

*EFFET DE L'ÉLAGAGE SUR LA CIRCULATION  
DE SÈVE CHEZ L'ÉRABLE À SUCRE*

**RAPPORT FINAL ANNÉE 2007**

À l'intention de :

**Mr Gervais Pellerin (*Ing. F., M. Sc.*)**

Conseiller – Recherche scientifique – Ressources forestière



**Novembre 2007**

---

Préparé par :

Sylvain Delagrange (*Ph. D.*),

François Lorenzetti (*Ph. D.*) et

Frédéric Doyon (*Ing. F., Ph. D.*)



Institut québécois d'Aménagement  
de la Forêt feuillue

 Université  
du Québec  
en Outaouais

## RÉSUMÉ

Dans le but d'évaluer l'effet à court, moyen et long terme de l'élagage sur la production de sève chez l'érable à sucre, un plan d'échantillonnage sur 4 ans a été développé dans le but d'évaluer la capacité de conduction de sève chez des individus élagués et non élagués. En effet, une réduction de cime pourrait affecter la capacité de conduction de sève d'arbres matures par l'intermédiaire d'une réduction du flux de sève et/ou de la croissance radiale.

Durant la saison de croissance de 2007, deux séries d'individus témoins et d'individus élagués expérimentalement ont été suivis (i) pendant le printemps (période de coulée et sortie des feuilles) et (ii) durant l'été (période de maturité des feuilles). Cette série de mesures sur le terrain correspond à l'évaluation de l'effet à court terme d'un élagage de différentes intensités (de 0 à 40% de la cime) sur la circulation de sève. Ce document regroupe donc un bilan des activités réalisés en 2007 soit, une description des sites d'étude, des arbres sélectionnés, de l'élagage expérimental, de la méthode d'estimation de l'intensité d'élagage ainsi que les premières conclusions concernant l'effet de l'élagage sur le flux de sève chez l'érable à sucre.

La campagne de mesure se poursuivra en 2008 par l'analyse de l'effet à moyen terme des élagages expérimentaux réalisés en 2007 via l'analyse de la croissance pré et post-traitement. Ensuite des analyses similaires seront effectuées pour déterminer l'effet à long terme sur des individus situés le long du réseau moyenne tension et ayant subi plusieurs cycles de travaux de maîtrise de la végétation.

## TABLE DES MATIÈRES

<b>RÉSUMÉ</b> _____	<b>p ii</b>
<b>TABLE DES MATIÈRE</b> _____	<b>p iii</b>
<b>I – PRESENTATION DU PROJET</b> _____	<b>p 1</b>
<b>A) PROBLÉMATIQUE</b> .....	<b>p 1</b>
<b>B) L'APPROCHE</b> .....	<b>p 1</b>
<b>C) OBJECTIFS</b> .....	<b>p 3</b>
<b>II – RÉALISATIONS ANNÉE 2007</b> _____	<b>p 4</b>
<b>A) SITES, INSTALLATION DES SONDES ET ÉLAGAGE</b> .....	<b>p 4</b>
<i>1) Présentation des sites de 2007</i>	p 4
<i>2) Installation des sondes de flux de sève et élagages expérimentaux</i>	p 5
<b>B) ESTIMATION DE L'INTENSITÉ D'ÉLAGAGE ET DISTRIBUTION DES ARBRES MESURÉS...</b>	<b>p 7</b>
<i>1) Estimation de l'intensité d'élagage</i>	p 7
<i>2) Distribution des arbres mesurés</i>	p 9
<i>3) Calculs des flux de sève</i>	p 12
<b>III – RÉSULTATS ANNÉE 2007</b> _____	<b>p 13</b>
<b>A) ESTIMATION DU FLUX DE SÈVE APRÈS ÉLAGAGE PRINTANIER - SITE AAF</b> -.....	<b>p 13</b>
<i>1) Portrait du flux de sève instantané d'un arbre témoin et d'un arbre élagué</i>	p 12
<i>2) Flux de sève accumulé à la coulée et conditions environnementales</i>	p 14
<i>3) Corrélations climatiques avec le flux de sève accumulé pour le site</i>	p 14
<i>4) Variation du flux journalier en fonction d'une réduction de cime</i>	p 15
<b>B) ESTIMATION DU FLUX DE SÈVE APRÈS ÉLAGAGE ESTIVAL - SITE EPO</b> -.....	<b>p 19</b>
<i>1) Portrait du flux de sève instantané d'un arbre témoin et d'un arbre élagué</i>	p 19

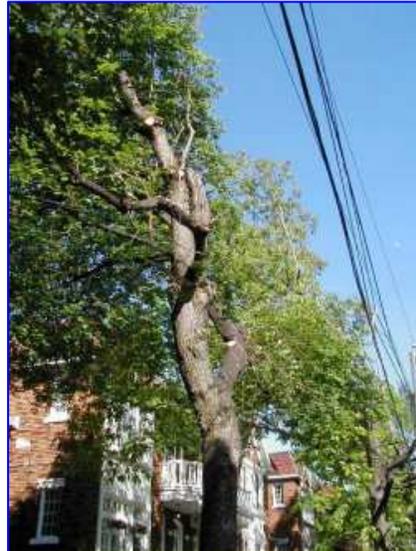
<i>2) Corrélations climatiques avec le flux de sève estival accumulé pour le site</i>	p 20
<i>3) Variation du flux journalier en fonction d'une réduction de cime</i>	p 21
<b>IV – CONCLUSIONS</b>	<b>p 23</b>
<b>V – CALENDRIER</b>	<b>p 25</b>
<b>REMERCIEMENTS</b>	<b>p 25</b>
<b>RÉFÉRENCES</b>	<b>p 26</b>
<b>ANNEXE 1 – MODÈLE GRAPHIQUE D'ESTIMATION DE L'INTENSITÉ D'ÉLAGAGE</b>	<b>p 27</b>
<b>ANNEXE 2 – TABLEAU DES PARAMÈTRES DE RÉGRESSIONS LINÉAIRES POUR LES FLUX JOURNALIERS ACCUMULÉS PAR PÉRIODES D'ACTIVITÉ ET EN FONCTION D'UN GRADIENT D'INTENSITÉ D'ÉLAGAGE. (SITE AAF, ÉLAGAGE PRINTANIER)</b>	<b>p 28</b>
<b>ANNEXE 3 – TABLEAU DES PARAMÈTRES DE RÉGRESSIONS LINÉAIRES POUR LES FLUX JOURNALIERS ACCUMULÉS PAR PÉRIODES D'ACTIVITÉ ET EN FONCTION D'UN GRADIENT D'INTENSITÉ D'ÉLAGAGE. (SITE EPO, ÉLAGAGE ESTIVAL)</b>	<b>p 29</b>
<b>ANNEXE 4 – CALENDRIER DÉTAILLÉ DE L'ÉTUDE PAR ANNÉE</b>	<b>p 30</b>

## I – PRESENTATION DU PROJET

### A) PROBLÉMATIQUE

Dans le cadre de l'entretien des lignes électriques domestiques, Hydro-Québec 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.



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

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 terme, (ii) dans une dynamique d'élagages répétés ou encore (iii) en fonction de la saison à laquelle le traitement est effectué.

### B) L'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 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 (cf. Kozłowski et Pallardy 1997). L'air dilaté et l'eau dégelée et l'air 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 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 terme.

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 pourraient permettre 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 l'érable à sucre à court, moyen et long terme. 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, l'ensemble des points suivants sera éclairci:

- (1.) Comment estimer l'intensité d'un élagage?
  - (2.) Existe-t-il un lien entre la croissance radiale des érables à sucre et leur flux de sève ?
  - (3.) Comment évolue à court et moyen terme le flux de sève d'individus élagués?
  - (4.) Quelle est la relation entre la croissance radiale passée des arbres (effet à long terme) et l'historique d'élagage (nombre d'élagages, fréquence)?
  - (5.) 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
- (6.) Quelle est l'évolution des relations préalablement mentionnées avec la variation de l'intensité d'élagage et du diamètre de l'individu élagué?

## II – RÉALISATIONS ANNÉE 2007

La réalisation du plan d'échantillonnage est prévue sur une durée de 4 années durant lesquelles les mesures et leurs analyses seront échelonnées (Tableau 1). Un calendrier plus précis des activités est disponible en annexe (Annexe 4).

