

# La transformation de la sève du bouleau blanc en sirop

Forêt modèle du Lac-Saint-Jean



Milu nemetatau

**Forêt modèle**  
du Lac-Saint-Jean

*Ensemble vers une industrie du milieu forestier !*

**Éditeur**

Forêt modèle du Lac-Saint-Jean

**Rédaction**

Réjean Beaumont Optima Expert-conseil, Saint-Félicien, Québec

**Révision des textes**

James W. Moar

Jean Gaudreault

**Concept de la page couverture**

Solution publicité

**Mise en page**

ZONE ORANGE

**Spécialiste en aménagement multiresource et en environnement**

1209, boul. Sacré-Cœur

Saint-Félicien, Qc

G8K 2R5

Tél. : 418.679.2526

---

**Mars 2010**

Les renseignements contenus dans le présent document ont été obtenus en partie grâce au financement fourni par Ressources naturelles Canada dans le cadre du Programme des collectivités forestières du Service canadien des forêts.

# TABLE DES MATIÈRES

<b>1. APERÇU GÉNÉRAL DE LA PRODUCTION DU SIROP DE BOULEAU EN AMÉRIQUE DU NORD</b>	<b>8</b>
<b>2. UTILISATION TRADITIONNELLE DE LA SÈVE DE BOULEAU</b>	<b>9</b>
2.1 Amérique du Nord	9
2.2 Japon	9
2.3 Chine	9
2.4 Estonie	10
2.5 Pologne	10
2.6 Finlande	10
2.7 France	10
2.8 Médecine traditionnelle	11
2.9 Recherches publiées	11
<b>3. STRUCTURE DE LA TIGE DU BOULEAU</b>	<b>12</b>
3.1 Xylème	12
3.2 Phloème	13
3.3 Cambium	13
<b>4. COULÉE PRINTANIÈRE ET RENDEMENT EN SÈVE</b>	<b>14</b>
4.1 Processus de la coulée de la sève chez le bouleau	14
4.2 Période de la coulée	15
4.3 Rendements en sève	16
4.4 Autres facteurs influençant le rendement en sève des bouleaux	16
<b>5. COMPOSITION DE LA SÈVE ET VARIATION SAISONNIÈRE</b>	<b>17</b>
5.1 Hydrates de carbone	17
5.2 Minéraux	18
5.3 Acides aminés et protéines	18
5.4 Acides organiques	18
<b>6. ENTAILLAGE ET DÉSENTAILLAGE DES ARBRES</b>	<b>19</b>
6.1 Diamètre de l'entaille et chalumeaux	19
6.2 Profondeur de l'entaille	19
6.3 Distribution des entailles sur le tronc	19
6.4 Forme de l'entaille	19
6.5 Pente de l'entaille	20
6.6 Mèches d'entaillage	20
6.7 Entailloirs	20
6.8 Date d'entaillage	20
6.9 Martelage des chalumeaux	21
6.10 Désentaillage	21

# TABLE DES MATIÈRES

<b>7. SYSTÈME DE COLLECTE SOUS VIDE DE LA SÈVE DE BOULEAU</b>	<b>22</b>
<b>7.1 Matériaux approuvés</b>	<b>22</b>
<b>7.2 Localisation des tubes collecteurs</b>	<b>22</b>
<b>7.3 Installation des tubes collecteurs</b>	<b>22</b>
<b>7.4 Installation des tubes latéraux</b>	<b>23</b>
<b>7.5 Transvideur</b>	<b>23</b>
<b>7.6 Répartiteur de vide</b>	<b>23</b>
<b>7.7 Pompe à vide</b>	<b>24</b>
<b>8. CONCENTRATION PARTIELLE DE LA SÈVE DE BOULEAU PAR OSMOSE INVERSÉE</b>	<b>25</b>
<b>8.1 Hydrates de carbone et traitement thermique</b>	<b>25</b>
<b>8.2 Ratio sève-sirop</b>	<b>25</b>
<b>8.3 Principe de fonctionnement d'un appareil d'osmose inversée</b>	<b>25</b>
<b>8.4 Filtrat</b>	<b>26</b>
<b>8.5 Entreposage du filtrat d'osmose inversée</b>	<b>28</b>
<b>8.6 Perméabilité à l'eau d'une membrane d'osmose inversée (PEP)</b>	<b>28</b>
<b>8.7 Teneur en sucre du concentré (°Brix)</b>	<b>28</b>
<b>9. UTILISATION DE RÉSERVOIRS</b>	<b>29</b>
<b>9.1 Règles de base</b>	<b>29</b>
<b>9.2 Localisation des réservoirs</b>	<b>29</b>
9.2.1 Réservoirs de transit d'eau de bouleau	29
9.2.2 Réservoirs principaux de sève de bouleau	30
9.2.3 Réservoirs de concentré d'eau de bouleau	30
9.2.4 Réservoirs de filtrat de l'osmoseur	30
9.2.5 Réservoirs pour la solution de lavage	30
9.2.6 Réservoirs pour l'eau de rinçage de la tubulure	30
<b>10. ÉVAPORATION DE LA SÈVE OU DU CONCENTRÉ DE LA SÈVE DE BOULEAU</b>	<b>31</b>
<b>10.1 Description générale d'un évaporateur</b>	<b>31</b>
10.1.1 Casseroles à plis	31
10.1.2 Casseroles à fond plat	31
<b>10.2 Mesure d'ébullition du sirop de bouleau</b>	<b>32</b>
<b>10.3 Gonflement dans les casseroles d'évaporation</b>	<b>32</b>
<b>10.4 Mesure de la concentration en sucre</b>	<b>32</b>
<b>10.5 Réfractomètre</b>	<b>33</b>
<b>10.6 Degré Brix versus sirop de bouleau</b>	<b>33</b>
<b>10.7 «Pierre de sucre»</b>	<b>33</b>
<b>10.8 Couleur du sirop</b>	<b>33</b>
<b>10.9 Saveur</b>	<b>34</b>

# TABLE DES MATIÈRES

<b>11. CONDITIONNEMENT ET MISE EN CONTENANT DU SIROP DE BOULEAU</b>	<b>35</b>
<b>11.1 Filtration du sirop de bouleau</b>	<b>35</b>
<b>11.2 Mise en contenant du sirop de bouleau</b>	<b>36</b>
11.2.1 Vérification et préparation des petits contenants	36
11.2.2 Préparation et vérification des grands contenants	36
<b>11.3 Mise en contenant du sirop</b>	<b>37</b>
11.3.1 Petits contenants	37
11.3.2 Grands contenants	37
<b>11.4 Préparation du sirop à partir de sirop en vrac</b>	<b>38</b>
<b>12. ANALYSE ÉCONOMIQUE</b>	<b>39</b>
<b>12.1 Secteur d'expérimentation</b>	<b>39</b>
12.1.1 Portrait forestier	39
12.1.2 Valeur marchande de la matière ligneuse	39
<b>12.2 Territoire de simulation</b>	<b>42</b>
<b>12.3 Synthèse</b>	<b>44</b>
<b>13. BUDGET PRÉVISIONNEL (2 CAS TYPES)</b>	<b>46</b>
<b>13.1 Critères retenus</b>	<b>46</b>
<b>13.2 Coûts fixes pour une exploitation conventionnelle et artisanale</b>	<b>47</b>
<b>13.3 Coûts variables pour une exploitation conventionnelle</b>	<b>48</b>
<b>13.4 Coûts variables pour une exploitation artisanale</b>	<b>49</b>
<b>13.5 Sommaires budgétaires pour une exploitation conventionnelle et artisanale</b>	<b>50</b>
<b>RÉFÉRENCES</b>	<b>51</b>
<b>ANNEXE</b>	<b>55</b>

# LISTE DES FIGURES



<b>FIGURE 1</b>	<b>12</b>
<hr/>	
<b>Structure de la tige du bouleau.</b>	
<b>FIGURE 2</b>	<b>26</b>
<hr/>	
<b>Illustration des molécules de glucose, fructose et saccharose</b>	

# LISTE DES TABLEAUX

<b>TABLEAU 1.</b>	<b>11</b>
<b>Utilisation de la sève de bouleau par la médecine traditionnelle (adapté de Terazawa 1995 in Maher 2005)</b>	
<b>TABLEAU 2</b>	<b>15</b>
<b>Périodes de coulée de la sève de bouleau</b>	
<b>TABLEAU 3</b>	<b>16</b>
<b>Rendements comparatifs saisonniers par classe de diamètre des bouleaux à hauteur de poitrine (d.h.p.)</b>	
<b>TABLEAU 4</b>	<b>17</b>
<b>Variation des hydrates de carbone et point de fusion</b>	
<b>TABLEAU 5</b>	<b>27</b>
<b>Taux de rejet (%) en fonction du °Brix moyen de la sève de bouleau et du concentré</b>	
<b>TABLEAU 6</b>	<b>40</b>
<b>Caractéristiques forestières du secteur d'expérimentation</b>	
<b>TABLEAU 7</b>	<b>41</b>
<b>Courbe de rendement</b>	
<b>TABLEAU 8</b>	<b>42</b>
<b>Prix provisoires 2010. Syndicat des producteurs de bois du Saguenay-Lac-Saint-Jean.</b>	
<b>TABLEAU 9</b>	<b>43</b>
<b>Données dendrométriques moyennes par classe d'âge pour le territoire de simulation</b>	
<b>TABLEAU 10</b>	<b>44</b>
<b>Données dendrométriques comparatives des peuplements de bouleau blanc</b>	
<b>TABLEAU 11</b>	<b>45</b>
<b>Rendements moyens comparatifs de matière ligneuse des peuplements de bouleau blanc</b>	

# 1. APERÇU GÉNÉRAL DE LA PRODUCTION DU SIROP DE BOULEAU EN AMÉRIQUE DU NORD

Le genre *Betula* (Bouleau) est une essence à port variable dont une cinquantaine de variétés d'arbres et d'arbustes sont connues. Des dix rencontrées au Canada, six sont des arbres dont deux très communs, à savoir le bouleau à papier (*Betula papyrifera* Marsh) et le bouleau de l'Alaska (*Betula neoalaskana* Sargent). Il s'agit de deux essences différentes avec un habitat et une distribution différents mais dont la sève est utilisée pour la production de sirop.

Le bouleau à papier est le plus commun de ces deux essences forestières. Sa distribution traverse tout le Canada suivant de près la limite nordique de la présence des arbres. Sa longévité varie en général de 150 à 200 ans. Les résultats d'une étude réalisée au Témiscamingue ont même permis de constater la présence de plusieurs tiges de plus de 200 ans, atteignant même 291 ans. Cependant elles commencent parfois à montrer des signes de sénescence (Godbout 2008).

Le bouleau de l'Alaska est semblable au bouleau à papier bien que généralement de plus petite taille. Sa distribution est limitée à la forêt boréale et s'étend, de la rivière Severn, dans le nord-ouest de l'Ontario, à la mer de Bering. Il croît souvent en association avec le bouleau à papier ce qui donne des peuplements de petits hybrides possédant les caractéristiques des deux espèces. Jusqu'à récemment, le bouleau de l'Alaska était classé comme une variété du bouleau à papier sous le nom de *Betula papyrifera* var. *neoalaskana* (Sarg.) Raup (Hosie 1980). Il n'est guère surprenant que dans bien des cas les producteurs de sirop ne font pas la différence entre les deux espèces (Mitchell 2007 in Dixon-Warren 2008).

La faible dimension du bouleau de l'Alaska fait en sorte qu'il ne sert en général que de bois de chauffage. En revanche, le bouleau à papier est un arbre polyvalent recherché notamment par les industries du tournage, de la pâte, de contreplaqué ou encore pour la fabrication de meubles et d'armoires. Les Premières Nations du Canada utilisaient cet arbre pour fabriquer divers articles tels que paniers, appels à original, canots, lances, arcs, flèches, raquettes et traîneaux en raison de son bois flexible. Il est aussi souvent utilisé en aménagement paysager compte tenu de son écorce blanche et de son feuillage attrayant.

En Amérique du Nord, la majorité de la production de sirop de bouleau est fabriquée en Alaska. Cette production remonte au début des années 1900 lorsque, après la première guerre mondiale, la pénurie du sucre força la population de l'Alaska à rechercher des produits de remplacement. C'est ainsi qu'en modifiant les chaudières à vapeur au début de l'époque de l'exploitation minière, on évaporait l'eau contenu dans la sève pour en faire du sirop. Le succès d'une telle installation reposait sur la capacité de contrôler efficacement la température de la vapeur de façon à ne pas brûler la sève lors de l'évaporation. Cependant, le coût élevé du produit et le retour sur le marché d'un sucre à prix abordable mirent fin à ces efforts.

Dans un contexte de développement des produits forestiers non ligneux, ce type de production prit un nouvel envol vers le début des années quatre-vingt-dix. En 1992, fut fondée l'Association de producteurs de sirop de bouleau de l'Alaska (Alaska Birch Syrup-maker Association) de laquelle les producteurs peuvent obtenir une certification garantissant un produit de qualité auprès du consommateur. Depuis, cette industrie ne cesse de se développer non seulement en Alaska mais également dans les Territoires du Nord-Ouest et dans plusieurs provinces du Canada.

Au Québec, la présence d'une industrie du sirop d'érable bien implantée fait en sorte que tout le potentiel de la sève de bouleau et de sa transformation en sirop est peu connu. Malgré tout, certains propriétaires ont investi temps et argent pour expérimenter ce type de production dont, entre autre, monsieur Henri Vallée de Notre-Dame-de-Lorette au Lac-Saint-Jean. Comme dans la plupart des cas, il s'agit d'une production artisanale pour laquelle le procédé de fabrication n'est aucunement normalisé, optimisé et dont aucune donnée n'a été colligée à ce jour. Les prochains chapitres visent à combler cette lacune afin de procurer aux éventuels producteurs québécois une source d'information sur le sujet.

## 2. UTILISATION TRADITIONNELLE DE LA SÈVE DE BOULEAU

La consommation de la sève de bouleau est une pratique séculaire dans la plupart des pays nordiques. Entre autre, elle a été une importante source de nourriture pour plusieurs peuples autochtones après un hiver rigoureux. Il existe aussi plusieurs croyances sur les propriétés santé de la sève de bouleau ou encore sur les produits dérivés, incluant les boissons alcoolisées. Un résumé de cette utilisation est présenté dans le présent chapitre mettant en relief que la sève de bouleau était, et l'est toujours, utilisée à des fins médicales dans plusieurs régions du monde dans le but de prévenir ou traiter différentes maladies (Tomoko *et al.* 2005)<sup>1</sup>.

### 2.1 Amérique du Nord

En Amérique du Nord, la situation est particulière puisque la fabrication du sirop d'érable représente une spécialité de l'industrie agroalimentaire tant aux États-Unis qu'au Canada en raison d'une teneur plus élevée en sucre dans la sève d'érable que dans celle du bouleau. En conséquence, la consommation de la sève de bouleau pour ses propriétés santé sont moins connues, voire même méconnues dans bien des cas.

Quoi qu'il en soit, quelques auteurs mentionnent l'utilisation de la sève de bouleau comme boisson par les peuples autochtones d'Amérique du Nord. D'aucuns en faisait une utilisation davantage axée sur une pratique médicinale comme par exemple les Amérindiens Thompson de la Colombie-Britannique qui consommaient cette sève pour combattre le rhume et la toux (Turner *et al.* 1990) tout comme le faisaient d'autres peuples ailleurs au Canada et dans le nord des États-Unis (Moerman 1998). En Alaska, les Taininas mettaient de la sève de bouleau fraîche sur les furoncles et les plaies pour atténuer la douleur et prévenir les infections (Kari 1977).

### 2.2 Japon

Au Japon, la sève de bouleau a été utilisée traditionnellement par le peuple Ainu situé au nord du pays pour contrer les effets de l'hypertension et traiter les problèmes urinaires et la goutte. La sève était également utilisée comme tonique et un produit favorisant l'état de santé en général donnant ainsi lieu à un festival à chaque printemps. Aujourd'hui, le Japon met sur le marché de la sève de bouleau à des fins de tonique constituant, pour le consommateur, une composante d'une saine alimentation.

### 2.3 Chine

Le territoire de la Chine comporte plusieurs régions géographiques qui se caractérisent par une diversité de paysages aux conditions climatiques variées. Ce pays possède une longue tradition dans l'utilisation des plantes médicinales. La pharmacopée chinoise fait mention que la sève de bouleau soulage contre le rhume, réduit l'expectoration et atténue les problèmes de néphropathie, goutte et scorbut. Dans le *Great Compendium of Herbs* (Liu Zhiwei 2001), il y est mentionné que la sève peut aussi favoriser l'appétit, aider à la digestion et combattre les symptômes de la fatigue en améliorant l'état de santé général.

La sève de bouleau est aussi riche en calcium, tout comme en magnésium et en potassium. Ces minéraux sont indispensables à l'activité cérébrale et leur consommation peut fréquemment aider à prévenir et traiter les maladies cardio-cérébro-vasculaires comme par exemple le diabète, l'hypertension et l'hémorragie cérébrale. En plus, les métabolites alcalins présents dans la sève de bouleau peuvent neutraliser l'acide lactique et ainsi aider à combattre la fatigue ou encore contribuer au traitement de l'œdème, plusieurs maladies de la vessie et des reins et contre une mauvaise circulation. Ils peuvent également prévenir la formation de pierre aux reins, renforcer le système immunitaire et guérir presque toutes les affections cutanées, incluant les pellicules (Zhang *et al.* 2002).

<sup>1</sup> Note : Les références citées dans cette section proviennent directement de l'article de Tomoko *et al.* 2005.

## 2.4 Estonie

En Estonie il existe une journée durant laquelle est personnifié le Vieux Saint-George (old St.George's day). Au cours de cette journée, ce personnage se nettoie le visage avec de la sève de bouleau afin d'obtenir une peau propre et un teint équilibré, sans tâche de rousseur, en plus de se prémunir contre les maladies de la peau (Hiimäe 1996).

## 2.5 Pologne

En Pologne la sève de bouleau est fermentée pour en faire une boisson fortement alcoolisée appelée *Oskola* (Dembinska 1999). Il semblerait que cette boisson favorise la croissance des cheveux et, selon une certaine proportion de sève et d'alcool, la solution résultante est utilisée comme rince à cheveux (Knab 1995).

## 2.6 Finlande

En Finlande, de façon générale, la sève de bouleau était ou est toujours utilisée pour traiter plusieurs maladies telles la goutte, le rhumatisme, l'inflammation urinaire, les problèmes rénaux, le scorbut et les maladies de la peau. Sa consommation permet de combattre la fatigue printanière et le rhume ainsi que d'atténuer la douleur des articulations, d'éviter les maux de tête ou migraines et aider à soigner les ulcères et autres problèmes d'estomac. Maaranen et Maaranen (2003) mentionne que sa consommation supprime la sensation de la faim et aide à perdre du poids. Elle aiderait également à combattre les symptômes d'allergies au pollen de bouleau et ceux de la sclérose en plaques.

Plus spécifiquement, la médecine traditionnelle en faisait usage pour guérir les problèmes de vessie et de vers parasites. Dans un livre de médecine de 1839, intitulé *The Finnish Peasant's Home Doctor*, le recours à la sève de bouleau était également préconisé pour traiter la présence de vers, ainsi que tous les maux et douleurs causés par le rhume et un environnement humide, des problèmes associés au rein, vessie, calcul biliaire et rhumatisme. D'aucuns croient qu'en boire pourrait offrir une protection contre la tuberculose et le rachitisme.

## 2.7 France

Au 19<sup>ème</sup> siècle, le chirurgien Pierre-François Percy de l'armée de Napoléon mentionnait que rarement il ne parvenait pas à guérir les maladies de la peau et de l'acné en général par l'utilisation de la sève de bouleau. Son utilisation était tout aussi appropriée dans les cas de rhumatisme, goutte, problèmes de la vessie et un grand nombre de maladies chroniques pour lesquelles la science médicale n'avait pas encore trouvé un traitement (Adrienne 2000).



## 2.8 Médecine traditionnelle

En plus de consommer la sève de bouleau comme tonique santé, plusieurs pays nordiques utilisent la sève de bouleau en médecine traditionnelle particulièrement en ce qui a trait au Japon, Corée, Chine, Finlande et Russie. Le tableau 1 résume les maladies les plus courantes faisant l'objet de traitement par cette pratique médicinale.

## 2.9 Recherches publiées

Bien que la sève de bouleau ait été utilisée depuis des décennies à des fins médicales et nutritionnelles dans presque tous les pays de l'hémisphère nord, très peu de recherches ont été effectuées sur le sujet à ce jour. En voici trois qui ont été citées lors du 3<sup>ième</sup> symposium international sur l'utilisation de la sève de bouleau tenu en 2005.

En Russie, un groupe de recherche a analysé quelques allégations concernant les propriétés santé associées à la consommation de la sève de bouleau. Les chercheurs ont constaté que des rats qui s'abreuvaient de sève de bouleau plutôt qu'avec de l'eau, développaient une meilleure capacité à l'effort de 12% supérieure à celle du groupe témoin. Une expérience semblable a aussi été réalisée avec des lapins, sur lesquels ils observaient un nombre moins élevé de lésions de leur système cardiovasculaire en situation de stress intense comparativement au groupe témoin. Les chercheurs croient que cet état serait attribuable à la composition des éléments minéraux dans la sève, en particulier le magnésium, zinc et cuivre (Drozdova *et al.* 1995; Drozdova *et al.* 2000; Maher 2005).

TABLEAU 1.

Utilisation de la sève de bouleau par la médecine traditionnelle (adapté de Terazawa 1995 in Maher 2005)

	Japon	Corée	Chine	Finlande	Russie
Hypertension	X	X		X	
Problèmes urinaires	X	X	X	X	
Goutte	X		X	X	X
Perte d'énergie au travail		X	X	X	X
Gastrite		X	X	X	X
Problèmes rénaux		X	X	X	
Scorbut			X	X	X

D'autre part, Shen et ses collaborateurs (2000) du Japon ont examiné la propriété de la sève de bouleau à combattre les effets nocifs du stress en comparant deux groupes de rats. Dans ce cas, le groupe de rats alimentés avec de la sève de bouleau avait développé, en situation de stress intense, un nombre significativement plus faible de lésions associées à une hémorragie gastrique. De plus, le groupe de rats possédait une capacité à l'effort en terme de durée de 20% supérieure au groupe témoin dans le test de nage forcée. In vitro, l'expérience a révélé l'activité anti-oxydante de la sève sur le cytochrome c (petite protéine associée à la membrane interne de la mitochondrie). Cette activité antioxydante suggère être le principal facteur dans la prévention des effets du stress.

Par ailleurs, une autre étude effectuée au Japon par Jiang et ses collaborateurs (2001) consistait à procéder à une analyse complète des acides aminés et des protéines de la sève de *Betula platyphylla* SUKATCHEV var. *Japonica* Hara et *Betula verrucosa* EHRH. Ils ont identifié la présence d'une protéine qui démontre une similarité relativement élevée (65 à 74%) à celle de d'autres protéines isolées dans d'autres plantes telles que le lin, le maïs ou la tomate. Ces protéines sont reconnues pour posséder des propriétés antifongiques.

# 3. STRUCTURE DE LA TIGE DU BOULEAU

Tout le monde a déjà vu les cercles de croissance annuels d'un arbre. Mais au-delà de cette observation sommaire, la tige du bouleau se compose de plusieurs éléments structuraux comportant des fonctions bien précises durant toute sa vie. La compréhension de ces éléments permet de saisir leurs rôles essentiels dans une perspective non seulement de connaissance générale mais, surtout, à mieux comprendre la portée de plusieurs sujets qui seront traités dans les prochains chapitres.

