .....	14
3) <i>Élagage opérationnel et répété</i> .....	147
<b>B- Relations entre la surface conductrice et les caractéristiques de l'arbre</b> .....	<b>19</b>
1) <i>Surface conductrice, âge, DHP et croissance</i> .....	19
2) <i>Possibilité d'impact d'un élagage sur la surface conductrice</i> .....	21
<b>IV – CONCLUSIONS</b>	<b>22</b>
<b>REFERENCES</b>	<b>23</b>
<b>ANNEXES</b>	<b>25</b>

## I – PRESENTATION DU PROJET

### A) *Problématique*

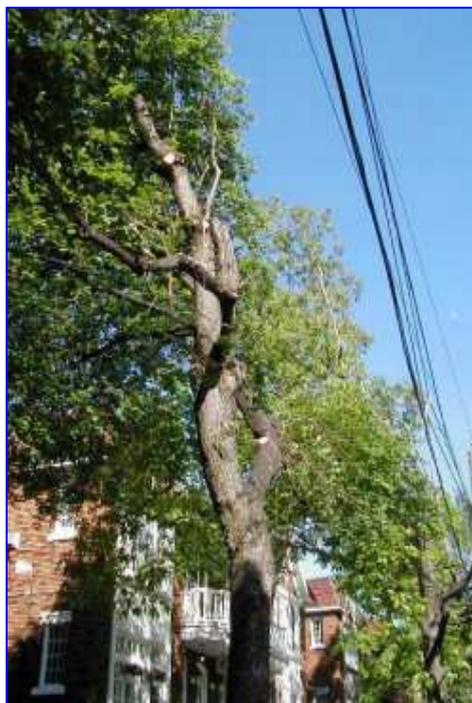
Dans le cadre de l'entretien des lignes électriques domestiques, Hydro-Québec Distribution a développé un programme de maîtrise de la végétation qui sécurise, sur une portion de 6 à 9 mètres, ses installations de basse et moyenne tension vis-à-vis du développement des cimes d'arbres avoisinantes (Figure 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 très important 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 microbulles 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 transportés 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 (Shigo et Marx 1977). 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, (cf. Lemoine et Granier 2000)) qui rompt la colonne d'eau de l'arbre et diminue sa capacité de conduction.

- (ii) la croissance radiale et la surface conductrice de sève. La croissance radiale définit en effet 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. On sait que la surface conductrice de sève correspond à plusieurs années de croissance radiale (Larcher 1995), mais là encore, peu d'information est réellement disponible sur ce sujet et sur l'érable à sucre. La perte de branches peut réduire la croissance de l'individu par la perte de tissus photosynthétiques (tissus responsables de la fixation du CO<sub>2</sub> 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 une évaluation de l'impact (et dans le cas d'un impact, de construire un modèle permettant d'estimer son ampleur) 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?
- (5.) Comment est définie la surface d'aubier conduisant la sève chez l'érable à sucre?
- (6.) Comment ce lien est affecté par l'élagage ?

Les points 1 et 2 ont été traités en 2007 par la première phase de l'étude répertoriée dans le rapport de Delagrange et al. (2007). Les points 3 et 4 ont eux été traités dans une seconde phase de l'étude (Delagrange et al. 2008) réalisée en 2008. Pour cette troisième phase, correspondant à l'année 2009, le protocole et les analyses produites mettent donc l'emphase sur les points 5 et 6 de ces objectifs, donc, sur l'estimation de l'impact d'un ou plusieurs élagages sur le potentiel de coulée de l'érable à sucre via un impact sur la surface conductrice de sève.

## **II- CALENDRIER ANNÉE 2009**

Dans son ensemble, la réalisation des phases de ce projet (i.e. le plan d'échantillonnage) était prévue sur 4 années durant lesquelles les mesures et leurs analyses ont échelonnées (Tableau 1). Maintenant dans l'année 4, la revisite 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 (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	√	√	√	√
Rapport final		√	√	√

√ : Réalisé

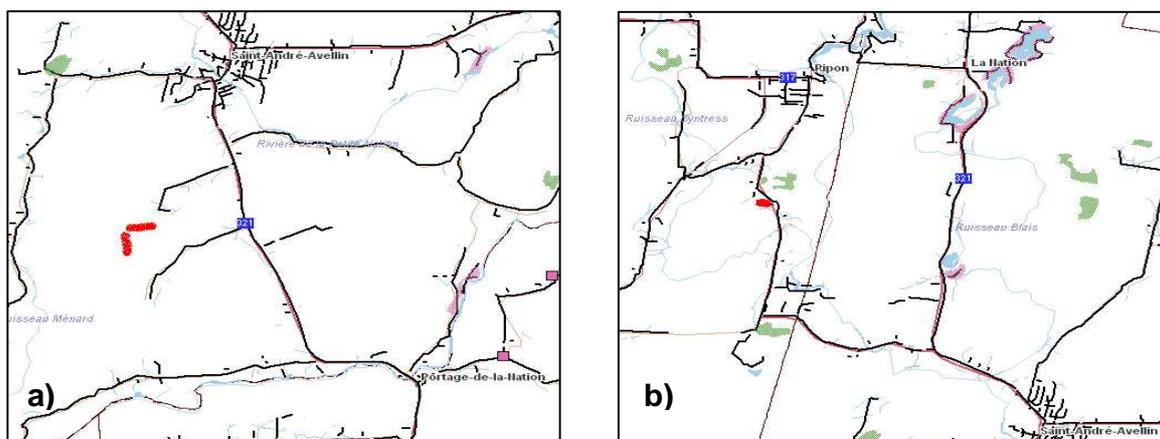
En rouge : Actions réalisées cette année

### 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 élaguées 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'Époque (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. Delagrangé et al. 2007, Annexe 2) 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 (avec écorce).