**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 annuel		√	×	
Guide d'évaluation de l'élagage			×	
Rapport final				×

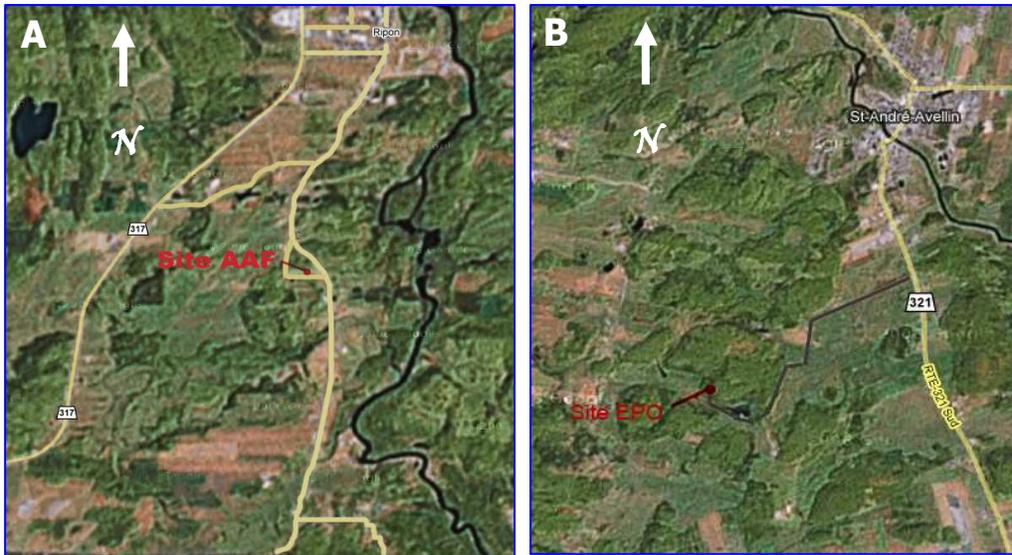
√ : Réalisé

× : A réaliser pour les années subséquentes

### A) SITES, INSTALLATION DES SONDES ET ÉLAGAGE

#### 1) Présentation des sites de 2007

Dans le cadre de l'étude de l'intensité d'élagage sur le flux de sève chez l'érable à sucre deux dispositifs expérimentaux, où des arbres élagués et non élagués sont suivis, ont été mis en place à l'hiver 2006-2007. Ces deux sites privés, situés à Ripon (site Arbre Aux Fruits : **AAF**) et à Saint-André-Avellin (site Époque : **EPO**) correspondent à des érablières dont les sections adjacentes à la route sont orientées vers le sud (Figure 3). Dans les deux cas, les arbres de bordure de ces érablières se trouvent donc dans des conditions très similaires aux arbres élagués par Hydro-Québec. On notera cependant que ces arbres n'ont jamais subi d'élagage.



**Figure 3.** Carte de l'emplacement des sites l'Arbre Aux Fruits (AAF) entre Ripon et Saint-André-Avellin (A) et l'Époque (EPO) entre Saint-André-Avellin et Papineauville (B).

## 2) Installation des sondes de flux de sève et élagage expérimental

Pour le site élagué au printemps (site AAF), l'installation des sondes a été effectuée au milieu de la saison de l'entaillage (pic de la coulée de sève), soit le 13 avril 2007. Pour l'élagage estivale (site EPO), les sondes ont été installées le 2 juillet 2007. Pour les deux dispositifs, deux sondes ont été placées par arbre, la première au Sud, orientée du côté du chemin (côté ouvert de la forêt), la seconde au Nord (côté fermé de la forêt) (Figure 4). On notera que lors de l'installation des sondes sur le site AAF, de la sève coulait au niveau des emplacements des sondes et cela pour chacun des individus.



**Figure 4.** A : Installation de la sonde côté sud de l'arbre. B : Fixation des deux sondes Nord et Sud sur l'arbre. C : Mise en place de l'isolant thermique autour du tronc.

L'ensemble des données prises par les sondes est ensuite stocké, au rythme de 2 mesures par heure dans deux stations d'enregistrement pour le site AAF et 1 mesure par heure pour le

site EPO (Figure 5). La différence entre les intervalles de prise de mesure pour les deux sites vient simplement du fait que pour le site EPO, les sondes et les systèmes d'enregistrement étant connectés à des batteries, un intervalle plus grand entre les mesures a permis d'augmenter la durée de vie des batteries. Au moment de l'installation des sondes, des capteurs de température et d'humidité relative ont également été placés dans les deux sites afin de suivre la variation de données climatiques tout au long des périodes de mesures.



**Figure 5.** Station d'enregistrement des données. Une caisse isolante et une bâche de protection permettent de laisser la station en permanence sur le terrain.

Par la suite, l'élagage a été réalisé à l'aide d'une scie mécanique ajustée sur un manche télescopique (Figure 6). L'élagage a été effectué le 19 avril 2007 soit 6 jours après la pose des sondes pour le site AAF et le 10 juillet 2007 soit 9 jours après avoir posé les sondes. Ainsi, il a été possible de mesurer un flux référence pour chacun des individus, qu'ils soient, ou non, élagués par la suite.

**Figure 6.** Élagage d'un arbre dont le système de mesure du flux de sève est déjà installé.

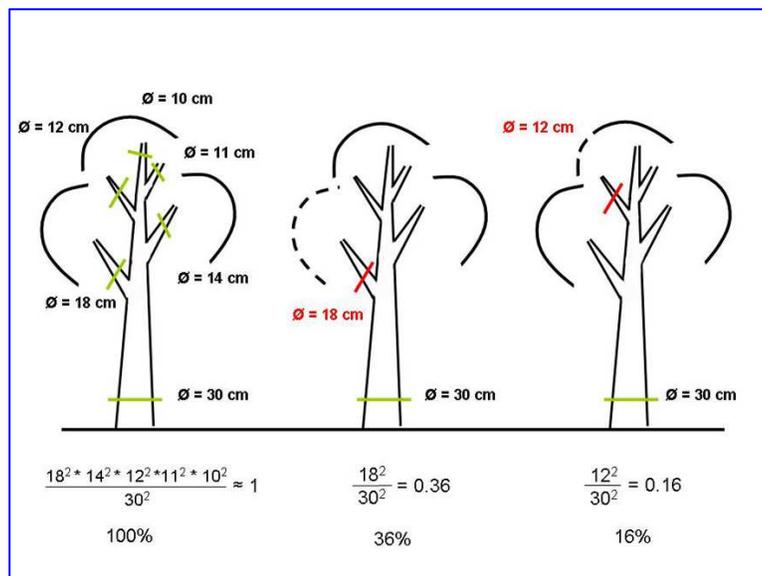


A cette étape également, il a été noté que la sève pouvait couler de façon non négligeable au niveau de la blessure réalisée chez les individus élagués du site AAF.

## B) ESTIMATION DE L'INTENSITÉ D'ÉLAGAGE ET DISTRIBUTION DES ARBRES MESURÉS

### 1) Estimation de l'intensité d'élagage

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 actuellement 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 «  $s_1, s_2, s_n$  » de tronc et de branches qui se développent au dessus (Figure 7). 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 7).



**Figure 7.** 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 7, 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.

Dans le dispositif expérimental du site AAF, l'estimation du RRC a donc varié entre 0 et 43.3% (Tableau 2).

**Tableau 2.** Récapitulatif des caractéristiques et de l'intensité d'élagage (par la méthode des tuyaux) des individus élagués et non élagués du site expérimental de l'Arbre Aux Fruits (AAF).

Identifiant de l'arbre	DHP* de l'arbre	Diamètre des branches coupées				Aire au DHP	Aire des branches coupées	Intensité d'élagage (RRC)	Classe d'intensité <sup>†</sup>
		cm	cm	cm	cm				
#	cm	cm	cm	cm	cm	cm <sup>2</sup>	cm <sup>2</sup>	%	-
2	24	15.7	-	-	-	452	196	43.3	FO
3	28	7	-	-	-	616	39	06.3	FA
5	25	-	-	-	-	491	0.0	00.0	TEM
6	21	3.5	2	2	2	346	19	04.1	FA
7	20	7	4	3.5	3.5	314	70	16.8	MO
10	27	-	-	-	-	573	0.0	00.0	TEM
13	21	5	4	2	-	346	35	07.9	FA
15	25	8	7.5	4.5	4	491	123	20.5	MO
16	33	14.5	7.5	7	5.5	855	295	37.1	FO
17	27	-	-	-	-	573	0.0	00.0	TEM
18	23	8	7	7	-	416	127	23.0	MO
20	25	10	9	9	6	491	234	38.0	FO

\* : le DHP est le Diamètre à Hauteur de Poitrine

† : les classes d'intensité d'élagage ont un titre indicatif. Elles ont été réalisées afin de mieux répartir les individus mesurés sur le gradient d'intensité mais ne seront pas nécessairement utilisées pour les analyses. Les classes sont TEM : Témoin, FA : faible intensité, MO : moyenne intensité et FO : forte intensité.

Dans le dispositif expérimental du site EPO, l'estimation du RRC a varié entre 0 et 40.5% (Tableau 3). Sur le terrain et pendant les opérations, le suivi de l'intensité d'élagage d'un individu a pu être effectué grâce au modèle graphique fourni en annexe (Annexe 1)

**Tableau 3.** Récapitulatif des caractéristiques et de l'intensité d'élagage (par la méthode des tuyaux) des individus élagués et non élagués du site expérimental de l'Époque (EPO).