## 3.1 Xylème

La tige d'un arbre comporte deux parties : le cœur et l'aubier (**Figure 1**) -en anglais, l'aubier est appelé *sapwood*-. Le bois a une teinte foncée au centre de la tige où les tissus sont morts et assurent un rôle de soutien. Cette région plus dure constitue le cœur. La zone périphérique du bois se caractérise principalement par la présence de cellules mortes fonctionnelles, appelées **vaisseaux**, et de cellules vivantes (cellules parenchymateuses). Cette partie du bois, plus claire, moins résistante que le cœur, porte le nom d'aubier. **Ensemble, le cœur et l'aubier, composent le xylème.**

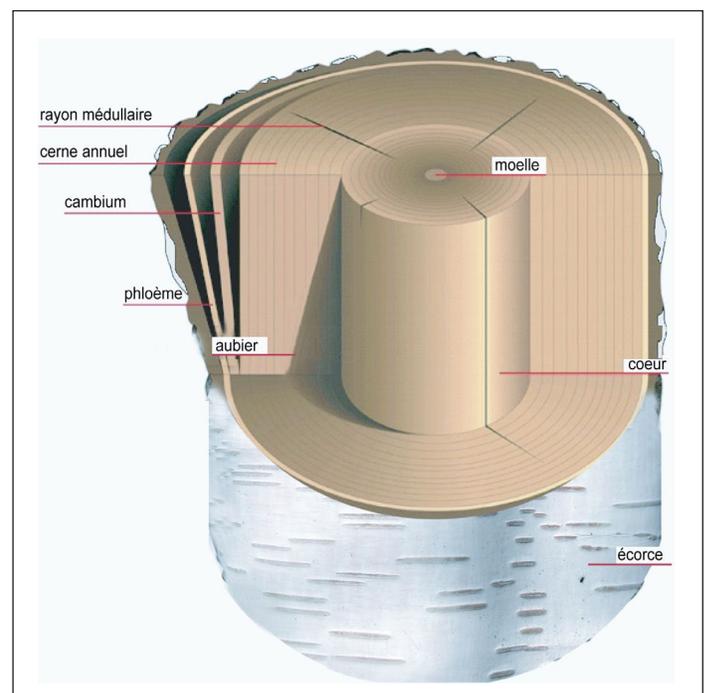
Plus précisément, les vaisseaux prennent la forme de tubes composés de cellules allongées et superposées en séries longitudinales. Elles conduisent la sève brute, à savoir l'eau et les sels minéraux puisés dans le sol. La sève est dite ascendante car elle monte le long du xylème des racines jusqu'aux feuilles. Ces cellules portent toujours sur le côté interne de leur paroi des épaissements lignifiés. Ce dépôt de lignines procure une résistance suffisante aux vaisseaux pour transporter la sève brute par un flux sous tension tout en évitant d'être écrasés par les cellules vivantes qui les entourent. Ils ont donc à la fois un rôle de conducteur et un rôle de soutien. Les vaisseaux possèdent un pouvoir conducteur très efficace. Plus de 99% de l'eau transportée dans un bouleau l'est à travers le xylème (Wheeler 1999).

Les cellules vivantes et ligneuses qui coexistent avec les vaisseaux portent le nom de cellules parenchymateuses. Elles forment un tissu de réserve emmagasinant hydrates de carbone, graisses et protéines. Le bois de printemps est plus riche en parenchyme et

plus pauvre en fibre donc, moins dense que le bois d'automne. Pour cette raison, il apparaît plus clair sur les anneaux de croissance que le bois d'automne d'où la présence de lignes concentriques alternativement claires et sombres.

En plus, les cellules parenchymateuses prennent une disposition bien individualisée et ordonnées dans la tige. Les travées ainsi formées qui relient la moelle et l'écorce sont appelées rayons médullaires (**Figure 1**).

**FIGURE 1**  
Structure de la tige du bouleau.



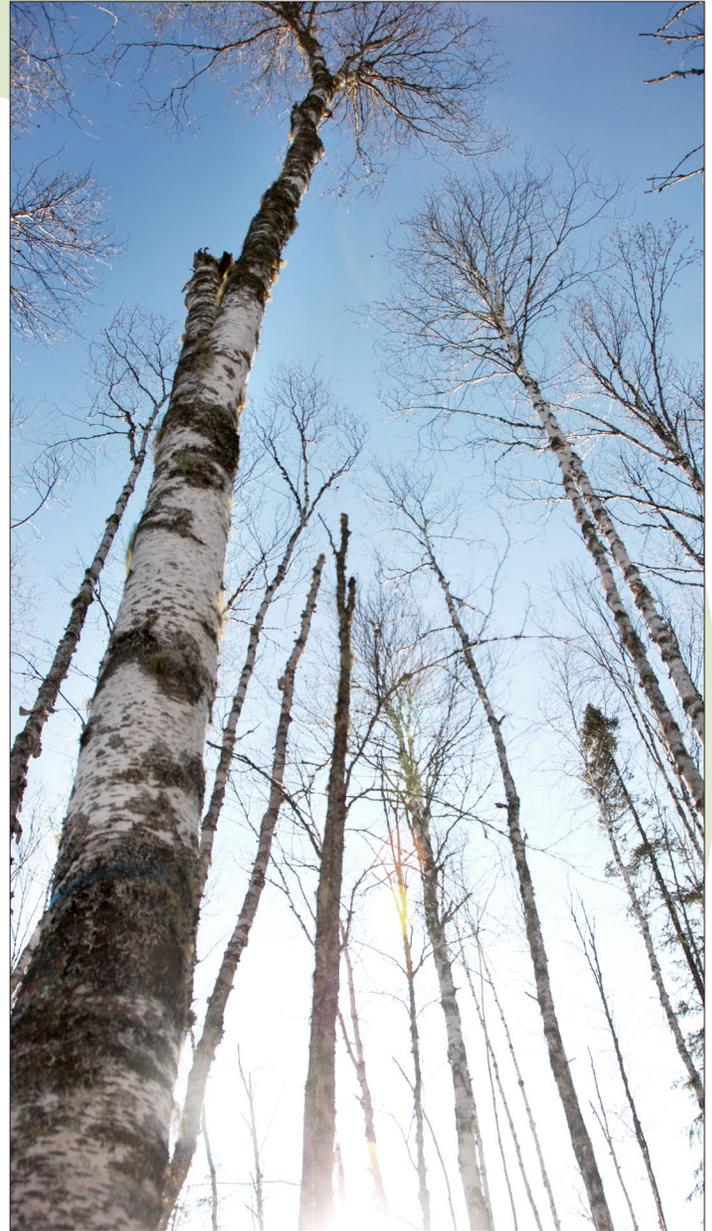
## 3.2 Phloème

Immédiatement sous l'écorce est situé le phloème (**Figure 1**). Il s'agit d'un tissu complexe dont l'élément caractéristique est la cellule de tubes criblés. Les tubes criblés, faits de la superposition d'un grand nombre de cellules, assurent, mais beaucoup plus lentement que dans le xylème, le passage de la sève élaborée. La sève élaborée est une solution organique soluble composée principalement d'acides aminés et de sucres provenant essentiellement de la photosynthèse.

Dans tous les cas, une cellule de tubes criblés est vivante et ses parois transversales et longitudinales sont perforées d'orifices groupés. Les tubes criblés sont accolés de cellules compagnes qui acheminent les substances organiques nutritives des feuilles vers les racines. Le phloème comporte aussi des cellules parenchymateuses jouant un rôle de réserve mais pas d'éléments lignifiés comme le cas du xylème.

## 3.3 Cambium

Entre le phloème et le xylème, se trouve une mince couche de cellules connue sous le nom de cambium (**Figure 1**). Au printemps, le cambium édifie des vaisseaux larges en raison des besoins élevés en eau durant cette période. Dans les zones de climat tempéré, le fonctionnement du cambium n'est pas continu comme dans les pays tropicaux. En automne, le cambium cesse de fonctionner et demeure en sommeil jusqu'au printemps suivant.



<sup>1</sup> les références citées dans cette section proviennent directement de l'article de Tomoko et al. 2005.

## 4. COULÉE PRINTANIÈRE ET RENDEMENT EN SÈVE

Au printemps, chez l'érable, la coulée de la sève est associée à un cycle de gel-dégel, à savoir des nuits avec des températures sous le point de congélation suivies de jours avec des températures au-dessus de ce point. Plus grande sera la fluctuation de température, plus abondante sera la coulée.

Lorsque la température devient froide, les gaz dissous dans l'eau, tel que le dioxyde de carbone, se contractent et prennent moins de volume. Cette contraction crée un effet de vacuum (pression négative) dans l'aubier aspirant l'eau des cellules environnantes. Le vide ainsi créé sera comblé à son tour par d'autre eau et ainsi de suite jusqu'aux racines de l'arbre. À mesure que diminue la température, l'eau gèle et les gaz deviennent emprisonnés dans la glace. Cette dernière prend de l'expansion et crée une pression positive dans les tissus du xylème de l'arbre. Au moment de l'entaillage, lorsque cette glace se mettra à fondre, la sève coulera par l'orifice en libérant du coup cette pression.

Le processus de coulée chez l'érable procède donc de la fluctuation entre le gel-dégel et celle de la pression négative-positive. Dans le cas du bouleau, nous verrons qu'il en est tout autrement ce qui permettra de comprendre les principaux facteurs influençant le rendement en sève.

### 4.1 Processus de la coulée de la sève chez le bouleau

Les sucres produits au cours des deux derniers mois de la saison de croissance de l'arbre servent de réserve qui sera stockée sous forme de grains d'amidon. L'amidon est une réserve d'énergie qui permet à l'arbre d'économiser l'eau puisqu'il a l'avantage d'être emmagasiné sans être dissous durant la période hivernale. Lors du réchauffement printanier du sol, cet amidon se décompose par hydrolyse (eau) en sucres simples et redevient à nouveau en sucres utilisables par les cellules. La présence de glucides simples augmente le potentiel osmotique interne des cellules et plus d'eau pourra être absorbée par les racines.

Durant la même période, les racines commencent à dégeler et leurs poils absorbants (radicelles) absorbent non seulement les sucres mais également une concentration élevée de nutriments sous forme ionique, tels que le potassium et le calcium. Les racines vont dépenser beaucoup d'énergie à pomper activement les ions à l'intérieur de leur stèle (cylindre centrale). La concentration des ions et des sucres aspirera l'eau à l'intérieur de la stèle des racines créant une pression qui forcera l'eau, les ions dissous et les sucres à grimper, contre la gravité, jusque dans la tige de l'arbre.

La poussée ascendante qui en résulte s'exerce sur la sève brute dans le xylème et porte le nom de pression racinaire. Ce processus de transport de la sève permettant la coulée printanière peut apparaître à n'importe quel moment, de jour comme de nuit. Elle ne dépend donc pas des cycles de gel-dégel.



## 4.2 Période de la coulée

La période de coulée et le rendement en sève peut considérablement varier d'une année à l'autre, d'un arbre à l'autre, d'une journée à l'autre et à l'intérieur même de la journée et ce, selon la dimension des tiges, l'espèce de bouleau et les conditions météorologiques. Elle débute lorsque la moyenne de la température journalière du sol et du bois de l'arbre se situe au-dessus de zéro. La coulée est plus étroitement corrélée avec la température du sol à 15 cm de profondeur et celle du tronc de l'arbre où s'effectue l'entaillage qu'avec l'air environnant (Ryabchuk 1974 *in* Maher 2005).

La coulée est en général de courte durée, deux à trois semaines par année en moyenne, parfois plus, et s'échelonne habituellement du début à la mi-avril jusqu'à approximativement l'ouverture des bourgeons des feuilles. Après cette période, la sève deviendra d'une couleur blanc laiteux. Elle peut également dégager une odeur de fermentation ou donner en bouche un goût amer à la suite de l'activité des levures. Le sirop produit avec une telle solution sera nécessairement de faible qualité voire même de mauvais goût.

Johnson (1944), du Conseil national de recherche du Canada, rapporte une saison de coulée particulièrement longue en 1941, à savoir de 28 jours (**Tableau 2**). À l'Arboretum Morgan, situé à Sainte-Anne-de-Bellevue, Jones et Alli (1986) ont noté une durée de la coulée de 23 jours en 1984 et une autre de 29 jours en 1985. Dans la région de Fairbanks située dans la partie centrale de l'état de l'Alaska, au nord d'Anchorage, une variation significative apparaît en ce qui a trait à la date du début et la fin de la coulée en 2002 comparativement à 2001 et 2003 (Maher 2005). En 2009, au Lac-Saint-Jean, dans le cadre d'une expérimentation de production de sirop de bouleau, la coulée de la sève a duré 18 jours. Après cette date, la sève commençait à montrer des signes de contamination par les microorganismes.

**TABLEAU 2**

Périodes de coulée de la sève de bouleau

Auteur	Essence forestière	Année	Début de la coulée	Fin de la coulée	Nombre de jours
Johnson (1944)	Betula papyrifera Marsh.	1941	29 mars	25 avril	28
Jones et Alli (1986)	Betula papyrifera Marsh.	1984 1985	7 avril 5 avril	29 avril 3 mai	23 29
Maher (2005)	Betula neoalaskana Sargent	2001 2002 2003	19 avril 30 avril 19 avril	8 mai 17 mai 5 mai	19 18 16
Forêt modèle du Lac-Saint-Jean	Betula papyrifera Marsh.	2009	21 avril	8 mai	18



### 4.3 Rendements en sève

Tout comme la période de coulée, le rendement en sève des bouleaux peut varier considérablement (**Tableau 3**). Johnson (1944) rapporte un rendement saisonnier variant de 42,8 litres à 109,0 litres, pour une moyenne de 63 litres, et ce, pour des tiges de d.h.p. entre 20,6 cm et 45,2 cm. Jones et Alli (1986) ont mesuré des rendements de 80,5 litres et de 52,0 litres pour respectivement des bouleaux de d.h.p. de 19,6 cm et de 22,2 cm.

En Alaska, Maher (2005), a procédé à un échantillonnage de 90 bouleaux dont le d.h.p. variait entre 13,2 cm et 44,3 cm. Plus précisément, 75% des tiges se situaient entre 16 cm et 25 cm et la moyenne totale était de 20,5 cm. Pour 2002 et 2003, les rendements saisonniers ont été respectivement de 34,2 litres et de 22,2

litres. La différence de rendement s'expliquerait par des précipitations plus abondantes et une température moyenne plus froide en 2002 comparativement à 2003. À noter que le rendement saisonnier moyen de 2002 et de 2003, soit 28,2 litres, correspond exactement au rendement saisonnier mesuré pour la même classe de diamètre dans le cadre du projet d'expérimentation de la Forêt modèle du Lac-Saint-Jean.

Il existe une relation entre l'augmentation du diamètre de la tige de l'arbre et celle du rendement en sève. En général, cette tendance s'observe de façon plus marquée lors d'une saison où la disponibilité en eau du sol est limitée. Autrement dit, dans des conditions printanières relativement froides et humides, la corrélation est moins élevée que lors de saisons printanières chaudes et sèches (Maher 2005).

**TABLEAU 3**

Rendements comparatifs saisonniers<sup>1</sup> par classe de diamètre des bouleaux à hauteur de poitrine (d.h.p.)

Classe d.h.p. (cm)	Johnson (1944)		Jones et Alli (1986)			Maher (2005)		Forêt modèle du Lac-Saint-Jean	
	Nombre d'échantillons	litres (1941)	Nombre d'échantillons	litres (1984)	litres (1985)	litres (2002)	litres (2003)	Nombre d'échantillons	litres (2009)
16								3	26,4 <sup>2</sup>
18								3	31,8 <sup>2</sup>
20	1	70,0	1	80,5		34,2 <sup>3</sup>	22,2 <sup>3</sup>	3	28,2 <sup>2</sup>
22	3	58,5 <sup>2</sup>	1		52,0			3	32,3 <sup>2</sup>
24	3	53,0 <sup>2</sup>						3	44,9 <sup>2</sup>
26	1	109,0						3	43,7 <sup>2</sup>
28	1	48,6						3	60,2 <sup>2</sup>
30	1	42,8						1	46,0
32								2	54,1 <sup>2</sup>
34								1	45,3
36								1	78,0
38									
40	1	97,1							
42									
44									
46	1	54,6							

<sup>1</sup> Pour obtenir le rendement quotidien, il suffit de diviser le rendement saisonnier par le nombre de jours de collecte de sève (voir tableau 2).

<sup>2</sup> Moyenne des échantillons mesurés.

<sup>3</sup> Moyenne de 20,5 cm au d.h.p..

### 4.4 Autres facteurs influençant le rendement en sève des bouleaux

Outre les conditions climatiques qui influencent généralement le rendement en sève des bouleaux, il existe des facteurs intrinsèques chez certains arbres leur conférant un avantage sur ce plan. À titre d'exemple, les arbres qui ont développé un réseau racinaire supérieur à la moyenne et ce, pour un même d.h.p., couvriront une étendue plus élevée du sol leur permettant ainsi de capter un volume d'eau plus élevé.

D'autres facteurs peuvent également expliquer des différences de rendement en sève chez le bouleau. Ganns *et al.* (1982) ont mis en lumière l'existence d'une corrélation entre la diminution du rendement en sève et l'augmentation de l'élévation du terrain. Telisevskij (1970 *in* Maher 2005) mentionne que les stations caractérisées par un mauvais drainage produisent plus de sève que les stations sèches ou élevées. Pour Fesyuk *et al.* (1980 *in* Maher 2005), la température de l'air ambiant et le diamètre de la cime représentent également des facteurs importants qui influencent le rendement.

# 5. COMPOSITION DE LA SÈVE ET VARIATION SAISONNIÈRE

La composition de la sève de bouleau diffère de celle de l'érable particulièrement en ce qui a trait aux hydrates de carbone. Compte tenu que la fabrication du sirop consiste à essentiellement augmenter la concentration en sucre de la solution en utilisant un système d'évaporation, avec ou sans l'utilisation d'un appareil d'osmose inversée, la compréhension des effets d'un traitement thermique sur ceux-ci s'avère un incontournable pour obtenir un sirop de qualité. Ce constat prévaut également en ce qui a trait à la compréhension de la variation des autres composantes de la sève au cours d'une même saison de coulée.

## 5.1 Hydrates de carbone

La teneur en sucre de la sève du bouleau à papier varie de 0,5 à 1,5 % avec une moyenne de 0,9% (Jones et Alli 1986). Ce pourcentage était de 0,7% lors du projet d'expérimentation de la Forêt modèle du Lac-Saint-Jean en 2009.

Si le saccharose compose presque entièrement les sucres de la sève de l'érable, soit de 96 à 99% (Dumont 1994), le fructose et le glucose caractérisent principalement ceux de la sève de bouleau (Tableau 4). Dans le cas de la sève du bouleau de l'Alaska, sa composition se répartit approximativement comme suit : 49% fructose, 35% glucose, 15% saccharose et moins de 1% de galactose (Ganns *et al.* 1982; Wheeler 1999). Il s'agit là d'un profil en hydrates de carbone correspondant au début de la saison de coulée.

La concentration des différents hydrates de carbone varie en cours de la saison de coulée. Si la teneur du glucose et du galactose demeure constante, celle du saccharose est plus élevée en début de saison de coulée pour diminuer régulièrement par la suite. Cette situation s'expliquerait par le fait que les réserves de saccharose sont mobilisées dès le début de la coulée et s'épuisent possiblement par la suite (Maher 2005). Le constat le plus intéressant concerne toutefois le fructose dont la concentration augmente à mesure que progresse la coulée. Des échantillons de sève prélevés au Lac-Saint-Jean en fin de saison de 2004 sur le bouleau à papier par la firme Optima (non publié) indiquaient un taux de

TABLEAU 4

Variation des hydrates de carbone et point de fusion

Hydrates de carbones	Pourcentage approximatif des sucres	Taux g/L	Variation en cours de saison	Point de fusion	
				(°C)	Différence p/r au saccharose (°C)
Fructose	49	0,7-2,2	augmente	103-105	80-83
Glucose	35	0,8-2,3	constant	150	35-36
Saccharose	15	0,0-0,9	diminue	185-186	—
Galactose	< 1	0,01-0,02	constant	167	18-19
Total	100				

fructose de 0,53g/litre comparativement à 0,25g/litre pour le glucose, soit approximativement une valeur deux fois plus élevée.

La compréhension de la variation de la teneur des hydrates de carbone de la sève est fondamentale au moment de produire le sirop compte tenu que chacun de ceux-ci comporte un point de fusion différent, c'est-à-dire la température à laquelle il caramélise (Tableau 4). Le point de fusion du saccharose (185-186 °C) est de 35 à 36 °C plus élevé que celui du glucose (150 °C) et de 80 à 83 °C plus élevé que celui du fructose (103-105 °C). Ce dernier est constitué d'une molécule moins stable à la chaleur et présente en concentration plus élevée en fin de coulée. On comprendra à présent la raison pour laquelle le sirop au contenu relatif plus élevé en fructose à ce moment est plus foncé que celui du début de saison.



## 5.2 Minéraux

En plus de leur besoin en hydrates de carbone, toutes les plantes ont des besoins spécifiques d'éléments minéraux pour assurer leur développement. C'est donc sans surprise que les analyses d'échantillons de sève effectuées par Maher (2005), ont indiqué des concentrations de macronutriments (éléments chimiques absorbés en grande quantité) élevées en calcium (Ca), magnésium (Mg) et potassium (K). Les micronutriments (oligoéléments) présents sont le zinc (Zn), manganèse (Mn), fer (Fe) et sodium (Na). Le molybdène (Mo), nickel (Ni), cuivre (Cu) et le bore (B) n'ont pas été identifiés mais pourraient être présents à des concentrations sous la limite de détection de l'appareil utilisé, soit un spectromètre à plasma. L'aluminium est présent mais n'est pas considéré comme micro ou macronutriment.

En plus, Huldén et Harju (1986 *in* Maher 2005) ont constaté que le bouleau sélectionne davantage le potassium que le sodium. En effet, les sols étudiés possédaient des concentrations similaires de potassium et de sodium alors que la sève dénotait une teneur mille fois plus élevée de potassium comparativement au sodium. Comte tenu que le sodium est presque absent contrairement au potassium, tout comme d'ailleurs le calcium, magnésium et zinc, cela fait en sorte que la sève de bouleau représente un produit santé intéressant en regard à la composition et à la teneur élevée des éléments minéraux qui y sont présents.

En somme, la teneur des nutriments d'intérêt augmente à mesure que progresse la saison de coulée. La sève en début de saison contient une teneur plus élevée en saccharose et moins élevée en fructose. Elle serait donc plus appropriée pour la production de sirop, tandis que la sève de fin saison, contenant une concentration plus élevée de minéraux, conviendrait davantage à la production de toniques santé.

## 5.3 Acides aminés et protéines

Ahtonen et Kallio (1989) ont identifié et quantifiés quinze acides aminés qui sont généralement présents à l'état trace. La glutamine, citrulline et l'acide glutamique sont les plus abondants, lesquels avec l'isoleucine, la valine et l'asparagine constituaient entre 92% à 96% de l'ensemble des acides aminés. La quantité totale de ceux-ci dans les échantillons variait entre 20 et 700mg/L avec une tendance à la hausse vers la fin de la saison de coulée. D'autre part, plus de 50 différentes protéines ont été identifiées dont la majorité représentent des enzymes.

D'un point de vue nutritionnel, ces acides aminés et les protéines ne sont pas importantes puisqu'ils ne sont présentes qu'en faible quantité, en général moins de 1g/L (Tomoko *et al.* 2005). Cependant, c'est l'abondance de ces composantes en fin de saison qui est responsable du «goût de bourgeon» caractérisant le sirop tardif.

## 5.4 Acides organiques

L'acide malique est le principal acide organique présente dans la sève du bouleau et, par conséquent, responsable du caractère légèrement acide de la solution. L'analyse du pH de deux échantillons de sève du bouleau à papier par Jones et Alli (1980) ont donné des valeurs de 5,81 et de 6,32, tandis que Johnson (1944) a obtenu des valeurs variant de 6,84 à 7,57 auprès de 9 arbres.