<b>Classe d'intensité*</b>	<b>Intensité d'élagage</b>	<b>DHP de l'arbre</b>	<b>Intensité d'élagage</b>	<b>DHP de l'arbre</b>
<b>SITE AAF</b>			<b>SITE EPO</b>	
	<b>%</b>	<b>cm</b>	<b>%</b>	<b>cm</b>
-				
Tem	0.0	27	0.0	20
Tem	0.0	25	0.0	25
Tem	0.0	27	0.0	24
FA	4.2	21	6.0	37
FA	7.7	28	9.2	26
FA	10.4	21	11.5	24
MO	13.1	25	25.5	38
MO	15.8	20	28.1	27
MO	26.0	23	32.6	38
FO	32.4	33	38.5	35
FO	37.9	25	39.5	22
FO	41.9	19	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 évaluer l'impact de l'élagage opérationnel, 2 sites (Figure 2) ont été visités en Outaouais. Ces 2 sites sont en réalité en continuité le long du réseau routier. Ces sites ont été choisis puisqu'au long de cette bordure d'érablière, la ligne du réseau moyenne tension d'Hydro-Québec change de côté sans que l'orientation de la bordure de l'érablière soit modifiée. Ainsi, il est possible d'avoir des arbres élagués opérationnellement et non élagués possédant des conditions environnementales très similaires. Dans le cas des arbres élagués, une vérification des coupes et cicatrises associées avec un régime d'élagage régulier a été faite.

Dans l'ensemble, 31 arbres ont été sélectionnés se répartissant entre des arbres témoins (n=16) et des arbres élagués (n=15). Après vérification de l'intensité estimée de l'élagage

sur les arbres élagués, il s'avère que l'intensité d'élagage était toujours comprise entre 1 et 5% de l'ensemble de la cime totale (cf. Delagrangé et al. 2008 pour la méthode).



**Figure 2** : Localisation des arbres échantillonnés le long des réseaux moyenne tension en Outaouais.

L'information relative aux passages des élagages opérationnels réalisés sur ce site est regroupée dans le Tableau 3. 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.

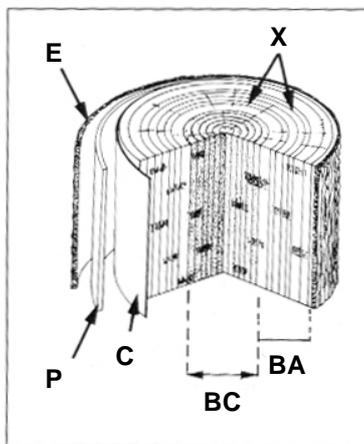
Ligne	Municipalité	Région.	Réseau	n	Passages			
					n-1	n-2	n-3	n-4
<b>CHE235</b>	<b>Duhamel</b>	<b>O</b>	<b>T</b>	<b>2006</b>	<b>2002</b>	<b>1997</b>	<b>1994</b>	<b>1992</b>

*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- Approche et mesures pour l'estimation de l'aubier**

### **1) Approche**

L'approche retenue pour évaluer la surface d'aubier de l'éérable à sucre et les paramètres pouvant en expliquer la variabilité a été la suivante. Le carottage d'individus ayant subi des élagages de différentes intensités a été réalisé afin d'en obtenir l'historique de croissance, l'âge et une caractérisation visuelle des tissus (via la couleur). En effet, par reconnaissance de la coloration il a été possible de déterminer une limite empirique entre le bois de cœur (foncé) et le bois d'aubier (clair) (cf. Figure 3).



**Figure 3** : Distinction visuelle entre le bois d'aubier et le bois de cœur. **E** : écorce; **P** : phloème ; **C** : cambium ; **X** : xylème; **BA** : Bois d'aubier et **BC** : bois de cœur.

Plusieurs études ont déjà réalisé cette association entre la coloration du bois et la limitation entre les différentes zones de bois (cf. Maguire et Hann 1987, Taylor et al 2002, Giroud 2005). Cependant, il est important de séparer 2 notions importantes dans l'établissement des différentes zones du xylème (ou bois) ; La notion physiologique et la notion anatomique. *Physiologiquement*, la zone de vrai bois de cœur (se situant au centre du tronc) se forme par la fermeture programmée de cernes (cf. Giroud 2005). Ces cernes conservent leur propriété de support mais perdent leur propriété de transport (i.e. de conduction de sève) contrairement à l'aubier qui lui est encore « physiologiquement » actif. La distinction entre ces 2 zones est souvent très difficile à obtenir car si la coloration du bois de cœur existe chez certaines espèces, elle est parfois indécélable chez d'autres (Giroud et al 2008). *Anatomiquement*, il existe, et cela chez presque toutes les essences, une démarcation de couleur entre un bois coloré (souvent confondu avec le bois de cœur)

et un bois clair (souvent confondu avec l'aubier) (Giroud. 2005). Le bois coloré apparaît suite à une cicatrisation du bois lors de blessures (Shigo et Marx 1977). Ces blessures peuvent provenir suite à une entaille dans le tronc, un élagage ou tout autre bris de branches. Ici, on comprend bien que la démarcation entre les 2 zones n'est plus associée à une programmation physiologique de fermeture de cernes mais à une réponse face à un stress.

Chez l'érable à sucre, la démarcation entre le bois coloré et le bois clair est généralement présente et facile à analyser. Cependant, aucune certitude n'existe en ce qui concerne la démarcation entre le vrai bois d'aubier et le vrai bois de cœur. Dans cette étude, nous avons réalisé une analyse des couleurs de bois en ce basant sur plusieurs hypothèses :

- i) le bois d'aubier chez l'érable à sucre est clair mais peut être teinté légèrement (rose, brun clair)
- ii) le bois coloré est une portion non active dans le transport de la sève et possède donc les propriétés « physiologiques » du bois de cœur
- iii) la démarcation entre le bois d'aubier et le bois de cœur est représentée par une différence de couleur mais celle-ci doit suivre le profile des cernes annuelles
- iv) la démarcation entre le bois coloré dépend de l'historique de blessure et ne suit donc pas le profile des cernes de croissance

Ensemble, ces hypothèses permettent d'arriver à l'établissement de notre définition de la section conductrice de sève comme étant la différence entre la section totale du tronc et l'union de la surface bois coloré et de bois de cœur (eq. 1).

$$S_{\text{aubier}} = S_{\text{totale}} - (S_{\text{coloré}} \cup S_{\text{cœur}}) \quad (\text{eq. 1})$$

Il faut considérer que cette approche visuelle, rapide et peu coûteuse comparativement à une approche de densitométrie ou d'imagerie tomographique (e.g., Ding et al 2008, Sandberg et Sterley 2009) permet d'estimer la portion théoriquement maximale d'aubier. Cependant, cette estimation peut surestimer la portion d'aubier dans le cas où du bois de cœur physiologique se formerait sans démarcation de couleur.