Identifiant de l'arbre	DHP* de l'arbre	Diamètre des branches coupées				Aire au DHP	Aire des branches coupées	Intensité d'élagage (RRC)	Classe d'intensité <sup>†</sup>
		cm	cm	cm	cm				
#	cm	cm	cm	cm	cm	cm <sup>2</sup>	cm <sup>2</sup>	%	-
7	27	14	6	-	-	573	232	40.5	FO
8	27	9	8	4	-	573	161	28.1	MO
9	20	-	-	-	-	314	0	00.0	TEM
11	24	6	4	-	-	452	52	11.5	FA
12	26	7	-	-	-	531	49	09.2	FA
13	25	-	-	-	-	491	0	00.0	TEM
14	22	10	5	5	-	380	150	39.5	FO
15	24	-	-	-	-	452	0	00.0	TEM
17	35	14	10	7	5	962	370	38.5	FO
18	37	8	-	-	-	1075	64	06.0	FA
19	38	12	9	8	-	1134	289	25.5	MO
20	38	14	10	7	5	1134	370	32.6	MO

\* : le DHP est le Diamètre à Hauteur de Poitrine

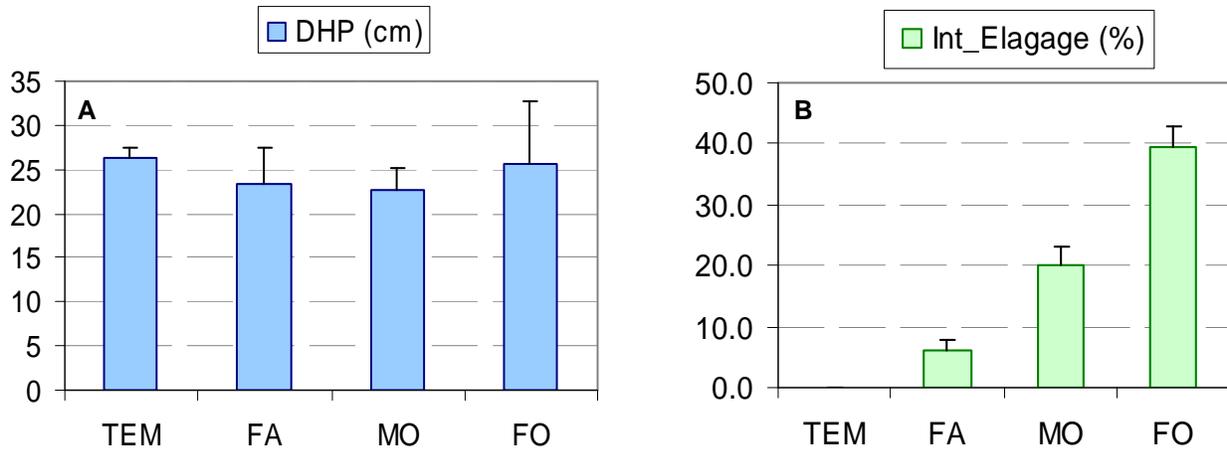
† : les classes d'intensité d'élagage ont un titre indicatif. Elles ont été réalisées afin de mieux répartir les individus mesurés sur le gradient d'intensité mais ne seront pas nécessairement utilisées pour les analyses. Les classes sont TEM : Témoin, FA : faible intensité, MO : moyenne intensité et FO : forte intensité.

## 2) Distribution des arbres mesurés

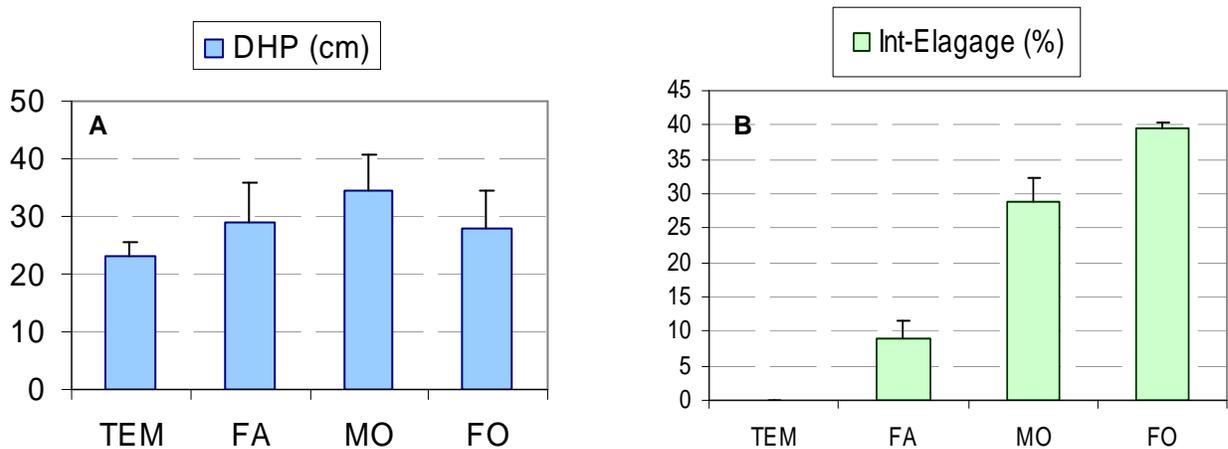
A titre indicatif et de vérification, la moyenne des DHP des arbres mesurés se tient autour d'une valeur de 24 cm entre les groupes d'intensité d'élagage pour le site AAF (Figure 8A) alors qu'il est de 27 cm pour le site EPO (Figure 9A). La variabilité de la réponse qui sera mesurée et qui sera due à la variation du DHP des arbres se retrouve donc avec une amplitude similaire dans les 4 groupes et dans les deux sites.

D'un autre côté, la distinction claire de l'intensité moyenne d'élagage de chaque groupe a été obtenue après réalisation des traitements. Ainsi, le groupe des fortes intensités atteint près de 40% de réduction de cime en moyenne, le groupe des moyennes, 20%, celui des faibles, 7% et le groupe témoin, 0% pour le site AAF (Figure 8B). De même, les intensités moyennes

d'élagage pour le site EPO ont été respectivement de 0, 9, 29 et 39% pour les groupes témoin, faible, moyen et forts (Figure 9B).



**Figure 8.** Répartition des arbres étudiés pour le flux de sève. Valeur moyenne (et écart type) pour le DHP (A) et l'intensité totale d'élagage (B) pour chaque groupe d'intensité d'élagage pour le site AAF (cf. Tableau 3 pour détails)



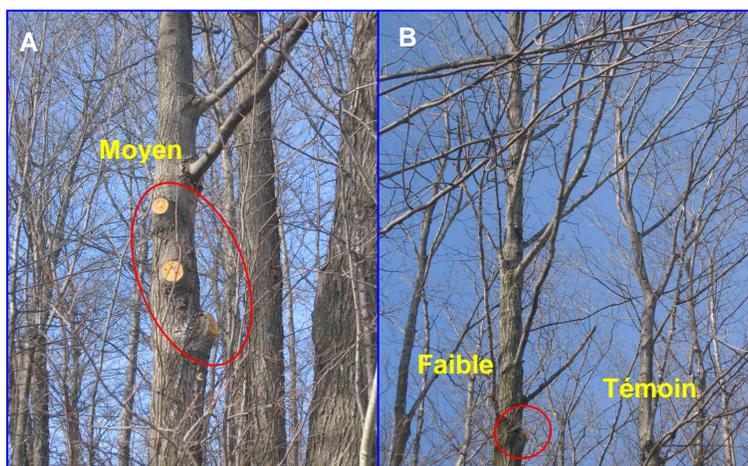
**Figure 9.** Répartition des arbres étudiés pour le flux de sève. Valeur moyenne (et écart type) pour le DHP (A) et l'intensité totale d'élagage (B) pour chaque groupe d'intensité d'élagage pour le site EPO (cf. Tableau 4 pour détails)

Le Tableau 4 permet de mettre en évidence la répartition des arbres sur le gradient d'intensité d'élagage et de DHP et cela en fonction de leur classe de DHP. Les résultats sont présentés pour les sites AAF et EPO.

**Tableau 4.** 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	Intensité d'élagage	DHP de l'arbre
	SITE AAF		SITE EPO	
-	%	cm	%	cm
Tem	0.0	27	0	20
Tem	0.0	25	0	25
Tem	0.0	27	0	24
FA	7.7	28	6.0	37
FA	4.2	21	9.2	26
FA	10.4	21	11.5	24
MO	15.8	20	25.5	38
MO	13.1	25	28.1	27
MO	26.0	23	32.6	38
FO	41.9	19	38.5	35
FO	32.4	33	39.5	22
FO	37.9	25	40.5	27

Finalement, la Figure 10 montre le résultat de l'élagage pour un arbre de la classe d'intensité moyenne, un arbre de la classe d'intensité faible ainsi qu'un arbre témoin pour le site AAF.



**Figure 10.** A : Arbre élagué de la classe d'intensité moyenne. B : A gauche, arbre élagué de la classe d'intensité faible et, à droite, arbre témoin non élagué

### 3) Calculs des flux de sève

Pour obtenir un flux de sève par unité de surface d'aubier, la surface d'aubier de chaque individu a été estimée par le biais de la relation allométrique établie par Ewers et al. (2002) sur l'érable à sucre dans la portion de DHP qui est retrouvée sur les sites AAF et EPO soit 18 à 40 cm. Dans cet intervalle de DHP, la largeur de l'aubier suit linéairement le DHP en fonction de la relation suivante:

$$L_{\text{aubier}} = 0.2143 \text{ DHP} + 0.9286$$

Où  $L_{\text{aubier}}$  correspond à la largeur de l'aubier en cm et où le DHP est exprimé en cm.