Kallio et Ahtonen (1987) ont démontré que la concentration de l'acide malique augmentait progressivement au cours de la coulée saisonnière pour décliner rapidement après l'ouverture des bourgeons. Les autres acides organiques les plus abondants sont l'acide phosphorique, succinique, citrique, lesquels d'ailleurs suivaient le même patron que l'acide malique. L'acide fumarique est également présent (Tomoko *et al.* 2005).

Dans une solution diluée telle que la sève de bouleau, seule, il n'est pas possible de percevoir le goût d'acidité et, à peu de chose près, le goût sucré des hydrates de carbone. Par contre, dans une solution concentrée comme le sirop, le ratio sucre-acide est déterminant pour le développement du goût sucré tout comme d'ailleurs pour l'ensemble des saveurs du produit. Pour cette raison, selon Kallio et Ahtonen (1987), le sirop de début de saison développera un goût plus sucré comte tenu d'une plus faible concentration des acides dans la sève durant cette période. Toutefois, le goût du sirop de bouleau est toujours plus acide que celui de l'érable (Kallio *et al.* 1995).



# 6. ENTAILLAGE ET DÉSENTAILLAGE DES ARBRES

Outre les facteurs précédemment énumérés, d'autres influent sur le rendement en sève et, par conséquent, sur la rentabilité même de la mise en exploitation de la bétulaie à des fins de production de sirop. Il s'agit de facteurs sur lesquelles le producteur peut avoir directement une influence en suivant des consignes de bonnes pratiques d'entaillement et de désentaillement des arbres.

## 6.1 Diamètre de l'entaille et chalumeaux

Il est reconnu que le diamètre de l'entaille, avec la profondeur, représentent les deux facteurs de l'entaille les plus susceptibles d'influer sur le rendement. Il existe actuellement sur le marché deux types de chalumeaux : le type «standard» et le type à «à diamètre réduit» dont les diamètres d'entaillement les plus répandus sont respectivement de 7/16 po et de 5/16 po. L'apparition sur le marché du chalumeau à diamètre réduit a pour principal but de réduire la blessure sur l'arbre provoquée par l'entaille et, incidemment, une cicatrisation plus rapide de la blessure diminuant du coup le risque de contamination par des microorganismes pathogènes.

La blessure causée par l'entaille occasionne la mort du cambium provoquant une zone de bois coloré. Elle sera légèrement plus large que l'entaille et peut atteindre jusqu'à un mètre de hauteur (Dujesieken 1989 *in* Maher 2005). Cette zone, appelée aussi «zone de compartimentage» de l'entaille ne sera plus productive pour les années suivantes.

## 6.2 Profondeur de l'entaille

Tout comme le diamètre de l'entaille, sa profondeur a un effet important sur la taille de la blessure. Il importe de fixer la profondeur de l'entaille de façon à obtenir le meilleur compromis entre le rendement annuel maximum et le fait d'hypothéquer le moins possible le potentiel futur de la bétulaie.

En acériculture, des travaux pratiques et des simulations théoriques ont permis d'établir des normes en regard à la profondeur

maximum d'entaillement qui variera en fonction du taux moyen de croissance des érables et du diamètre de l'entaille (Allard et Belzyle 2004). Autrement dit, plus la croissance radiale moyenne des arbres est élevée et le diamètre de l'entaille petit, plus il sera possible de pratiquer une entaille profonde.

Dans le cas du bouleau, il n'existe aucune norme scientifique à ce sujet. Il importe d'appliquer le principe de précaution en réduisant le plus possible cette profondeur. L'utilisation d'un guide de profondeur de l'entaille qui se fixe sur la mèche de l'entailloir est fortement conseillé. Il est aussi recommandé de ne procéder qu'à une seule entaille par arbre, d'éviter d'entailler un tronc inférieur à 20 cm au d.h.p. (Dixon-Warren 2008) et même, si nécessaire, de cesser l'entaillement pour une certaine période de temps.

## 6.3 Distribution des entailles sur le tronc

Le patron de distribution des entailles doit être exécuté de façon à éviter la superposition des zones de compartimentage dans le tronc. Rappelons qu'il importe de s'éloigner d'au moins 5 cm de part et d'autre d'une ancienne entaille. La distribution des entailles doit tenir compte de toute la période d'exploitation de l'arbre. Il faut donc les distribuer aux quatre points cardinaux afin d'éviter de privilégier une portion du tronc qui affecterait éventuellement la productivité.

## 6.4 Forme de l'entaille

L'entaille doit présenter une forme parfaitement cylindrique et la plus régulière possible pour accueillir parfaitement le chalumeau afin d'assurer une meilleure étanchéité. Une mauvaise entaille (trou ovale ou échancré) occasionnera une perte de vacuum dans le cas d'un système de collecte sous vide et, incidemment, une diminution du rendement ou encore une augmentation du risque de contamination. Elle doit être percée à angle droit par rapport au tronc sinon la mèche dessinera nécessairement une forme ovale.

## 6.5 Pente de l'entaille

Le perçage de l'entaille doit être exécuté de manière à définir une pente comprise entre 5° et 10° et orientée vers l'extérieur et le bas de l'arbre de façon à faciliter l'écoulement de la sève. De plus, une telle pente permet d'assurer un assèchement rapide de l'entaille après le désentaillage, d'éviter l'accumulation de l'eau de pluie et des débris végétaux ainsi que de prévenir la prolifération de certains microorganismes pouvant provoquer la pourriture du tronc.

## 6.6 Mèches d'entaillage

La mèche destinée à réaliser l'entaille doit effectuer une coupe franche permettant à l'arbre de conserver toute son hydraulicité, c'est-à-dire sa facilité à laisser passer l'eau. Une coupe qui effiloche les fibres de bois, obstrue les parois des vaisseaux transportant l'eau et diminue le rendement de la sève. La mèche doit de plus extraire les copeaux de bois coupés sans les comprimer contre les parois de l'entaille. Les copeaux doivent se tenir légèrement et ne pas prendre l'apparence du bran de scie ce qui est un signe d'une mèche qui nécessite d'être affûtée. Il faut éviter de souffler dans l'entaille pour ne pas l'infecter des bactéries présentes dans notre expiration.

L'affûtage d'une mèche est un travail de précision et doit être exécuté par un spécialiste. À titre d'exemple, une mèche dont la pointe n'est pas parfaitement centrée risque de provoquer une perte de vacuum. Les différents angles de la mèche auront une incidence sur la coupe, l'avancement et la résistance à l'avancement, ainsi que sur le transport des copeaux de l'intérieur vers l'extérieur de l'entaille. Certaines mèches conviennent à un bois gelé d'autres à un bois qui ne l'est pas.

Il importe de nettoyer et d'essuyer la mèche après chaque utilisation quotidienne et de l'enrouler dans un tissu suffisamment résistant et l'entreposer dans un endroit sec. Lors des déplacements ou lorsque la mèche est montée sur l'entailloir, il est recommandé de la protéger dans un étui individuel.

## 6.7 Entailloirs

L'entailloir (perceuse) électrique portatif est de plus en plus populaire pour sa maniabilité. Sa vitesse peut être ajustée rapidement afin d'effectuer l'entaille correctement. La basse vitesse est recommandée pour éviter de colmater («chauffer») les vaisseaux par une surchauffe et un lissage («glacer») des parois engendrés par une mèche qui tourne trop vite. Dans le cas de l'entailloir à essence, il faut s'assurer de tenir fermement l'appareil afin que les vibrations n'affectent pas la qualité de l'entaille. L'entailloir manuel ou le vilebrequin s'adresse à des opérations modestes.

## 6.8 Date d'entaillage

La sève commence à couler dans l'arbre lors du dégel au printemps. La région géographique, l'âge de l'arbre, l'altitude et les facteurs d'exposition influenceront le début de la coulée. Idéalement, l'entaillage devrait s'effectuer à la date probable de la première coulée significative. Une coulée significative consiste à une coulée minimale permettant la mise en opération des équipements de transformation (osmose, évaporateur, etc.) pour une durée assurant un minimum de rentabilité.

Or, les producteurs ont trop souvent tendance à procéder à un entaillage trop tôt pour s'assurer de récolter la sève avec une teneur élevée en sucre et, bien sûr, d'éviter le risque de perdre les premières bonnes coulées. Cependant, cela peut se traduire par une cicatrisation ou encore par une contamination hâtive de l'entaille et, incidemment, une diminution de la rentabilité de l'exploitation. L'entaillage devrait s'effectuer tout au plus de 15 à 20 jours avant la date la plus probable des premières coulées significatives.

Pour un producteur inexpérimenté, il est difficile de déterminer cette date. Pour combler cette lacune au cours des premières années d'opération, il n'aura alors qu'à sélectionner quelques arbres représentatifs tels que des arbres situés à différentes altitudes et exposition d'ensoleillement. La coulée apparaîtra en premier sur les arbres situés à une faible altitude conjuguée à une exposition élevée au soleil mais faible au vent. L'entaillage de ces arbres représentatifs du peuplement doit se faire vers la fin du mois de mars ou encore lorsque la température est sous 0° C durant la nuit mais au-dessus du point de congélation le jour. Une fois que la coulée sera amorcée, il sera temps d'entailer tous les autres arbres. Au fil des années, le producteur consignera ses observations dans un registre qui lui servira à déterminer avec de plus en plus de précision la date probable de la première coulée significative.



## 6.9 Martelage des chalumeaux

Le martelage du chalumeau est nécessaire dans le cas d'un mode de collecte sous vide afin d'assurer l'étanchéité du système. Le martelage ne devrait jamais être effectué lorsque le bois est encore gelé. Sinon, un martelage excessif écartera les tissus qui risquent de céder sous la tension provoquant une fissure ou fente sur quelques centimètres en haut et en bas de l'entaille. L'apparition de fentes sur le tronc entraînera un problème d'étanchéité durant toute la saison et, incidemment, une réduction de rendement non seulement pour cette entaille mais également de toutes celles situées en amont sur le même tube latéral en plus d'accélérer la contamination microbologique. La cicatrisation sera beaucoup plus longue et la zone de compartimentage beaucoup plus importante.

Une entaille qui dessine une forme parfaitement cylindrique afin d'assurer une meilleure étanchéité met en évidence, une fois de plus, l'importance de porter une attention toute particulière à la qualité d'affûtage des mèches d'entaille et de s'assurer que celles-ci soient bien adaptées au type et caractéristiques du chalumeau utilisé.

## 6.10 Désentaillage

Les mécanismes de défense de l'arbre associés à la cicatrisation de la blessure d'entaille consistent à la formation de certains composés polysaccharides ou gommés. Dans le cas d'un désentaillage trop tardif, ces composés adhéreront sur le pourtour du chalumeau en contact avec la partie de l'écorce morte mais, plus important encore, avec la partie vivante de l'écorce appelé le liège. Sous liège se trouve le cambium. Une fois «collé» au liège, si une traction est appliquée sur le chalumeau afin de le retirer de l'entaille, la mince couche de cellules du cambium gorgées d'eau à cette époque de l'année et donc, particulièrement fragile, se rompra.

Le décollement de l'écorce provoque une amplification importante de la blessure. Dans le cas de l'érable, il a été démontré qu'un décollement de l'écorce de 1,5 cm de part et d'autre de l'entaille résulte en une zone blessée 10 fois supérieure à celle d'un désentaillage soigné et, celle-ci, atteint une surface 20 fois plus grande si le décollement de l'écorce est de 2 cm (Allard et Belzyle 2004). La présence d'une telle blessure retardera la cicatrisation et augmentera la probabilité d'être colonisée notamment par des champignons responsables de la carie du tronc. Pour toutes ces raisons, le désentaillage doit débiter dans les heures ou sinon dans les jours qui suivent immédiatement la dernière coulée de la saison.

S'il s'avère impossible d'enlever le chalumeau à main nue après avoir tenté d'appliquer une rotation de quelques degrés pour le décoller de l'entaille, il est recommandé d'utiliser une pince ou une clé à molette. Au besoin, la méthode suggérée consiste à frapper délicatement de chaque côté de la tête du chalumeau, à l'aide d'un maillet par exemple, et de le retirer avec les mains. Il ne faut jamais utiliser un arrache-clou ou même certains outils spécialisés qui ne feraient qu'endommager davantage le tronc.

# 7. SYSTÈME DE COLLECTE SOUS VIDE DE LA SÈVE DE BOULEAU

Le système de collecte sous vide est devenu au Québec le mode privilégié de la récolte de l'eau d'érable. Cependant, malgré l'expérience acquise au cours des dernières décennies, une large proportion des installations présentent encore des défauts majeurs de conception ou d'opération. La localisation et la qualité de l'installation des tubes collecteurs représentent la majorité des problèmes associés au rendement à l'entaille ou à la qualité microbienne de l'eau.

Pour éviter une telle situation, il importe donc de posséder une excellente connaissance des principes scientifiques du fonctionnement d'un tel système pour être en mesure de faire un choix éclairé parmi les options existantes sur le marché. La planification générale du système de collecte d'eau constitue une étape clé pour tout producteur qui désire se doter d'un tel système efficace<sup>1</sup>.

## 7.1 Matériaux approuvés

Seuls les matériaux acceptés pour un usage alimentaire par l'Agence canadienne d'inspection des aliments doivent être utilisés pour l'installation d'un système de collecte sous-vide de l'eau de bouleau. La liste de ces matériaux peut être consultée à l'adresse de l'organisme apparaissant au bas<sup>2</sup> ou bien, il est également possible de demander une garantie écrite de la part du fabricant pour en obtenir l'assurance.

## 7.2 Localisation des tubes collecteurs

Les caractéristiques particulières du site, telles que la topographie et l'accessibilité par exemple, serviront de critères à la localisation des tubes collecteurs. La topographie du terrain détermine l'orientation générale des collecteurs en formant un angle droit avec les lignes de niveau. De cette façon, la vitesse d'écoulement de l'eau ne sera pas affectée et, par conséquent, sa qualité microbologique. La pire approche consiste à établir la position de la station de pompage avant celle des tubes collecteurs.

La localisation de la tête des collecteurs joue un rôle important puisque c'est à partir de cet endroit que s'effectueront une partie importante de la vérification de l'étanchéité du système, ainsi que les opérations de rinçage et d'assainissement du réseau pendant la saison de coulée. L'accessibilité à la tête des collecteurs doit être bien planifiée au point de départ d'autant plus s'il est nécessaire d'y construire un chemin d'accès. De plus, les caractéristiques de ce dernier seront différentes si l'eau de rinçage est transportée par citerne ou pompée directement dans un réservoir installé de façon permanente à la tête des collecteurs.

## 7.3 Installation des tubes collecteurs

De façon générale, il faut s'assurer que le transit de l'eau dans les collecteurs soit le plus régulier et le plus court possible pour réduire les possibilités de pertes de charges (vacuum). La détermination optimale de l'espacement entre les collecteurs et le choix de tubes d'un calibre (diamètre) approprié selon le nombre d'entailles sont les principaux facteurs à tenir compte pour minimiser la réduction du niveau de vide à l'entaille.

La réduction de la longueur des collecteurs a également comme avantage de limiter les surfaces sur lesquelles peuvent proliférer les microorganismes. De surcroît, ces surfaces absorbent l'énergie solaire ce qui provoque une augmentation de la température de la sève de bouleau et, par conséquent, sa dégradation.

<sup>1</sup> Pour en savoir sur le sujet ainsi que plusieurs autres éléments traités dans ce document, veuillez consulter : ALLARD, G. B. et BELZYLE, M. 2004. Cahier de transfert technologique en acériculture. Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec.

<sup>2</sup> [www.inspection.gc.ca/francais/fssa/referencereferf.shtml](http://www.inspection.gc.ca/francais/fssa/referencereferf.shtml)

## 7.4 Installation des tubes latéraux

De diamètres plus petits, les tubes latéraux relient chacune des entailles au tube collecteur. Il en existe tout un éventail sur le marché aux propriétés physiques différentes. Toutefois, il est conseillé de s'assurer que ces derniers possèdent les qualités suivantes :

- un diamètre intérieur constant et bien adapté au type de raccord utilisé pour assurer une parfaite étanchéité des joints;
- une paroi d'une épaisseur et rigidité appropriées pour prévenir toute déformation;
- une élasticité suffisante pour permettre l'insertion à froid des raccords et assurer l'étanchéité parfaite des joints;
- un fini intérieur parfaitement lisse pour contrer la formation et l'accumulation de biofilm bactérien;
- une résistance aux agents environnementaux tels que le rayonnement solaire, gel de l'eau dans le tube, etc., ainsi qu'aux produits de lavage utilisés.

Une fois l'emplacement des collecteurs déterminé (rubans) et la broche de support installée (broche de calibre 9, galvanisée ou à haute teneur en carbone), il faut poser les tubes latéraux avant les collecteurs. Il faut aussi garder en tête que pour une pente donnée, le choix du calibre (diamètre) du tube collecteur est déterminé en fonction du nombre d'entailles situées en amont. C'est seulement un fois que ce nombre sera connu qu'il sera possible de déterminer avec précision l'endroit où un changement de calibre du collecteur s'impose pour éviter d'affecter la performance du système.

## 7.5 Transvideur

Généralement situé à l'intérieur de la station de pompage, le transvideur, communément appelé «extracteur», est un dispositif essentiel au fonctionnement du système de collecte sous vide. Il sert à séparer efficacement l'eau de bouleau provenant des entailles et l'air provenant des fuites du système qui circulent dans les tubes collecteurs. En effet, les tubes collecteurs sont soumis aux fuites d'air du système ce qui entraîne des pertes de vide (pertes de charge) mesurées à l'extrémité des tubes collecteurs et au niveau de l'entaille

Dans le cas d'une séparation inefficace de l'air et de l'eau, en plus d'augmenter la rugosité des parois des tubes, l'accumulation de l'eau entraîne une réduction de l'espace disponible pour le passage de l'air et, incidemment, une augmentation considérable des pertes de charges. C'est donc finalement l'efficacité générale du système de collecte qui en sera lourdement affectée. Un mauvais

fonctionnement de ce dispositif peut même provoquer des dommages irréversibles à la pompe à vide.

Le transvideur permet également de ramener l'eau de bouleau à la pression atmosphérique pour être ensuite déversée dans les réservoirs et, d'autre part, il permet d'acheminer l'air extrait du système vers la pompe à vide. L'installation du transvideur doit être conçue de façon à pouvoir isoler la pompe à vide de l'ensemble du réseau de collecte ainsi que de chaque collecteur. L'opérateur peut ainsi observer la nature de l'écoulement et évaluer les fuites de chaque tube collecteur.

Le transvideur représente un point d'arrêt lors du transit de l'eau de bouleau dans le système de collecte et, par conséquent, un lieu propice de contamination de matériaux qui ne seraient pas conformes à une utilisation alimentaire ou une contamination par les microorganismes. Il est préférable de choisir un transvideur qui procède à une vidange complète du bol de réception par rapport à un autre dont la conception permet à un volume d'eau parfois important d'y rester presque indéfiniment et, éventuellement, à sa température d'augmenter.

## 7.6 Répartiteur de vide

Le répartiteur de vide a pour fonction de régulariser et d'optimiser l'intensité du vide à l'entaille. Autrement dit, il sert de «relais» au transvideur pour permettre une séparation efficace de l'eau et de l'air. Le type d'arrangement proposé, en série ou en parallèle, doit permettre de réduire au minimum la longueur des tubes collecteurs et celle des tubes transportant la sève de bouleau.

Il importe donc de s'assurer que l'installation d'un répartiteur de vide permet véritablement d'améliorer le niveau de vide disponible à l'entaille (productivité) et la qualité générale de la sève de bouleau. La surface des tubes exposée au soleil accélère l'altération microbiologique de la sève récoltée. L'addition d'appareils supplémentaires est donc à éviter s'ils ne diminuent pas de façon importante le temps de transit et la surface de contact de la solution dans le réseau de collecte sous vide.

En aucun cas, l'utilisation de cet appareil ne doit servir à corriger le manque d'étanchéité d'un système. Il n'est pas non plus indiqué si la pente de l'environnement du répartiteur est inférieure à 5%. De plus, au départ du répartiteur de vide, cette pente doit être la plus prononcée possible, au moins 10%, sur les premiers mètres du tube. Une pente trop faible a tendance à retarder l'amorce de la vidange du répartiteur de vide et à provoquer le débordement de l'eau de bouleau par le tube à air. Toutefois, il faut s'assurer d'installer l'appareil de façon à le protéger d'une accumulation importante de neige ou de glace (verglas) tel que dans une dépression par exemple.

## 7.7 Pompe à vide

La pompe à vide constitue l'élément clé du système de collecte sous vide de la sève de bouleau. Deux types de pompes à vide sont utilisés en acériculture, soit la pompe à vide à aubes rotatives, soit la pompe à vide à anneau liquide. Pour une puissance comprise entre 1 et 10 HP, l'efficacité des pompes à aubes rotatives serait supérieure aux pompes à anneau liquide (Allard et Belzile 2004).

Qu'importe le choix de type pompe, sa capacité devra être judicieusement ajustée au nombre d'entailles reliées au réseau de tubulure de la bétulaie et le type de chalumeaux utilisé (chalumeaux à diamètre réduit ou non). Puisque le bon fonctionnement de cette pièce d'équipement aura une incidence directe sur tout le système de collecte sous vide, il est recommandé de faire appel à un maître électricien pour son branchement ainsi qu'à un technicien spécialisé pour son installation et son réglage.

# 8. CONCENTRATION PARTIELLE DE LA SÈVE DE BOULEAU PAR OSMOSE INVERSÉE

Les producteurs de sirop de bouleau s'inspirent généralement de l'expérience acquise au cours des années auprès des acériculteurs. Le meilleur exemple est l'utilisation d'un appareil d'osmose inversée pour effectuer la concentration partielle de la sève de bouleau. Il existe maintenant une gamme de produits bien adaptés, tant pour une petite exploitation qu'une entreprise spécialisée, contribuant ainsi à leur consolidation. Les principaux avantages de cette technique consistent à réduire significativement la consommation d'énergie et le temps nécessaire à l'évaporation de la sève.

## 8.1 Hydrates de carbone et traitement thermique

Nous avons vu à la section 5.1 que les principaux hydrates de carbone composant la sève de bouleau, soient le fructose et le glucose, deux sucres dits «invertis» (ou réducteurs), sont beaucoup moins stables à des températures élevées que le saccharose qui caractérise la sève d'érable. Qui plus est, ceux-là sont davantage présents en fin de saison de coulée qu'en début. La sève sera alors davantage sensible au brunissement lors du traitement thermique d'évaporation conférant au sirop une saveur empyreumatique (sucres brûlés) intense qui masque la saveur recherchée d'un sirop de bouleau de qualité.

La figure 2 illustre la configuration des molécules de glucose, fructose et saccharose. Le glucose est un hexose formé de 6 atomes de carbone. Le fructose est aussi un hexose mais dont le cycle est formé de 5 sommets et non de 6 comme le glucose. Le saccharose consiste tout simplement en l'association d'une molécule de glucose et de fructose. Au cours de la réaction, le groupement **OH** d'un des deux sucres se lie à un **H** du **OH** de l'autre sucre. Il se forme une molécule d'eau. Les deux sucres demeurent liés par l'intermédiaire d'un **O**. Ce type de réaction est appelé réaction de condensation.

La réaction inverse est appelée hydrolyse. On comprendra maintenant mieux toute l'importance que doivent accorder les producteurs de sirop au contrôle de la contamination microbienne. En effet, les enzymes ont la capacité d'hydrolyser le saccharose pour

produire le glucose et le fructose qui sont plus sensibles au traitement thermique. Même en présence d'une sève de qualité, l'utilisation d'un appareil d'osmose inversée permet non seulement de réduire considérablement la quantité de sève à évaporer mais le sirop qui en résulte est d'une couleur plus claire et d'une saveur de meilleure qualité (Kallio *et al.* 1985a, 1985b; Beveridge *et al.* 1978).