## 2) Mesures des arbres

Sur chacun des arbres sélectionnés, 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 pourraient être comparés. En effet, il est connu que la croissance diamétrale varie beaucoup au cours du développement de l'arbre (Duchesne et al. 2003). De plus, ne pas tenir compte du DHP dans l'analyse induirait une erreur provenant de l'effet mathématique du calcul de la surface d'un cerne. Effectivement, 2 cernes de même diamètre ne possèdent pas nécessairement la même surface selon leur position par rapport au centre.

Ceci est dû à l'effet de la circonférence et peut être corrigé par le DHP. Pour l'analyse dendrochronologique, 3 carottes par arbre ont été prélevées à hauteur de poitrine (cf. Forget et al. 2007), mises à sécher, sablées (grain 400) et scannées (Figure 4).



**Figure 4 :**  
Carottes échantillons pour l'analyse dendrochronologique

## 3) Dendrochronologie

Par analyse dendrochronologique, le nombre total de cernes de croissance (i.e. l'âge de l'arbre) a été mesuré ainsi que la croissance radiale qui s'y rapporte. Ensuite, toute démarcation de couleur a été notée de l'extérieur vers le centre de la carotte afin de pouvoir attribuer un nombre de cernes et une longueur à chaque type de coloration. Par regroupement (basé sur les hypothèses mentionnées dans la section III.B.1.), la zone d'aubier a donc été déterminée par un nombre d'années, une longueur, une surface en (utilisant le DHP) et une proportion relative à la surface de tronc totale.

## IV – RÉSULTATS ANNÉE 2009

### *A- Impact de l'élagage sur la surface conductrice de sève*

#### **1) Élagage expérimental printanier de 2007 (site AAF)**

Dans ce dernier volet de l'étude, les 2 groupes d'arbres élagués expérimentalement (Delagrange et al. 2007) au printemps (site AAF) et en été (site EPO) ont été ré-échantillonnés pour suivre l'effet de différentes intensités d'élagage (Témoins [Te], Élagué faiblement [Fa], Élagué modérément [Mo] et Élagué fortement [Fo]) sur la surface conductrice de sève.

Dans un premier temps, une vérification des variables (âge moyen et DHP sans écorce moyen) pouvant affecter la proportion de surface conductrice a été faite (Tableau 4). Cette vérification a démontré qu'au point de vue de ces 2 variables, les 4 groupes d'arbres étaient identiques. A partir de ce constat, une analyse par groupe était possible pour comparer les paramètres liés à la surface conductrice.

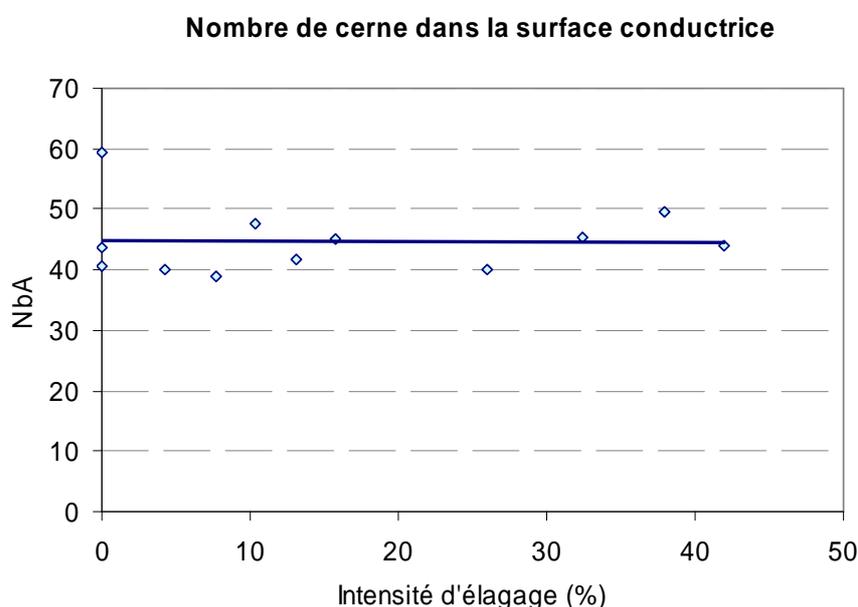
**Tableau 4.** Résumé des âges et DHP sans écorce moyens selon les traitements d'intensité d'élagage printanier pour le site AAF.

Site	Traitement	Age		DHP	
		moyenne (années)	Diff. statistique (anova)	moyenne (cm)	Diff. statistique (anova)
AAF	TE	112	ns.	22.0	ns.
	FA	107			
	MO	104			
	FO	101			

ns. : différence statistique entre groupe non significative à  $\alpha = 5\%$

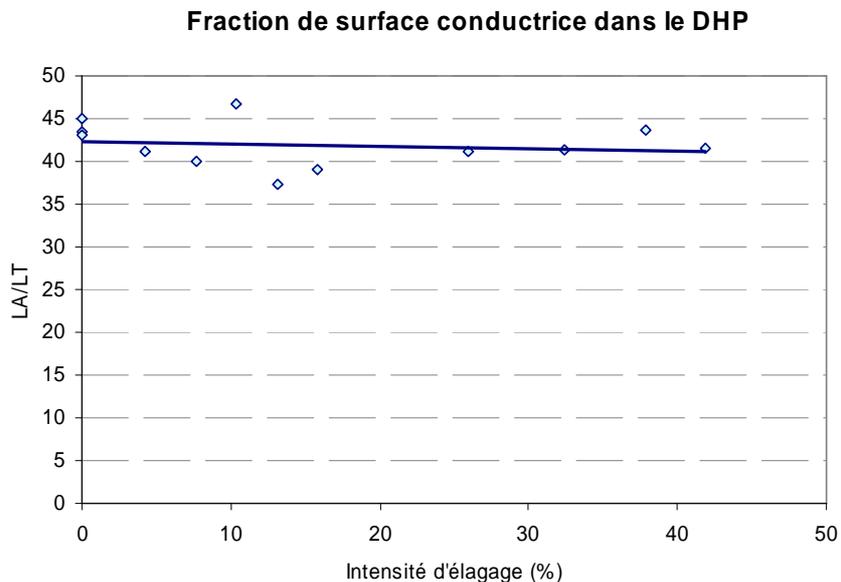
La comparaison i) du nombre de cerne composant la surface conductrice ( $Nb_A$ ), ii) de la fraction du DHP étant considérée comme de l'aubier ( $L_A/L_T$ ) et iii) de la proportion de surface conductrice par rapport à la surface totale ( $S_A/S_T$ ), a montré qu'aucune différence statistique ne pouvait être identifiée entre les 4 intensités d'élagage et qu'une réduction de cime printanière (même avoisinant 40% de la cime) n'avait pas d'impact sur la section conductrice de sève.