La surface d'aubier a ensuite été calculé par la soustraction de la surface totale du tronc et de la surface du bois de cœur avec la relation suivante :

$$S_{\text{aubier}} = \pi (\text{DHP}/2)^2 - \pi ((\text{DHP}/2) - L_{\text{aubier}})^2$$

Où  $S_{\text{aubier}}$  correspond à la superficie en  $\text{cm}^2$ .

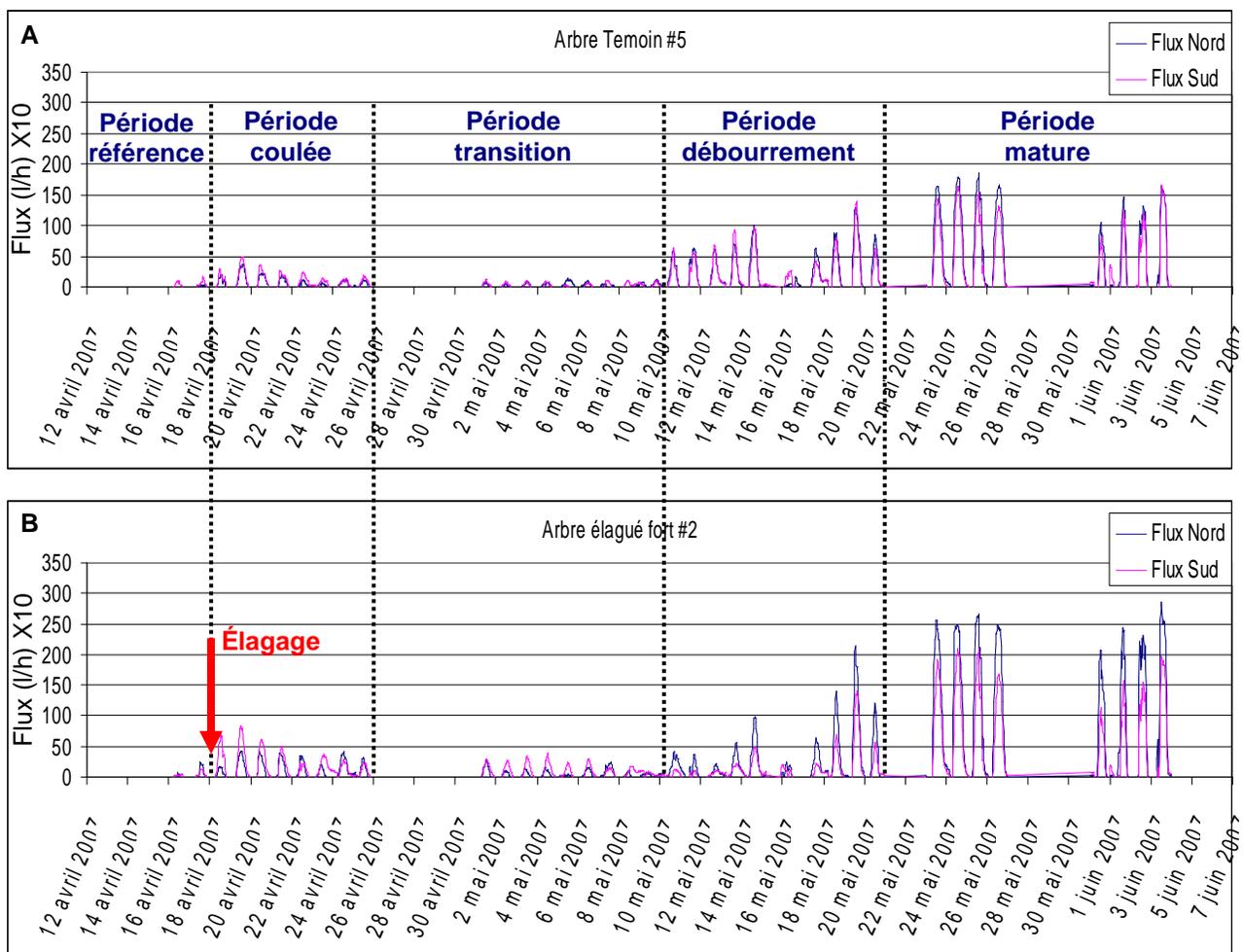
De plus, afin d'uniformiser la mesure du flux de sève qui s'avère très dépendante du DHP et linéairement reliée à celui-ci (Goldstein et al. 1998), celle-ci sera standardisée pour chaque arbre à l'équivalent du flux de sève d'un arbre de 25 cm de DHP.

### III – RÉSULTATS ANNÉE 2007

#### A) ESTIMATION DU FLUX DE SÈVE APRÈS ÉLAGAGE PRINTANIER - SITE AAF -

##### 1) Portrait du flux de sève instantané d'un arbre témoin et d'un arbre élagué

L'enregistrement du flux de sève chez les 12 individus suivis par le biais des sondes à dissipation thermique (TDP30, Dynamax, Texas, USA) a été réalisé de mi-avril à mi-juin, soit sur une période de 2 mois et cela a un rythme de 2 mesures par heure. A titre d'exemple, les données d'évolution du flux de sève pour deux arbres (4 sondes) sont présentées dans la Figure 11 (Attention, ces courbes en valeur absolue ne sont corrigées par la surface d'aubier, et ne peuvent donc être comparées entre individus). Sur cette figure, les différentes périodes d'activité et de repos sont représentées afin de mieux suivre les variations de flux avec les saisons. Ces différentes périodes seront conservées pour les analyses subséquentes car l'effet de l'élagage s'avère très variable suivant ces périodes.



**Figure 11.** Évolution du flux de sève au cours du temps (entre le 14 avril 2007 et le 4 juin 2007) chez un individu témoin (A) et un individu élagué à 40% de sa cime (B).

### 2) Flux de sève accumulé à la coulée et conditions environnementales

Dans une analyse préliminaire, il a été identifié que durant la période de la coulée, les flux journaliers (accumulés pendant 24h) les plus importants ont été mesurés alors que les températures nocturnes étaient très proches ou inférieures à 0°C et que les températures journalières étaient les plus douces (au dessus de 15°C). Donc, la coulée de sève a été la meilleure alors que les écarts de températures étaient les plus grands (>10°C) et que la température minimale avoisinait 0°C (cf. rapport d'étape année 2007). Ces résultats concordent notamment avec ceux établis par Johnson et Tyree (1992)

### 3) Corrélations climatiques avec le flux de sève accumulé pour le site

Pour la suite des analyses, 4 périodes (correspondant aux périodes où la circulation de sève est, soit la plus importante ou soit impliquée dans le potentiel de coulée des érables) ont été retenues. Il s'agit de la période de coulée avant élagage (période référence ou témoin correspondant à 2 jours de mesure), la période de coulée après élagage (période de coulée, correspondant à 6 jours de mesures), la période de débourrement des feuilles (période débourrement, correspondant à 6 jours de mesure) et la période où les feuilles sont développées et mures (période mure, correspondant à 8 jours de mesure).

Dans cette analyse de corrélation (coefficient de Pearson), les flux de sève journalier de tous les individus mesurés ont été sommés afin d'obtenir le flux de sève accumulé pour le site. On notera que les périodes de référence et de coulée (périodes avec absence de feuilles) ont été regroupées ainsi que les période de débourrement et feuilles mures (périodes avec présence de feuilles) (Cf. Tableau 5).

**Tableau 5.** Coefficient de corrélation de Pearson entre le flux journalier accumulé du site et des données climatiques en fonction des différentes périodes d'activité où les feuilles ne sont pas présentes (R&C; référence et coulée) ou sont présentes (D&M; débourrement et mure).

Données climatiques	Flux accumulé du site	
	Période R&C (n=8)	Période D&M (n=14)
-		
Température moyenne	0.547 ns	0.765 **
Différence max-min de température	0.760 **	0.603 *
Humidité relative moyenne	-0.197 ns	-0.743 **

ns : non significatif, \* significatif à  $\alpha = 0.05$ , \*\* significatif à  $\alpha = 0.01$  et \*\*\* significatif à  $\alpha = 0.001$ .

Dans cette analyse, on voit bien qu'avant la sortie des feuilles, les variations de flux accumulé pour le site dépendent principalement de la différence de température max-min dans la journée (cf. période R&C). En présence des feuilles (cf. période D&M), le flux accumulé pour le site augmente avec l'augmentation de la température moyenne et la diminution de l'humidité relative (David et al. 1997). Cette réponse est tout à fait attendue car il est connu que les feuilles transpirent plus et donc consomment plus d'eau lorsque la température augmente et que l'air s'assèche.