## 8.2 Ratio sève-sirop

La sève du bouleau à papier comporte une teneur en sucre moins élevée, environ de 0,7%, comparativement à 0,5-8,9% mais habituellement de 2,0 à 3,0% dans le cas de l'érable à sucre (Roy 1997). Par conséquent, une quantité beaucoup plus élevée de sève de bouleau sera nécessaire pour produire une même quantité de sirop.

Il existe une façon simple de calculer ce ratio en appliquant une règle du pouce, règle valable uniquement jusqu'à 5 °Brix, permettant de répondre amplement aux besoins à l'opérateur. Il suffit de prendre le nombre 87,1 comme une valeur constante pour produire approximativement un sirop à 66 °Brix et de diviser ce nombre par la teneur en sucre de la sève.

### Exemple

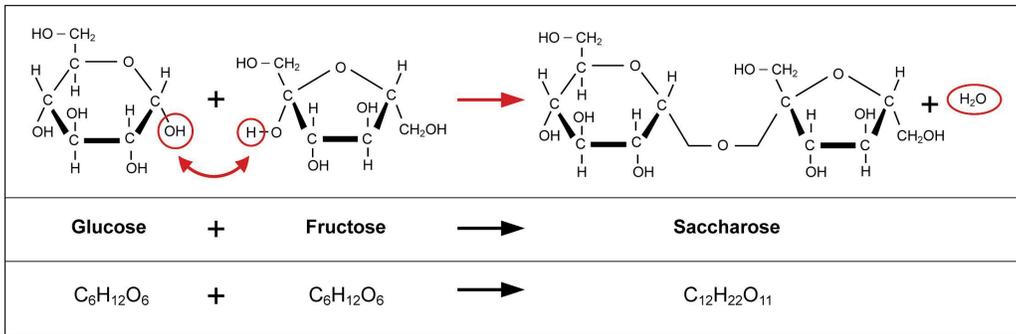
Constante : 87,1 (constante pour produire un sirop à 66 °Brix)  
Teneur en sucre : 0,7 °Brix  
 $87,1 \text{ divisé par } 0,7 = 124,43$

Pour obtenir une unité de sirop, il est nécessaire de transformer, **sans appareil d'osmose inversée**, un volume de près de 124,5 fois plus élevé de sève. Autrement dit, il faudrait 124,5 litres de sève pour obtenir 1 litre de sirop.

## 8.3 Principe de fonctionnement d'un appareil d'osmose inversée

Le phénomène de l'osmose se retrouve dans toutes les cellules vivantes tant animales que végétales. Il permet la diffusion de l'eau à travers sa membrane semi-perméable qui sépare deux so-

**FIGURE 2**  
Illustration des molécules de glucose, fructose et saccharose



lutions de concentration différente. La pression minimum qu'il faut exercer pour empêcher le passage d'un solvant, l'eau dans le cas présent, d'une solution moins concentrée à une solution plus concentrée est définie comme la pression osmotique. On se rappellera par exemple que c'est cette pression qui permet au bouleau de puiser son eau dans le sol et, incidemment, c'est ce qui explique le phénomène de la coulée printanière. La rapidité avec laquelle l'eau traverse une membrane sera proportionnelle à la différence de concentration entre les solutions ou à la grandeur du gradient de pression osmotique. Ainsi, le débit sera plus rapide au début du transfert de l'eau pour atteindre éventuellement un point d'équilibre.

Dans la fabrication du sirop, le but recherché n'est pas de diluer la sève mais au contraire de la concentrer. Le phénomène est donc inversé d'où son appellation «osmose inversée». Cela est possible en appliquant, du côté de la solution concentrée, une pression mécanique à l'aide d'une pompe. Les molécules d'eau n'ont d'autre choix que de traverser la membrane semi-perméable vers la solution diluée générant derrière elle une solution nécessairement plus concentrée. La solution diluée est appelée filtrat ou eau pure.

Tout comme le phénomène naturel de l'osmose, il s'agit d'un système dynamique. Le débit sera maximum au début du processus et diminuera à mesure que la concentration de la solution augmentera en raison de l'augmentation de la pression osmotique qui s'oppose au passage de l'eau à travers la membrane. Une fois que la force de la pression osmotique aura atteint un équilibre avec celle de la pression mécanique appliquée au système, l'écoulement sera nul.

## 8.4 Filtrat

Outre l'économie appréciable de la consommation d'énergie et du temps nécessaire à l'évaporation de l'eau, l'utilisation d'un appareil d'osmose inversée a l'avantage de générer une eau fort utile pour les multiples opérations de lavage et d'assainissement de matériel et d'équipements. Pour obtenir un filtrat de qualité, la fiche technique du fabricant de la membrane doit indiquer qu'elle retient plus de 80% des éléments minéraux dissous dans des conditions (température, concentration et pression) d'opération

analogues à celles qui prévaudront lors de son utilisation. Dans le cas contraire, il convient d'éviter l'utilisation de membranes qui ne satisferont pas à ces critères.

Il importe de vérifier périodiquement l'efficacité de la membrane en fonction du temps d'opération. En plus, l'altération chimique de la membrane à la suite d'exposition de composés excédant les limites de concentration prévues ou les procédures de lavages inadéquates, le bris ou rupture de la membrane, les défauts de conception ou de montage ou d'assemblage, sont des facteurs qui peuvent altérer l'intégrité du filtrat. La méthode la plus simple d'application pour vérifier la qualité du filtrat consiste à évaluer la conductance du filtrat. Il s'agit d'une méthode rapide d'exécution et facile d'interprétation.

La conductance permet de mesurer la quantité relative d'éléments minéraux dans une solution. En effet, la présence d'éléments ionisés ( $Ca^{++}$ ,  $Na^+$ ,  $OH^-$ , etc.) dans le filtrat augmentera la facilité avec laquelle l'eau conduit un courant électrique. Le prélèvement du filtrat doit être effectué le plus près possible de la sortie de la membrane, si la vérification s'effectue pour une seule membrane, ou de la sortie de l'appareil pour une évaluation de l'ensemble des membranes. Le filtrat devra être déposé dans un contenant très propre qui aura été rincé à au moins trois reprises avec celui-ci. L'appareil doit fonctionner en mode «concentration» avec un taux de rejet aux environs de 70%.

Même si ce niveau de concentration peut varier légèrement, il importe toutefois qu'il doit demeurer constant par la suite pour permettre une comparaison des résultats pris avec un conductivimètre. Normalement, l'analyse s'effectue à l'aide d'une grille d'analyse fournie par le fabricant de l'appareil de l'osmose inversée. Si le fabricant n'est pas en mesure de fournir cette information, le producteur peut toujours utiliser la grille d'interprétation des seuils critiques relatifs à la conductance du filtrat d'un appareil d'osmose inversée illustrée à cet effet à la rubrique 300 de la section 6 du *Cahier de transfert technologique en acériculture* (Allard et Belzyle 2004). Les observations jusqu'à présent permettent de statuer que la conductance électrique devrait être inférieure à 50 microSiemens (ou micro Mhos) pour assurer un filtrat de qualité.

Le tableau 5 indique les taux de rejet résultants des diverses combinaisons possibles entre le °Brix du concentré et celui de la sève de bouleau. Les cellules du tableau avec une trame de fond indiquent les réglages qui permettent d'obtenir un taux de rejet de

l'ordre de 70%. Compte tenu que pour une solution de 0,7 °Brix, le ratio de sève de bouleau par rapport au sirop est approximativement de 124,5 :1, les gains sont appréciables.

**TABLEAU 5**

Taux de rejet (%) en fonction du °Brix moyen de la sève de bouleau et du concentré

°Brix du concentré	Concentration moyenne en sucre de la solution (°Brix)														
	0,5	0,7	0,75	0,8	1,0	1,25	1,5	1,75	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0
1,0	50%	30%	25%	20%	0%	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
1,5	67%	53%	50%	47%	33%	17%	0%	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
2,0	75%	65%	63%	60%	50%	38%	25%	13%	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
2,5	80%	72%	70%	68%	60%	50%	40%	30%	20%	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
3,0	83%	77%	75%	73%	67%	58%	50%	42%	33%	17%	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
3,5	86%	80%	79%	77%	72%	64%	57%	50%	43%	29%	14%	(-)	(-)	(-)	(-)
4,0	88%	83%	81%	80%	75%	69%	63%	57%	50%	38%	25%	13%	(-)	(-)	(-)
4,5	89%	84%	83%	82%	77%	72%	67%	62%	56%	44%	33%	22%	11%	(-)	(-)
5,0	90%	86%	85%	84%	80%	75%	70%	65%	60%	50%	40%	30%	20%	10%	(-)
5,5	91%	87%	86%	85%	82%	77%	73%	69%	64%	55%	45%	36%	27%	18%	9%
6,0	92%	88%	88%	87%	83%	79%	75%	71%	67%	58%	50%	42%	33%	25%	17%
6,5	92%	89%	88%	88%	85%	81%	77%	74%	70%	62%	54%	46%	38%	31%	23%
7,0	93%	90%	89%	89%	86%	82%	79%	76%	72%	64%	57%	50%	43%	36%	29%
7,5	93%	91%	90%	89%	87%	83%	80%	77%	74%	67%	60%	53%	47%	40%	33%
8,0	94%	91%	90%	90%	88%	84%	82%	79%	76%	69%	63%	56%	50%	44%	38%
8,5	94%	92%	91%	91%	88%	85%	82%	79%	76%	71%	65%	59%	53%	47%	41%
9,0	94%	92%	92%	91%	89%	86%	83%	81%	78%	72%	67%	61%	56%	50%	44%
9,5	95%	93%	92%	92%	89%	87%	84%	82%	79%	74%	68%	63%	58%	53%	47%
10,0	95%	93%	93%	92%	90%	88%	85%	83%	80%	75%	70%	65%	60%	55%	50%
10,5	95%	93%	93%	92%	90%	88%	86%	83%	81%	76%	71%	67%	62%	57%	52%
11,0	95%	94%	93%	93%	91%	89%	86%	84%	83%	77%	73%	68%	64%	59%	55%
11,5	96%	94%	93%	93%	91%	89%	87%	85%	83%	78%	74%	70%	65%	61%	57%
12,0	96%	94%	94%	93%	92%	90%	88%	85%	83%	79%	75%	71%	67%	63%	58%
12,5	96%	94%	94%	94%	92%	90%	88%	86%	84%	80%	76%	72%	68%	64%	60%
13,0	96%	95%	94%	94%	92%	90%	88%	87%	85%	81%	77%	73%	69%	65%	62%
13,5	96%	95%	94%	94%	92%	91%	89%	87%	85%	81%	78%	74%	70%	67%	63%
14,0	96%	95%	95%	94%	93%	91%	89%	88%	86%	82%	79%	75%	71%	68%	64%
14,5	97%	95%	95%	94%	93%	91%	90%	88%	86%	83%	79%	76%	72%	69%	66%
15,0	97%	95%	95%	95%	93%	92%	90%	88%	87%	83%	80%	77%	73%	70%	67%
15,5	97%	95%	95%	95%	94%	92%	90%	89%	87%	84%	81%	77%	74%	71%	68%
16,0	97%	96%	95%	95%	94%	92%	91%	89%	88%	84%	81%	78%	75%	72%	69%
16,5	97%	96%	95%	95%	94%	92%	91%	89%	88%	85%	82%	79%	76%	73%	70%
17,0	97%	96%	96%	95%	94%	93%	91%	90%	88%	85%	82%	79%	76%	74%	71%
17,5	97%	96%	96%	95%	94%	93%	91%	90%	89%	86%	83%	80%	77%	74%	71%
18,0	97%	96%	96%	96%	94%	93%	92%	90%	89%	86%	83%	81%	78%	75%	72%

## 8.5 Entreposage du filtrat d'osmose inversée

Un filtrat d'osmose inversée de qualité signifie un filtrat qui ne contient qu'une infime charge minérale et dont la teneur en composés organiques, particulièrement en sucre, est insuffisante au développement d'une biomasse bactérienne. En évitant toute contamination de ce filtrat lors de son transit vers le réservoir d'entreposage et, bien sûr, pendant la période d'entreposage, notamment par la poussière en suspension et par l'eau de condensation, toutes ses propriétés seront conservées jusqu'à son utilisation. Dans ces conditions, le recours à un traitement chimique serait inutile pour solutionner un problème de conservation.

Si malgré tout le filtrat prend l'apparence de turbidité après 12 à 24 heures et une coloration laiteuse, il serait alors plus approprié vérifier le bon fonctionnement de l'appareil d'osmose inversé et les performances fonctionnelles de la membrane plutôt que de procéder à une chloration du filtrat. Un tel filtrat est de toute façon pas recommandé comme base de solution pour le lavage et, à plus forte raison, comme solution de rinçage.

## 8.6 Perméabilité à l'eau d'une membrane d'osmose inversée (PEP)

Il existe deux types de mesures permettant de qualifier les performances fonctionnelles d'une membrane d'osmose inversée. La première, est celle qui consiste à vérifier la capacité de la membrane de retenir la majorité des éléments minéraux dissous et, à plus forte raison, la totalité des sucres et autres composés organiques présents dans l'eau de bouleau. La seconde vise à déterminer le taux de perméation ou, autrement dit, la capacité de la membrane à extraire l'eau pure (ou filtrat) de la solution à concentrer. L'usure normale de la membrane, de mauvaises procédures de lavage ou l'exposition de la membrane à des conditions de température et de pression trop élevées provoqueront une réduction du débit de filtration.

La technique simple utilisée par tous les opérateurs d'appareils d'osmose inversée permettant de mesurer en tout temps la perte relative du taux de filtration d'une membrane est appelée la technique du «PEP» faisant référence à l'acronyme de l'expression «perméation à l'eau pure». Le rapport entre le taux de filtration actuel et celui d'une membrane neuve après un conditionnement adéquat permet de calculer l'efficacité relative de la membrane.

Pour ce faire, il s'agit dans un premier temps de déterminer le taux de filtration (litres/min) à l'eau pure de l'état actuel de la membrane après un nombre d'heures d'utilisation déterminé et une pression et une température précises. Un facteur de correction de la température devra être appliqué au débit de filtration pour établir ce taux à une température de référence selon les informations fournies par le fabricant ou le fournisseur. Il suffit par la suite

de diviser ce taux par celui mesuré au moment où la membrane était neuve et multiplier par 100 pour obtenir le pourcentage d'efficacité.

## 8.7 Teneur en sucre du concentré (°Brix)

La composition de la sève de bouleau peut être variable d'une bétulaie à l'autre, d'une journée à l'autre et d'une année à l'autre pour une même bétulaie. Contrairement à une solution de synthèse, il est donc impossible d'établir avec précision une concentration optimale du concentré d'osmose inversée tenant compte de l'ensemble des propriétés des composantes d'une solution d'une «eau de bouleau typique». La sève de bouleau est principalement composée d'eau mais aussi de sucres solubles, de minéraux dissous et d'autres composés organiques souvent issus de l'activité bactérienne.

De ces quatre grands constituants, ce sont les minéraux qui influent le plus sur les performances de l'appareil d'osmose inversée. Bien qu'ils se concentrent dans le même rapport que les sucres dans la solution, ils contribuent plus activement à la pression osmotique, soit celle qui s'oppose au passage de l'eau et, par conséquent, à la pression mécanique fournie par la pompe. La présence d'une concentration trop élevée des éléments minéraux se traduira par une chute rapide du taux de perméation. Ce phénomène est souvent interprété par l'opérateur comme un problème de propreté de la membrane qui aura tendance à initier un cycle de lavage. Or, dans ce cas, non seulement une telle opération est inutile, elle est même agressive pour la membrane. Pour palier à ce problème, il suffit plutôt de réduire significativement la concentration du concentré pour rétablir le taux de perméation.

Il n'existe aucune méthode pour déterminer la teneur en éléments minéraux de la sève de bouleau à concentrer (comme c'est le cas d'ailleurs pour l'eau d'érable). Le calcul du taux de rejet à maintenir pour déterminer la teneur optimale en sucre du concentré s'appuie donc uniquement sur la concentration en sucre de la solution à l'aide du réfractomètre comme si tous les solides dissous contenus dans l'eau étaient uniquement des sucres. Ce biais méthodologique se traduit par des taux de rejet théoriques maximum qu'il sera par contre difficile d'atteindre dans la pratique.



# 9. UTILISATION DE RÉSERVOIRS

Les réservoirs utilisés pour l'entreposage de la sève, du concentré, du filtrat et pour le transport doivent répondre à toutes les exigences du domaine alimentaire selon l'Agence canadienne d'inspection des aliments. Sinon, il faut obtenir l'assurance par écrit auprès du manufacturier qu'ils sont conformes à la norme élaborée par *Les manufacturiers d'équipements acéricoles* (LMEA). L'application de cette norme a pour but de préserver la qualité, l'innocuité et l'intégrité du sirop ou des produits dérivés.

## 9.1 Règles de base

L'utilisation adéquate des réservoirs fait appel à quelques règles simples d'application dont voici le résumé :

- ne jamais utiliser de réservoirs ayant déjà servi pour des applications autres qu'alimentaires;
- préférablement, faire appel aux services d'un professionnel pour procéder à la réfection d'un réservoir;
- s'assurer que la localisation et l'espace soit suffisants pour nettoyer, désinfecter, entretenir et inspecter toutes les surfaces du réservoir;
- chaque réservoir doit être muni d'un drain assurant une vidange complète et rapide;
- aucune vidange ne devrait être effectuée à une distance inférieure à 100 mètres d'un cours d'eau;
- les eaux comprenant des solutions de lavage et d'assainissement devraient subir un traitement minimum avant d'être rejetées dans l'environnement;
- tout réservoir servant à l'entreposage de la sève de bouleau, du concentré d'eau de bouleau et du filtrat d'osmose, si utilisé pour le lavage et le rinçage d'équipements, devrait être

protégé par un couvercle rigide ou une bâche souple faite d'un matériau accepté pour une utilisation alimentaire. Une telle protection permet d'éviter que les poussières, les débris végétaux, les déjections animales et même les petits rongeurs ne viennent contaminer les surfaces internes.

## 9.2 Localisation des réservoirs

Il n'existe pas de règle absolue concernant la localisation des réservoirs. Cependant, il importe de les localiser de façon à ce que les solutions entreposées soient maintenues à la température la plus froide possible voire même, si nécessaire, contribuer à leur refroidissement et permettre des opérations périodiques de lavage et d'assainissement et, surtout, de rinçage abondant. Ils doivent également permettre de limiter le temps de séjour de la solution dans le réseau de tubulure s'il y a lieu.

### 9.2.1 Réservoirs de transit d'eau de bouleau

Il s'agit de réservoirs destinés à recevoir l'eau de bouleau immédiatement à la sortie du système de collecte. Ils sont localisés aux stations de pompage et leur contenu doit obligatoirement être transporté ou pompé vers le lieu de traitement que ce soit par osmose ou par évaporation. Il convient de choisir un site de façon à limiter le plus possible la longueur totale de tous les collecteurs reliés à la station de pompage tout en maximisant la pente naturelle du terrain.

Il est préférable de localiser les réservoirs de transit à l'extérieur de la station de pompage sous un abri partiel. Les recouvrir d'un couvercle rigide ou d'une bâche souple faite de matériaux appropriés pour une utilisation alimentaire et les protéger contre une exposition directe au soleil. Si les réservoirs sont situés à l'intérieur de la station de pompage, il importe de ventiler le bâtiment pour éviter toute accumulation de chaleur, et évacuer les vapeurs d'huile s'il y a présence en plus d'une pompe à vide dans la station.

Le niveau supérieur des réservoirs doit être toujours plus bas que le niveau du sol. Au besoin, le terrain peut faire l'objet d'une excavation.

### 9.2.2 Réservoirs principaux de sève de bouleau

Les réservoirs principaux sont localisés à la station principale (sucrerie) là où l'eau est transformée en sirop. Ils occupent généralement une salle pourvue d'un système de ventilation efficace et séparée, par un mur plein, de la salle d'osmose. Certains grands réservoirs de type cylindrique sont prévus pour être installés à l'extérieur. Les règles décrites pour les réservoirs de transit localisés à l'extérieur des stations de pompage seront alors appliquées. Si ces réservoirs n'alimentent qu'un osmoseur, il est préférable de les surélever légèrement par rapport au niveau du sol. De cette façon, la sortie du réservoir sera située au-dessus du niveau d'entrée d'eau de la pompe d'alimentation de l'osmoseur.

### 9.2.3 Réservoirs de concentré d'eau de bouleau

Les réservoirs de concentré alimentent directement le système d'évaporation. Tout comme les réservoirs principaux, ils sont de préférence situés dans une salle bien ventilée et séparée, par un mur plein, de la salle d'évaporation et la salle d'osmose. Ils peuvent donc tous deux occuper la même salle de la sucrerie.

Le système d'évaporation sera alimenté par gravité à partir du réservoir de concentré d'eau de bouleau. Le fond du réservoir doit être situé de préférence à au moins 50 cm (20 po) au-dessus de l'entrée du préchauffeur. Même si le système d'évaporation ne comporte pas actuellement de préchauffeur, il est tout de même préférable de prévoir une hauteur minimale de 2,5 mètres entre le fond du réservoir et le niveau le moins élevé de votre installation.

### 9.2.4 Réservoirs de filtrat de l'osmoseur

Situés à proximité de l'osmoseur, il est utile parfois de surélever les réservoirs à filtrat de façon à alimenter d'autres éléments du système de production, tels que les réservoirs de lavage ou l'évaporateur. Cependant chaque mètre d'élévation au-dessus de la sortie du filtrat sur l'osmoseur augmente la pression qui s'oppose à l'évacuation du filtrat et, incidemment, à la pression efficace du système. Il importe d'obtenir du fabricant des garanties écrites du maintien des performances de l'osmoseur selon la localisation des réservoirs de filtrats. Si le fabricant n'est pas en mesure de fournir ces garanties, procéder à un test en comparant les performances de l'appareil entre la sortie du tube du filtrat et la sortie du filtrat sur l'osmoseur.

Il importe de prévenir la contamination des réservoirs de filtrat par les poussières et les déjections animales en les recouvrant toujours d'un couvert rigide ou d'une bâche souple dont les matériaux sont permis pour une application alimentaire.

### 9.2.5 Réservoirs pour la solution de lavage

Les réservoirs servant à l'entreposage de l'eau de bouleau ou du concentré d'eau de bouleau peuvent servir de réservoirs pour la préparation et l'entreposage de la solution de lavage de la tubulure. Cependant, des réservoirs spécifiques peuvent être nécessaires si la taille de l'exploitation ou la fréquence des lavages, assainissement et rinçages de la tubulure pendant la saison l'exigent et, au besoin, être mobiles pour permettre leur déplacement près des lieux d'utilisation telle que la station de pompage par exemple.

### 9.2.6 Réservoirs pour l'eau de rinçage de la tubulure

Le rinçage de la tubulure nécessite l'entreposage de grands volumes d'eau que peuvent contenir tous les réservoirs décrits précédemment. Toutefois, pour améliorer l'efficacité du rinçage, il est recommandé de l'effectuer dans le même sens que la coulée pour augmenter la vitesse de circulation de la solution et, incidemment, la turbulence dans la tubulure. Dans ces conditions, les réservoirs doivent être localisés en amont des collecteurs et requièrent une installation permanente pouvant augmenter significativement les coûts d'un système de collecte.