En effet, au regard du nombre de cernes contenu dans cette surface, aucune différence n'a été détectée entre groupe ( $p=0.56$ ). De plus, le suivi de la relation entre ce nombre de cernes et l'augmentation de l'intensité (régression linéaire) montre que les 2 variables sont indépendantes (Figure 5,  $r^2=0.01$ ) et que quelle que soit l'intensité d'élagage, le nombre de cernes reste très constant autour de 45 cernes. Ainsi, 3 saisons de croissance après son application, l'élagage printanier n'a pas, induit une fermeture supplémentaire de cernes au cœur de l'arbre comme on aurait pu l'attendre en tenant compte des processus de cicatrisation (Shigo et Marx 1977, Soutrenon 1990).



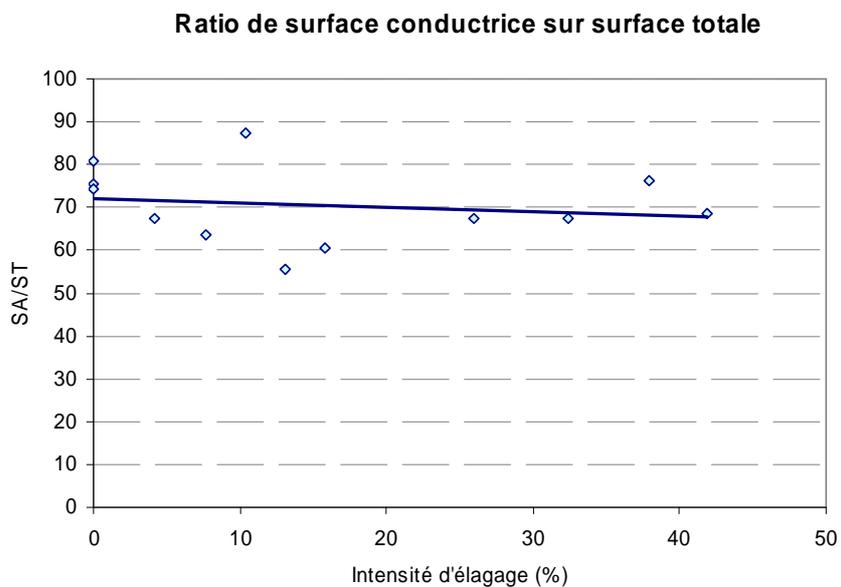
**Figure 5.** Relation entre le nombre de cernes dans la surface conductrice et l'intensité d'élagage (site AAF)

Pour ce qui est de la fraction du DHP étant considérée comme de l'aubier ( $L_A/L_T$ ), aucune différence entre groupe n'est visible ( $p=0.14$ ) et la relation entre l'intensité d'élagage et cette fraction montre que ces 2 variables sont aussi indépendantes (Figure 6,  $r^2=0.03$ ). On notera tout de même une légère tendance à la baisse de cette fraction avec l'augmentation de l'intensité d'élagage. Ceci s'explique sûrement par la diminution de la croissance observée après une réduction de cime de près de 50% (Delagrangé et al. 2008). Cependant, en considérant que plus de 40 cernes de croissance sont contenus dans cette fraction, la diminution des quelques dernières années ne peut produire une réduction significative de la fraction d'aubier dans le DHP.



**Figure 6.** Relation entre la fraction de surface conductrice et l'intensité d'élagage (site AAF)

Finalement, le ratio entre la surface d'aubier et la surface total du tronc ( $S_A/S_T$ ), n'était pas différente entre les traitements ( $p=0.15$ ) et la relation entre ces 2 paramètres est encore inexistante (Figure 7,  $r^2=0.03$ ).



**Figure 7.** Relation entre le ratio de la surface conductrice sur la surface totale et l'intensité d'élagage (site AAF)

La non-signification de la diminution de ce ratio avec l'intensité d'élagage peut s'expliquer avec les mêmes raisons que pour la fraction d'aubier dans la DHP.

## 2) Élagage expérimental estival de 2007 (site EPO)

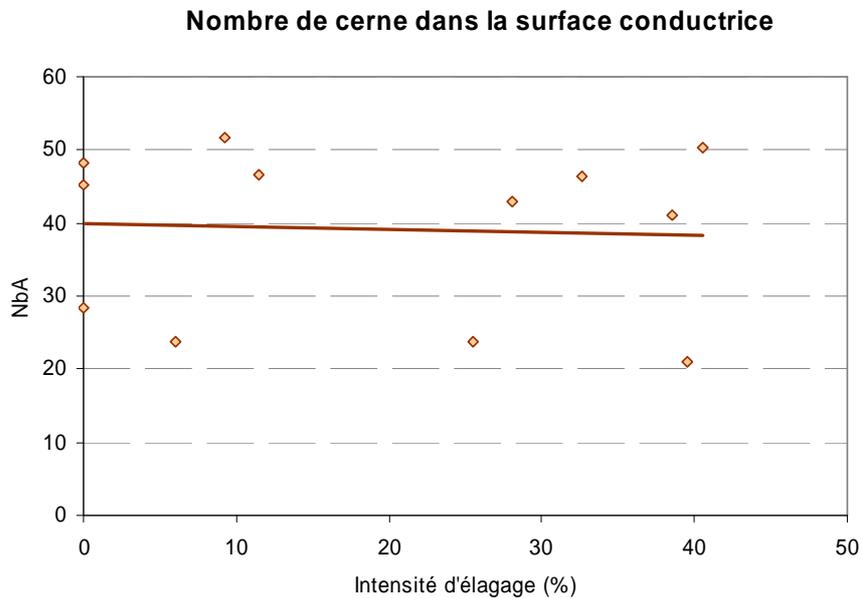
Un même suivi a été fait sur le site élagué expérimentalement durant l'été 2007. Comme pour le site AAF, la vérification de l'âge moyen et du DHP moyen sans écorce a démontré que les 4 groupes d'arbres étaient comparables (Tableau 5).