#### *4) Variation du flux journalier en fonction d'une réduction de cime*

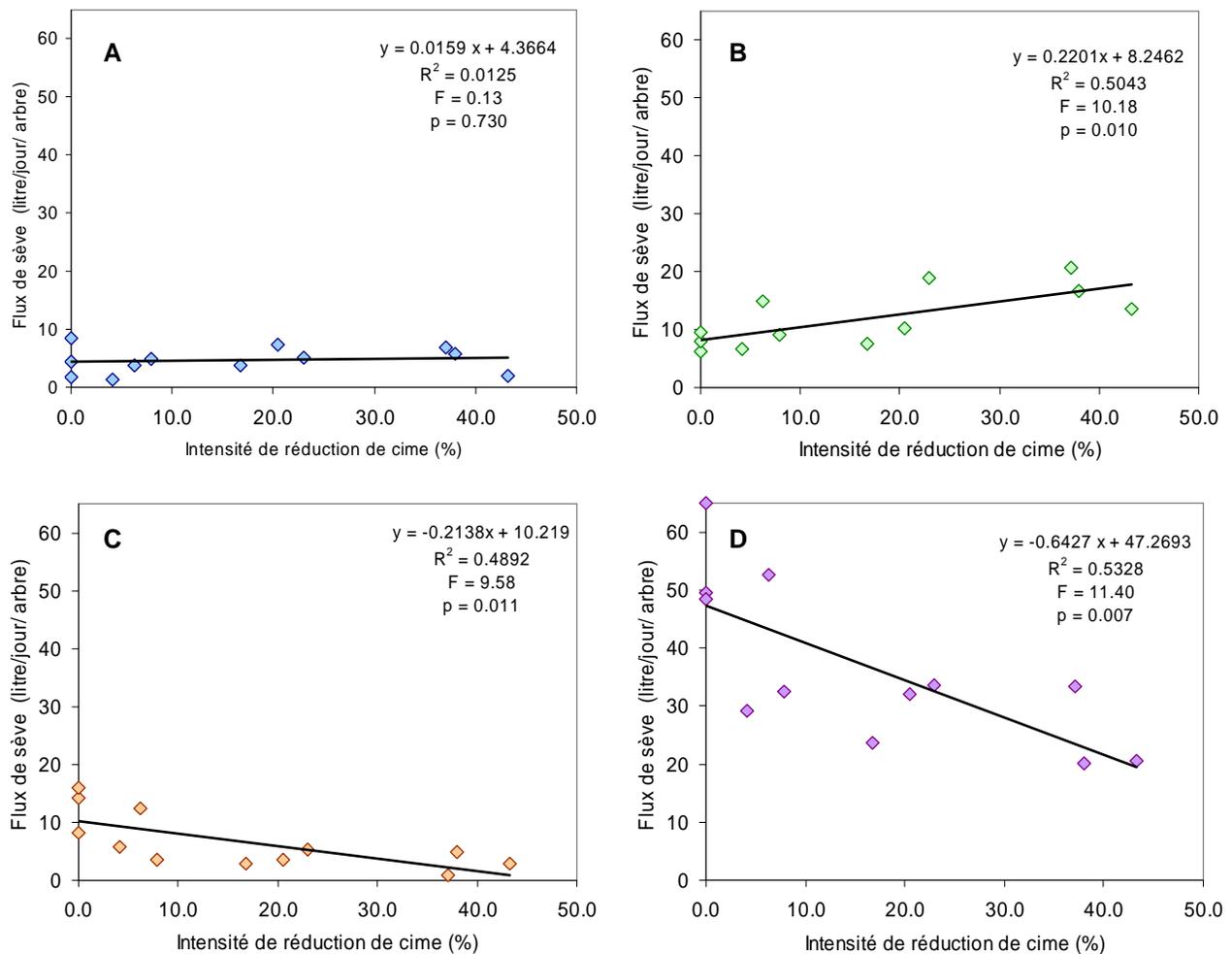
L'utilisation de ces techniques de mesure de flux de sève ne permet pas l'échantillonnage d'un grand nombre d'individus, d'où l'intérêt d'utiliser un gradient d'intensité d'élagage plutôt que des classes d'intensité où le nombre de répétition serait très faible. Une autre limitation de ces mesures correspond à la comparaison des individus dans le temps alors que le flux de sève est très variable en fonction de la journée (conditions climatiques, cf. ci-dessus).

Pour palier à ces biais, des régressions linéaires ont donc été réalisées pour effectuer l'analyse de l'effet de l'élagage sur la conduction de sève et cela, pour chaque journée de mesure pour chaque période d'activité. Un autre moyen de se départir de l'influence journalière est d'analyser mesure relative pour chaque journée, c'est-à-dire de suivre le gain ou la perte relative de conduction des individus élagués par rapport au individus témoins (pour cette dernière analyse, des classes d'intensité d'élagage pourront être faites).

Dans un premier temps, la Figure 12 représente des exemples de régressions linéaires pour chaque période d'activité (i.e., référence, coulée, débourrement et mature) mettant en évidence l'effet d'une réduction de cime printanière sur la circulation de sève chez l'érable à sucre. Les paramètres des régressions et résultats statistiques pour l'ensemble des journées de chaque période sont répertoriés en annexe (Annexe 1).

De façon générale, il n'y avait pas de différence de flux avant l'élagage entre les arbres qui allaient être élagués et ceux qui ne le seraient pas (Figure 12A, Annexe 2).

Durant la période de coulée, une tendance généralement significative démontrait une augmentation de la circulation du flux de sève avec l'augmentation de l'intensité d'élagage (Figure 12B, Annexe 2). Ceci pourrait s'expliquer par le fait que la sève s'écoule au niveau des blessures occasionnées lors de l'élagage. Chez ces arbres, ce flux supérieur correspond donc à une perte de sève comparativement aux arbres témoins.



**Figure 12.** Présentation de régressions linéaires entre le flux journalier de sève normalisé pour un arbre de 25 cm de DHP et l'intensité d'élagage (%) pour 4 journées avant et après un élagage printanier. (A) le 17 avril 2007, pendant la période de coulée mais avant l'élagage, (B) le 21 avril, pendant la période de coulée mais après élagage, (C) pendant le débourrement et après élagage et (D) pendant la maturité des feuilles et après l'élagage.

Par la suite, une tendance généralement significative semble montrer que durant la sortie des feuilles (débourrement), la circulation de sève diminue avec l'augmentation de l'intensité d'élagage (Figure 12C, Annexe2). Pendant cette période où la circulation de sève est faible (car les feuilles en construction en consomment peu), la diminution de circulation de sève s'avère supérieure à ce qui aurait été attendu après la réduction de la surface foliaire et du nombre de

feuilles via la coupe de plusieurs branches. En effet, il n'est pas rare d'observer des baisses de 60 à 70% du flux de sève pour un élagage de 40% de la cime (cf. Figure 12C).

Finalement, une fois le développement des feuilles complété, l'impact de la réduction de cime sur la circulation de sève était là encore très clair (Figure 12D, Annexe 2). En effet, on observe durant cette période, où l'activité de transpiration des feuilles est maximale une diminution systématique et significative de la circulation de la sève dans le tronc avec l'augmentation de l'intensité d'élagage. La réduction de surface foliaire occasionnée par l'élagage a donc grandement affecté la demande en eau de la cime et donc le flux de sève (i.e., une baisse de 40 à 60% pour une réduction de cime de 40%). Ces forts pourcentages de réduction du flux pourraient s'expliquer par l'accumulation d'impacts. La perte de branches peut effectivement amener à (i) la perte de la surface foliaire (perte de la demande en eau), (ii) la cavitation des vaisseaux (entrée d'air) aux alentours des blessures, diminuant le potentiel de circulation, et (iii) la compartimentation des zones blessées, ce qui protège l'arbre de l'entrée de pathogènes, mais là encore diminue son potentiel de circulation (Walters et Shigo 1978).

A ce stade, il sera important de suivre si ces différences visibles dans la période estivales auront un impact sur la croissance radiale des individus et donc sur la portion active du tronc pour le passage de la sève au printemps des années suivantes.

Dans un second temps, le calcul du flux de sève accumulé sur l'ensemble des journées de la période de coulée a été réalisé afin de déterminer l'importance à plus long terme des différences journalières observées (significatives ou non).

Le Tableau 6 compare donc les régressions linéaires entre le flux accumulé et l'intensité d'élagage obtenues pour une journée et pour l'ensemble des six journées de mesure de la période de coulée. A partir de ces régressions, une estimation du volume de sève perdu par la blessure provoquée par l'élagage a été calculée sous l'hypothèse que le volume de sève perdu sur un laps de temps « t » (ici 1 ou 6 jours) est égal à la différence entre le flux accumulé calculé par un arbre élagué à un pourcentage X moins le flux accumulé par un arbre non élagué (pour lequel X = 0).

**Tableau 6.** Résumé des paramètres de régression linéaire et statistiques pour la relation entre le flux accumulé mesuré pendant 1 ou 6 jours en fonction de l'intensité d'élagage et pendant la période de coulée. L'estimation de la perte de sève (litre) par la blessure est également présentée pour des valeurs théoriques d'intensité d'élagage.