# 10. ÉVAPORATION DE LA SÈVE OU DU CONCENTRÉ DE LA SÈVE DE BOULEAU

L'évaporation de la sève ou du concentré de sève de bouleau est l'étape la plus importante de la fabrication du sirop car c'est à ce moment là que la solution développe tout son potentiel d'arômes et de couleur. Les caractéristiques physiques de l'évaporateur et la façon dont il est utilisé peuvent donner un sirop aux propriétés très différentes et ce, pour une même qualité de sève et deux évaporateurs identiques. Dans un cas, il serait d'une couleur clair et d'une saveur caractéristique, dans l'autre, il pourrait être profondément altéré par la présence d'une couleur foncée et avec des défauts de saveur (saveur de caramel prononcée ou de brûlé). La connaissance des éléments techniques et du principe de fonctionnement s'avère donc un incontournable pour éviter bien des déceptions.

## 10.1 Description générale d'un évaporateur

Les évaporateurs d'aujourd'hui fonctionnent en mode continu dans lesquels la sève circule sur deux types de casseroles : casseroles à plis (ou à rayons) et les casseroles à fond plat.

### 10.1.1 Casseroles à plis

La sève de bouleau provenant du réservoir d'entreposage est introduite dans un premier temps dans une casserole à plis. Elle a l'avantage d'offrir une grande surface aux gaz de combustion et, incidemment, un taux d'évaporation très élevé. Ce taux est fonction de la largeur du foyer de l'évaporateur, de la largeur de la casserole, de la profondeur des plis, du nombre de plis par unité de largeur de la casserole, de l'angle d'ouverture des plis s'il y a lieu, de l'espace entre deux plis consécutifs et de l'espace au fond du pli. Heureusement, un taux moyen théorique d'évaporation par unité de surface exposé de 25,41 litres/heure-m<sup>2</sup> (0,52 gal/heure-pi<sup>2</sup>) est généralement utilisé par défaut. Il s'agit donc d'une valeur non optimale. Pour plus de précision, celle-ci doit être calculée par le fournisseur en fonction de chaque évaporateur.

Une portion importante de l'eau contenue dans la solution est évaporée dans la ou les casseroles à plis. Il est d'usage, à tout le moins dans la production du sirop d'érable, d'effectuer le trans-

fert de la solution dans les casseroles à fond plat lorsque la teneur en sucre est comprise entre 30 et 35 °Brix. Compte tenu que, dans le cas de la production du sirop de bouleau, nous ne pouvons faire appel aux observations ou à des données expérimentales, il convient alors de procéder graduellement jusqu'à la détermination de la teneur optimale. À titre indicateur, une solution de 6 °Brix à l'entrée du système d'évaporation et pour laquelle une teneur en sucre de 30 °Brix est ciblée au moment de son transfert (°Brix de transfert), devra être évaporée normalement à environ 82% dans la casserole à plis. Ce pourcentage d'évaporation dépasse normalement 90% pour des solutions avec une teneur en sucre inférieure à 3 °Brix à l'entrée du système. Une teneur plus élevée en sucre de 30 °Brix favorise l'accumulation de « pierre de sucre » entre les plis ce qui rend difficile l'entretien de la casserole (Boucher, non daté).

### 10.1.2 Casseroles à fond plat

La casserole à fond plat est moins exposée à la chaleur que la casserole à plis et favorise une évaporation modérée de l'eau. Sa surface doit être suffisante et le régime de transfert de chaleur doit être tel qu'il permette une avance rapide et constante de la solution (sans zone morte ni point chaud) vers le point de prélèvement, un meilleur contrôle du gonflement, une réduction du dépôt de « pierre de sucre » dans les plis et une réduction de la cuisson ou de la caramélisation dans les plis.

Un rapport de surface optimal entre les casseroles à plis et à fond plat permettra la production d'un sirop de qualité tant sur le plan de la couleur que de la saveur. Auparavant, ce rapport était, *grosso modo*, prédéterminé selon une utilisation du système d'évaporation avec ou sans un appareil d'osmose inversée.

Aujourd'hui un tel rapport ne semble plus justifié en raison de la diversité croissante des types de casseroles offerts sur le marché. Cela prévaut d'autant plus qu'aucune donnée expérimentale ou observation colligée n'existe concernant la production du sirop de bouleau. Le producteur devra donc évaluer par lui-même si la combinaison des surfaces entre les deux types de casseroles qu'il s'est procurées permet un fonctionnement optimal de son système d'évaporation. Il en résultera nécessairement un compromis entre

le taux d'évaporation, l'efficacité énergétique et la qualité du sirop désirée. À titre indicateur, le taux moyen théorique d'évaporation par unité de surface d'une casserole à fond plat dans le cas de la production du sirop d'érable est de 38,12 litres/heure-m<sup>2</sup> (0,78 gal/heure-pi<sup>2</sup>).

Lors de son parcours à l'intérieur du système d'évaporation, la viscosité de la solution augmentera à mesure qu'augmente sa teneur en sucre. La solution aura tendance à réduire son mouvement vers l'avant et pourrait même se concentrer en sirop à un endroit autre qu'au point de prélèvement. Pour cette raison, les casseroles à fond plat doivent favoriser un mouvement rapide et constant de la solution. La teneur en sucre au moment du transfert de la solution d'un type de casserole à l'autre, ainsi que le taux d'alimentation (débit) de la solution à son entrée dans le système d'évaporation et de sa teneur en sucre, sont à considérer pour ajuster de façon optimale les caractéristiques des casseroles à fond plat.

## 10.2 Mesure d'ébullition du sirop de bouleau

La température d'ébullition augmente en fonction de la teneur en sucre de la solution. Dans le cas d'une solution d'eau d'érable, cette température atteint 7,1 °F au-dessus du point d'ébullition de l'eau pure pour une teneur en sucre de 66 °Brix. Cette valeur correspond de près à celles observée pour une solution de sève de bouleau.

Le point d'ébullition de l'eau pure est de 212 °F (100 °C) mais seulement lorsque la pression barométrique est à 29,92 po (760 mm) de mercure, soit celle présente au niveau moyen de la mer. Ce point d'ébullition est donc influencé par l'élévation, ainsi que par la densité et l'humidité de l'air à un moment précis. Pour contrôler avec le plus de précision possible la coulée du sirop, le thermomètre a été régulièrement calibré à la température d'ébullition de l'eau déminéralisée en tenant compte des changements de conditions météorologiques observés.

## 10.3 Gonflement dans les casseroles d'évaporation

Le gonflement de la solution dans les casseroles d'évaporation est induit par le rythme d'ébullition dans les divers types de casseroles et est principalement fonction de la concentration de la solution. Outre les sucres, les autres solides dissous présents dans la sève de bouleau responsables du gonflement de la solution sont essentiellement des acides aminés et des protéines. Ils sont naturellement présents dans la sève ou encore introduits par l'activité microbologique ayant inévitablement cours dans le réseau de collecte et d'entreposage.

L'expérience acquise en acériculture a permis d'observer que le gonflement excessif survient davantage en fin de saison de production. La sève, à ce moment là, possède un goût particulier (goût

de bourgeon) et contient des traces d'acides aminés nécessaires à l'amorce du phénomène de bourgeonnement même si la qualité est excellente sur le plan microbiologique. D'autre part, une eau altérée sur le plan microbiologique, même en début de saison, a également tendance à provoquer un gonflement.

Bien que ces conditions sont nécessaires à la formation excessive de mousse dans les casseroles, elles ne sont cependant pas suffisantes. Il faut également que le taux de transfert de chaleur par unité de surface de casserole soit élevé au point d'induire un rythme d'ébullition suffisamment violent pour former l'écume. Il est donc évident qu'un évaporateur dont le taux d'alimentation en combustible est disproportionné par rapport aux surfaces d'évaporation provoquera le débordement presque constant des casseroles et ce, peu importe la qualité de la sève et le moment de la saison. Il importe donc d'éviter un taux d'évaporation ne respectant pas les caractéristiques du système d'évaporation.

Malgré l'utilisation d'une sève de bouleau de qualité et d'un taux de transfert de chaleur adéquat, il se présente inévitablement des situations où il faut utiliser d'autres moyens pour contrôler la formation de mousse. Le moyen le plus facile consiste à utiliser une infime quantité de corps gras à la solution en ébullition. La réaction sera presque instantanée. La rubrique 900 de la section 7.0 du *Cahier de transfert technologique en acériculture* (Allard et Belzyle 2004) indique les types de corps gras à utiliser ou à proscrire, ainsi que la façon de procéder.

## 10.4 Mesure de la concentration en sucre

Le sirop est, parmi tous les produits alimentaires, celui dont l'entreposage à la température ambiante pendant une très longue période (plus de 12 mois), pose le moins de problèmes. Que ce soit en vertu du *Règlement sur les aliments* (c. P-29, r.1) de la Loi sur les produits alimentaires du gouvernement du Québec ou celle du *Règlement sur les produits de l'érable* (C.R., ch.289), de la Loi sur les produits agricoles au Canada relativement à la commercialisation interprovinciale ou à l'exportation, le sirop d'érable doit posséder une teneur minimale en extraits secs solubles de 66 % à une température de 20 °C déterminée au réfractomètre ou encore, au densimètre, dans le cas de la législation canadienne.

Cette teneur en sucre inhibe complètement ou presque la solution de développement d'une microflore microbienne responsable de la fermentation. Cette norme vise à protéger le consommateur mais permet également de réduire les risques de pertes financières considérables chez les fabricants advenant que leur produit soit déclaré impropre à la consommation, saisi et retiré du circuit commercial pour être détruit.

## 10.5 Réfractomètre

Le réfractomètre utilise certains principes de l'optique pour estimer la concentration d'une solution. Chaque substance dissoute dans l'eau influence le déplacement du parcours lumineux par rapport au parcours de l'eau pure. Le rapport entre ces deux directions est défini comme l'indice de réfraction de la substance dissoute.

La sève est une solution dite composite, c'est-à-dire qu'elle est composée de plusieurs produits en solution dans lesquels se retrouvent différents sucres, des acides organiques, des minéraux, des composés organiques provenant des microorganismes ou constituant ceux-ci ou encore des éléments en suspension. Selon la concentration, chacune de ces substances a sa propre influence sur le parcours lumineux. L'indice de réfraction de la solution mesurée est donc la résultante de l'effet de chaque constituant présent dans la solution.

L'échelle Brix a été développée pour comparer plus facilement l'indice de réfraction d'une grande variété de solutions. Cette échelle utilise une solution pure de saccharose comme solution de référence. Un degré Brix (°Brix) représente 1% en poids de saccharose dans une telle solution. Ainsi, le degré Brix mesuré à l'aide d'un réfractomètre n'indique pas strictement la teneur en sucre. Il s'agit d'une approximation qui est d'autant plus juste si les solutions que ce soient la sève, le concentré ou le sirop, ne contiennent presque pas d'éléments dissous autres que le saccharose. Dans le cas contraire, l'écart entre le véritable pourcentage de sucre et la mesure (°Brix) risque de devenir plus appréciable.

En effet, dans une solution de sirop d'érable, le sucre représente environ 98% des éléments dissous, ainsi la valeur du Brix que l'on obtient représente tout de même une bonne approximation du pourcentage du sucre présent (Cornell Sugar Maple Research & Extension Program 2007 in Dixon-Warren 2006). Dans une solution de sirop de bouleau, ce pourcentage est de seulement 90%. Pour obtenir la valeur du pourcentage du sucre avec plus de précision, la valeur du degré Brix devrait être multipliée par environ 0,9 (Humphreys non daté).

## 10.6 Degré Brix versus sirop de bouleau

Il n'existe aucune étude indiquant quelle serait la concentration optimale de fructose et de glucose (sucres invertis) dans le sirop de bouleau. En Alaska, la valeur du degré Brix du sirop de bouleau pur doit se situer entre 66 et 78 °Brix pour obtenir la certification de l'*Alaska Birch Syrupmaker Association* (Humphreys non daté). Cependant produire un sirop de bouleau qui soit agréable au goût et d'une viscosité convenable à une concentration de 66% en sucre comme pour le sirop d'érable représente un défi. De plus, une quantité élevée de sucre se cristallisera au fond de la casserole de l'évaporateur lors de l'étape de la finition du sirop.

Une concentration de 64,4 °Brix semble suffisamment sucrée pour satisfaire la majorité des palais (Dixon-Warren 2008). L'auteure mentionne de plus que la détermination optimale du degré Brix pour produire un sirop varie beaucoup d'un producteur à l'autre tant en Alaska qu'au Canada, passant de 60 à 67 °Brix. L'avantage évident de produire un sirop avec une teneur en sucre moins élevée c'est que pour une même quantité de sève, le producteur obtient une plus grande quantité de sirop et, surtout, il est exposé moins longtemps à la chaleur ce qui résulte en un sirop plus clair et moins caramélisé.

## 10.7 «Pierre de sucre»

L'augmentation de la température de la solution, la modification de son pH ainsi que celle de sa concentration conduiront à la formation de sels formés à partir de l'acide malique, le principal acide organique dans la sève de bouleau tout comme celle de l'érable, et de minéraux tels que le calcium (Ca), le magnésium (Mg) et l'oxyde de silice (SiO<sub>2</sub>). En raison de la diminution de la solubilité de ces sels, une partie se déposera sur les surfaces internes des casseroles d'évaporation occasionnant leur entartrage. Ce type de dépôts, appelés communément «pierre de sucre», aura tendance à s'accumuler dans les plis de la casserole à plis et dans une casserole à fond plat si sa surface est trop petite. Ce mauvais rapport des surfaces entre les types de casseroles provoque nécessairement une concentration trop élevée de sucre dans la casserole à plis et, incidemment, une augmentation de ce type de dépôts.

Une situation similaire prévaut également en présence d'une mauvaise distribution de la chaleur sous les casseroles à fond plat. En effet, une chaleur trop faible sous celles-ci réduira leur efficacité occasionnant une augmentation de la teneur en sucre dans les casseroles à plis.

Dans un système d'évaporateur fonctionnant normalement, les dépôts de pierre de sucre s'observent particulièrement dans la dernière portion des casseroles à fond plat, là où le sirop est en phase de finition. Ils s'accumulent en une fine pellicule difficile à éliminer. La meilleure façon pour y remédier consiste à utiliser le filtrat résultant de l'utilisation de l'appareil d'osmose inversée. Il s'agit d'une eau déminéralisée très efficace pour ce type d'utilisation.

L'accumulation de couches successives de pierre de sucre au fond des casseroles réduit le transfert de chaleur allant même jusqu'à favoriser une cuisson des sucres qui y sont emprisonnés. Ici encore, des défauts de saveur de caramélisé à brûlé apparaîtront. Un mouvement de la solution maximal et constant réduira le rythme de déposition.

## 10.8 Couleur du sirop

Normalement, la couleur du sirop de bouleau passe du ambré clair au rouge-brun foncé. La couleur dépendra en partie du moment de la collecte et du degré d'exposition de la sève à la chaleur au

cours des différentes étapes de son traitement. Il est plus clair en début de saison et possède une saveur plus subtile. Les sirops foncés de fin de saison sont plus corsés et renferment un goût plus prononcé.

Lors de l'évaporation de l'eau, le fructose contenu dans la sève de bouleau se caramélise lorsqu'il entre en contact avec le fond des panes de l'évaporateur. Dans la pratique, ce phénomène commence approximativement à une température de 93 °C (Dixon-Warren 2008). Plus le temps d'évaporation de l'eau sera long avant d'atteindre une densité de 5° Brix, plus la couleur du produit final sera foncée. Un sirop de qualité sera donc obtenu en réduisant le plus possible la quantité d'eau à évaporer dès le départ de son ébullition.

La caramélisation ainsi causée est influencée par deux phénomènes (Boucher, non daté.) :

### *Les types de sucres*

Rappelons que la sève de bouleau contient principalement du fructose et du glucose, soit deux sucres très sensibles à l'action de la chaleur. Une sève dont la dégradation a débuté en raison de la présence de microorganisme produira également un sirop foncé.

### *Le niveau d'exposition à une surface chaude*

La caramélisation des molécules de sucres sensibles à la chaleur sera d'autant plus accentuée si celles-ci sont en contact avec une surface chaude. Il existe trois facteurs influençant le niveau d'exposition à une surface chaude.

- Plus long est le temps de séjour de la sève dans l'évaporateur en raison notamment d'un taux d'évaporation trop faible, un niveau de la solution trop élevée dans les casseroles ou encore par un arrêt-départ de l'évaporateur, plus élevé sera la possibilité que les molécules de sucres entrent en contact avec une surface chaude.
- Le phénomène de caramélisation sera d'autant intense en présence d'une température élevée du métal au fond de la casserole.
- Un faible niveau de solution dans l'évaporateur ainsi que la présence de plis très rapprochés dans les casseroles favorisent la caramélisation en raison de la probabilité pour les molécules de sucres d'entrer en contact avec une surface chaude.

La durée et l'intensité du traitement thermique ainsi que la hauteur de la solution dans les casseroles sont tous des facteurs importants dans le développement de la couleur, tout comme la saveur, du sirop. Il importe donc de pouvoir les contrôler de la meilleure façon. L'évaporateur au bois comporte un avantage à ce chapitre en permettant une plus grande flexibilité. En effet,

sur un évaporateur il est relativement facile de modifier légèrement la hauteur de la solution dans les casseroles, de réduire ou d'augmenter le taux d'alimentation en combustible, de modifier le tirage dans la cheminée, de changer la composition et le pouvoir calorifique du combustible en utilisant des essences différentes, ou encore en incorporant, dans des proportions variables, des billes de moins bonne qualité (bois altéré par la carie ou la pourriture).

Ce type de modulation est définitivement plus difficile dans les évaporateurs utilisant le mazout comme combustible. Si le flux d'énergie et les surfaces d'échange sont constants, il ne reste que le volume de la solution dans l'évaporateur sur lequel l'opérateur peut exercer un contrôle à l'intérieur de certaines limites (voir rubrique 1000, section 7.0, *Cahier de transfert technologique en acériculture*, Allard et Belzyle 2004).

## 10.9 Saveur

La présence d'une saveur de caramel ou pire encore de brûlé, quelle que soit la couleur du sirop produit, est un indice de mauvais fonctionnement du système d'évaporation ou de son opération. À noter que la saveur de caramel n'est pas un défaut en soi si son intensité ne masque pas le goût caractéristique du sirop de bouleau.

La saveur de chaque nouveau lot de fabrication de sirop devrait faire l'objet d'une caractérisation dès que celui-ci atteint la température de la pièce. Il suffit alors de le comparer à un sirop dont la saveur est très ou remarquablement caractéristique d'un sirop d'excellente qualité et reconnu pour son absence de défaut de saveur. La même approche devrait être appliquée pour comparer et évaluer la couleur du sirop à chaque lot de production en indiquant le pourcentage de transmittance (T%) mesuré à l'aide d'un photomètre.

La rubrique 1000 de la section 9 du *Cahier de transfert technologique en acériculture* (Allard et Belzyle 2004) met en évidence l'importance de tenir un registre dans lequel sont notamment inscrites les caractéristiques du sirop pour chaque lot de production. Au cours des années, les renseignements consignés dans ce registre pourront servir à établir des diagnostics précis quant aux causes probables d'une éventuelle détérioration des performances des systèmes de production (systèmes de collecte, d'évaporation, de conditionnement, d'emballage du sirop, etc.).

# 11. CONDITIONNEMENT ET MISE EN CONTENANT DU SIROP DE BOULEAU

La fabrication du sirop de bouleau qui est le résultat d'un processus d'évaporation à la pression atmosphérique donnant lieu à une solution légèrement sursaturée en sucre ne devrait poser aucun problème de conservation. La sève fut en principe complètement stérilisée lors de son passage dans le système d'évaporation à une température constamment maintenue au-dessus de 100 °C (212 °F). D'autre part, la haute teneur en sucre (66 °Brix et plus) de la solution résultante inhibe presque entièrement toute possibilité de développement d'une microflore microbienne responsable de la fermentation.

Malgré tout, un nombre élevé de contenants de sirop, petits ou grands, présentant des signes de fermentation après seulement quelques mois d'entreposage est fréquent dans l'industrie acéricole. La dégradation du produit peut souvent se traduire par sa saisie, son retrait du circuit commercial et sa destruction. Depuis le prélèvement du sirop du système d'évaporation jusqu'à sa mise en contenant, il importe de s'assurer d'en préserver la stérilité et d'éliminer tout risque de contamination chimique ou physique dans les contenants avant ou en cours d'entreposage. Mais avant, un certain conditionnement qui consiste à la filtration du sirop est nécessaire.

## 11.1 Filtration du sirop de bouleau

Si une partie des sels formés dans l'évaporateur se dépose sur les parois et au fond des casseroles, l'autre partie de ces sels, appelés «râche», demeure en suspension dans la solution. Ils confèrent une texture désagréable au sirop qui peut même jusqu'à déprécier sa saveur caractéristique. En plus, le sirop prendra une apparence terne ou brouillée affectant la mesure de sa couleur lorsque celle-ci est effectuée à l'aide d'un spectrophotomètre. En acériculture, les règlements relatifs aux produits de l'érable obligent le producteur à filtrer adéquatement son sirop avant d'en faire la mise en marché.

Il existe deux techniques de filtration : la technique de filtration par gravité et celle sous pression. La première consiste tout simplement à faire passer le sirop encore chaud au travers d'un matériel textile formé ou cousu en forme de bonnet. Dans ce cas, seul

le poids du sirop représente la force mécanique lui permettant de traverser le filtre, d'où l'appellation de cette technique. Il s'agit d'une technique relativement lente et exigeant plusieurs manipulations. Cependant, elle est simple d'application et convient bien à des productions de faible volume.

Dans le cas de la filtration sous pression, cette technique fait appel comme élément filtrant à de la poudre généralement constituée d'une terre de diatomées. Il s'agit d'un matériel granulaire de couleur blanche et d'apparence poudreuse provenant des restes fossilisés d'algues brunes unicellulaires, les diatomées. Cette terre de diatomées est utilisée pour la filtration de plusieurs produits agroalimentaires, entre autres, pour la bière, le vin, les jus, etc..

La poudre filtrante, qui est le véritable filtre de la technique de filtration sous pression, «forme un lit de filtration» dont la porosité dépend en premier lieu de sa granulométrie. Il est recommandé d'utiliser une poudre à filtrer dont la granulométrie permet de former un lit de filtration ayant une porosité moyenne variant entre 15 et 20 microns. D'autre part, la rigueur avec laquelle ce lit aura été construit déterminera à la fois la qualité de filtration et le volume de sirop qui pourra être filtré. Il est recommandé d'effectuer le chargement du filtre en utilisant un fluide dont la viscosité est faible (par exemple de l'eau chaude) et ne contenant pas de particules susceptibles de contaminer et de colmater partiellement le lit de filtration. On doit s'assurer de ne pas occuper tout l'espace disponible dans les chambres de filtration. De façon générale, au moins 50% de l'espace disponible à l'intérieur des chambres de filtration devrait permettre de loger le matériel (râche) apporté par le sirop.

Il importe également d'utiliser un volume suffisant de poudre à filtrer, au moins 3 mm (1/8 po) d'épaisseur de façon à former un lit de filtration suffisamment épais pour optimiser le volume de sirop à filtrer à chaque chargement. À la section 9, rubrique 900, du *Cahier de transfert technologique en acériculture* (Allard et Belzyle 2004), un tableau sert de guide quant au volume de poudre à utiliser pour différents modèles de filtres à plaques carrées.

## 11.2 Mise en contenant du sirop de bouleau

### 11.2.1 Vérification et préparation des petits contenants

Les produits alimentaires font l'objet d'une réglementation rigoureuse pour en assurer la qualité auprès du consommateur et informer celui-ci pour qu'il puisse faire la distinction entre les différents aliments et entre les différentes marques de commerce ou fabricants. Ce faisant, il sera en mesure de faire un choix éclairé à l'achat. En s'inspirant des dispositions réglementaires relatives aux sirops d'érable, seuls les petits contenants sont autorisés pour le commerce au détail. La définition donnée à la section 8.1, du chapitre 8 du *Règlement sur les aliments* (R.R.Q.c. P-29, r.1), réfère à un récipient ou contenant d'une capacité d'au plus 5 litres. Les contenants de 125 et 250 ml sont généralement les plus utilisés pour la vente au détail du sirop de bouleau.