**Tableau 5.** Résumé des âges et DHP sans écorce moyens selon les traitements d'intensité d'élagage printanier pour le site EPO.

Site	Traitement	Age		DHP	
		moyenne (années)	Diff. statistique (anova)	moyenne (cm)	Diff. statistique (anova)
EPO	TE	97	ns.	17.5	ns.
	FA	105.5		24.5	
	MO	91.5		26.5	
	FO	104		24.5	

ns. : différence statistique entre groupe non significative à  $\alpha = 5\%$

Comme pour le site AAF, la comparaison du nombre de cernes contenu dans la surface conductrice n'a montré aucune différence ( $p=0.96$ ), suggérant là encore qu'aucune création de bois de cœur ou de bois coloré n'a été induite par l'élagage de 2007. Aucune différence n'a été détectée entre groupe ( $p=0.56$ ). De plus, le suivi de la relation entre ce nombre de cernes et l'augmentation de l'intensité (régression linéaire) montre que les 2 variables sont indépendantes (Figure 8,  $r^2=0.004$ ) et que quelle que soit l'intensité d'élagage le nombre de cernes oscille autour de 40. On notera que sur ce site, la variabilité du nombre de cernes dans la surface conductrice était bien plus grande que dans le site AAF.



**Figure 8.** Relation entre le nombre de cerne dans la surface conductrice et l'intensité d'élagage (site EPO)

Pour ce qui est de la fraction du DHP étant considérée comme de l'aubier ( $L_A/L_T$ ), aucune différence entre groupe n'est visible ( $p=0.51$ ) et la relation entre l'intensité d'élagage et cette fraction montre que ces 2 variables sont indépendantes (Figure 9,  $r^2=0.004$ ). Sur ce site, aucune tendance n'a été observée avec l'augmentation de l'intensité d'élagage suggérant que la perte de croissance mesurée dans les années suivant l'élagage expérimental estival (Delagrangé et al 2008) n'a absolument pas influencé la fraction d'aubier dans la DHP.

Fraction de surface conductrice dans le DHP

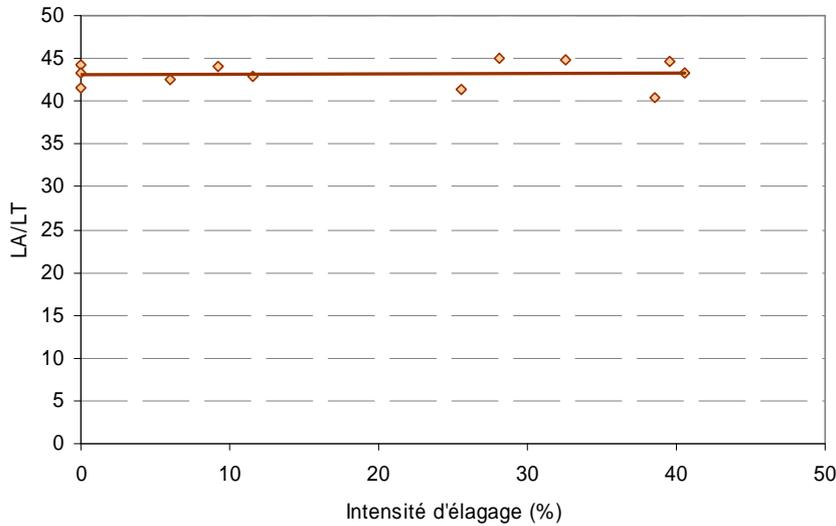


Figure 9. Relation entre la fraction de surface conductrice et l'intensité d'élagage (site EPO)

Finalement, le ratio entre la surface d'aubier et la surface totale du tronc ( $S_A/S_T$ ), n'était pas différente entre les traitements ( $p=0.53$ ) et la relation entre les 2 paramètres est encore une fois inexistante (Figure 10,  $r^2=0.006$ ).

Ratio de surface conductrice sur surface totale

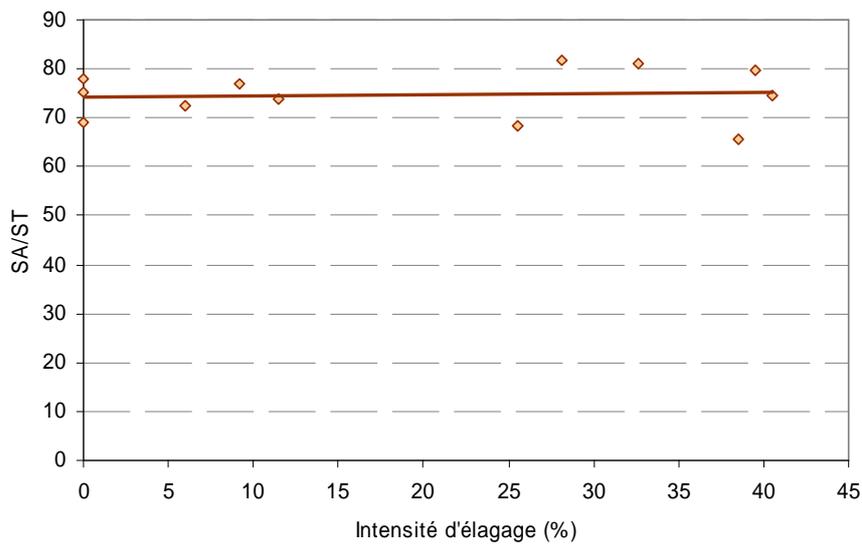


Figure 10. Relation entre le ratio de la surface conductrice sur la surface totale et l'intensité d'élagage (site EPO)

Comme pour la fraction d'aubier dans la DHP, la non-signification de la diminution de ce ratio avec l'intensité d'élagage peut s'expliquer avec le fait que l'impact observé sur la largeur des cernes après l'élagage n'est pas assez important pour affecter une surface comprenant la croissance d'environ 40 cernes.