Période pendant la coulée	Régression linéaire				Volume de sève perdu par intensité d'élagage		
	Équation*	$R^2$	$F$	$p$	7%	15%	40%
1 jour† (mesuré)	$y = 0.1962 x + 7.8050$	0.4683	8.81	0.014	1.4 l	2.9 l	7.9 l
6 jours‡ (mesuré)	$y = 1.1104 x + 59.399$	0.4391	7.83	0.019	7.8 l	16.7 l	44.4 l

\* : y correspond au flux accumulé par jour en litre et normalisé pour un arbre de 25 cm de DHP et x correspond à l'intensité d'élagage en % (calculé comme le RRC : ratio de réduction de cime, cf. section « II B.1) »)

† : le jour choisi est le 22 avril 2007

‡ : du 18 au 23 avril 2007 inclusivement

Il apparaît donc que l'augmentation de l'intensité d'élagage augmente significativement la perte d'un volume de sève et cela de façon linéaire. A partir des équations décrites, il s'avère que la perte estimée de sève par la blessure puisse atteindre (pour un élagage de 40%) de 60 à 100% du volume circulant normalement dans un arbre non élagué. De plus, il a déjà été montré que l'importance de la coulée était proportionnelle à la pression existant au printemps à l'intérieur du tronc (Kozlowski et Pallardy 1997). Il est évident qu'une telle blessure aura pour incidence de baisser dramatiquement la pression, minimisant l'importance de la coulée.

Cependant, plusieurs limitations sont à observer à ce stade de l'interprétation. En effet, pour les producteurs utilisant une pression négative pour prélever l'eau d'érable, l'importance de la chute de pression sera grandement atténuée. De même, l'eau n'étant pas limitante à cette période de l'année dans le sol, tout indique que cette sève perdue par les blessures d'élagage est facilement remplaçable et qu'elle n'affecte en rien le volume prélevé pour la production de sirop. Finalement, la limitation la plus importante de ces impacts dans un contexte d'élagage de maintenance (tel qu'effectué par Hydro Québec), correspond à l'intensité de l'élagage produit. Généralement la périodicité de l'élagage réalisé (3 à 6 ans suivant les régions) amène à des réductions de cime inférieures à 15% et même généralement inférieures à 10% (S. Delagrangé donnée non montrées). Pour ces intensités, les effets sur la perte de volume au moment de la coulée et sur la perte de circulation de sève en présence des feuilles sont très faibles voire même non significatifs.

Quelques points futurs demeurent encore à éclaircir afin de pouvoir conclure sur la véritable nature de l'impact d'un élagage printanier (précédant la période de récolte) sur le potentiel et la qualité de la coulée de sève :

- (1) Si la perte du volume de sève ne semble pas avoir d'importance sur le volume de récolte, il serait nécessaire de vérifier si la perte des sucres contenus dans ce volume affecte la concentration en sucre du volume de récolte. En effet, si l'eau n'est pas limitante, les sucres contenus dans l'arbre pourraient l'être et l'augmentation du volume de sève passant dans le tronc pourrait amener à une dilution des sucres dont une partie serait perdue par la blessure.

- (2) La vigueur des arbres serait également à évaluer. En effet, un arbre vigoureux aura tendance à compartimenter et cicatriser plus rapidement ses zones de blessures, limitant ainsi la perte de volume sève. De plus, il est probable que les individus vigoureux possèdent des concentrations en sucre et un potentiel de flux de sève plus élevés, ce qui les rendrait moins susceptibles aux impacts décrits ci-dessus.

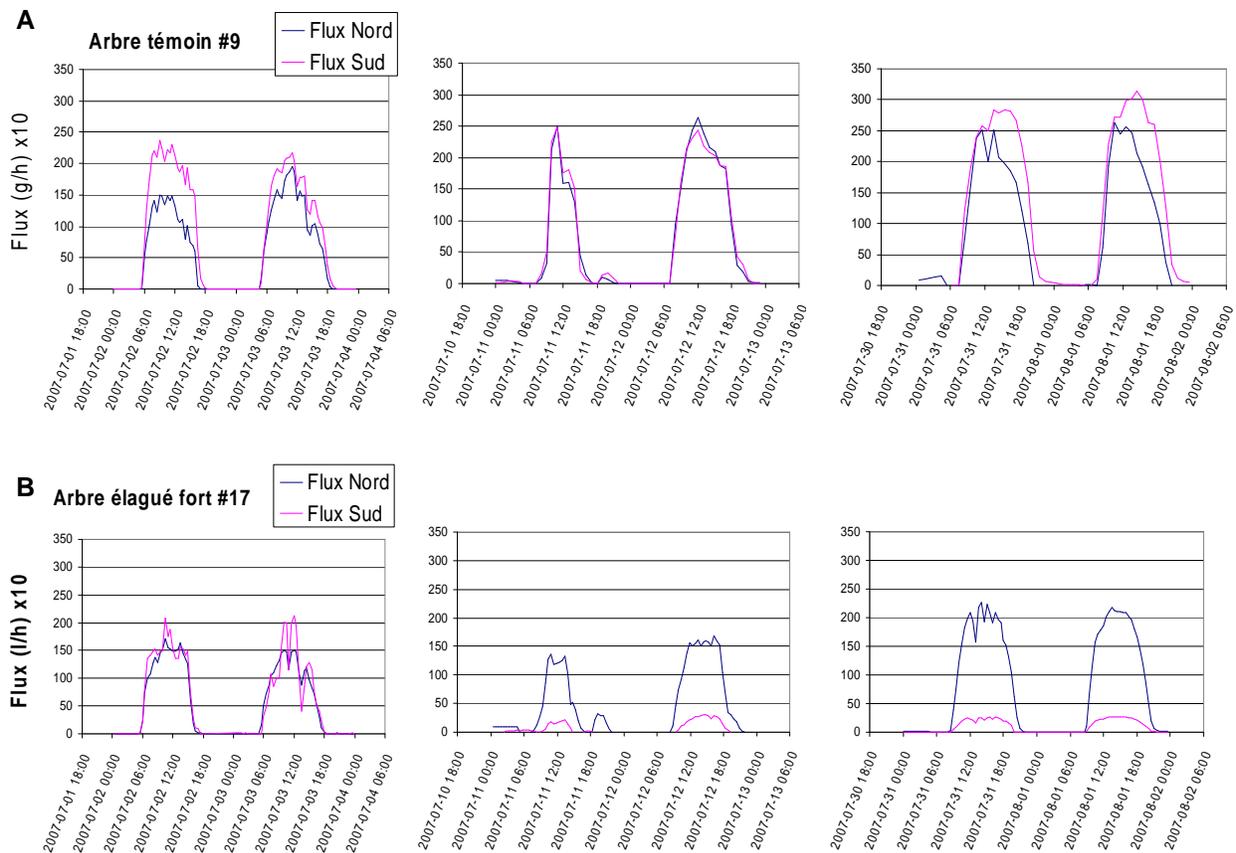
- (3) Enfin, il serait primordial de vérifier si cette baisse ponctuelle de flux ainsi que la perte d'une part de la surface foliaire de la cime affectera significativement la croissance radiale des individus et donc le potentiel de coulée (i.e. bande passante de sève). Cet effet, dont l'importance reste à définir aurait des conséquences à plus long terme sur le potentiel de coulée.

## **B) ESTIMATION DU FLUX DE SÈVE APRÈS ÉLAGAGE ESTIVAL - SITE EPO -**

### *1) Portrait du flux de sève instantané d'un arbre témoin et d'un arbre élagué*

Dans ce deuxième dispositif, l'enregistrement du flux de sève a été réalisé sur 3 périodes de 2 jours comprises entre début juillet et début août, soit à l'intérieur d'une période de 1 mois où les feuilles sont matures et en pleine activité. Cette fois-ci, l'enregistrement des données été fait à un rythme de 1 mesure par heure pour des raisons de minimisation de la consommation d'énergie électrique. En effet, en raison de l'isolement géographique du site, l'ensemble du dispositif ne pouvait être relié au réseau domestique et fonctionnait donc avec des batteries à décharge profonde.

A titre d'exemple, les données d'évolution du flux de sève pour deux arbres (4 sondes) sont présentées dans la Figure 13 (attention, ces courbes en valeur absolue ne sont pas corrigées par la surface d'aubier, et ne peuvent donc être comparées entre individus).



**Figure 13.** Évolution du flux de sève au cours du temps (pour les trois périodes de mesure en juillet et août 2007) chez un individu témoin (A) et un individu élagué à 40% de sa cime (B).

## 2) Corrélations climatiques avec le flux de sève estivale accumulé pour le site

L'analyse de corrélation (coefficient de Pearson) entre le flux cumulé du site (somme du flux de tous les arbres mesurés) et les variables climatiques a permis de confirmer l'importance de l'humidité relative de l'air et de la température moyenne de la journée dans la variation du flux de sève (Tableau 5). En effet, comme pour la période de présence des feuilles lors de l'élagage printanier, le flux de sève en période estivale a été positivement corrélé à la température moyenne et négativement corrélé à la l'humidité relative de l'air.

Ceci confirme donc que la consommation en eau des arbres et significativement augmentée lorsque la température augmente et que l'air est plus sec (David et al. 1997).