Les contenants ne doivent jamais avoir été utilisés auparavant et doivent posséder une forme pour être remplis à au moins 90% de leur capacité (Allard et Belzyle 2004). Les petits contenants doivent être choisis parmi ceux approuvés par l'Agence canadienne d'inspection des aliments. Sinon, il faut obtenir l'assurance auprès du manufacturier que les contenants proposés rencontrent les normes pour recevoir un produit alimentaire tel que le sirop de bouleau à une température de plus 85 °C (ou 185 °F) sans perte de ses caractéristiques de conservation.

Il importe de toujours s'assurer d'éliminer toute source de contamination. Pour ce faire voici quelques règles à suivre :

- l'emballage des contenants doit être complet et bien fermé à la réception de façon à prévenir une éventuelle contamination. Dans le cas contraire, ne pas hésiter à retourner le tout au fournisseur;
- l'ouverture de l'emballage doit se faire dans un endroit le plus propre possible qui est exempt de poussières et de contaminants en suspension dans l'air ambiant;
- une inspection visuelle des contenants doit être effectuée avant de verser le sirop. Dans le doute de la présence d'une anomalie, d'un débris ou un quelconque signe de contamination, les retourner au fournisseur;
- laisser les petits contenants dans leur emballage d'origine et toujours en position inversée, à savoir le goulot orienté vers le bas, jusqu'à leur utilisation;
- la même précaution s'applique à la face interne des couvercles.

La sélection du petit contenant doit permettre de valoriser le produit auprès de la clientèle visée et d'y apposer une étiquette. Le contenu de l'étiquette doit répondre aux dispositions réglementaires du gouvernement du Canada concernant l'étiquetage d'un produit alimentaire. Pour ce faire, il est conseillé de communiquer avec l'Agence canadienne d'inspection des aliments située au 25, rue des Forges à Trois-Rivières, au numéro (819) 371-5268.

### 11.2.2 Préparation et vérification des grands contenants

Toujours en s'inspirant des dispositions du *Règlement sur les aliments* (R.R.Q.c. P-29, r.1) portant sur les produits de l'érable, le terme «grand contenant» réfère à tout récipient ou contenant d'une capacité de plus de 5 litres. Ils sont prescrits pour la vente en vrac du sirop.

Une attention aussi parcimonieuse sur la vérification et la préparation des grands contenants prévaut comme dans le cas des petits contenants, y compris, celle de vous assurer qu'ils répondent à tous les critères pour recevoir un produit alimentaire tel que le sirop de bouleau à une température de plus 85 °C (ou 185 °F) sans perte de ses caractéristiques de conservation. À cela, s'ajoute quelques règles supplémentaires telles que :

- les barils doivent être propres et en bon état;
- ils doivent être exempts de liquide et hermétiquement fermés de façon à éviter leur contamination;
- si les barils sont destinés à des remplissages multiples, leur configuration doit permettre un lavage facile et un drainage complet des eaux de drainage;
- ils doivent être lavés à l'eau chaude ou à la vapeur, et asséchés;
- les contenants doivent pouvoir être scellés parfaitement de façon à résister au vide généré par le retrait du sirop lors de son refroidissement;
- s'assurer de la qualité des joints d'étanchéité au niveau des orifices de remplissage et de vidange;
- si lors de l'entreposage les barils doivent être superposés, il faut qu'ils possèdent la rigidité mécanique nécessaire pour supporter le poids sans déformation.

## 11.3 Mise en contenant du sirop

Le sirop doit être filtré lorsqu'il est prélevé de l'évaporateur. Après la filtration, la température du sirop doit être maintenue ou relevée, si nécessaire, dans un bain-marie ou dans tout autre contenant entre 82 et 85 °C (entre 180 et 185 °F), et il faut s'assurer que la densité du sirop soit à au moins 66 °Brix. Ces deux variables doivent être rigoureusement respectées durant toute la procédure de mise en contenant.

Par ailleurs, certaines des réactions chimiques qui se produisent dans l'évaporateur sont responsables du brunissement de la solution sous l'effet de la température. Il a été observé dans l'industrie acéricole que ce brunissement pouvait se poursuivre dans le contenant si la température demeure suffisamment élevée pendant une longue période. Ce phénomène fut plus fréquemment observé pour un sirop qui était plus foncé au point de départ. La seule façon efficace de réduire le brunissement en contenant demeure incontestablement le refroidissement rapide de ces derniers. Ce refroidissement devrait débuter dans les 5 à 10 minutes suivant leur remplissage.

### 11.3.1 Petits contenants

- Certains types de petits contenants présentent une paroi relativement épaisse qui empêche le sirop chaud d'atteindre la température de stérilisation sur toutes les surfaces. Un préchauffage des contenants est alors requis en prenant soin de respecter les limites de température fixées par le manufacturier;
- ne prélever que le nombre requis de petits contenants pour chaque opération de mise en contenant afin de conserver le plus longtemps possible les autres dans leur emballage d'origine;
- poser le couvercle et sceller le contenant aussitôt le remplissage effectué sans attendre qu'ils soient tous remplis pour le faire;
- une fois bien scellé, retourner immédiatement le contenant de façon à ce que le sirop chaud stérilise l'intérieur du couvercle. Après 5 à 10 minutes, refroidir les contenants le plus rapidement possible;
- conserver deux échantillons (petits contenants) par lot de sirop mis en contenant qu'il faudra prendre soin de colliger dans un registre. Après 2 ou 3 semaines d'entreposage, ouvrir un des échantillons et vérifier la saveur du sirop. Advenant une altération de la qualité du sirop, toutes les unités du lot pourront être retirées du circuit de la vente s'il y a lieu;
- la procédure précédente s'applique au deuxième échantillon du lot si des unités sont encore entreposées après 6 mois.

### 11.3.2 Grands contenants

- Dans la mesure du possible, remplir complètement un ou plusieurs barils d'une coulée continue;
- un baril est considéré rempli complètement lorsque le sirop chaud monte dans les filets de l'orifice de remplissage de façon à limiter le plus possible «l'espace de tête»;
- fermer hermétiquement les bouchons de remplissage et de vidange;
- s'assurer de toute absence d'infiltration d'air à l'intérieur du baril par les soudures ou joints de sertissage, y compris lors du refroidissement du sirop;
- si le baril a été rempli par la face latérale, le faire tourner d'environ 180 degrés, et s'il a été rempli en position verticale, le coucher sur le côté. Cette procédure vise à ce que le sirop chaud stérilise les surfaces internes du baril qui n'ont pas été mises en contact avec le sirop lors du remplissage;
- laisser reposer le baril dans cette position environ 10 à 15 minutes et refroidir rapidement le baril par la suite;
- si le volume de sirop restant d'un lot est insuffisant pour remplir complètement un autre baril, utiliser des contenants de plus petites capacités;
- si pour une quelconque raison il est impossible de mettre le volume excédentaire dans des petits contenants, prenez note que ce sirop ne pourra se conserver que quelques semaines sans fermentation;
- aussitôt que possible, utiliser des lots incomplets pour constituer un lot complet et effectuer une mise en contenant permettant de stabiliser le sirop;
- éviter d'ajouter du sirop chaud dans un baril partiellement rempli. La température du mélange serait insuffisante pour stériliser les parois du contenant et les risques de contamination et de fermentation du lot résultant du mélange s'en trouveraient considérablement augmentés. Dans un tel cas, procéder de la façon décrite à la rubrique ci-après (*voir Préparation du sirop à partir de sirops en vrac*);
- ne jamais livrer un baril qui n'est que partiellement rempli;
- comme pour les petits contenants, procéder à deux échantillonnages pour éventuellement détecter des détails de procédure altérant la qualité des produits et retracer des unités de lot affectées.

## 11.4 Préparation du sirop à partir de sirop en vrac

Un contenant qui n'aura été que partiellement rempli de sirop chaud n'offrira pas la protection suffisante pour contrer les risques de contamination. Le sirop devra être conditionné (chauffé, filtré et mis en contenant) dans les semaines qui suivent. Que ce soit pour compléter un autre lot incomplet ou l'utiliser pour le verser dans des petits contenants, la procédure à suivre est la suivante :

- verser et chauffer le sirop provenant du baril dans une casserole pouvant être chauffé avec une source de chaleur facilement contrôlable et pas trop intense comme par exemple un petit brûleur fonctionnant au propane;
- agiter le sirop avec, par exemple, une spatule en bois, de façon à prévenir un début d'ébullition;
- dès que le sirop a atteint une température entre 82 et 85 °C (entre 180 et 185 °F), filtrer avec idéalement un filtre sous pression et procéder à la mise en contenant tel que décrit précédemment.



# 12. ANALYSE ÉCONOMIQUE

La présente section vise à donner un portrait forestier représentatif de la région qui servira de canevas d'analyse pour évaluer dans quelle mesure la production de sirop de bouleau s'intègre bien avec la production de matière ligneuse dans une perspective de développement durable. Les données analysées sont celles qui sont normalement utilisées pour poser un diagnostic sylvicole sur un site, soit la densité des tiges par essence, le volume de matière ligneuse, la régénération forestière, le diamètre des tiges, leur hauteur, l'âge du peuplement ainsi que le groupe écologique et la qualité du site. Compte tenu qu'il est recommandé d'utiliser des tiges de 20 cm et plus pour la collecte de la sève, ce paramètre est également considéré comme prémisses.

## 12.1 Secteur d'expérimentation

### 12.1.1 Portrait forestier

Le secteur forestier d'expérimentation est celui sur lequel la sève a été prélevée au printemps 2009 dans le cadre d'un projet de production de sirop de bouleau chapeauté par la Forêt modèle du Lac-Saint-Jean. Ce secteur forestier est désigné par l'appellation **BBBBPG 50 A3 RSA 20** sur la carte écoforestière du ministère des Ressources naturelles et de la Faune (M.R.N.F), soit un peuplement mélangé à dominance de bouleau blanc avec pin gris, de densité forte et de classe d'âge de 50 ans. Tel qu'indiqué au tableau 6, le bouleau blanc compte pour près de 88% de l'ensemble des tiges commerciales (945 tiges/ha des classes de 10 cm et plus de diamètre).

Le type écologique cartographié est celui de la sapinière à épinette noire sur dépôt très mince, de texture variée et au drainage de xérique à hydrique. Ce type écologique se rencontre habituellement (...) *sur les versants des collines dont la pente est courte et irrégulière, où le dépôt est peu épais et les affleurements rocheux nombreux.* (Blouin, J. et J.-P. Berger 2000).

Les données apparaissant au tableau 6 sont issues d'un inventaire réalisé à l'intérieur de 5 placettes d'échantillons de type temporaire à rayons fixes. Quant aux études d'arbre servant à déterminer la qualité du site, elles ont été réalisées à raison de trois tiges sélectionnées par placette dans l'étage dominant<sup>1</sup> ou codominant<sup>2</sup>. L'âge moyen (51,5 ans) observé sur ces tiges confirme la justesse de ce paramètre dans l'appellation cartographique (classe d'âge de 50 ans). La forte dominance des tiges commerciales de bouleau conjuguée à la faible présence de régénération résineuse confèrent au site une vocation de production, sur le plan forestier, orientée vers le bouleau blanc. En outre, une telle orientation de production est compatible avec un groupe écologique de type RS (sapinière à épinette noire).

### 12.1.2 Valeur marchande de la matière ligneuse

Bien que le peuplement puisse se prêter à une récolte de sève, le nombre relativement faible de tiges de 20 cm et plus de diamètre (20 tiges/ha) indique que les conditions pour une telle activité ne sont pas appropriées. Une période d'attente est donc requise avant que de telles conditions puissent se présenter ce qui, par ailleurs, rend pertinente la détermination de la maturité du peuplement afin d'évaluer à quel point la recherche des conditions idéales pour la production de sirop de bouleau s'intègre bien avec la production de matière ligneuse.

<sup>1</sup> Arbre dont la hauteur dépasse l'espace occupé par les codominants. Sa cime s'étend au-delà du niveau général du couvert principal.

<sup>2</sup> Arbre qui occupe l'espace où se situe généralement la majorité des hauteurs au 2/3 de la hauteur des arbres dominants. Sa cime contribue à former le niveau général du couvert du peuplement.

**TABLEAU 6**

Caractéristiques forestières du secteur d'expérimentation

Variables	Essences <sup>1</sup>						
	Epn	Pig	Sous-total	Bop	Pet	Sous-total	Total
Tiges/ha (10cm+)	35	30	65	945 (87,9%)	65	1010	1075 (100%)
Tiges/ha (20cm+)	0	25	25	20	45	65	90
Gaulis/ha (9cm-)	500	0	500	700	450	1150	1650
Semis (%)	8	0	8	24	8	32	40
Volume/ha (m <sup>3</sup> )	2,0 (2%)	9,5 (10%)	11,5 (12%)	62,4 (67%)	19,1 (21%)	81,5 (88%)	93,0 (100%)
Diam. moy. (total)	8	23	14	13	17	13	13
Diam. moy. (10cm+)	13	23	18	13	22	14	14
Études d'arbre							
Diamètre (cm)	16,0						
Hauteur moyenne (cm)	16,2						
Âge (ans)	51,5						

### Âge d'exploitabilité

Actuellement, la maturité forestière est déterminée, au Québec, par l'âge d'exploitabilité absolue, c'est-à-dire l'âge pour lequel l'accroissement annuel moyen des tiges est égal à l'accroissement annuel courant. Pour déterminer l'âge d'exploitabilité absolue du site, une courbe de rendement moyenne est calculée à partir des courbes de rendement par essence tirées du Manuel d'aménagement forestier (2000) (Tableau 7). Ces courbes par essence sont valables actuellement pour la forêt privée<sup>2</sup>. La courbe résultante est issue d'une pondération des courbes individuelles par la proportion du volume par essences des tiges sur pied. La courbe de rendement finale est issue d'un ajustement de la courbe pondérée en fonction du volume actuel observé.

À titre d'exemple, la courbe pondérée présente 112 m<sup>3</sup>/ha à 50 ans, alors que le volume actuel sur le site est de 93 m<sup>3</sup>/ha (Tableau 6). La courbe de rendement finale est donc ajustée de façon à permettre l'évolution du volume observé. Cette procédure d'ajustement est considérée comme valable dans le cas où le volume observé ne s'écarte pas plus de 50% du volume issu de la courbe pondérée (Anonyme 2003).

En regard au tableau 7, l'âge d'exploitabilité absolue pour l'ensemble des tiges commerciales (diamètre supérieur à 9 cm au d.h.p.) s'établit à 64 ans. Une récolte actuelle de matière ligneuse dans le secteur d'expérimentation serait donc prématurée pour une production optimale de matière ligneuse, alors qu'une période d'attente supplémentaire d'une quinzaine d'années serait requise à cette fin.

Mentionnons qu'en forêt publique, l'âge d'exploitabilité absolue des tiges de 13 cm et plus au d.h.p. des tables de Pothier est l'âge d'exploitabilité de référence des peuplements naturels dans toutes les séries d'aménagement des Unités d'aménagement forestier (U.A.F.) dont les bois sont destinés au sciage<sup>3</sup> afin de favoriser la présence de tiges au diamètre plus élevé lors de la récolte. Le Manuel d'aménagement forestier rend également disponible l'âge d'exploitabilité pour les tiges de 17 cm et plus, ce qui se rapproche davantage d'un critère de gestion pour la production de sirop de bouleau.

En bref, un âge d'exploitabilité absolue des tiges de 9 cm et plus permet d'atteindre une quantité optimale de fibre ligneuse, alors que celui de diamètres supérieurs comme 13 cm ou 17 cm et plus permet, malgré une perte probable de fibre, l'atteinte de dimensions supérieures des tiges à la récolte, ce qui est davantage propice à des produits à valeur ajoutée. L'analyse qui suit considère d'abord l'âge d'exploitabilité des tiges de 9 cm et plus, puis celui des diamètres plus élevés.

<sup>1</sup> Epn: épinette noire; Pig: pin gris; Bop: bouleau blanc; Pet: peuplier faux-tremble.

<sup>2</sup> Jean Paquet (comm. pers.). Directeur, Agence régionale de mise en valeur des forêts privées.

<sup>3</sup> [ftp://ftp.mrnfp.gouv.qc.ca/Public/PGAF/ORIENTATIONS\\_MINISTÉRIELLES/PGAF-OM-12.pdf](ftp://ftp.mrnfp.gouv.qc.ca/Public/PGAF/ORIENTATIONS_MINISTÉRIELLES/PGAF-OM-12.pdf)

**TABLEAU 7**  
Courbe de rendement

Courbes de rendement (m <sup>3</sup> /ha)						
Âge (ans)	Bop	Pet	Epn	Pig	Moy. pond.	Courbe finale
	(67% vol.)	(21% vol.)	(2% vol.)	(10% vol.)		
20		48			11	9
25	11	82	9	15	28	23
30	21	117	20	27	45	37
35	33	149	32	40	62	52
40	46	178	46	54	80	67
45	59	202	59	67	97	80
50	72	223	72	80	112	93
55	84	240	85	92	126	105
60	95	254	96	103	139	115
65	106	266	106	112	151	125
70	115	276	115	121	161	133
75	124	285	124	129	170	141
80	133	292	131	136	179	149
85	140	298	138	142	186	155
90	147	303	144	148	193	161
95	153	302	149	153	198	164
100	159	292	154	158	201	167
105	165	270	159	162	201	167
110	170	237	163	164	197	164
115	173	189	166	162	188	156
120	173	122	169	157	173	143
125	170		173	148	142	118

130	163		175	134	136	113
135	152		178	115	126	104
140	136		180	90	112	93
145	116		181	56	93	78
150	90		180		69	57
155	55		179		43	36
160			176		4	3
165			172		4	3
170			167		4	3
175			161		3	3
180			154		3	3
185			145		3	3
190			134		3	2
195			123		3	2
200			109		2	2
	70	45	70	65	64	
	80	50	85	75	73	
	105	55	95	85	92	
	<b>Âge actuel du peuplement</b>					
	<b>Volume maximal atteint</b>					
	<b>Maturité à la souche (ans) pour les tiges de 9 cm+ au d.h.p.</b>					
	<b>Maturité à la souche (ans) pour les tiges de 13 cm+ au d.h.p.</b>					
	<b>Maturité à la souche (ans) pour les tiges de 17 cm+ au d.h.p.</b>					

### Revenus nets

Pour l'ensemble des tiges commerciales (d.h.p.>9 cm), une récolte à l'âge d'exploitabilité (64 ans) atteindrait quelque 123 m<sup>3</sup>/ha (**Tableau 7**), soit un rendement moyen de 1,9 m<sup>3</sup>/ha/an. Afin d'établir la valeur monétaire de la matière ligneuse sur le site à ce moment, les prix du mètre cube offerts aux propriétaires de lots privés par le Syndicat des producteurs de bois du Saguenay-Lac-Saint-Jean sont utilisés. Ce choix permet de simplifier l'analyse et est d'autant plus justifié que la production de sirop de bouleau est une activité à fort potentiel en forêt privée pour des raisons notamment de proximité, d'accessibilité et d'abondance de matière première, ce qui n'exclut pas la pratique de cette activité en forêt publique. Les prix du bois offerts aux producteurs pour l'année 2008 sont présentés au tableau 8.

Les prix retenus pour les besoins de l'analyse de rentabilité sont de **51,00\$/m<sup>3</sup>** pour les essences sans perte des tiges sur pied. Le propriétaire du site recevrait, s'il était localisé en forêt privée, **752,76\$/m<sup>3</sup>** pour les tiges résineuses (123 m<sup>3</sup>/ha X 51,00\$/m<sup>3</sup> X 12%= 752,76\$/ha) et de **30,00\$/m<sup>3</sup>** pour les essences feuillues<sup>1</sup>. Ainsi, dans le cas d'une récolte complète 4 070,00\$/ha pour les tiges feuillues (123 m<sup>3</sup>/ha X 30,00\$/m<sup>3</sup> X 88%= 3 247,20\$/ha), soit un total de **3 999,96\$/m<sup>3</sup>**.

<sup>1</sup> Le bouleau ne figure plus en 2010 sur la liste des prix en raison de fermetures d'usines en région. Le prix de 30\$/m<sup>3</sup> pour le tremble sera retenu pour les fins de l'exercice. Mentionnons qu'en 2008, le prix pour le bouleau s'élevait à 37\$/m<sup>3</sup>.

Comme il est courant de considérer que les coûts d'exploitation en forêt privée s'évaluent à environ 50% du prix de la matière ligneuse, le revenu net s'élèverait donc à **1 999,98\$/m<sup>3</sup>**, ce qui correspond à **31,25\$/m<sup>3</sup>** en dollars actuels pour l'âge d'exploitabilité des tiges de 9 cm et plus (64 ans) au d.h.p. Le même exercice générerait des rendements monétaires moyens de **30,52\$/m<sup>3</sup>** et de **28,63\$/m<sup>3</sup>** pour l'âge d'exploitabilité des tiges de 13 cm et plus (73 ans) et de 17 cm et plus (92 ans) au d.h.p. respectivement.

Les revenus mentionnés ci-dessus sont donc ceux qui seraient générés lors de la récolte des tiges du secteur d'expérimentation dans un contexte de forêt privée. Pour comparer la rentabilité relative de la production de sirop à celle de la récolte des tiges, il importe de connaître le nombre de tiges de 20 cm et plus au d.h.p. aux différents âges d'exploitabilité ciblés, ce qui n'est pas possible actuellement pour le secteur d'expérimentation car seule la classe d'âge de 50 ans est représentée. Il serait certes possible de simuler le volume de matière ligneuse ainsi que le diamètre moyen des tiges dans le temps à l'aide des courbes de rendement, mais le nombre de tiges de 20 cm demeurerait toujours inconnu.

**TABLEAU 8**

Prix provisoires 2010<sup>1</sup>. Syndicat des producteurs de bois du Saguenay-Lac-Saint-Jean.

Produits	Essences et spécifications		\$/m <sup>3</sup> solide
<b>Sciage</b>			
Résineux	Épinettes, sapin, pin gris (2,54 cm, 3,20 cm, 3,76 cm, 5,08 cm)	Tronçonné longueur	51,00\$ 47,00\$
	Mélèze, pin blanc, pin rouge (3,76 cm)	Tronçonné	40,00\$
Feuillus	Tremble (3,20 cm)	Tronçonné	30,00\$
<b>Copeaux</b>			
Résineux	Épinettes, sapin, pin gris (2,54 cm)		28,00\$

Afin d'utiliser des données dendrométriques incluant la densité des tiges à différentes classes d'âge pour des peuplements de bouleau blanc, l'inventaire écoforestier réalisé sur les terres publiques intramunicipales (T.P.I.) de la M.R.C. du Domaine-du-Roy a été utilisé. La plupart des peuplements de bouleau de la M.R.C. se trouvent dans le domaine de la sapinière à bouleau blanc **où les conditions de site se prêtent bien à l'aménagement de l'espèce**. Mentionnons qu'un projet de production de sirop de bouleau s'inscrit très bien dans la vision stratégique de développement territorial de la M.R.C. qui cible en particulier ses « (...) *secteurs d'excellence que sont la forêt, ses produits, l'agroalimentaire et le tourisme* »<sup>2</sup>. Comme les T.P.I. sont

situées à proximité de zones périurbaines, une production de sirop se réalisant dans ces secteurs contribuerait certes au développement forestier procurant des bénéfices durables aux communautés locales.