En conclusion, il est donc possible de dresser le même constat sur les 2 sites ayant subi un élagage expérimental. En effet, l'élagage (qu'il soit estival ou printanier) n'a eu aucun impact sur la surface conductrice estimée. Le nombre de cernes contenus dans cette surface est effectivement resté constant (i.e. pas de fermeture accélérée ni de cicatrisation au centre) et la diminution de croissance des années suivant l'élagage (bien que significative, cf. Delagrangé et al 2008)) n'a pas été suffisante pour influencer l'empreinte laissée par les 40 cernes formant la surface conductrice et cela même en réalisant une réduction de cime pouvant aller jusqu'à 45% de la cime totale.

### **3) Élagage opérationnel et répété**

Un même suivi a été fait sur des arbres de bordure de route subissant un élagage opérationnel régulier (cf. Tableau 3). A notre connaissance, ces arbres ont donc subi au minimum 4 élagages dans les 14 dernières années. Cependant, comme il avait été constaté par Delagrangé et al (2008), l'élagage routinier en bordure de route correspond à une intensité de réduction de cime allant de 5 à 10%, ce qui peut se comparer avec le traitement « élagage faible ; FA » des expérimentations sur les sites AAF et EPO (cf. sections IV.A.1. et IV.A.2.). L'intérêt d'évaluer l'impact de l'élagage opérationnel revient donc à évaluer si la répétition de ce type d'élagage faible pourrait avoir un effet cumulatif sur la surface conductrice. On notera que dans ce dispositif, l'établissement de régression est impossible compte tenu du faible gradient d'intensité d'élagage à disposition.

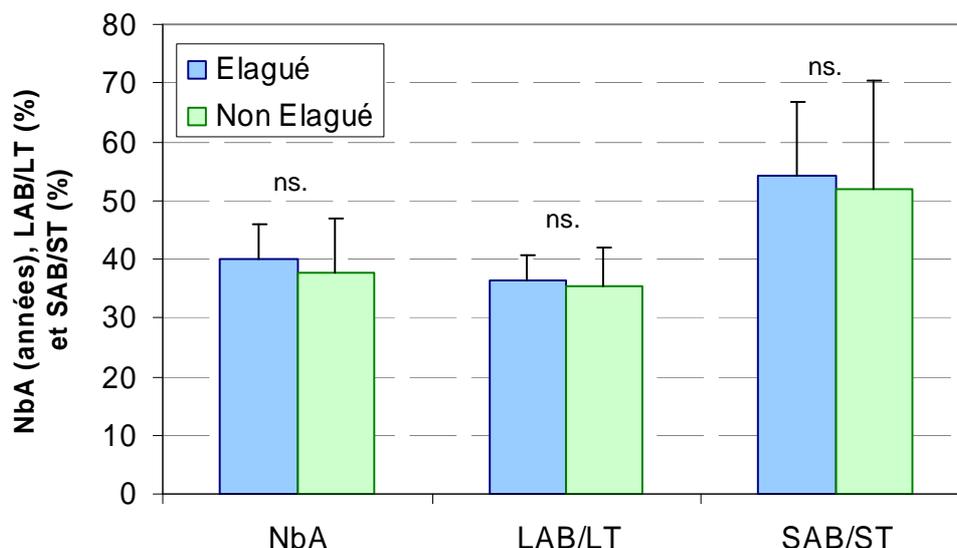
Dans un premier temps, la vérification des âges et des DHP sans écorce moyens a encore une fois démontré que les 2 groupes contenaient des populations similaires et donc comparables (Tableau 6).

**Tableau 6.** Résumé des âges et DHP sans écorce moyens des arbres élagués et non élagués sur le site élagué opérationnellement.

Site	Traitement	Age		DHP	
		moyenne (années)	Diff. statistique (anova)	moyenne (cm)	Diff. statistique (anova)
Opérationnel	E	96	ns.	17.5	ns.
	NE	101		16.0	

ns. : différence statistique entre groupe non significative à  $\alpha = 5\%$

Ensuite, l'analyse du nombre de cernes composant la surface conductrice ( $Nb_A$ ), ii) de la fraction du DHP étant considérée comme de l'aubier ( $L_A/L_T$ ) et iii) de la proportion de surface conductrice par rapport à la surface totale ( $S_A/S_T$ ), a montré qu'aucune différence statistique ne pouvait être mise en évidence (Figure 11).



**Figure 11.** Moyennes et écarts types pour le nombre de cernes composant la surface conductrice ( $Nb_A$ ), la fraction du DHP étant considérée comme de l'aubier ( $L_A/L_T$ ) et la proportion de surface conductrice par rapport à la surface totale ( $S_A/S_T$ ) chez les arbres élagués et non élagués opérationnellement.

Le nombre de cernes de croissance contenus dans la surface conductrice entre les 2 groupes d'arbres était en effet similaire (40 cernes pour les élagués et 38 pour les non

élagués). De même, la proportion de surface conductrice (quelle soit exprimée linéairement ou en superficie) n'a varié que de 1 à 3% entre les arbres élagués et non élagués.

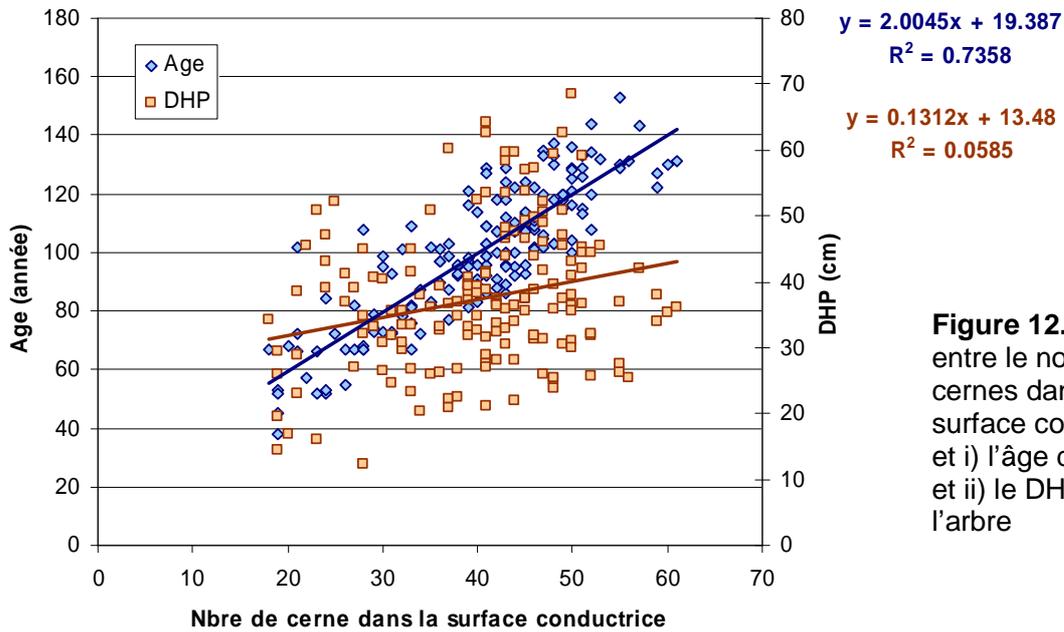
## ***B- Relations entre la surface conductrice et les caractéristiques de l'arbre***