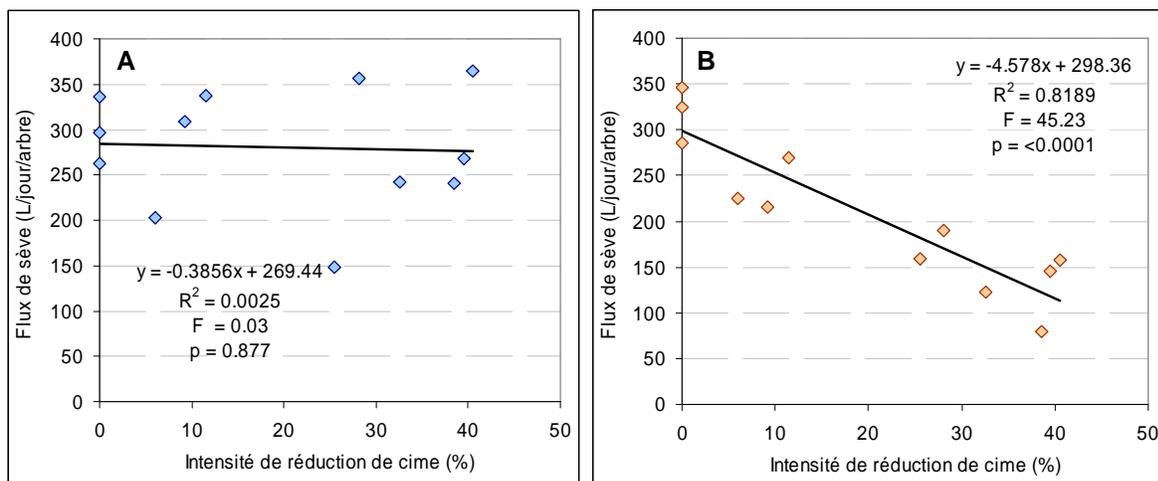
**Tableau 7.** Coefficient de corrélation de Pearson entre le flux journalier accumulé du site et des données climatiques après un élagage estival.

Données climatiques	Flux accumulé du site
-	Période M (n=6)
Température moyenne	0.901 *
Différence max-min de température	-0.936 **
Humidité relative moyenne	0.489 ns

ns : non significatif, \* significatif à  $\alpha = 0.05$ , \*\* significatif à  $\alpha = 0.01$  et \*\*\* significatif à  $\alpha = 0.001$ .

### 3) Variation du flux journalier en fonction d'une réduction de cime

L'analyse de l'effet de l'élagage sur la conduction de sève journalière pour chaque individu en fonction de son intensité d'élagage estival démontre, comme pour la période mature après élagage printanier, un effet non négligeable sur la conduction de sève. De façon générale, avant l'élagage, aucune différence n'a été mise en évidence entre les individus à être élagués ou non (Figure 14A, Annexe 3). D'un autre côté, après élagage, le flux de sève a été grandement et significativement affecté par la réduction de cime (Figure 14A, Annexe 3). En effet, l'augmentation de l'élagage jusqu'à 40% a diminué de 35 à 40% la conduction de sève journalière.



**Figure 14.** Présentation de régressions linéaires entre le flux journalier de sève normalisé pour un arbre de 25 cm de DHP et l'intensité d'élagage (%) pour 2 journées avant et après un élagage estival. (A) le 2 juillet 2007, avant l'élagage et (B) le 12 juillet 2007 après élagage.

Cependant, dans un contexte d'entaillage, ce type d'élagage estival (i.e. réalisé en dehors de la période de coulée) ne pourra affecter le potentiel de coulée des arbres qu'au printemps suivant, via une réduction de la croissance radiale et donc du potentiel de circulation des individus. Pour en définir l'impact, il sera donc nécessaire de suivre à moyen et long terme la croissance des individus.

## IV – CONCLUSIONS

Après les campagnes de mesures réalisées durant cette année 2007, plusieurs conclusions peuvent maintenant être dressées concernant le ratio de réduction de cime (RRC) et l'impact de l'élagage sur le flux de sève instantané d'arbres élagués ou non élagués.

D'abord, en constatant l'évolution du flux de sève en fonction de l'intensité de réduction de cime (i.e. l'intensité d'élagage), il semble que le RRC soit un bon moyen d'évaluer l'impact de l'élagage sur la circulation de sève, particulièrement lorsque les feuilles sont présentes. En effet, durant ces périodes où le flux de sève est important, le calcul du RRC d'individus élagués permet d'obtenir une valeur très similaire à la réduction de conduction de sève mesurée dans le tronc. Par exemple, sur nos sites, les arbres fortement élagués ayant un RRC de 40% ont démontré une réduction de 40 à 60% du flux de sève.

Ensuite, en ce qui concerne l'impact d'un élagage printanier sur le flux de sève, il semble clair que celui-ci tend à augmenter le flux pendant la période de la coulée, augmentation qui vient de la perte d'un volume de sève par la blessure non cicatrisée. Des recherches complémentaires seraient nécessaires afin de démontrer si la perte de ce volume de sève peut affecter le volume qui serait prélevé en parallèle pour la production de sirop (que cela soit en quantité ou en qualité). Cependant, en considérant que l'élagage d'entretien que réalise Hydro Québec le long de son réseau moyenne tension ne produit que très rarement des RRC supérieurs à 10%, l'effet d'un tel élagage sur la période de coulée demeure négligeable.

Finalement, l'élagage réalisé (qu'il soit printanier ou estival) a eu un fort impact sur la circulation de sève durant la période de forte consommation en eau des arbres (c'est-à-dire la période de maturité des feuilles). Si cet impact direct n'affecte en rien la période de coulée de l'année, il va être primordial de vérifier si la perte de flux, de surface foliaire et donc de potentiel de croissance affectera ou non la croissance radiale des individus et surtout en quelles proportions. En effet, il s'agit à travers ce suivi, de vérifier l'impact à moyen et long terme sur le potentiel de coulée des arbres (donc sur la largeur des cernes passants).

A partir de ces premiers résultats, il est possible de formuler quelques recommandations liées à l'élagage dans un contexte d'entailage pour la production de sirop d'érable et sous un

régime de précaution. En effet, il apparaît préférable de ne pas réaliser d'élagage sur des arbres devant être utilisés pour la production de sirop dans une période ne permettant pas la compartimentation et la cicatrisation des blessures (soit durant l'hiver pour un entaillage printanier). Ainsi, on évitera toute perte de volume de sève durant la période de récolte. De même, il serait important de limiter la réduction de cime à des ratios (RRC) inférieurs à 15% et même 10% pour s'assurer de demeurer dans une portion du gradient où aucun effet significatif ne peut être identifié.

## V – CALENDRIER

Les livrables du projet pour l'année 2007 ont été complétés (achat de matériel, élagage expérimental et mesure du flux de sève).

La suite des travaux pour l'année 2008 se fera par la réalisation de :

- Remesurage en période de coulée des individus élagués en 2007.
- La surveillance des croissances radiale des arbres élagués en 2007.
- Le carottage des arbres mesurés pour le flux de sève afin de déterminer la surface conductrice et l'impact sur la largeur de l'aubier.
- La visite des sites identifiés en Ouatouais (PAP231, PAP232, PAP233 et CAT212) et des sites identifiés dans d'autres régions du Québec pour le carottage des arbres afin d'identifier l'effet du cycle d'élagage sur leur croissance et leur potentiel de conduction de sève.

Pour plus de détail sur le calendrier, consultez l'Annexe 4.

## REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier Mario Beauchamp, propriétaire, pour le prêt du secteur forestier nommé « MB » dans le document, Denise et Georges Minard, propriétaires, pour le prêt du secteur forestier cité « l'arbre aux fruits; AAF » dans le document ainsi que l'aimable collaboration de Paul Calvert et Stéphanie Bergeron, locataires, dans l'installation du système électrique pour l'approvisionnement des stations de mesure. Les auteurs remercient également Daniel Bouffard (IQAFF) pour sa contribution à la sélection des arbres et aux mesures de terrain, Vincent McCullough (IQAFF) et Régis Pouliot (IQAFF) pour l'installation des sondes et la réalisation de l'élagage expérimental. Enfin nous remercions Pascal Rochon (IQAFF) pour la compilation de très nombreuses données de flux de sève.