## 12.2 Territoire de simulation

Les valeurs moyennes issues des placettes échantillons réalisées sur les T.P.I. ont été compilées pour les strates regroupées de 30 ans, 50 ans, 70 ans et 90 ans caractérisant des peuplements de bouleau blanc dont la densité du couvert est élevée (classes A et B<sup>3</sup>). Chacune des strates regroupées représente donc une situation réelle moyenne sur le territoire pour laquelle il sera possible de juger à quel point les conditions du site, dont le nombre de tiges de 20 cm et plus au d.h.p., se prêtent à la récolte de sève et pour combien de temps compte tenu de l'âge d'exploitabilité des peuplements. Par ailleurs, un territoire ayant comme objectif la production de sirop de bouleau doit idéalement contenir différents stades de développement afin d'assurer un approvisionnement de sève sur une base annuelle à long terme, ce qui n'est pas le cas du secteur d'expérimentation. Ce dernier ne supporte actuellement qu'une classe d'âge de 50 ans qui, dans un contexte de production de matière ligneuse, serait en grande partie récolté vers l'âge de 73 ans (Tableau 7).

Il importe de souligner qu'un territoire aux classes d'âge diversifiées ne pourra permettre une récolte de sève que sur une partie de sa superficie, soit celle présentant le nombre minimal de tiges commerciales aux dimensions requises, mais permettra d'assurer un approvisionnement constant en sève. L'analyse de la rentabilité de la production de sirop permettra de déterminer quelle est la superficie minimale requise en tout temps offrant le nombre minimal de tiges de bouleau pour un approvisionnement adéquat. Mentionnons, en outre, qu'un territoire aux classes d'âge diversifiées favorise davantage la préservation de la biodiversité ainsi que la pratique d'activités durables diverses comparativement à un seul peuplement équienne sur un même territoire donné.

Bien que les différents peuplements de bouleau échantillonnés sur les T.P.I. de la M.R.C. du Domaine-du-Roy soient répartis en réalité sur des sites qui peuvent être relativement éloignés les uns des autres, la simulation suppose qu'ils sont regroupés dans un même secteur et qu'ils offrent des conditions de récolte de sève similaires, ce qui devrait être recherché dans les situations réelles de production de sirop. La simulation préconisée contient les classes d'âge de 10 ans, 30 ans, 50 ans, 70 ans et 90 ans avec une superficie d'égale importance pour chacune d'elles. Un résumé des données d'inventaire est présenté par classe d'âge au tableau 9.

<sup>1</sup> [www.spbsaglac.qc.ca/?ref=miseListePrix.php](http://www.spbsaglac.qc.ca/?ref=miseListePrix.php)

<sup>2</sup> [www.domaineduroy.ca/menu.php?idDetail=75&idCategorie=8&idSousCategorie=117&idSousSousCategorie=](http://www.domaineduroy.ca/menu.php?idDetail=75&idCategorie=8&idSousCategorie=117&idSousSousCategorie=)

<sup>3</sup> Seule la classe de densité moyenne (C) était disponible pour la classe d'âge de 90 ans.

Les peuplements d'**origine** sont ceux qui ont subi une perturbation majeure récemment. Aucune récolte de sève n'est possible dans ce cas et les traitements sylvicoles prescrits dans une telle situation sont orientés de façon à assurer une bonne régénération en bouleau blanc (e.g. scarifiage avec réserve de semenciers).

Les sites avec une **classe d'âge de 10 ans** sont ceux qui présentent une régénération qui a souvent atteint un stade où des traitements d'éducation comme l'éclaircie précommerciale peuvent être appliquée. Ces sites ne se prêtent donc pas encore à la récolte de sève pour l'instant.

Les sites avec une **classe d'âge de 30 ans** supportent dans l'exemple présenté 58 tiges à l'hectare de bouleau dont le d.h.p. est de 20 cm ou plus. Comme ce sont les seules tiges de bouleau aux dimensions commerciales présentes, il semble probable que ce soit des rémanents du peuplement antérieur. Les études d'arbre révèlent d'ailleurs un âge moyen de près de 70 ans. Pour cette raison, le volume de matière ligneuse (88 m<sup>3</sup>/ha) ainsi que le diamètre moyen (29 cm) des tiges commerciales apparaissant au tableau 9 sont peu représentatifs des caractéristiques d'une strate de 30 ans. Suivant la courbe de rendement, le volume devrait se situer aux environs de 23 m<sup>3</sup>/ha. Dans des conditions normales, un peuplement de 30 ans ne devrait pas présenter des caractéristiques permettant une récolte de sève intensive. Mentionnons que cette classe d'âge n'est représentée que par 3 placettes échantillons sur les T.P.I.

**TABLEAU 9**

Données dendrométriques moyennes par classe d'âge pour le territoire de simulation

Variables	Classes d'âge					
	Origine*	10 ans**	30 ans	50 ans	70 ans	90 ans
Tiges/ha tot.	-	-	717	945	2413	971
Tiges/ha comm.	-	-	467	795	621	679
Tiges/ha Bou 10 cm+	-	-	58	605	500	268
<b>Tiges/ha Bou20 cm+</b>	-	-	<b>58</b>	<b>110</b>	<b>333</b>	<b>161</b>
Volume	-	-	88 m <sup>3</sup> /ha	97 m <sup>3</sup> /ha	187 m <sup>3</sup> /ha	188 m <sup>3</sup> /ha
Diam. moy. comm Bou	-	-	29 cm	16 cm	23 cm	22 cm
Maturité 9 cm+	-	-	70 ans	58 ans	85 ans	79 ans
Maturité 13 cm+	-	-	80 ans	68 ans	85 ans	82 ans
Maturité 17 cm+	-	-	100 ans	89 ans	109 ans	97 ans

\* Traitements de régénération du bouleau – aucune récolte de sève.

\*\* Peuplements jeunes – traitements d'éducation – aucune récolte de sève.

Les sites avec une **classe d'âge de 50 ans** présentent des caractéristiques qui se prêtent à la production de sirop de bouleau avec un nombre de tiges dont le diamètre est supérieur à 20 cm atteignant 110 à l'hectare (**Tableau 9**). Il serait donc opportun de bénéficier des tiges en place le plus longtemps possible avant le renouvellement du couvert. À cet égard, l'âge d'exploitabilité des tiges de 13 cm et plus ou de 17 cm et plus au d.h.p. semble approprié, dans la mesure où il contribue à la rentabilité de la production de sirop, de même qu'à celle de la production de matière ligneuse.

Les sites avec une **classe d'âge de 70 ans** sont ceux qui contiennent le plus grand nombre de tiges de bouleau de 20 cm et plus au d.h.p., soit 333 tiges/ha (**Tableau 9**) et donc les plus intéressants actuellement pour la production de sirop. Comme dans le cas de la classe d'âge précédente, la maturité absolue n'est pas encore atteinte et une période d'attente prolongée avant la récolte des tiges est souhaitable, dans la mesure où les tiges de bouleau demeurent saines car elles sont souvent sujettes à des problèmes de carie avec le temps.

Les sites avec **classe d'âge de 90 ans** ont un nombre de tiges de 20 cm et plus relativement plus faible (161 tiges/ha) que dans le cas de la classe précédente. Cela s'explique en partie par le fait que toutes les strates de bouleau de 90 ans utilisées et disponibles sur les T.P.I. sont caractérisées par des perturbations comme des coupes partielles. Bien que la densité des tiges permette de procéder à une récolte de sève, le stade de développement des sites est relativement avancé comparativement à la maturité absolue (**Tableau 9**). Pour cette raison, le propriétaire aura intérêt à y amorcer une récolte des tiges et une remise en production des sites pour contribuer à maintenir une diversité de classes d'âge sur l'ensemble de sa propriété.

## 12.3 Synthèse

Pour une production durable de sirop, il est souhaitable d'orienter l'aménagement de la forêt de façon à s'assurer qu'un nombre suffisant de tiges de plus de 20 cm de diamètre soit présent en tout temps sur la propriété, ce qui devrait normalement être le cas si l'on y retrouve une diversité de classes d'âge aux superficies d'importance similaire. Si l'on se fie aux inventaires réalisés dans les peuplements feuillus dominés par le bouleau blanc sur les T.P.I. de la M.R.C. du Domaine-du-Roy (**Tableau 9**), un territoire supportant chacune des classes d'âge serait en mesure de fournir une quantité variant environ entre 100 et 300 tiges/ha de bouleau blanc de 20 cm et plus au d.h.p. sur environ la moitié de la superficie, soit sur les sites où les classes d'âge sont de 50 ans et plus.

Le secteur d'expérimentation contient actuellement plusieurs tiges commerciales de bouleau blanc, mais peu (20 tiges/ha) ont atteint le diamètre de 20 cm comparativement au site simulé (110 tiges/ha) de même classe d'âge (**Tableau 10**). Bien que plusieurs sites en région puissent se prêter à l'aménagement du bouleau blanc à des fins de production de matière ligneuse, la récolte de sève devrait se réaliser sur ceux offrant des conditions optimales de croissance pour l'espèce.

En forêt privée, par exemple, la majorité des peuplements de bouleau se trouvent sur les sites de la sapinière à bouleau blanc (groupe écologique MS) qui sont généralement plus productifs que les sites au groupe écologique RS (sapinière à épinette noire). Avec de bonnes conditions de texture et de drainage, des sites de type MS que l'on retrouve également sur les T.P.I. de la M.R.C. du Domaine-du-Roy devraient donc être privilégiés pour la sélection des peuplements de bouleau blanc à des fins de production de sirop.

Si le propriétaire d'une forêt de bouleau décide de lui donner une vocation de production de sirop comme il se fait souvent dans les érablières du sud de la province il devra rechercher, outre la diversité des classes d'âge mentionnée précédemment, à conserver les tiges en place le plus longtemps possible afin de favoriser le maintien des diamètres supérieurs pour une meilleure coulée de sève au printemps. Ce maintien prolongé du couvert peut entraîner une diminution du rendement annuel moyen en matière ligneuse s'il devient supérieur à l'âge d'exploitabilité absolu utilisé pour optimiser la quantité de fibres ligneuses à la récolte des tiges (**Section 12.1.2**).

Cependant, cette perte de matière ligneuse peut être compensée positivement par une rentabilité accrue de la production de sirop en raison d'un approvisionnement optimal de sève au printemps. Pour permettre de porter un jugement sur une telle situation, des courbes de rendement en matière ligneuse (**Annexe**) ont été confectionnées pour chaque classe d'âge du territoire simulé à partir des données d'inventaires réalisés sur les T.P.I. de la M.R.C. du Domaine-du-Roy, de la même façon que la courbe utilisée dans le secteur d'expérimentation.

À partir de chaque courbe de rendement, l'âge d'exploitabilité a été déterminé ainsi que le rendement en volume de matière ligneuse et les revenus nets (**Tableau 11**). Mentionnons que les revenus nets tiennent compte de la proportion de résineux et de feuillus dans la strate regroupée (**Tableau 10**). Suivant les classes d'âge inventoriées, les revenus nets évalués à l'âge d'exploitabilité de l'ensemble des tiges de 9 cm et plus au d.h.p. varient de 24,39\$/ha/an à 35,85\$/ha/an.

**TABLEAU 10**

Données dendrométriques comparatives des peuplements de bouleau blanc

Variables	Classes d'âge			
	Secteur d'expérimentation	T.P.I. (M.R.C. Domaine-du-Roy)		
	50 ans	50 ans	70 ans	90 ans
Tiges/ha tot.	2725	945	2413	971
Tiges/ha comm.	1075	795	621	679
Tiges/ha Bou10cm+	945	605	500	268
<b>Tiges/ha Bou20cm+</b>	<b>20</b>	<b>110</b>	<b>333</b>	<b>161</b>
Volume actuel	93 m <sup>3</sup> /ha 12% rés. 88% feu.	97 m <sup>3</sup> /ha 12% rés. 88% feu.	187 m <sup>3</sup> /ha 2% rés. 98% feu.	188 m <sup>3</sup> /ha 12% rés. 88% feu.
Maturité 9 cm+	64 ans	58 ans	84 ans	79 ans
Maturité 13 cm+	73 ans	68 ans	84 ans	82 ans
Maturité 17 cm+	92 ans	89 ans	107 ans	97 ans

Une période d'attente correspondant à l'âge d'exploitabilité des tiges de 13 cm et plus au d.h.p. n'entraîne qu'une faible diminution de rendement annuel moyen et donc de revenus, soit de l'ordre de 1% à 2%. C'est dans le cas d'une période d'attente prolongée avant la récolte des tiges allant jusqu'à une trentaine d'années, soit à l'âge d'exploitabilité des tiges de 17 cm et plus au d.h.p. dans certains cas, que des diminutions de rendement annuel moyen sont les plus importantes. Des baisses allant jusqu'à 9% (cas de la classe d'âge de 50 ans sur les T.P.I.) sont alors observées. Une telle baisse correspond à une perte de revenus de 2,10\$/ha/an (24,39\$/ha/an – 22,29\$/ha/an). Elle demeurera cependant d'autant plus justifiée qu'elle contribuera à générer des revenus nets supérieurs provenant de la production de sirop de bouleau.

**TABLEAU 11**

Rendements moyens comparatifs de matière ligneuse des peuplements de bouleau blanc

Maturité	Variables	Classes d'âge			
		Secteur d'expérimentation	T.P.I. (M.R.C. Domaine-du-Roy)		
		50 ans	50 ans	70 ans	90 ans
Tiges 9 cm+	Âge d'exploitabilité	64 ans	58 ans	84 ans	79 ans
	Volume	123 m <sup>3</sup> /ha	87 m <sup>3</sup> /ha	198 m <sup>3</sup> /ha	155 m <sup>3</sup> /ha
	Rendement	1,92 m <sup>3</sup> /ha/an	1,50 m <sup>3</sup> /ha/an	2,36 m <sup>3</sup> /ha/an	1,96 m <sup>3</sup> /ha/an
	Revenus nets <sup>1</sup>	31,25\$/ha/an (100%)	24,39\$/ha/an (100%)	35,85\$/ha/an (100%)	31,90\$/ha/an (100%)
Tiges 13 cm+	Âge d'exploitabilité	73 ans	68 ans	84 ans	82 ans
	Volume	138 m <sup>3</sup> /ha	101 m <sup>3</sup> /ha	200 m <sup>3</sup> /ha	161 m <sup>3</sup> /ha
	Rendement	1,89 m <sup>3</sup> /ha/an	1,49 m <sup>3</sup> /ha/an	2,3 m <sup>3</sup> /ha/an	1,96 m <sup>3</sup> /ha/an
	Revenus nets	30,74\$/ha/an (98%)	24,15\$/ha/an (99%)	36,21\$/ha/an (101%)	31,93\$/ha/an (100%)
Tiges 17 cm+	Âge d'exploitabilité	92 ans	89 ans	107 ans	97 ans
	Volume	162 m <sup>3</sup> /ha	122 m <sup>3</sup> /ha	244 m <sup>3</sup> /ha	184 m <sup>3</sup> /ha
	Rendement	1,76 m <sup>3</sup> /ha/an	1,37 m <sup>3</sup> /ha/an	2,28 m <sup>3</sup> /ha/an	1,90 m <sup>3</sup> /ha/an
	Revenus nets	28,63\$/ha/an (92%)	22,29\$/ha/an (91%)	34,68\$/ha/an (97%)	30,84\$/ha/an (97%)



<sup>1</sup> Le revenu net équivaut à la moitié de la valeur marchande du volume en place, l'autre moitié étant allouée pour la récolte des tiges.

# 13. BUDGET PRÉVISIONNEL (2 CAS TYPES)

Les données obtenues lors de l'expérimentation de la transformation de la sève de bouleau en sirop qui s'est déroulée au printemps 2009 serviront à calculer avec plus de précision les coûts et les recettes anticipés. Pour faciliter l'extrapolation des données à des exploitations d'envergures variables, le tout a été présenté selon un nombre unitaire de 1 000 entailles et en fonction de la pré-

sence d'un dispositif de collecte et de transformation de la sève selon une approche conventionnelle ou artisanale. Évidemment, l'éventuel opérateur n'aura qu'à adapter ce budget prévisionnel en fonction de ses propres besoins d'opération et pièces d'équipement.

## 13.1 Critères retenus

### *Critères techniques pour une exploitation conventionnelle*

Teneur en sucre de la sève (°Brix)	0,7
Ratio sève:sirop	124,5
Rendement en sève par entaille (gallon et litres) <sup>1</sup>	0,435 ou 1,65
Nombre de jours de coulée	18
Volume total de sève anticipé (gallons et litres)	7 845,91 ou 29 700
Production de sirop pour 1 000 entailles (gallons et litres)	63 ou 238,55
Nombre de contenants 250 ml de sirop	954
Prix de vente pour un contenant de 250 ml (\$)	20
Nombre d'entailles par hectare	90
Taux d'évaporation de l'évaporateur (litres et gallons/heure)	340,69 ou 90
Prix pour une corde de bois de 16 po de longueur (\$)	75
Taux de combustion (corde/heure)	0,25
Taux rejet de l'eau par osmose inversée (%)	70
Contenant en verre de 250 ml l'unité (\$)	1,91
Étiquettes à l'unité (\$)	0,05

#### <sup>1</sup> Avertissement

Il s'agit d'un rendement saisonnier mesuré sur des arbres correspondants à une classe de diamètre de 20 cm et associés au groupe écologique RS (sapinière à épinette noire). Il importe de valider cette donnée en regard aux caractéristiques générales de la bétulaie à exploiter afin de bien choisir la capacité des équipements avant de procéder à tout achat.

### *Critères financiers<sup>2</sup>*

Taux d'intérêt à court terme (1 <sup>er</sup> trimestre 2010)	5%
---	----

<sup>2</sup> Il est considéré que le promoteur ne fait appel à aucune main-d'œuvre et dispose de tout l'équipement motorisé nécessaire aux opérations (motoneiges et véhicules tout-terrain). Les coûts d'approvisionnement en électricité devront être ajoutés au budget selon qu'il s'agisse d'une installation reliée directement au réseau de distribution électrique existant ou à un groupe électrogène de forte puissance.

## 13.2 Coûts fixes pour une exploitation conventionnelle et artisanale

Équipements et matériel	Installation Prix (\$)	
	Conventionnelle	Artisanale
Évaporateur au bois 2,5 x 8 pi (hotte incluse)	15 320,00	
Casserole de rechange à fond plat	721,00	
Valve guillotine 2 po	18,25	
Tuyau à fumée de 11 po (12 pi de longueur)	302,76	
Souche du tuyau à fumée	224,00	
Chapeau à penture avec pare-étincelle	527,00	
Tuyau à évaporation de 12 po (12 pi de longueur)	362,40	
Chapeau pour cheminée d'évaporation	163,00	
Osmoseur (600 gallons/heure) et membrane (Mark I)	12 700,00	
Pompe à vide (5 HP)	3 480,00	
Transvideur mécanique (extracteur)	1 450	
Répartiteur de vide	99,95	
Valve trois voies en PVC (1 ½ po)	76,00	
Évaporateur au bois standard 2,5 x 6 pi (tout inclus)		5 136,97
Réservoir d'entreposage de la sève (4 x 14 x 4 pi)	2 122,00	2 122,00
Réservoir de filtrat (4 x 8 x 4 pi)	991,00	991,00
Réservoir du concentré (4 x 8 x 3 pi)	893,00	893,00
Valve standard en PVC (1 ½ po)	9,40	9,40
Raccords et tuyaux	100,00	70,00
Disque de soutien pour le filtre à anneau (drain du réservoir)	28,95	28,95
Réfractomètre 0 à 32 °Brix	222,00	222,00
Réfractomètre 45 à 82°Brix	222,00	222,00
Thermomètre bimétallique (3 x 9 po)	49,95	49,95
Écumoir troué	60,95	60,95
Écumoir non troué	57,95	57,95
Gobelet à sirop (8 po)	34,00	34,00
Brosse à rayon (1/2 x 7 po)	21,95	21,95
Brosse sans manche (2 x 7 po)	19,25	19,25
3 mèches d'entaillage (5/16 po)	38,85	38,85
Presse à filtration sous pression (10 po)	1 775,00	
Chariot multifonctionnel	330,00	
Sirotière 9 x 28 po (6,5 gallons) et support à filtre (bonnet)		309,00
Filtres ou bonnets (10 unités)		249,50
<b>Total<sup>1</sup></b>	<b>42 420,61\$</b>	<b>10 536,72\$</b>

Note : Liste de prix fournie par monsieur Germain Fortin, représentant pour les Équipements d'Érablière CDL inc., tél.: (450) 539-2225.

<sup>1</sup> Total des coûts fixes, excluant le bâtiment principal («cabane à sucre») avant amortissement

## 13.3 Coûts variables pour une exploitation conventionnelle

### A- Approvisionnement

Approvisionnement pour 1 000 entailles	Prix (\$)	Année d'aménagement (\$)	Année subséquente (\$)
Produits de nettoyage et d'entretien	0,10/entaille	100	100
Cartouche préfiltre (5 microns)	4,50	4,50	4,50
Préfiltre pour la cartouche (10 unités)	12,75	12,75	12,75
Filtre à anneau	6,95	6,95	6,95
Antimousse Kosher (200 grammes)	7,25	7,25	s/o
Papier filtre (400 unités)	83,15	83,15	83,15
Poudre à filtre (50 lb)	41,95	41,95	41,95
Bois à cabane 16 po (avec osmoseur)	75/corde	490,37	490,37
Tube collecteur, tube pour le transport de l'air, tubes latéraux de (5/16 po), chalumeaux (5/16 po), broche numéro 12, broche numéro 9, broche numéro 5, collets, raccords multiples, unions 5/16 po, autres	5,00/entaille	5 000	s/o
<b>Total</b>		<b>5 746,92</b>	<b>739,67</b>

### B- Mise en marché

Mise en marché (1 000 entailles)	Prix unitaire (\$)	Année d'aménagement (\$)	Année subséquente (\$)
954 contenants de 250 ml	1,91	1 822,14	1 822,14
Étiquettes	0,05	47,70	47,70
<b>Total</b>		<b>1 869,84</b>	<b>1 869,84</b>

### C- Autres coûts

Autres coûts (1 000 entailles ou 11,1 ha)	Item	Année d'aménagement (\$)	Année subséquente (\$)
Assurance responsabilité	1	175	175
Entretien et réparation de l'équipement <sup>1</sup>	2% <sup>1</sup>	948,41	381,60
Frais professionnels, cotisations et formation	1	750	750
Intérêt à court terme <sup>2</sup>	5% <sup>2</sup>	465,76	187,06
<b>Total</b>		<b>2 339,17</b>	<b>1 493,66</b>

<sup>1</sup> Dans le cas de l'année de l'aménagement, un taux d'intérêt de 2% est porté sur la somme du coût d'approvisionnement relatif au système de collecte de la sève (5 000\$) et des coûts fixes (42 420,61\$), pour un total de 47 420,61\$. Pour l'année subséquente, ce même taux d'intérêt s'applique uniquement sur les recettes anticipées du produit (sirop), soit 19 080\$. Ce montant est calculé à partir de comparables provenant d'entreprises nord-américaines spécialisées dans la production de sirop de bouleau.

<sup>2</sup> Taux d'intérêt porté sur l'ensemble des coûts variables à l'exception de l'assurance responsabilité, à savoir de 9 315,17\$ et 3 741,11\$ respectivement pour l'année d'aménagement et l'année subséquente.