Dans cette section, la recherche des paramètres faisant varier la surface conductrice a été faite afin de donner un outil de compréhension sur l'absence d'effet de l'élagage sur la surface conductrice de sève. Dans cette analyse exploratoire, et sous le constat qu'aucune différence significative n'a été détectée entre les arbres élagués et non élagués, tous les individus provenant des 3 sites d'échantillonnage ont été regroupés. En effet, ceci permettra de tirer des relations générales entre la surface conductrice de sève et les caractéristiques de l'arbre et d'évaluer comment un élagage pourrait l'influencer.

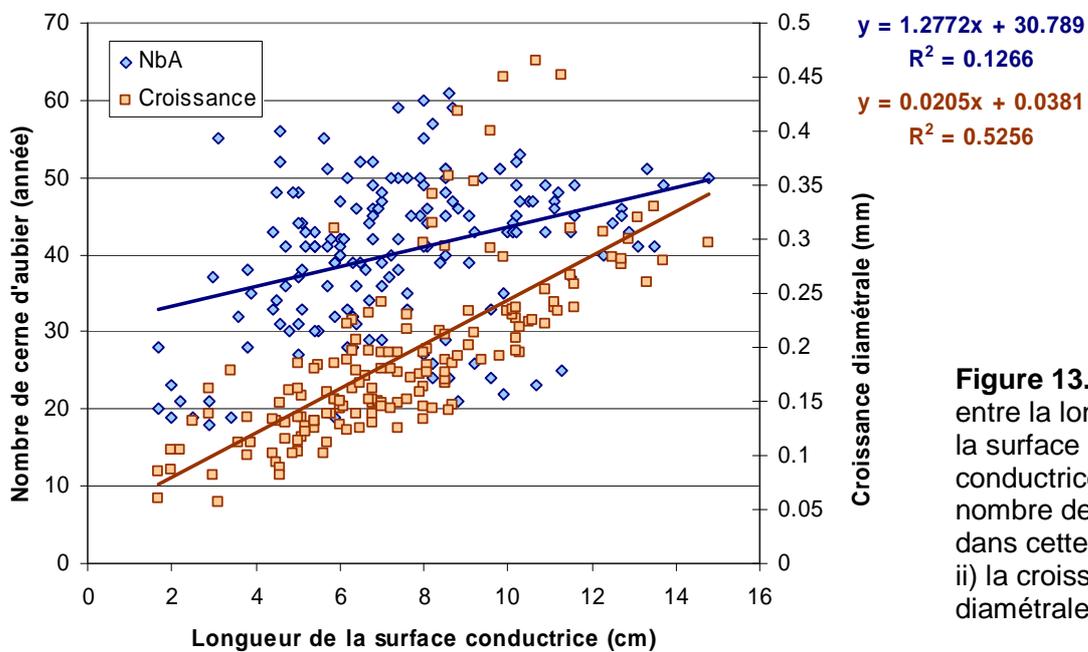
### **1) Surface conductrice, âge, DHP et croissance**

La surface conductrice est définie par 3 paramètres ; le nombre de cernes qu'elle contient, la largeur de ces cernes (i.e. leur croissance) et le DHP de l'arbre. En effet, le DHP est mathématiquement important car 2 cernes ayant une croissance équivalente mais se situant au centre ou en périphérie de l'arbre n'auront pas la même superficie.

Comme on a pu le voir dans la section A (cf. ci-dessus), le nombre de cernes de croissance contenu dans la surface conductrice est finalement peu variable et se situe en moyenne autour de 40 ans. Dans la Figure 12, on remarque que ce nombre varie tout de même en fonction de l'âge ( $r^2=0.73$ ) de l'arbre (vers une augmentation) mais est indépendant du DHP ( $r^2=0.05$ ). Ceci soutient donc que l'arbre, en vieillissant, conserverait de plus en plus de cernes dans son aubier.



**Figure 12.** Relation entre le nombre de cernes dans la surface conductrice et i) l'âge de l'arbre et ii) le DHP de l'arbre



**Figure 13.** Relation entre la longueur de la surface conductrice et i) le nombre de cernes dans cette surface et ii) la croissance diamétrale

Cependant, au regard de la longueur de la surface conductrice (Figure 13), il apparaît que celle-ci est bien plus associée à la croissance des cernes ( $r^2=0.53$ ) que de leur nombre ( $r^2=0.13$ ). Ceci suggère donc que la croissance radiale est un déterminant bien plus important que le nombre de cernes ou l'âge de l'arbre sur sa surface conductrice.

Finalement, en évaluant l'impact (mathématique) du DHP sur la surface conductrice, il s'avère être très important ( $r^2=0.85$ , données non montrées) car la surface conductrice est toujours disposée en périphérie du DHP et donc augmente au carré avec le DHP.

## **2) Possibilité d'impact d'un élagage sur la surface conductrice**

La surface conductrice de sève et sa proportion dans la surface totale de l'arbre dépend donc dans un premier temps (mais de façon marginale) de l'âge de l'arbre. L'âge en effet, détermine le nombre de cernes qui sont contenus dans la surface conductrice. Bien que ce nombre augmente avec l'âge, il semble que cet effet est tamponné par le fait (i) que la croissance radiale diminue avec le temps (effet ontogénique) et que la conservation de cernes centraux (avec des périmètres très petits) apporte peu à la surface conductrice totale. Dans un second temps, et cela de façon très importante, la surface conductrice va être influencée par la croissance moyenne des cernes de cette surface conductrice. Cette dernière sera d'autant plus grande que la croissance radiale sera élevée. Finalement, dans un troisième temps, le DHP aura une influence mathématique importante en définissant la circonférence des  $\pm 40$  cernes d'aubier (qui sont toujours en périphérie et donc de plus en plus grande alors que le DHP augmente).