**REFERENCES**

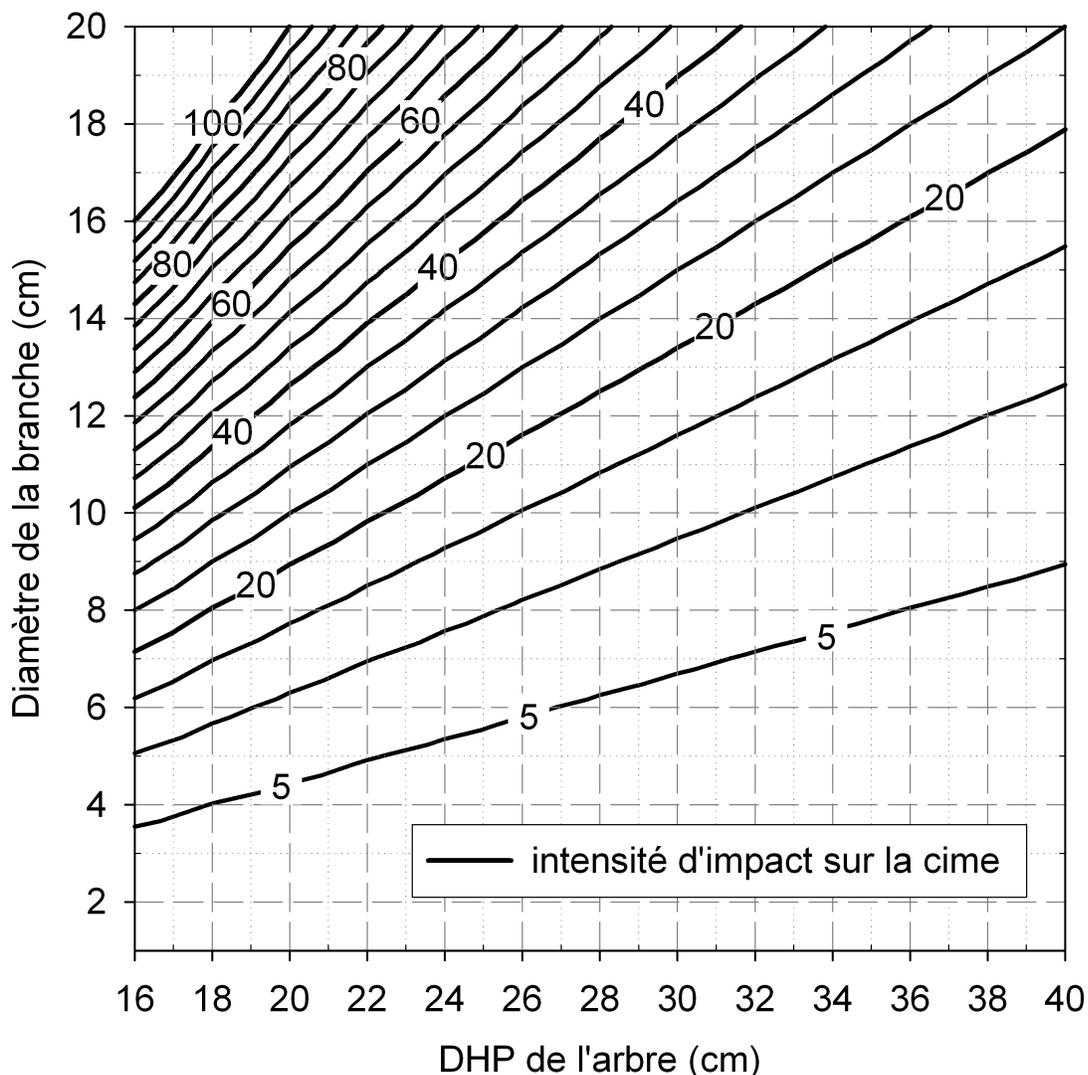
- David T.S., Ferreira M.I., David J.S., Pereira J.S. 1997. Transpiration from a mature Eucalyptus globulus plantation in Portugal during a spring-summer period of progressively higher water deficit. *Oecologia*. **110**, 153-159.
- Ewers B.E., Mackay D.S., Gower S.T. Ahl D.E., Burrows S.N., Samanta S.S. 2002. Tree species effects on stand transpiration in northern Wisconsin. *Water Resources Research*. **38**, 8-11.
- Goldstein G., Andrade J.L., Meinzer F.C., Holbrook N.M., Cavellier J., Jackson P., Celis A. 1998. Stem water storage and diurnal patterns of water use in tropical forest canopy trees. *Plant, Cell & Environment* **21**, 397-406
- Johnson R.W., Tyree M.T. 1992. Effect of Stem Water Content on Sap Flow from Dormant Maple and Butternut Stems. *Plant Physiology*. **100**, 853-858.
- Kozlowski T.T., Pallardy S.G. 1997. *Physiology of Woody Plants*. Academic Press, NY.
- Mäkelä, A., Valentine H., T., 2006a. The quarter-power scaling model does not imply size-invariant hydraulic resistance in plants. *Journal of Theoretical Biology*, in press.
- Mäkelä, A., Valentine H., T., 2006b. Crown ratio influences allometric scaling in trees. *Ecology*, in press.
- 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.
- Walters, Russell S.; Shigo, Alex L. 1978. Tapholes in sugar maples: What happens in the tree. Gen. Tech. Rep. NE-47. U. S. Department of Agriculture, Forest Service, Northeastern Forest Experimental Station, Broomall, PA. 12 p.

## ANNEXE 1 – MODÈLE GRAPHIQUE D'ESTIMATION DE L'INTENSITÉ D'ÉLAGAGE.

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 sont pour 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. Une évaluation précise peut être calculée grâce aux équations mentionnées dans la section II B et les Tableaux 2 et 3.**

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

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



**ANNEXE 2 – TABLEAU DES PARAMÈTRES DE RÉGRESSIONS LINÉAIRES POUR LES FLUX JOURNALIERS ACCUMULÉS PAR PÉRIODES D'ACTIVITÉ ET EN FONCTION D'UN GRADIENT D'INTENSITÉ D'ÉLAGAGE. (SITE AAF, ÉLAGAGE PRINTANIER)**

DATE	ÉQUATION	$R^2$	F	P
PÉRIODE RÉFÉRENCE	y = flux de sève (l /jour /arbre) x = intensité d'élagage (%)			
16 AVRIL 2007	y = 0.0854 x + 3.3670	0.0854	1.48	0.252
17 AVRIL 2007	y = 0.0159 x + 4.3664	0.0124	0.13	0.730
PÉRIODE COULÉE				
18 AVRIL 2007	y = 0.1402 x + 10.8299	0.1696	2.04	0.183
19 AVRIL 2007	y = 0.1515 x + 13.4747	0.2026	2.54	0.142
20 AVRIL 2007	y = 0.2390 x + 11.4240	0.3582	5.58	0.040
21 AVRIL 2007	y = 0.2201 x + 8.2438	0.5044	10.18	0.010
22 AVRIL 2007	y = 0.1962 x + 7.8050	0.4683	8.81	0.014
23 AVRIL 2007	y = 0.1633 x + 7.6215	0.3896	6.38	0.030
PÉRIODE DÉBOURREMENT				
14 MAI 2007	y = -0.3686 x + 21.0397	0.5110	10.45	0.009
15 MAI 2007	y = 0.0232 x + 1.1835	0.0440	0.46	0.513
16 MAI 2007	y = -0.0494 x + 3.9735	0.1383	1.61	0.234
17 MAI 2007	y = -0.2138 x + 10.2199	0.4892	9.58	0.011
18 MAI 2007	y = -0.3426 x + 18.8435	0.6344	17.35	0.002
19 MAI 2007	y = -0.4967 x + 29.8830	0.6166	16.08	0.003
PÉRIODE MATURE				
23 MAI 2007	y = -0.6866 x + 45.8684	0.5463	12.04	0.006
24 MAI 2007	y = -0.7458 x + 54.0978	0.5660	13.04	0.005
25 MAI 2007	y = -0.6427 x + 47.2693	0.5328	11.40	0.007
26 MAI 2007	y = -0.6811 x + 48.5827	0.5425	11.86	0.006
31 MAI 2007	y = -0.2375 x + 17.3778	0.3482	5.34	0.043
1 JUIN 2007	y = -0.2908 x + 21.7555	0.4503	8.19	0.017
2 JUIN 2007	y = -0.3819 x + 28.3001	0.4665	8.75	0.014
3 JUIN 2007	y = -0.4748 x + 36.9409	0.5028	10.11	0.010

**ANNEXE 3 – TABLEAU DES PARAMÈTRES DE RÉGRESSIONS LINÉAIRES POUR LES FLUX JOURNALIERS ACCUMULÉS PAR PÉRIODES D'ACTIVITÉ ET EN FONCTION D'UN GRADIENT D'INTENSITÉ D'ÉLAGAGE. (SITE EPO, ÉLAGAGE ESTIVAL)**

DATE	ÉQUATION	$R^2$	F	P
PÉRIODE RÉFÉRENCE	y = flux de sève (l /jour /arbre) x = intensité d'élagage (%)			
2 JUILLET 2007	y = -0.3856 x + 289.44	0.0025	0.03	0.877
3 JUILLET 2007	y = -1.804 x + 286.73	0.0669	0.72	0.417
PÉRIODE MATURE				
11 JUILLET 2007	y = -1.627 x + 147.65	0.7059	23.97	<0.001
12 JUILLET 2007	y = -4.578 x + 298.36	0.8189	45.23	<0.001
31 JUILLET 2007	y = -4.549 x + 328.72	0.6224	16.49	0.002
1 AOUT 2007	y = -4.388 x + 321.51	0.5795	13.78	0.004

## ANNEXE 4 – 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.) continuation 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: remesurage (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 permettrait de vérifier l'impact de l'élagage à moyen terme [dans la 3<sup>ème</sup> 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.).