## 13.4 Coûts variables pour une exploitation artisanale

### A- Approvisionnement

Approvisionnement pour 1 000 entailles	Prix (\$)	Année d'aménagement (\$)	Année subséquente (\$)
Produits de nettoyage et d'entretien	25	25	25
Cartouche préfiltre (5 microns)	4,50	4,50	4,50
Protège à préfiltre (10 unités)	12,75	12,75	12,75
Filtre à anneau	6,95	6,95	6,95
Antimousse Kosher (200 grammes)	7,25	7,25	s/o
Préfiltre à bonnet (12 unités)	13,95	20,93	20,93
Bois à cabane 16 po	75/corde	2 353,77	2 353,77
Chaudières en plastique	4,75	4 750	s/o
Couvercle	0,75	750	
Chalumeaux 5/16 po	1,60	1 600	
<b>Total</b>		<b>9 531,15</b>	<b>2 423,90</b>

### B- Mise en marché

Mise en marché (1 000 entailles)	Prix unitaire (\$)	Année d'aménagement (\$)	Année subséquente (\$)
954 contenants de 250 ml	1,91	1 822,14	1 822,14
Étiquettes	0,05	47,70	47,70
<b>Total</b>		<b>1 869,84</b>	<b>1 869,84</b>

### C- Autres coûts

Autres coûts (1 000 entailles ou 11,1 ha)	Item	Année d'aménagement (\$)	Année subséquente (\$)
Assurance responsabilité	1	175	175
Entretien et réparation de l'équipement <sup>1</sup>	2% <sup>1</sup>	352,73	381,60
Frais professionnels, cotisations et formation	1	750	750
Intérêt à court terme <sup>2</sup>	5% <sup>2</sup>	625,19	271,27
<b>Total</b>		<b>1 902,92</b>	<b>1 557,87</b>

<sup>1</sup> Dans le cas de l'année de l'aménagement, un taux d'intérêt de 2% est porté sur la somme du coût d'approvisionnement relatif au système de collecte de la sève (7 100\$) et des coûts fixes (10 536,72\$), pour un total de 17 636,72\$. Pour l'année subséquente, ce même taux d'intérêt s'applique uniquement sur les recettes anticipées du produit (sirop), soit 19 080\$. Ce montant est calculé à partir de comparables provenant d'entreprises nord-américaines spécialisées dans la production de sirop de bouleau.

<sup>2</sup> Taux d'intérêt porté sur l'ensemble des coûts variables à l'exception de l'assurance responsabilité, à savoir de 12 503,72\$ et 5 425,34 \$ respectivement pour l'année d'aménagement et l'année subséquente.

Les mêmes critères techniques qu'une exploitation conventionnelle s'appliquent à l'exception que la sève dans le cas présent n'a pas subi de concentration partielle et que les taux d'évaporation de la sève et de combustion du bois sont modifiés pour tenir compte d'un évaporateur standard d'une dimension de 2,5 x 6 pieds. Selon le manufacturier déjà cité, le taux d'évaporation et le taux de combustion du bois sont respectivement de 30 gallons (113,56 litres) et de 0,12 corde à l'heure. Il s'agit de taux théoriques lesquels peuvent varier selon les caractéristiques des essences forestières utilisées et l'expérience de l'opérateur.



## 13.5 Sommaires budgétaires pour une exploitation conventionnelle et artisanale

### Exploitation conventionnelle

Description	Année d'aménagement (\$)	Année subséquente (\$)
Recettes anticipées ( 1 000 entailles)	19 080\$.	19 080\$.
Coûts fixes	42 420,61\$	s/o
Coûts variables	9 955,93	4 103,17

### Exploitation artisanale

Description	Année d'aménagement (\$)	Année subséquente (\$)
Recettes anticipées ( 1 000 entailles)	19 080	19 080
Coûts fixes	10 536,72	s/o
Coûts variables	13 303,91	5 851,61

Rappelons que ces sommaires ne tiennent pas compte des coûts associés à la construction d'un bâtiment, à la main-d'œuvre, à l'achat ou à l'opération de véhicules motorisés et à l'approvisionnement en électricité si nécessaire.

# RÉFÉRENCES

- AHTONEN, S. et KALLIO, H. 1989. Identification and seasonal variation of amino acids in birch sap used for syrup production. *Food Chemistry*, 33 : 125-132.
- ALLARD, G.B. et BELZYLE, M. 2004. Cahier de transfert technologique en acériculture. Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec.
- ANDRIENNE, P. 2000. *La Gemmothérapie; Médecine des bourgeons*, Éditions atlantica.
- ANONYME 2000. Manuel d'aménagement forestier Documents d'annexes. Direction des programmes forestiers du ministère des Ressources naturelles, ministère des Ressources naturelles, gouvernement du Québec. 82 p.
- ANONYME 2003. Manuel d'aménagement forestier. 4<sup>e</sup> édition, Direction des programmes forestiers du ministère des Ressources naturelles, de la Faune et des Parcs, ministère des Ressources naturelles, de la Faune et des Parcs, gouvernement du Québec. 245 p.
- ANONYME 2008. Produits agricoles au Canada, Loi sur les. Règlements sur les produits de l'érable (C.R.C., ch. 289). Dernière mise à jour en date du 18 décembre 2008, gouvernement du Canada. <http://laws.justice.gc.ca/fr/C-0.4/C.R.C.-ch.289/index.html>
- ANONYME 2009. Produits alimentaires, Loi sur les. Règlement sur les aliments (c. P-29, r.1). Dernière mise à jour en date du 7 janvier 2009, gouvernement du Québec. [http://www2.publicationsduquebec.gouv.qc.ca/dynamicSearch/telecharge.php?type=3&file=/P\\_29/P29R1.HTM](http://www2.publicationsduquebec.gouv.qc.ca/dynamicSearch/telecharge.php?type=3&file=/P_29/P29R1.HTM)
- BEVERIDGE, T.J., BRUCE, K. et KOK, R. 1978. Carbohydrate and mineral composition of gray sap. *Can. Inst. Food Sci. Technol. J.* 11:28.
- BLOUIN, J. et BERGER, J.-P. 2000. Guide de reconnaissance des types écologiques des régions écologiques 5b – Coteaux du réservoir Gouin, 5c – Collines du Haut-Saint-Maurice et 5d – Collines qui ceignent le lac Saint-Jean. Forêt Québec, Direction des inventaires forestiers, ministère des Ressources naturelles du Québec.
- BOUCHER, A. et coll. (non daté). L'amélioration des performances de mon évaporateur passe par la connaissance de son fonctionnement. Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation, Direction régionale de l'Outaouais-Laurentides.
- DEMBINSKA, M. rev. and adapted by WILLIAM WOYS WEAVER. 1999. *Food and Drink in Medieval Poland: Rediscovering a Cuisine of the past*. Philadelphia: University of Pennsylvania.

DIXON-WARREN, H. 2008. The birch Syrup Production Manual. Tapping into Syrup Production Manual. Edited by Janet Cotgrave et April Cheng. 103 p.

DROZDOVA, G., DEMUROV, E., BAKHILOV, V. et FROLOV, V. 1995. Some Aspects of Pharmacological activity of Birch Sap and Birch Drug-Preparations. In TERAZAWA, M., McLEOD, C.A., TAMAI, Y. editors. Tree Sap, Proceedings of 1st International on Sap Utilization (ISSU), 1995, April 10-12, Bifuka, Japan. Hokkaido University Press: p. 85-90.

DROZDOVA, G., FROLOV, V., DEMUROV, E. et VILENTCHIK, L. 1995. Biological Activiy of Birch sap. In TERAZAWA, M. editor. Tree Sap II, Proceedings of the 2nd International on Sap Utilization (ISSU), 2000, April 21-23, Bifuka, Japan. Hokkaido University Press: p. 135-140.

DUJESIEKEN, D., EBENRITTER, S. et LIESE, W. 1989. [Wound reactions in wood tissue in birch, beech and *Tilia cordata*]. *Holzals Roh-und Werkstoff*. 47:495-500. In Maher, K. 2005. Factors Influencing Birch Sap Production in Alaska Birch (*Betula neoalaskana* Sarg.).

[www.uaf.edu/ces/aknfc/Files/FallWorkshop06/Maher-ANFC Hardwords.pdf](http://www.uaf.edu/ces/aknfc/Files/FallWorkshop06/Maher-ANFC%20Hardwords.pdf)

DUMONT, J. 1994. L'eau d'érable. Centre de recherche et de développement et de transfert technologique en acériculture, St-Hyacinthe. Publication no : 300-NTR-1094.

FESYUK, A.V. et GRIMASHEVICH, V.V. 1980. [Effects of different factors on the sap yield of *Betula pendula*]. *Lesovodstvo. Lesnye Kul'tury I Pochvovedenie*. 9:89-94. In Maher, K. 2005. Factors Influencing Birch Sap Production in Alaska Birch (*Betula neoalaskana* Sarg.).

[www.uaf.edu/ces/aknfc/Files/FallWorkshop06/Maher-ANFC Hardwords.pdf](http://www.uaf.edu/ces/aknfc/Files/FallWorkshop06/Maher-ANFC%20Hardwords.pdf)

GANNS, R. A., ZASADA, J. C. et PHILLIPS, C. 1982. Sap production of Paper Birch in the Tanana Valley, Alaska. *For. Chron.* 18(1):19-22.

GODBOUT, G. 2008. Longévité du bouleau à papier au Témiscamingue. Gouvernement du Québec, Ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Direction de la recherche forestière, Québec. 9 p.

HIEMÄE, M. 1996. Some possible origins of St.Georges Day customs and beliefs, Folklore. *An Electronical Journal old Folklore*, vol. 1, Institute of Estonian Language.

HOSIE, R.C. 1980. Arbres indigènes du Canada. Ministre des Approvisionnements et Services Canada, Presses Élités Inc., pour le compte des Éditions Fides. 389 pages.

HULDÉN, S. et HARJU, L. 1986. Chemical Analysis Of Mineral Elements in Spring Sap of Birch. Daily and Seasonal Variations in the Sap Composition. *Acta Academiæ Aboensis, Ser. B.* 46(6):1-16. In MAHER, K A. C. 2005. Production and Quality of Spring Sap from Alaskan Birch (*Betula neolaskana* Sargent) in Interior Alaska – A Master of Science Thesis, University of Alaska Fairbanks.

HUMPHREY, D. (non daté). Making Alaskan Birch Syrup: Birch Syrup Standards and Production Manual. Haines, Alaska: Birch Boy Products. <http://www.birchboy.com/articles.html>

JIANG, H., SAKAMOTO, Y., TAMAI, Y. et TERAZAWA, M.: 2001. *Eurasian J. For. Res.* 2: 59-64.

JOHNSON, L.P.V. 1944. Sugar production by white and yellow birches. *Can. J. Res.* 22:1-6.

JONES, A.R.C. et ALLI, I. 1987. Sap yields, sugar content, and soluble carbohydrates of saps and syrups of some Canadian birch and maple species. *Can. J. For. Res.* 17: 263-266.

- KAHILTNA BIRCHWORKS 2008.** Birch Syrup and Berry Products from Alaska. <http://store.alaskabirchsyrap.com/ab-bisy.html>
- KALLIO, H. et AHTONEN, S. 1987.** Seasonal Variations of the Acids in Birch Sap. *Food Chem.* 25:285-292.
- KALLIO, H., AHTONEN, S., RAULO, J et LINKO, R.R. 1985a.** Identification of the sugars and acids in birch sap. *J. Food Sci.* 50: 266-26.
- KALLIO, H., KARPPINEN, T et HOLMBOM, B. 1985b.** Concentration of birch sap by reverse osmosis. *J. Food Sci.* 50: 1330-1332.
- KALLIO, H., LAHDENOJA, M.-L., PENTTINEN, R. 1995.** Electrophoretic Profiles of Birch sap Proteins of *Betula pubescens*, *B. pendula* and *B. pendula forma carelica* in Finland with Reference to Overall Composition of Sap. In TERA-ZAWA, M., McLEOD, C.A. and TAMAI, Y. editors. *Tree Sap, Proceedings of 1<sup>st</sup> International on Sap Utilization (ISSU)*, 1995, April 10-12, Bifuka, Japan. Hokkaido University Press, p. 13-21.
- KARI, P. R. et Dena'ina K'et'una, R. 1977.** Tanaima Plantlore. Anchorage : University of Alaska.
- KNAD, SOPHIE HODOROWICZ 1995.** Polish Herbs, Flowers & Folk Medecine. NY: Hippocrene Books.
- KOK, R., NORRIS, E.R. et BEVERIDGE, T. 1977.** Production and properties of birch syrup (*Betula populifolia*). *Can. Agric. Eng.* 20 :5-9.
- LAPOINTE, D. 2005.** Modélisation du potentiel d'entailage du bouleau à papier (*Betula papyfera* Marsh.) pour sa sève. École supérieure d'aménagement du territoire et de développement régional (ÉSAD), Faculté d'aménagement, d'architecture et des arts visuels, Université Laval. 49 pages et annexes.
- LAUZIER, H. et coll. 2005.** L'investigation et la mise au point de l'évaporateur... C'est payant! Gouvernement du Québec, Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation. 20 p.
- LIU ZHIWEI 2001.** Preparation of Red Birch Juice Health Beverage, *Journal of Wuhan Polytechnic University*, 2 : 1-3.
- LÖNNROT, E. 1839.** 'Finnish Peasant Doctor' *Suomalaisen talonpojan kotilääkäri*, (in Finnish).
- MAARANEN, S. et MAARANEN, A. 2003.** Birch sap –drink for nature and health. *Koivunmahla malja luonnolle ja terveydelle*, (in Finnish), Art house Oy, Jyväskylä.
- MAHER, K A.C. 2005.** Production and Quality of Spring Sap from Alaskan Birch (*Betula neolaskana* Sargent) in Interior Alaska – A Master of Science Thesis, University of Alaska Fairbanks.
- MITCHELL, M. 2007.** Personal Communication. Northwest Territories, Canada in DIXON-WARREN, H. (2008). *The birch Syrup Production Manual. Tapping into Syrup Production Manual.* Edited by Janet Cotgrave et April Cheng. 103 p.
- MOERMAN, D.E. 1998.** Native American ethnobotany. Timber Press: Portland, Oregon, 123 p.
- ROY, G. 1997.** Aménagement forestier et la coulée de la sève. Colloque régional sur l'érable à Granby, 5 février 1997. 3 p.

RYABCHUK V.P. 1974. [Sap Exudation of Birch and Temperature Conditions.]. *Lesnoe Khyzyaistvo* 5 : 25-7. In MAHER, K A. C. 2005. Production and Quality of Spring Sap from Alaskan Birch (*Betula neolaskana* Sargent) in Interior Alaska – A Master of Science Thesis, University of Alaska Fairbanks

SHEN, Y.B., KAZUSAKA A., FUJITA S. et TERAZAWA, M. 2000. Preventive Properties of Birch sap Against Oxidative Stress in Rats. In TERAZAWA, M. editor. Tree Sap II, Proceedings of 2<sup>nd</sup> International on Sap Utilization (ISSU), 2000, April 21-23, Bifuka, Japan. Hokkaido University Press: p. 149-153.

TELISEVSKIJ, D. 1970. [Collection and use of Birch. Sap.]. *Lesn. Hoz.* 80-2. In Maher, K. 2005. Factors Influencing Birch Sap Production in Alaska Birch (*Betula neolaskana* Sarg.).  
[www.uaf.edu/ces/aknfc/Files/FallWorkshop06/Maher-ANFC Hardwords.pdf](http://www.uaf.edu/ces/aknfc/Files/FallWorkshop06/Maher-ANFC%20Hardwords.pdf)

TERAZAWA, M. 1995. Shirakamba Birch, Splendid Forest Biomass –Potential of Living Tree Tissues–. In TERAZAWA, M., McLEOD, C.A. and TAMAI, Y. editors. Tree Sap, Proceedings of 1<sup>st</sup> International on Sap Utilization (ISSU), 1995, April 10-12, Bifuka, Japan. Hokkaido University Press, p. 7-12.

TOMOKO, S. 2005. Birch sap: survey on traditional uses and their impacts on future uses. In: TERAZAWA, M. editors. Tree Sap, Proceedings of 3<sup>rd</sup> International on Sap Utilization (ISSU), 2005, April 15-17, Bifuka, Japan. Hokkaido University Press: p. 53-59.

TURNER, N. J., LAURENCE, C., THOMPSON, M. T., THOMPSON *et al.* 1990. Thompson Ethnobotany : Knowledge and Usage of Plants by the Thompson Indians of British Columbia. Victoria. Royal British Columbia Museum, 189 p.

WHEELER, B. 1999. Factors that influence sap flow in paper birch. Alaska Cooperative Extension Service, UAF. <http://www.uaf.edu/coop-ext/forestry/canopy/canopyjul99.html>

ZHANG RUI et SHI FUCHEN 2002. Birch sap Utilization in China : history status and future prospects. College of Life Sciences, Nankai University Tianjin, China.

# ANNEXE



**Courbes de rendement des simulations  
de 30, 50, 70 et 90 ans**

## Simulation de 30 ans

Courbes de rendement m <sup>3</sup> /ha					
Âge (ans)	Sab	Bou	Pet	Ft	Courbe finale
	(37% vol.)	(53% vol.)	(8% vol.)	(2% vol.)	
20			27		2
25	6	11	51	3	12
30	14	21	78	14	23
35	23	33	105	28	35
40	34	46	130	42	48
45	44	59	154	56	61
50	55	72	174	70	74
55	65	84	192	84	86
60	75	95	208	97	97
65	84	106	221	109	107
70	92	115	233	121	116
75	99	124	243	132	124
80	106	133	252	142	133
85	112	140	260	152	139
90	117	147	266	162	146
95	122	153	272	170	151
100	127	159	274	178	157
105	131	165	269	185	161
110	134	170	256	191	164
115	135	173	234	197	164
120	134	173	203	202	162
125	132	170	161	206	156
130	127	163	103	210	146
135	120	152		214	129
140	111	136		217	117
145	99	116		220	103
150	83	90		223	83
155	65	55		226	58
160	40			228	19
165				230	5
170				232	5
175				234	5
180				236	5
185				237	5
190				238	5
195				239	5
200				240	5
	75	70	55		71
	85	80	55	90	80
	100	105	65		100

	Classe d'âge de la strate
	Volume maximal atteint
	Maturité à la souche (ans) pour les tiges de 9 cm+ au d.h.p.
	Maturité à la souche (ans) pour les tiges de 13 cm+ au d.h.p.
	Maturité à la souche (ans) pour les tiges de 17 cm+ au d.h.p.

Simulation de 50 ans

Courbes de rendement m <sup>3</sup> /ha							
Âge (ans)	Sab	Epb	Bou	Pet	Err	Moyenne pondérée	Courbe finale
	(7% vol.)	(6% vol.)	(74% vol.)	(10% vol.)	(3% vol.)		
20		75				5	3
25	39	105	21	11		26	18
30	63	131	36	22	30	42	29
35	87	154	52	37	54	59	41
40	110	172	68	53	75	76	52
45	130	187	83	70	90	91	63
50	147	200	97	86	101	106	73
55	163	211	110	101	108	119	82
60	176	220	122	115	114	131	90
65	187	227	132	128	118	141	97
70	197	233	142	140	120	150	104
75	206	239	151	151	120	159	110
80	213	243	159	160	119	167	115
85	219	247	166	169	117	173	119
90	225	251	172	176	113	179	123
95	230	253	178	183	105	184	127
100	234	256	183	189	95	189	130
105	238	258	188	194	82	193	133
110	240	260	193	196	65	197	135
115	238	260	195	193	45	197	136
120	233	257	194	185	23	194	134
125	225	251	190	170		188	130
130	212	242	181	148		178	123
135	195	229	168	118		164	112
140	173	212	150	75		143	99
145	147	192	128			117	80
150	113	168	99			91	63
155	70	139	61			58	40
160		105				6	4
165		62				4	3
170						0	
175						0	
180						0	
185						0	
190						0	
195						0	
200						0	
	45	35	60	70	60	58	
	60	40	70	80		68	
	75	50	95	90		89	

	Classe d'âge de la strate
	Volume maximal atteint
	Maturité à la souche (ans) pour les tiges de 9 cm+ au d.h.p.
	Maturité à la souche (ans) pour les tiges de 13 cm+ au d.h.p.
	Maturité à la souche (ans) pour les tiges de 17 cm+ au d.h.p.

Simulation de 70 ans

Courbes de rendement m <sup>3</sup> /ha								
Âge (ans)	Sab	Epb	Epn	Bou	Pet	Err	Moyenne pondérée	Courbe finale
	(2% vol.)	(1% vol.)	(0% vol.)	(89% vol.)	(8% vol.)	(1% vol.)		
20		18			6		1	
25	1	33	2	4	15	11	5	9
30	4	50	5	10	28	41	12	20
35	9	67	11	18	43	74	21	35
40	14	83	18	28	59	102	31	53
45	21	99	27	38	75	122	42	71
50	28	112	36	48	91	137	53	89
55	36	125	45	59	106	148	64	108
60	44	136	54	69	120	156	74	126
65	51	146	62	79	133	161	84	143
70	58	154	71	88	145	166	93	159
75	65	162	78	97	156	169	102	174
80	71	169	86	105	166	170	110	188
85	77	176	92	112	175	169	117	200
90	83	182	99	119	183	165	124	212
95	88	187	105	126	190	158	131	223
100	93	192	110	132	194	144	137	233
105	97	196	115	138	193	120	142	241
110	101	200	120	143	186	90	146	248
115	103	202	124	147	172	50	148	251
120	104	202	128	148	151		146	249
125	103	199	132	146	121		142	242
130	100	193	135	141	78		134	228
135	95	185	137	132			120	204
140	89	173	138	120			109	186
145	80	157	138	102			93	158
150	68	138	136	79			72	123
155	53	115	133	49			45	77
160	33	87	129				2	3
165		52	123				1	
170			116				0	
175			107				0	
180			96				0	
185			84				0	
190			69				0	
195			52				0	
200			31				0	
	95	60	95	85	75		84	
	100	60	100	85	80	55	84	
	110	65	105	110	90		107	

- Classe d'âge de la strate
- Volume maximal atteint
- Maturité à la souche (ans) pour les tiges de 9 cm+ au d.h.p.
- Maturité à la souche (ans) pour les tiges de 13 cm+ au d.h.p.
- Maturité à la souche (ans) pour les tiges de 17 cm+ au d.h.p.

Simulation de 90 ans

Courbes de rendement m <sup>3</sup> /ha						
Âge (ans)	Sab	Epb	Bou	Pet	Moyenne pondérée	Courbe finale
	(10% vol.)	(2% vol.)	(38% vol.)	(50% vol.)		
20		18		6	3	4
25	6	33	4	15	10	12
30	14	50	10	28	20	23
35	25	67	18	43	32	36
40	38	83	28	59	46	51
45	51	99	38	75	59	66
50	64	112	48	91	72	81
55	77	125	59	106	86	96
60	89	136	69	120	98	110
65	100	146	79	133	109	123
70	111	154	88	145	120	135
75	121	162	97	156	130	147
80	129	169	105	166	139	157
85	138	176	112	175	147	166
90	145	182	119	183	155	174
95	152	187	126	190	162	182
100	158	192	132	194	167	188
105	164	196	138	193	169	191
110	168	200	143	186	168	189
115	170	202	147	172	163	183
120	169	202	148	151	153	172
125	164	199	146	121	136	154
130	157	193	141	78	112	126
135	146	185	132		68	77
140	131	173	120		62	70
145	112	157	102		53	60
150	87	138	79		41	47
155	55	115	49		26	30
160		87			2	2
165		52			1	
170					0	
175					0	
180					0	
185					0	
190					0	
195					0	
200					0	
	80	60	85	75	79	
	80	60	85	80	82	
	90	65	110	90	97	

	Classe d'âge de la strate
	Volume maximal atteint
	Maturité à la souche (ans) pour les tiges de 9 cm+ au d.h.p.
	Maturité à la souche (ans) pour les tiges de 13 cm+ au d.h.p.
	Maturité à la souche (ans) pour les tiges de 17 cm+ au d.h.p.



Milu nemetatau

# Forêt modèle du Lac-Saint-Jean

*Ensemble vers une industrie du milieu forestier !*

[www.foretmodeledulacsaintjean.ca](http://www.foretmodeledulacsaintjean.ca)