Ainsi, il est possible de conclure que l'effet d'un élagage sur la surface conductrice de sève ne sera attendu que via un effet significatif sur la croissance radiale et donc sur la diminution de la longueur de l'aubier. Effectivement, la fermeture de cerne central (bois coloré) due aux blessures engendrées par l'élagage ne semble pas pouvoir affecter le nombre de cernes contenus dans l'aubier (cf. sections IV.A.1 et 2) et aura de toute façon très peu d'impact sur la surface totale. Compte tenu du faible impact reconnu de l'élagage opérationnel sur la croissance radiale des individus élagués (Delagrangé et al. 2008) il n'est donc pas étonnant de n'observer aucun impact de l'élagage sur la surface conductrice dans cette troisième phase de l'étude.

## V – CONCLUSIONS

### *L'effet de l'élagage sur la surface conductrice*

Aucun impact de l'élagage n'a pu être mis en évidence sur la surface conductrice de l'érable à sucre, et cela ni sous de fortes réductions de cime réalisées expérimentalement, ni après des élagages opérationnels faibles et répétés. En explorant les relations entre la surface conductrice et les caractéristiques de l'arbre, cette absence d'effet de l'élagage s'explique directement par le fait que seule une atteinte significative et à long terme de la croissance radiale pourrait affecter la surface conductrice. Or, dans le cas d'un élagage ponctuel (même très sévère) l'empreinte de l'ensemble des années contenues dans l'aubier atténue complètement l'effet observé sur la croissance suite à l'intervention. D'un autre côté, sous un régime d'élagage opérationnel qui est de faible intensité, l'impact sur la croissance est si faible qu'il est englobé dans la variabilité naturelle de la surface conductrice chez cette espèce.

### *Mise en contexte de ces résultats*

Il apparaît clairement que la surface conductrice telle que nous l'avons estimée n'est pas un paramètre influencé par un élagage quel qu'il soit. Une notion est cependant importante à garder en mémoire. Le site de bordure de route échantillonné dans cette phase se situe sur une station qualifiée de moyenne à faible pour la croissance de l'érable à sucre. Or, comme il avait été souligné dans la phase précédente de cette étude, l'élagage opérationnel répété peut avoir un impact sur la croissance des individus croissant sur de meilleures stations (Delagrange et al. 2008). Donc, on pourrait s'attendre à ce qu'un impact sur la surface conductrice soit plus visible sur les stations favorables à la croissance de l'érable puisque leur croissance y est plus affectée. Toutefois, en considérant que la surface conductrice contient un passé de près de 40 cernes de croissance et que la perte de croissance maximale observée sur les meilleures stations correspondait à une diminution annuelle de 2.5% de la croissance (Delagrange et al 2008), il faudrait attendre une période de 40 ans d'élagage opérationnel répété pour observer une réduction maximale de 5% de la surface conductrice. Cette estimation (ne considérant aucun autre facteur de variation) suggère donc un effet très parcimonieux de l'élagage opérationnel sur la surface conductrice.

## RÉFÉRENCES

- Delagrange S., Lorenzetti F. et Doyon F. 2007 Effet de l'élagage sur la circulation de sève chez l'érule 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.
- Delagrange 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.
- Ding, W.-D., A. Koubaa, A. Chaala, T. Belem, C. Krause. 2008. Relationship between Wood Porosity, Wood Density and Methyl Methacrylate Impregnation Rate. Wood Material Sci. & Eng. 2008; 1/2: 62-70
- 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
- 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.
- Giroud, G. 2005. Caractérisation de la proportion de bois d'aubier et de duramen chez le bouleau à papier (*Betula papyrifera* Marsh.). M.S. thesis, Université Laval, Quebec City, Québec.
- Giroud G., Cloutier A., et Alteyrac J. 2008. Occurrence, proportion, and vertical distribution of red heartwood in paper birch. Can. J. For. Res. 38(7): 1996–2002
- Larcher W. 1995. Physiological plant ecology, ecophysiology and stress physiology of functional groups, 3rd edition. Germany. Springer-Verlag, 506 p.
- Lemoine D. et Granier A. 2000. Fonctionnement hydrique du hêtre : architecture hydraulique et sensibilité à la cavitation / Water relation in beech : hydraulic architecture and vulnerability to cavitation. Travaux Universitaires - Thèse de doctorat. Université de Nancy-I, France. bibl.: 370 ref. N°: 00 NAN1 0013. 220 p.
- Maguire D.A. and Hann D.W. 1987. Equations for predicting sapwood area at crown base in southwestern Oregon Douglas-fir Can. J. For. Res. 17(3): 236–241

- Sandberg K et Sterley M. 2009. Separating Norway spruce heartwood and sapwood in dried condition with near-infrared spectroscopy and multivariate data analysis. *Eur J Forest Res* (2009) 128:475–481
- SHIGO, A.L. et H.G. MARX. 1977. Compartmentalization of decay in trees. USDA, Forest Service, Agriculture Information Bulletin, NE-405. Northeastern Research Station, Princeton, WV., 73 p.
- Soutrenon A. 1990. Elagage artificiel et problèmes phytosanitaires chez les feuillus. *La forêt privée, revue forestière européenne*. 195 : 23-33.
- Taylor, A.M., Gartner, B.L. et J.J. Morrell. 2002. Heartwood formation and natural durability – a review. *Wood Fib. Sci.* 34(4): 587-611

**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 2007 et mesures (intensité d'élagage et carottage) et comparaison des relations entre : Surface de conductivité / Croissance radiale / nombre de cernes d'aubier, pour des arbres élagués (2007) et non élagués. Ceci permettra de vérifier l'impact de l'élagage à moyen terme [dans la 3<sup>ème</sup> année]
  - Mesures complémentaires (ce dispositif a été répété sur des arbres en bordure de route, élagués opérationnellement et non élagué).
- Analyse des données.
- Production d'un rapport final.
- 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.**

